

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Aplicación de Azufre en el Cultivo de Coliflor (*Brassica oleracea*  
*var. Botrytis*)

Por:

**YARETZY LOPEZ ORTIZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Aplicación de Azufre en el Cultivo de Coliflor  
(*Brassica oleracea var. Botrytis*).

Por:

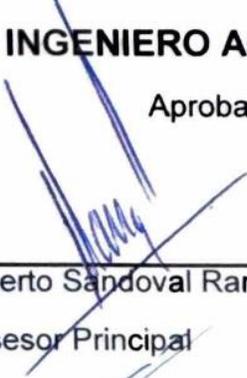
**YARETZY LOPEZ ORTIZ**

TESIS

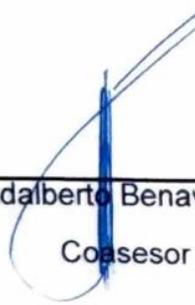
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Wendy Xiomara Sandoval Ortiz  
Asesor Principal Externo

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente  
Coasesor

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



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2024

## DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y 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 al autor original 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 el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Atentamente.

Alma Terra Mater

  
\_\_\_\_\_  
Yaretzy Lopez Ortiz  
Autor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor Principal

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios

Agradezco la fortaleza, inteligencia, cuidado físico y emocional, no solo en los años de carrera, sino en toda mi corta vida, siempre vi la mano de Dios guiándome y enseñándome que cada acción tiene muchas recompensas al igual que consecuencias, Sin embargo, nunca me dejo sola y me sigue cuidando y guiando.

A mi gloriosa Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por recibirme con su arco abierto, por darme la oportunidad de formarme como una nueva ingeniera agrónoma en horticultura, y también por darme la oportunidad de conocer personas maravillosas en el proceso.

A mis padres

Gracias por hacer de mí una mujer de bien, por apoyarme en mis metas y cumplir uno de mis más grandes sueños. Gracias por su amor, compromiso conmigo, los amo y los admiro con todo mi corazón.

A mi mejor amiga

Iran Citlaly León, gracias por los recuerdos creados durante estos años, tú compañía aligero muchas veces las cargas gracias por las risas, las enseñanzas y por ser una buena amiga.

A mi asesora la M.C Wendy Xiomara Sandoval Ortiz, por apoyarme durante el proceso en el área experimental y en la redacción, gracias por los consejos y por la paciencia.

## DEDICATORIA

Este logro lo comparto con ustedes mi familia como muestra de mi amor infinito y mi agradecimiento, por ayudarme, guiarme y sobre todo por no dejarme sola durante estos años.

A mis padres

Para mi mami, Angelina Ortiz Concha por ser la gran madre que eres, por cuidarme y criarme con tanto cariño como te fue posible, por guiarme, animarme y sobre todo por esos minutos en los que tus ojos no aguantan más y aun así me dedicabas otro ratito para platicar sobre los temas que me afligían. Para mi papi Mario López Pérez por enseñarme el amor al campo, a trabajar y ser responsable por motivarme a seguir mis sueños, y sobre todo por levantarme el ánimo cuando me sentía decaída, por esos consejos llenos de cariño y admiración que me ayudaban a mejorar día con día gracias. Con amor su hija

A mi hermano Mario Ángel López Ortiz, este logro lo comparto contigo, dijiste que no dudabas de mi capacidad para estar en esta gran universidad y me siento orgullosa al decirte que no te equivocaste, me motivaste a salir, a conocer nuevos lugares por ello y más, siempre estarás en mi corazón.

A mi prometido, Luis Armando Pérez Sánchez, no encuentro palabras para describir el agradecimiento que siento por acompañarme durante estos años por tu comprensión, amor, cariño y lealtad, gracias por impulsarme desde el comienzo, hasta el final, por motivarme a seguir mis sueños, a mejorar, emocionalmente y sobre todo a superarme como una mujer independiente. Te has convertido en una persona fundamental en mi vida gracias por estar en mis buenos y mis malos momentos. Te amo.

A mi abuelita Hermelinda Pérez, por mantenerme en sus oraciones cada vez que salía de casa, por esperarme con los brazos abiertos y con comida caliente cada que regresaba a mi estado.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	2
ABSTRAC.....	3
1.INTRODUCCIÓN .....	4
Hipótesis .....	5
2. REVISION DE LITERATURA.....	6
2.1 El Cultivo de Coliflor .....	6
2.2 Taxonomía de la Coliflor.....	6
2.3 Importancia .....	7
2.4 Descripción morfológica.....	7
2.5 Fases fenológicas.....	8
2.6 Clima.....	10
2.7 Humedad.....	10
2.8 Luminosidad .....	10
2.9 Condiciones edáficas .....	10
2.10 Salinidad .....	11
2.11 Azufre en el cultivo .....	11
2.12 Glucosinolatos.....	12
3.0 MATERIALES Y METODOS.....	16
3.1 Ubicación del Área Experimental .....	16
3.2 Producción de plántula y Trasplante.....	16
3.3 Tratamientos.....	17
3.4 Aplicación de azufre .....	17
3.6 Elaboración de extractos Botánicos.....	18
Proteínas totales.....	19
Fenoles totales.....	19
4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1 Altura de la planta.....	21
4.3 Diámetro de tallo.....	22
4.2 Numero de hojas.....	24

4.4 Conductancia estomática .....	25
4.6 Peso Foliar Fresco y Seco Fase Intermedia .....	28
4.7 Peso Foliar Fresco y Seco final.....	29
4.9 Peso de la inflorescencia.....	30
4.10 Diámetro de la Inflorescencia .....	31
5. CONCLUSIONES.....	35
6. BIBLIOGRAFIA .....	36
7. ANEXO.....	41

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la coliflor .....	6
<b>Tabla 2.</b> Efecto de diferentes dosis de azufre en la altura de la planta.....	21
Tabla 3 Efecto de distintas dosis de azufre en el diámetro de tallo .....	22
Tabla 4. Efecto de diferentes dosis de azufre en el número de hojas .....	24
Tabla 5. Efecto de diferentes dosis de azufre en la conductancia estomática.....	25
Tabla 6. Efecto de distintas dosis de azufre en el área foliar intermedia y .....	27
Tabla 7. Efecto de cuatro dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco de las hojas de coliflor. ....	28
Tabla 8. Efecto de 4 dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco final de las hojas de coliflor. ....	30
Tabla 9. Efecto de cuatro dosis de azufre en el peso del fruto. ....	31
Tabla 10. Efecto de cuatro dosis de azufre en el diámetro promedio de fruto. ....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 fase de inducción floral .....	9
Figura 2. Etapas fisiológicas de la coliflor. ....	9
Figura 3. Clasificación de los glucosinolatos de acuerdo a su cadena lateral R (Arbona 2020).....	14
Figura 4. Ubicación del área experimental.....	16
Figura 5. Grafica del efecto de distintas dosis de azufre en la altura de la planta.....	21
Figura 6. Grafica de efecto de diferentes dosis de azufre en el diámetro de tallo.....	23
Figura 7. Gráfica del efecto de distintas dosis de azufre en número de hojas.....	24
Figura 8. Grafica de efecto de diferentes dosis de azufre en la conductancia estomática	25
Figura 9. Efecto de cuatro dosis de azufre en el área foliar intermedia y final.....	27
<b>Figura 10.</b> Gráfica del efecto de 4 diferentes dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco intermedio en hojas de coliflor. ....	29
Figura 11. Gráfica del efecto de cuatro dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco de hojas de coliflor.....	30

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del azufre (S) en el cultivo de coliflor (*Brasica Oleracea var. Botrytis*), se evaluaron cuatro dosis; 1.5, 3.0, 6.0 y 9.0 Meq L<sup>-1</sup>, suministrados con ácido sulfúrico y aplicados al suelo. Se evaluó; el crecimiento de la planta, productividad, calidad, contenido mineral en las hojas y Proteínas totales y Fenólicos totales en hojas. Los resultados muestran que; La aplicación de azufre en el suelo con ácido sulfúrico en el riego, afecto el crecimiento, productividad y calidad del cultivo de la coliflor. La dosis más adecuada fue de 6.0 Meq.L<sup>-1</sup>. Con efectos positivos en la altura de la planta, diámetro de tallo, ancho de hoja, conductancia estomática, peso fresco, peso y diámetro de la inflorescencia. Respecto a la síntesis de proteínas y fenoles la mejor dosis fue de 3.0 Meq.L<sup>-1</sup>.

Las dosis de 1.5, 3.0, 6.0 y 9.0 meq. L<sup>-1</sup> de azufre, no afectan el contenido de minerales en las hojas.

**Palabras clave:** Azufre, biofortificación, *Brassicaceae*, extractos botánicos

## ABSTRAC

With the objective of evaluating the effect of sulfur (S) on the cauliflower crop (*Brasica Oleracea* var. *Botrytis*), four doses were evaluated; 1.5, 3.0, 6.0 and 9.0 Meq L<sup>-1</sup>, supplied with sulfuric acid and applied to the soil. It was evaluated; plant growth, productivity, quality, mineral content in the leaves and total proteins and total phenolics in leaves. The results show that; The application of sulfur to the soil with sulfuric acid in irrigation affects the growth, productivity and quality of the cauliflower crop. The most appropriate dose was 6.0 Meq.L<sup>-1</sup>. With positive effects on plant height, stem diameter, leaf width, stomatal conductance, fresh weight, inflorescence weight and diameter. Regarding the synthesis of proteins and phenols, the best dose was 3.0 Meq.L<sup>-1</sup>.

The doses of 1.5, 3.0, 6.0 and 9.0 meq. L<sup>-1</sup> sulfur does not affect the mineral content in the leaves.

Keywords: Sulfur, biofortification.

## 1.INTRODUCCIÓN

La coliflor (*Brassica oleácea var. Botrytis*), pertenece a la familia de las crucíferas. Es una verdura de gran valor dietético, atribuyéndosele algunos beneficios a la salud humana. Es baja en calorías y rica en vitamina C y potasio. Además, contiene vitaminas del complejo B como la vitamina B6 y en menores cantidades la B1, B2 y B3. Su consumo frecuente ha sido recomendado, basado en estudios realizados ya que pudiera ayudar a reducir los riesgos de cáncer (Zamora 2016).

Las crucíferas, son reconocidas por su alto nivel de concentración de nutrientes como: Vitaminas, minerales, fibra dietética, además de sustancias químico protectoras como los glucosinolatos y flavonoides (Haro, 2013). Tienen la capacidad acumular entre 0.2% y 1% de su peso seco en azufre y en particular, la coliflor acumula entre 0.4 % a 0.7 %. El azufre es un elemento importante, pues es constituyente de compuestos orgánicos como los glúcidos y aminoácidos (cisteína, cisteína y metionina). Por tanto, es un componente importante de las proteínas y el aceite de las crucíferas, así como sustancias activas biológicamente como el tripeptido glutatión, las vitaminas sulfuradas; biotina, timina y Acetil Coenzima A. Además, a partir de la cisteína se sintetiza el glutatión, que es una molécula antioxidante (Galili et al., 2005; Vivas, 2011), participa en la síntesis de la coenzima A y vitaminas, de la clorofila y compuestos secundarios que dan el olor y sabor característico del cultivo. (Ramírez *et al.*, 2020). Además, en la síntesis de glucosinolatos, que al descomponerse derivan en sulfidrilos, tiocianatos e isocitocianatos, estos últimos con capacidad biofumigante. (Alejandro, 2018; Hanschen *et al.*, 2018).

Los glucosinolatos derivan de los metabolitos secundarios de las plantas del género *Brassicaceae*, la cantidad de glucosinolatos varía de una especie a otra e influye de manera directa el tipo de tejido de la planta (Mockniak *et al.*, 2022; Pérez, 2014). El contenido de glucosinolatos es abundante en el cultivo de la coliflor, por lo cual desempeña un papel importante en el sistema de defensa

contra agresiones externas y como fuente de azufre para la planta (Yang *et al.*, 2023). Los glucosinolatos se almacenan en la vacuola de la célula de la planta y se transportan por el floema y pueden ayudar a la planta a defenderse de los organismos que se alimentan de los productos del floema, y el más sobresaliente en esta actividad es el tioglicósido (Haro, 2013). Sin embargo, la cantidad de glucosinolatos varía de acuerdo a la etapa fenológica de la planta y del contenido de azufre que se encuentre disponible en el suelo (Haro, 2013).

Se considera que, al aumentar la cantidad de azufre en el suelo de forma exógena, se puede incrementar el azufre en la planta y por consiguiente la síntesis de glucósidos y otros compuestos asociados al azufre y por lo tanto la capacidad protectora y biofumigante del cultivo de coliflor.

Con base en lo anterior se realizó este estudio con el siguiente

### **Objetivo.**

Evaluar el efecto de cuatro diferentes dosis de azufre en el desarrollo, productividad, calidad de la coliflor.

### **Hipótesis**

Al aumentar la concentración de azufre en el suelo de forma exógena, se aumentará la concentración en la planta y promoverá el desarrollo, productividad y calidad de la coliflor.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 El Cultivo de Coliflor

El origen de la coliflor está ligado al mar Mediterráneo, concretamente a su vertiente oriental, donde se encuentran Asia Menor, Líbano y Siria como referentes históricos de esta verdura. Aunque en un principio era usada como fármaco natural para aliviar los dolores de cabeza o la diarrea. Serían los romanos quienes comenzaron a cultivarlas para su producción, comercialización y consumo. (Saldaña, 2014)

Diversos estudios concluyen que los tipos cultivados de *Brassica oleracea* se originaron a partir de un único progenitor similar a la forma silvestre. Esta fue llevada de las costas atlánticas hasta el mediterráneo, de esta manera, aunque la evolución y selección de los distintos tipos de cultivados tuvo lugar en el Mediterráneo Oriental, la especie a partir de la cual derivaron sería *B. oleracea* y no las especies silvestres mediterráneas. (Guamán, 2013)

### 2.2 Taxonomía de la Coliflor

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Genero	Brassica
Especie	Oleracea
Nombre científico	Brassica oleracea
Nombre común	Coliflor

**Tabla 1. Taxonomía de la coliflor**

### **2.3 Importancia**

La coliflor es un cultivo de gran importancia económica a nivel mundial. Se cultiva anualmente, se consume principalmente como verdura o ensalada, puede utilizarse cruda, cocida, en encurtidos industrializada (Ayala, 2014)

En el 2021 México se encuentra dentro del top cinco en cuanto al ranking mundial de producción de coliflor, ubicándose en la cuarta posición con un total de 100 mil 17071 toneladas anuales, siendo estados unidos la principal nación a quien se exporta la coliflor (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Principalmente se exporta a ocho países teniendo en cuenta los siguientes: EE.UU., Canadá, Japón, Belice, Panamá, Honduras, Países Bajos y Emiratos Árabes Unidos), Sin embargo, los socios comerciales del T-MEC quienes realizan las compras más significativas: 59 mil 225 toneladas la nación estadounidense y dos mil 993 la canadiense (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

México se encuentra dentro del grupo de los cinco mayores productores de coliflor del mundo, en el cual encabeza China, seguida de India, y Estados Unidos. Actualmente el volumen anual se sitúa en 103 mil toneladas. Los estados de México que tiene una mayor producción son Guanajuato con un 30 % del volumen de producción nacional, seguido por Hidalgo con un 19% del volumen total y por ultimo Puebla con un 187 % del mismo. (InfoAgro, 2022).

### **2.4 Descripción morfológica**

La coliflor es una planta de ciclo anual.

Raíz: son muy ramificadas y profundas, con una profundidad de más de un metro.

Tallo: Es pequeño, sin ramas, con una altura de cinco a diez centímetros.

Inflorescencia o pella: Se forma donde termina el tallo y está constituida por un conjunto de flores abortivas con un pedúnculo corto y carnoso. Esta inflorescencia por lo general es de color blanco o crema. (SIAP, 2024)

. Las coliflores son algo más sensibles al frío que sus primos los brócolis. Responden mal a las temperaturas muy bajas o altas (SIAP, 2015)

De acuerdo a Zamora (2016). La planta posee grandes hojas suculentas de color verde claro que sirven como protección a la cabeza de color blanco. Las hojas están colocadas alrededor y en la base de un pequeño tallo que remata en una inflorescencia fuertemente unida que recibe los nombres de "cabeza" o "pella" la cual se utiliza como porción comestible. La parte comestible de la coliflor es una floración atrofiada.

Las cabezas de coliflor, dependiendo de la variedad, pueden variar de una forma esférica a irregular y vista de lado en forma de domo suave y de nudillos (Zamora, 2016)

Producen masas globulosas de yemas florales hipertrofiadas, se consideran coliflores a las coles de pella compacta que no forman brotes laterales son de color blanco, tienen las hojas anchas y menos erguidas con limbos que cubren totalmente el peciolo y los bordes menos ondulados. La coliflor produce yemas hipertrofiadas en el extremo terminal del tallo principal. Las ramas de la inflorescencia están hinchadas y tienen escasa longitud, por lo que las yemas florales inmaduras (Silva-Buñay, 2011).

## **2.5 Fases fenológicas**

Presenta cinco fases fenológicas desde la siembra hasta la cosecha de semillas sin embargo para la comercialización, se cosecha en la tercera fase cuando la inflorescencia o pella esta inmadura

- Fase juvenil: esta etapa tiene una duración de 4 – 8 semanas, iniciando desde la germinación y se caracteriza solo por la formación de hojas, el tiempo también depende de las variedades. (Aguilar *et al.*, 2023)
- Fase de inducción floral: está compuesta por inflorescencias inmaduras fasciadas e hipertrofiadas, las cuales comienzan en etapas tempranas de desarrollo de inflorescencia antes de la elongación de los tallos y de las flores. La inducción floral está relacionada con la temperatura, cuando esta fase culmina también se detiene la formación de hojas por lo cual existe

una relación entre el número de hojas y la producción de cogollos (Greer *et al.*, 2023)

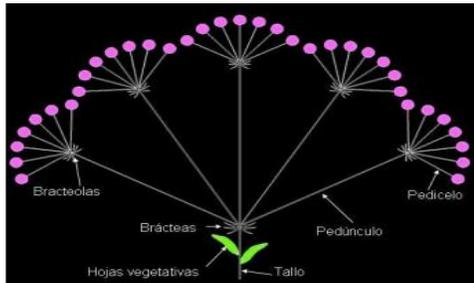


Figura 1 fase de inducción floral

- Fase de formación de la cabeza En esta fase la planta deja de formar nuevas hojas y las que ya se habían formado poseen una tasa de crecimiento menor. Las hojas más jóvenes envuelven o cubren progresivamente a la cabeza que está en formación. (Wien y Stützel, 2020)
- Fase de floración La estructura está completa, es más corta y engrosada, si no se cosecha en esta etapa la coliflor, pierde su firmeza tornándose de un color amarillento, el alargamiento se produce principalmente en las ramificaciones periféricas y posteriormente se diferencian internamente los sépalos, estambres, carpelos y finalmente las flores se abren al exterior (Greer *et al.*, 2023)
- Fase de polinización: Su polinización es cruzada y entomófila los estigmas están maduros antes de la abertura de la flor, mientras que el estambre no suelta el polen hasta que se ha producido la floración (Aguilar *et al.*, 2023)

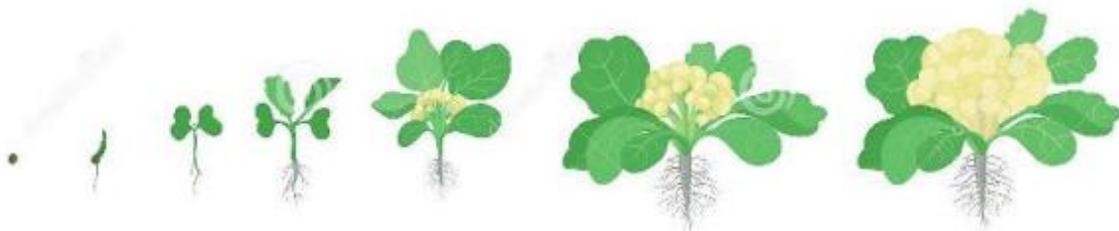


Figura 2. Etapas fisiológicas de la coliflor.

## **2.6 Clima**

La coliflor es sensible a los cambios bruscos de temperatura por lo cual (Zamora, 2016) menciona que, las temperaturas mensuales deben ser de 15 a 20 °C, soportan heladas, pero no a extremos congelantes. No tolera altas temperaturas y como consecuencia a cambios drásticos de temperatura se obtiene una pobre calidad para la producción de inflorescencia (cabezas) tornándose amarillas y flojas.

## **2.7 Humedad**

La coliflor es exigente en la cantidad de agua, debido a que su ciclo de cultivo es más largo, se suelen aplicar de 8-14 riegos con una frecuencia semanal. Los riegos van a ir dependiendo de las condiciones climáticas. En suelos pesados se recomienda dar 5 riegos por ciclo y en suelos ligeros se recomiendan 10 riegos por ciclo. En sistema de riego por goteo se suelen emplear bancos distanciados entre 1-1.4 m. (InfoAgro, 2022).

Los requerimientos hídricos de la coliflor varían entre 380 y 500 mm con un intervalo de riego de 5 a 10 días. El sistema radical alcanza una profundidad de 0,5 m y su influencia sobre la solución de suelo promedio es de 40 a 60 mm (Khan *et al.*, 2018).

## **2.8 Luminosidad**

El cultivo de coliflor requiere un promedio de 4-8 horas sol. Una luminosidad deficiente durante la formación de la pella influye desfavorablemente en su calidad. Por lo contrario, un exceso de luz produce una coloración crema (Cevallos, 2013)

## **2.9 Condiciones edáficas**

Requiere suelos con buena fertilidad y con gran aporte de nitrógeno y de agua. En tierras de mala calidad o en condiciones desfavorables no alcanzan un crecimiento óptimo. La coliflor es un cultivo que tiene preferencia por suelos porosos, no encharcados, pero que al mismo tiempo tengan capacidad de retener la humedad

del suelo. El pH óptimo está alrededor de 6.5-7; en suelos más alcalinos desarrolla estados carenciales (InfoAgro,2022)

## **2.10 Salinidad**

La coliflor es moderadamente sensible a las sales en el suelo. Cuando tenemos un 10% el potencial se ve reducido a 2.5 dS/m y hasta un 50% a 7 dS/m. La coliflor establecida en suelos arenosos tolera hasta 3.2 dS/m mientras que en suelos arcillosos tolera solo 1.1 dS/m. (Zamora, 2016)

La coliflor es un cultivo medianamente sensible a la salinidad del agua de riego. Por ello la aplicación de abono que no incremente la salinidad del agua de riego y del suelo (InfoAgro,2022)

## **2.11 Azufre en el cultivo**

Este elemento es absorbido en cantidades importantes como anión  $SO_4$  por el sistema radicular, tiene una importante participación en la síntesis de aminoácidos como son: cistina, cisteína, y metionina, además de la formación de proteínas (Ramírez *et al.*, 2020; Trujillo, 2023)

La absorción de azufre por medio de las raíces es un proceso en el cual la planta requiere energía, por ello es importante tener buenas condiciones de luminosidad (Acosta, 2015).

El azufre es un elemento poco móvil y forma parte que constituye de los aminoácidos y vitaminas. La función del azufre es activar el crecimiento, además también completa la acción del nitrógeno e interviene en la formación de la clorofila, contribuye a un mejor desarrollo del sistema radicular y de las bacterias noduladoras que asimilan el N atmosférico, La deficiencia de este elemento provoca amarillamiento principalmente en las nervaduras de las hojas jóvenes incluso puede llegar a provocar manchas oscuras en algunos frutos (Ceballos, 2013).

El azufre es parte de muchos aminoácidos y de proteína. Puede incrementar el uso de N y P Especial para la formación de clorofila, la planta adquiere el azufre en forma de sulfato (Huayanay, 2020).

Las raíces lo metabolizan solamente hasta niveles necesarios y el restante se moviliza por la xilema, sin ningún cambio molecular en las zonas aéreas. (Partida et al., 2022)

Las cantidades de azufre tomadas por la planta son del 75% de las de fosforo, los efectos favorables que se presentan en la coliflor es que mejora la calidad, olor y uniformidad, hace más fácil el manejo del cultivo, aumenta la resistencia a plagas, e incluso al frío (Acosta, 2015).

La concentración en las plantas va de 0.1-0.5 % de azufre, es tomado principalmente como  $\text{SO}_4^{2-}$  y reducido a  $-\text{S}-\text{S}$  Y  $-\text{SH}$ . es absorbido por difusión y flujo de masa (Tasistri, 2015)

## **2.12 Glucosinolatos**

Los glucosinolatos son compuestos naturales que se encuentran principalmente en las crucíferas, su estructura básica está formada por una glucosa, un grupo sulfato y un grupo R o derivado de aminoácidos. (Pérez, 2014). Los glucosinolatos son compuestos nitrogenados y azufrados, formados por un residuo de  $\beta$ -D-glucopiranos unido a un ester de (Z)  $-\text{N}^*$ -hidroximinosulfato por puentes de azufre y un radical derivado de un aminoácido (Peralta, 2022)

Antiguamente llamados heterosidos de azufrados, son formados de heterosidicos anionicos los cuales son responsables de los olores fuertes, irritantes y de los sabores picantes. La estructura básica de un glucosinolato contiene azúcar, un grupo sulfato y una parte no glucidica variable. (Ringuelet y Viña, 2013)

Pérez (2014) afirma que ``existen plantas del tipo crucíferas o también denominadas del género Brassicaceae, las cuales contienen unos metabolitos secundarios denominados glucosinolatos. Estos compuestos varían en cuanto a su contenido según la especie de planta, su cultivo o condiciones climáticas de la zona y se definen como heterosídicos aniónicos siendo los responsables de

conferir el olor fuerte a este tipo de plantas (Bruneton et al., 2001). En el momento en que la planta sufre un daño mecánico, los glucosinolatos mediante la acción de una enzima denominada mirosinasa son capaces de descomponerse en productos bioactivos, como los isotiocianatos.

Los glucosinolatos también son conocidos como tlogucosidos o S- glucosido, los cuales son compuestos naturales que se encuentran en gran cantidad en las crucíferas desempeñando un rol muy importante como fuente de azufre para la planta como sistema de defensa contra diversas agresiones externas. (Pérez, 2014)

Se han reportado alrededor de 120 tipos de glucosinolatos los cuales pertenecen a la familia de brassica, sin embargo, se clasifican en tres de acuerdo a su función del tipo de aminoácido del cual derivan.

- Alifáticos: son aquellos que son derivados de la metionina, isoleucina, leucina o valina.
- Indolicos: Son derivados del triptófano que provienen de la coliflor.
- Aromatico: Derivados de la mostaza negra. (Pérez, 2014; Redovniković et al., 2008; Bruneton et al., 2001; Sánchez y García Figueroa, 2022).

Los glucosinolatos son clasificado en tres: alifáticos, indol, aromáticos. La clasificación depende de los aminoácidos que deriven de la cadena lateral R, de acuerdo a esto, la cadena alifática está dada por alanina, leucina, isoleucina, metionina, valina; la cadena aromática está dada por fenilalanina y tirosina; por último, el triptófano es el único constituyente de la cadena indol; la estructura de la cadena R define las características fisicoquímicas y la importancia biológica de cada uno de los productos de degradación de los glucosinolatos (Prieto et al., 2019).

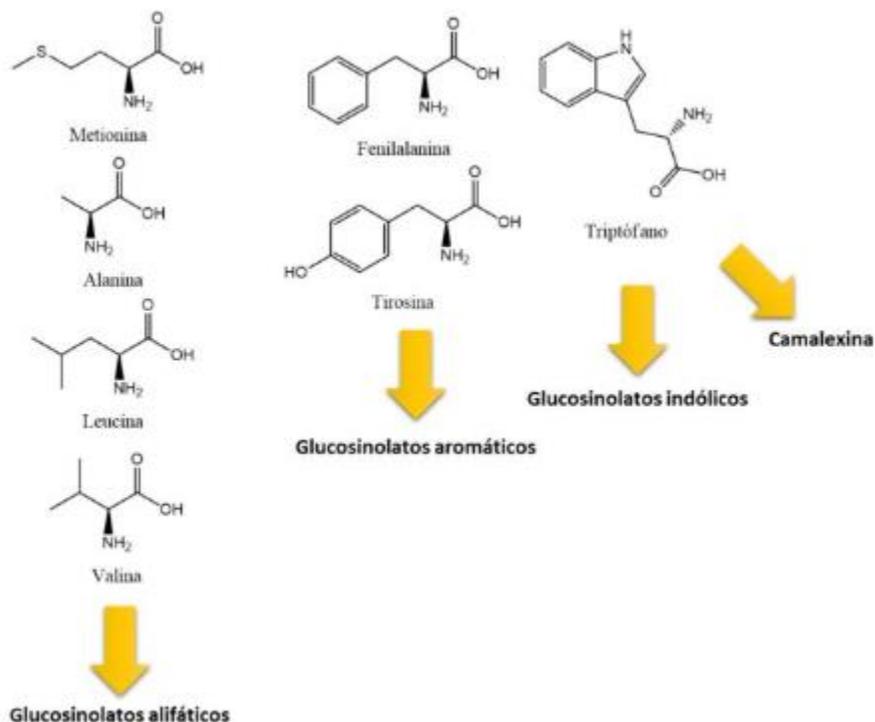


Figura 3. Clasificación de los glucosinolatos de acuerdo a su cadena lateral R (Arbona 2020)

Los glucosinolatos tienen estructuras diferentes, sin embargo, todas comparten en un enlace de azufre a un azúcar (tioglucosido) y un enlace nitrógeno a sulfato (aldoxima sulfatada), los dos unidos por un carbono central. (Arbona, 2020)

De acuerdo con (Ringuelet & Viña, 2013). "Los glucosinolatos se forman mediante la descarboxilación de aminoácidos en aldoximas incorporando a continuación un átomo de azufre para unirse al azúcar (UDP-glucosa) y, seguidamente, una sulfatación".

La función que cumplen los compuestos azufrados en las plantas está vinculada con los mecanismos de defensa como repelentes, toxidas vegetales, protección contra parásito. (Ringuelet & Viña, 2013)

La mirosinasa es la enzima responsable de hidrolizar a los glucosinolatos, sin embargo, en la coliflor el sistema glucosinolato-mirosinasa no existe inicialmente debido a que ambos compuestos están compartimentalizados, de manera que sus

formaciones son después de una ruptura celular como resultado de un daño por corte o prensa. (Ovando, 2024)

Existen factores que influyen en la concentración de glucocinolatos: como la temperatura, disponibilidad de nutrientes, contenido de agua. Además, se ha demostrado que la etapa de desarrollo y el tejido vegetal específico influyen la concentración de glucosinolatos. Es decir, se ha encontrado que los brotes de coliflor de 3 días contienen más glucorafanina (es un glucosinolato presente en las crucíferas que al ser hidrolizado por la enzima minorrisa produce sulforano) por gramo entre 10 y 100 veces más altos a comparación a los frutos maduros. La congelación da un mejor resultado en la retención de glucosinolatos que la refrigeración (Emma *et al.*, 2021).

### 3.0 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación del Área Experimental

El estudio se realizó en el periodo de enero-agosto 2024, en el laboratorio de Fisiología y campo abierto del departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Localizado en la región sureste del estado de Coahuila. A una altitud de 1,600 m.s.n.m, una latitud de 25° 25` y una longitud de 101°00`.

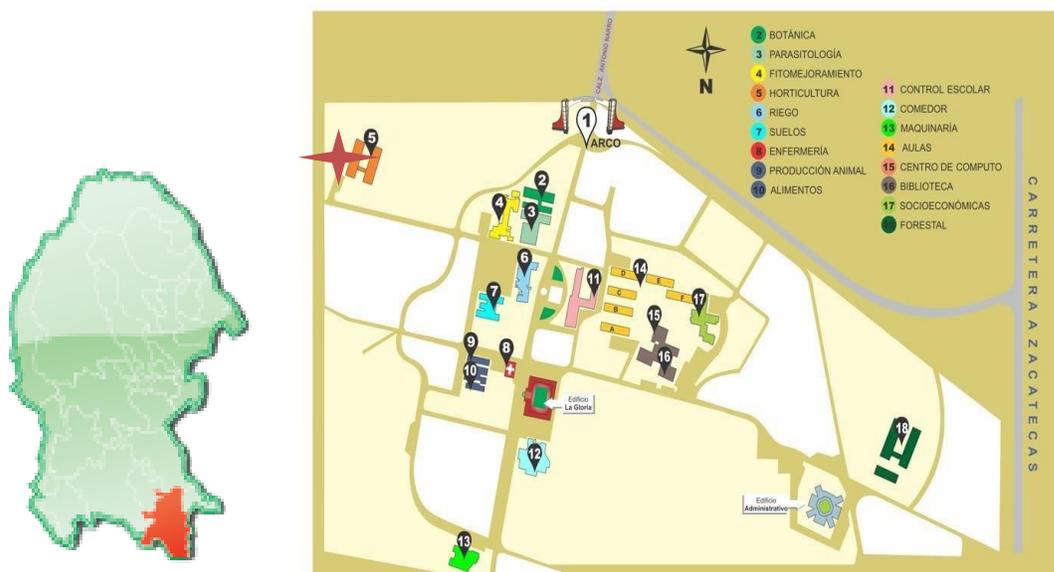


Figura 4. Ubicación del área experimental.

#### 3.2 Producción de plántula y Trasplante

Se utilizaron semillas de coliflor del híbrido David®, (Syngenta, 2023). Se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades y se utilizó como sustrato Peatmoss al 100%. El trasplante se realizó 30 días después de la siembra. Se plantó a doble hilera con una separación de 30 cm entre planta e hileras. En surcos con acolchado plástico color gris-negro a una separación de 1.4 m y 40 m de largo.

### **3.3 Tratamientos**

Se evaluaron 4 dosis de azufre, tomando como base el contenido de  $\text{SO}_4$  en el agua de riego, que fue de  $1.5 \text{ Meq.L}^{-1}$ .

1.  $1.5 \text{ Meq L}^{-1}$
2.  $3.0 \text{ Meq L}^{-1}$
3.  $6.0 \text{ Meq L}^{-1}$
4.  $9.0 \text{ Meq L}^{-1}$

Cada dosis se evaluó en 6 repeticiones en un diseño de bloque completos al azar. Cada repetición constó de 43 plantas, plantadas a doble hilera con una separación entre plantas e hileras de 30 cm.

### **3.4 Aplicación de azufre**

La aplicación del azufre fue con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 98% y se realizó cada tercer día. Tomando como base la solución nutritiva Hoagland, donde el requerimiento de azufre es de  $3.0 \text{ meq. L}^{-1}$  (ACEA, 2023). Cada tratamiento se aplicó mediante el sistema de riego.

### **3.5 Variables Evaluadas**

Se evaluó: Altura de la planta, Número de hojas, Diámetro de tallo, área foliar intermedia y final, Peso foliar intermedia y final, peso de las hojas cosechadas, peso y longitud (ecuatorial y polar) del fruto y contenido mineral (S, Mg y Fe) de hojas.

La toma de datos de cada una de las variables, se realizó una vez por semana durante 6 semanas. Las plantas fueron elegidas al azar en cada bloque. Para la conductividad estomática se realizaron 3 tomas (semana 1, semana 4 y semana 6).

A continuación, se describe el procedimiento y la metodología utilizada en cada una de las variables:

\*Altura de la planta: Se determinó la altura de la planta con un flexómetro.

- \* Numero de hojas: Cada semana se contabilizaban todas las hojas de la planta. Se tomaban en cuenta todas las hojas, viejas y jóvenes.
- \* Diámetro del tallo: Se utilizó un Calibrador Vernier pie de rey digital -, 0-150 mm de metal Tda.
- \* Conductividad estomática: se utilizó el porómetro Decagon SC-1, con 3 repeticiones por hoja.
- \* Área foliar intermedia y Área foliar final: Se seleccionaron 3 hojas al azar de diferente planta de cada tratamiento, posteriormente se determinó el área foliar con la aplicación Petiole LTD 5.0.
- \* Peso foliar fresco y peso foliar seco: se eligieron por tratamiento seis hojas una de cada repetición, posteriormente las hojas se pesaron en fresco en una báscula, posteriormente se introdujeron en un horno de secado por 42 horas y se pesaron nuevamente con una báscula gramera.
- \* Porcentaje de hoja y tallo reincorporado al suelo: Al terminar la cosecha los residuos (hojas y tallos) fueron recolectados y pesados con una báscula gramera.
- \* Longitud polar y ecuatorial de fruto: se seleccionaron al azar 10 inflorescencias de cada repetición y con un flexómetro se tomó la longitud.
- \* Peso del fruto: se seleccionaron 10 inflorescencias al azar y cada fruto se pesó en una báscula gramera.
- \* Contenido mineral de S, Mg, Fe y Ca en hojas: Se contabilizó mediante un análisis químico en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) Unidad Saltillo.

### **3.6 Elaboración de extractos Botánicos**

Los extractos botánicos se obtuvieron a partir de las hojas y tallos de coliflor. Los esquilmos se secaron al sol y posteriormente se molieron y tamizaron a una granulometría de 1.0 mm. La molienda se almacenó en bolsas de papel. Los extractos hidroalcoholicos, se obtuvieron por el método de extracción por maceración con agitación, donde se tomó una muestra de cada tratamiento con un

peso de 1.250 g. Las muestras se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL, y a cada uno se le añadió 62.5 mL de etanol al 50% (extractos etanólicos) y metanol 50% (extractos metanólicos); En este método a los componentes se les aplicó agitación manual permaneció en reposo durante 72 h en un recipiente de material inerte (vidrio) debidamente cerrado.

Una vez elaborados los extractos, éstos se protegieron de la luz y se almacenaron en refrigeración en frascos de vidrio.

### **3.7 Caracterización de los extractos**

Los extractos se caracterizaron con las variables de proteínas totales y Fenoles totales, su procedimiento se muestra a continuación.

#### **Proteínas totales**

La cuantificación de proteínas se determinó mediante el método Bradford (Bradford, 1976), donde fueron tomados 50  $\mu$ L del EE o estándar y se agregó 1.5 mL del reactivo Bradford. Después de 5 minutos, se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific Modelo G10S, Waltham, MA, EE. UU.). Se realizó una curva de calibración con albúmina de suero bovino estándar (0.005- 0.5 mg mL<sup>-1</sup>). Los resultados se expresaron como mg L<sup>-1</sup> de proteínas totales en peso fresco

#### **Fenoles totales**

Se determinó de acuerdo con la metodología de Yu & Dahlgren (2000). Se pesaron 200 mg de tejido liofilizado y se agregó 1 mL de agua: acetona (1:1), se mezclaron con un pulso de vórtex por 30 segundos, posterior a eso se sónico durante 5 minutos. Se centrifugaron a 12,500 rpm por 10 min a 4°C. Se extrajo el sobrenadante (en caso de ser necesario se realizó una dilución en una proporción 1:2 con solución agua: acetona). Posteriormente, se tomó 50  $\mu$ L del extracto y se añadió 200  $\mu$ L de reactivo FolinCiocalteu, enseguida 500  $\mu$ L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20%, se adiciona 5 mL de agua destilada y se mezclaron con un pulso en el vortex, finalmente se sometieron a baño maría durante 30 min a 45°C. Fueron leídas a una absorbancia de 750 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific

Modelo G10S, Waltham, MA, EE. UU.). Fue utilizada una curva de calibración con ácido gálico (0.02-0.4 mg mL<sup>-1</sup>) y los resultados expresados en mg EQ de ácido gálico por L.

### **3.8 Análisis de datos**

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA  $P \geq 0.5$ ) y Para detectar la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizaron

Pruebas de comparación de medias Tukey ( $< 0.05$ ). Todos los análisis se trabajaron en el software estadístico Statistica 8.0.

## 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

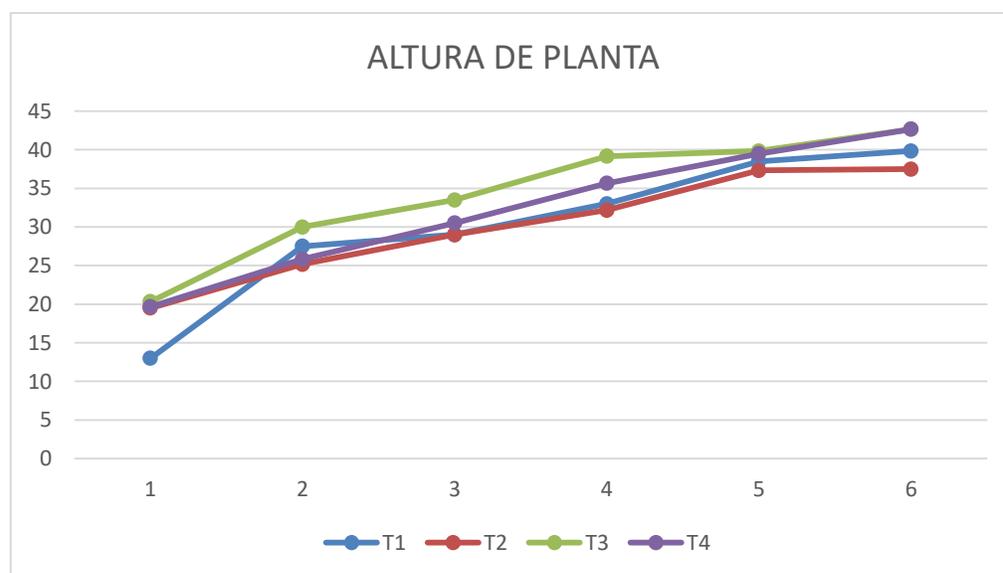
### 4.1 Altura de la planta

La aplicación de azufre en las plantas de coliflor tuvo un efecto variable. Se observó que al inicio la dosis más baja ( $1.5 \text{ Meq L}^{-1}$ ) el crecimiento fue menor y fue aumentando en las dosis más altas al transcurrir el tiempo. En general se observó una tendencia a aumentar la altura de la planta a las dosis más altas.

**Tabla 2.** Efecto de diferentes dosis de azufre en la altura de la planta

TRATAMIENTO	DOSIS	SEMANA 1 (cm)	SEMANA 2 (cm)	SEMANA 3 (cm)	SEMANA 4 (cm)	SEMANA 5 (cm)	SEMANA 6 (cm)
1	$1.5 \text{ Meq L}^{-1}$	13 b	27.5 a	29 b	33 b	38.5 b	39.63 ab
2	<b><math>3.0 \text{ Meq L}^{-1}</math></b>	19.5 a	25.16 a	29 b	32.16 b	38.33b	37.5 b
3	$6.0 \text{ Meq L}^{-1}$	20.33 a	30 a	33.5 a	39.14 a	39.83 a	42.66 a
4	$9.0 \text{ Meq L}^{-1}$	19.66 a	25.83 a	30.5 b	35.66 a	39.5 a	42.69 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas ( $<0.05$ ). Testigo dosis  $3.0 \text{ Meq L}^{-1}$ .



**Figura 5.** Grafica del efecto de distintas dosis de azufre en la altura de la planta

Se puede determinar que el tratamiento en el cual la planta de coliflor tiene mayor altura es a la dosis de 6.0 Meq de azufre. Este tratamiento obtuvo un buen desarrollo desde la primera semana de medición y su crecimiento fue constante.

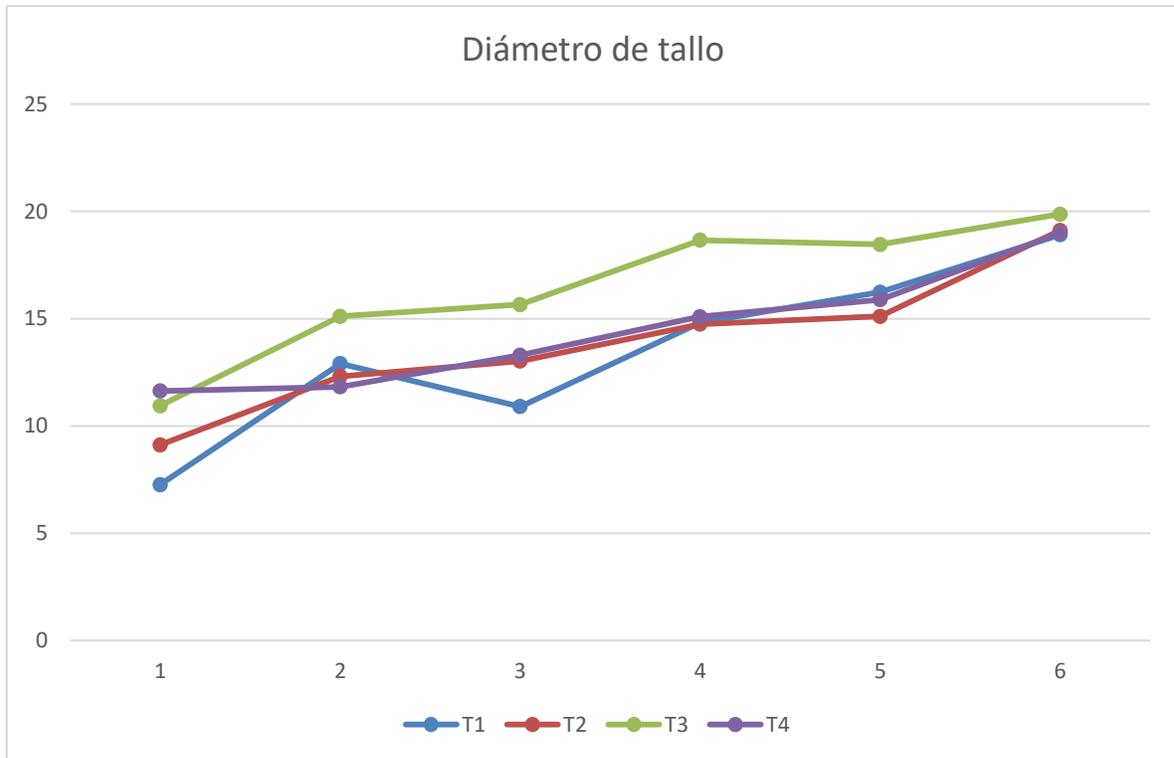
### 4.3 Diámetro de tallo

El crecimiento del tallo, evaluado como diámetro de tallo tuvo un comportamiento similar a la variable de altura de la planta.

**Tabla 3** Efecto de distintas dosis de azufre en el diámetro de tallo

TRATAMIENTO	DOSIS	SEMANA 1 (mm)	SEMANA 2 (mm)	SEMANA 3 (mm)	SEMANA 4 (mm)	SEMANA 5 (mm)	SEMANA 6 (mm)
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	7.26 b	12.91 a	10.90 b	14.81 b	16.23 a	18.91 a
2	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	9.11 ab	12.31 a	13.02 a	14.74 b	15.11 a	19.10 a
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	10.93 a	15.10 a	15.65 a	18.66 a	18.46 a	19.86 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	11.63 a	11.82 a	13.30 a	15.09 ab	15.88 a	19 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



**Figura 6.** Grafica de efecto de diferentes dosis de azufre en el diámetro de tallo.

La altura de la planta y el diámetro de tallo, son los indicadores más comúnmente utilizados para estimar el crecimiento de las plantas. En ambas variables se observó un efecto similar y la dosis de  $6.0 \text{ Meq.L}^{-1}$  tuvo los mayores valores, lo cual sugiere que esta dosis corresponde al requerimiento de azufre para este cultivo. Además, considerando que el azufre promueve un uso óptimo de nitrógeno por la planta, debido a su efecto sinérgico y al rol del nitrógeno en el crecimiento (Dev y Saggarr, 1974; Lasso *et al.*, 2011). Así mismo, azufre (S), es parte de aminoácidos y por lo tanto de proteína. Puede incrementar la eficiencia del uso de N y P. ( De la Rosa 2020).

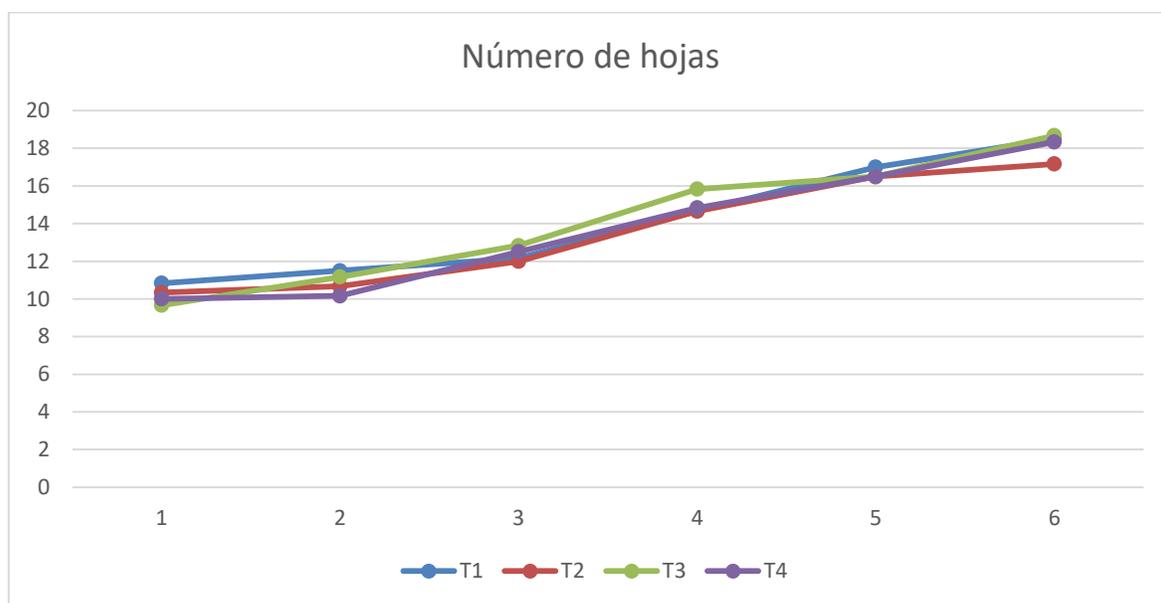
## 4.2 Numero de hojas

En el número de hojas a lo largo de cultivo no mostró diferencias estadísticas los tratamientos.

**Tabla 4.** Efecto de diferentes dosis de azufre en el número de hojas

TRATAMIENTO	DOSIS	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	10.83 a	11.5 a	12.16 a	14.66 a	17 a	18.5 a
2	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	10.33 a	10.66 a	12 a	14.68 a	16.5 b	17.16 a
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	9.66 a	11.16 a	12.83 a	15.83 a	16.47 b	18.66 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	10 a	10.19 a	12.5 a	14.83 a	16.54 b	18.33 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



**Figura 7.** Gráfica del efecto de distintas dosis de azufre en número de hojas

Debido a que el número de hojas está más relacionado a la genética que a la nutrición del cultivo.

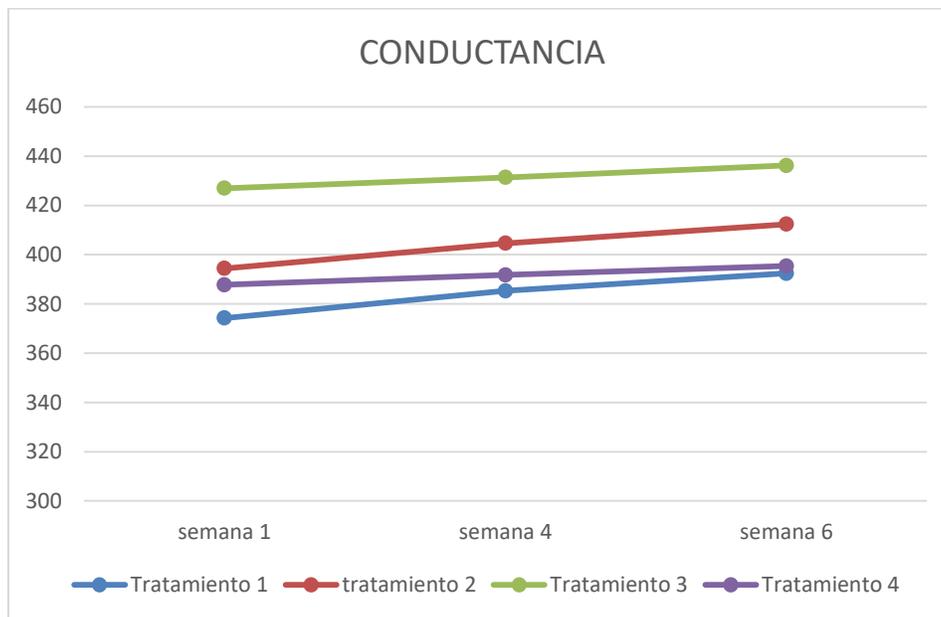
#### 4.4 Conductancia estomática

En la conductancia estomática, estadísticamente no se encontraron diferencias entre los tratamientos. En la primera semana la dosis de 6.0 Meq.L<sup>-1</sup>, tuvo una conductividad estomática de 374.25 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, sin embargo, a la semana 6 la conductividad estomática incremento un 4.85% con una conductividad de 392.41 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

**Tabla 5.** Efecto de diferentes dosis de azufre en la conductancia estomática

TRATAMIENTOS	DOSIS	SEMANA 1 (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	SEMANA 4 (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	SEMANA 6 (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	374.25 a	385.31 a	392.41 a
2	3.0 Meq L <sup>-1</sup>	394.38 a	404.58 a	412.36 a
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	426.95 a	431.33 a	436.18 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	387.73 a	391.78 a	395.40 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



**Figura 8.** Grafica de efecto de diferentes dosis de azufre en la conductancia estomática

Los tratamientos uno y dos, presentaron un mayor porcentaje de incremento en la conductancia estomática, es decir, desarrollaron una mayor apertura estomática durante todo el proceso de producción lo que significa la planta tiene un mayor flujo de vapor de agua (Dell'amico Rodríguez *et al.*, 2017). Es influyente pues el azufre es fundamental para la producción de clorofila y compuestos proteicos que benefician a la fotosíntesis, lo que implica tener una regulación estomática óptima lo cual favorece a el intercambio de CO<sub>2</sub> y agua (Sandoval Ortiz, 2022). Además, el azufre es precedente de glutatión el cual es un antioxidante que protege a las células de la planta ante el estrés oxidativo en diferentes condiciones climática como sequias, los antioxidantes ayudan a mantener en equilibrio la función estomática evitando que los estomas se cierren completamente, asegurando así una conductividad eléctrica estable (Patishtán Pérez *et al.*, 2010). Además, al tener un contenido de azufre óptimo se mejora la síntesis de proteínas y compuestos como los glucosinolatos; Por el contrario, un exceso produciría efectos contradictorios alterando el funcionamiento de los estomas y el intercambio de gases, y la deficiencia de azufre limitaría la síntesis de clorofila y proteínas reduciendo la capacidad fotosintética y por ende provocaría una menor demanda de CO<sub>2</sub> y una menor apertura estomática y baja conductividad estomática.

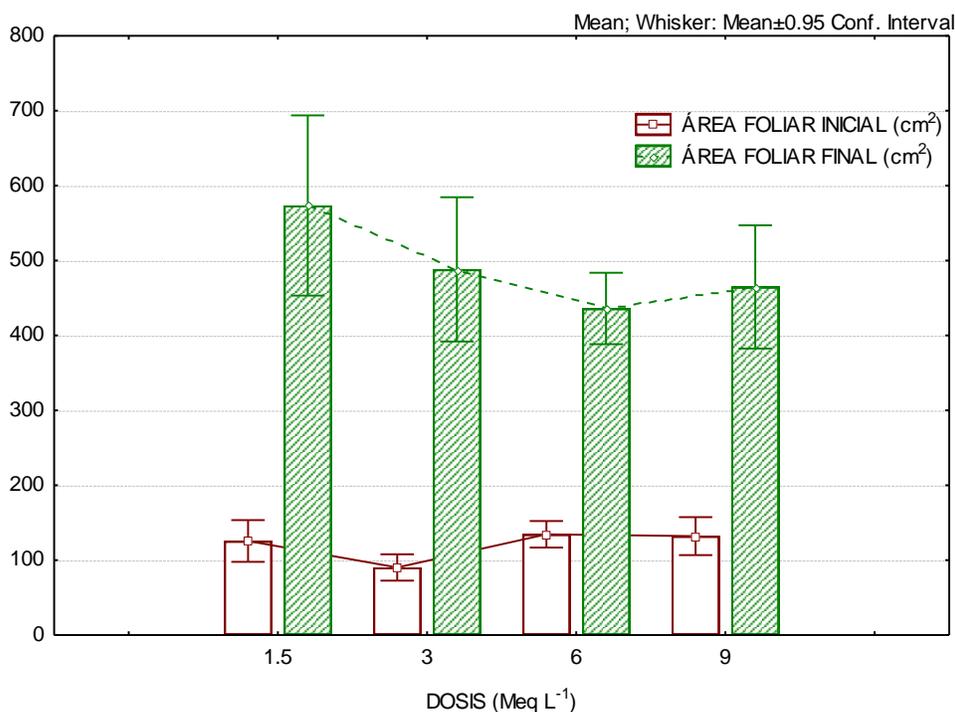
#### **4.5 Área foliar**

En el área foliar intermedia, no se encontraron diferencia estadística en el crecimiento de las hojas, sin embargo existe la tendencia de un mayor crecimiento en las dosis más altas (6.0 y 9.0 Meq L<sup>-1</sup>). Por otro lado, en el área foliar final nuevamente los datos son estadísticamente iguales, no obstante, a diferencia del área foliar intermedia, la tendencia apunta a una reducción del área foliar conforme aumenta la dosis de azufre, siendo las dosis de 1.5 y 3.0 Meq L<sup>-1</sup> los tratamientos que mayor área foliar desarrollan.

**Tabla 6.** Efecto de distintas dosis de azufre en el área foliar intermedia y

TRATAMIENTO	DOSIS	ÁREA FOLIAR INTERMEDIA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA FOLIAR FINAL (cm <sup>2</sup> )
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	125.61a	573.5 a
2	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	90.28 a	488.27 a
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	134.55 a	440.67 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	132.06 a	464.77 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



**Figura 9.** Efecto de cuatro dosis de azufre en el área foliar intermedia y final.

La biofortificación aplicada influye en los procesos clave para la expansión de hojas el cual, es la producción de fitohormonas como son las auxinas que es fundamental para la división celular y una elongación celular uniforme. La aplicación de azufre de manera moderada beneficio a una expansión celular, en el área foliar final (Wingeyer *et al.*, 2005).

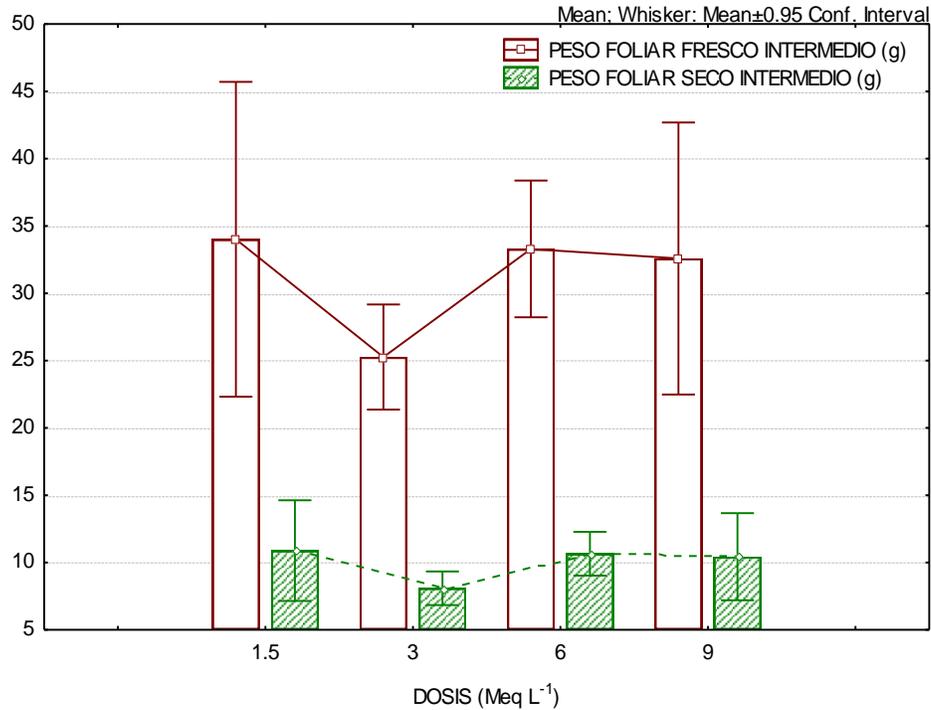
#### 4.6 Peso Foliar Fresco y Seco Fase Intermedia

En el peso foliar fresco, se puede observar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, donde el peso promedio de las hojas es de 31.15 g. Por otro lado, para la variable de peso foliar seco, se utilizaron las mismas hojas en el peso fresco en consecuencia, los resultados son similares, es decir los tratamientos fueron estadísticamente iguales, teniendo una media de 10.01 g de peso seco.

**Tabla 7.** Efecto de cuatro dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco de las hojas de coliflor.

TRATAMIENTO	DOSIS	PESO FRESCO FOLIAR INTERMEDIO (g)	PESO SECO FOLIAR INTERMEDIO (g)
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	34.00 a	10.88 a
<b>2</b>	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	25.26 a	8.08 a
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	32.79 a	10.65 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	32.58 a	10.42 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



**Figura 10.** Gráfica del efecto de 4 diferentes dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco intermedio en hojas de coliflor.

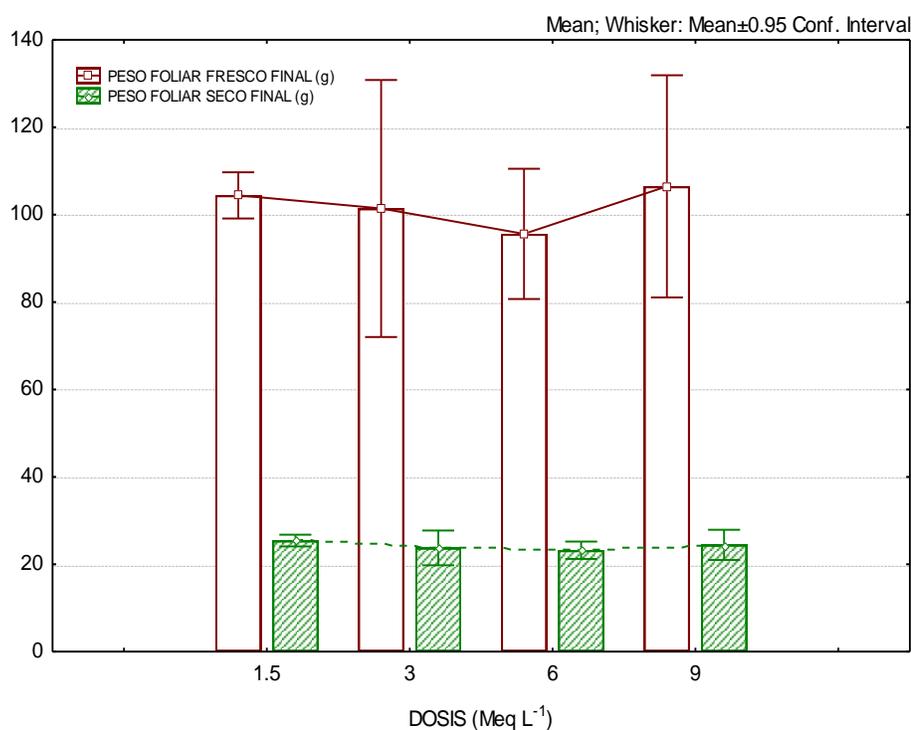
#### 4.7 Peso Foliar Fresco y Seco final

El peso foliar fresco en los tratamientos fue similar ya que no son diferentes estadísticamente, el peso promedio de las hojas frescas fue de 102.50 g. Por otro lado, en peso foliar seco se utilizaron nuevamente las mismas hojas evaluadas en el peso fresco, como resultado se obtuvo que los tratamientos fueron estadísticamente iguales, teniendo una media de 24.18 g de peso seco, lo equivalente al 23% de la biomasa fresca.

**Tabla 8.** Efecto de 4 dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco final de las hojas de coliflor.

TRATAMIENTO	DOSIS	ÁREA FOLIAR INTERMEDIA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA FOLIAR FINAL (cm <sup>2</sup> )
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	105.33 a	25.40 a
2	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	101.84 a	23.73 a
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	95.42 a	23.19 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	107.43 a	24.42 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



**Figura 11.** Gráfica del efecto de cuatro dosis de azufre en el peso foliar fresco y seco de hojas de coliflor

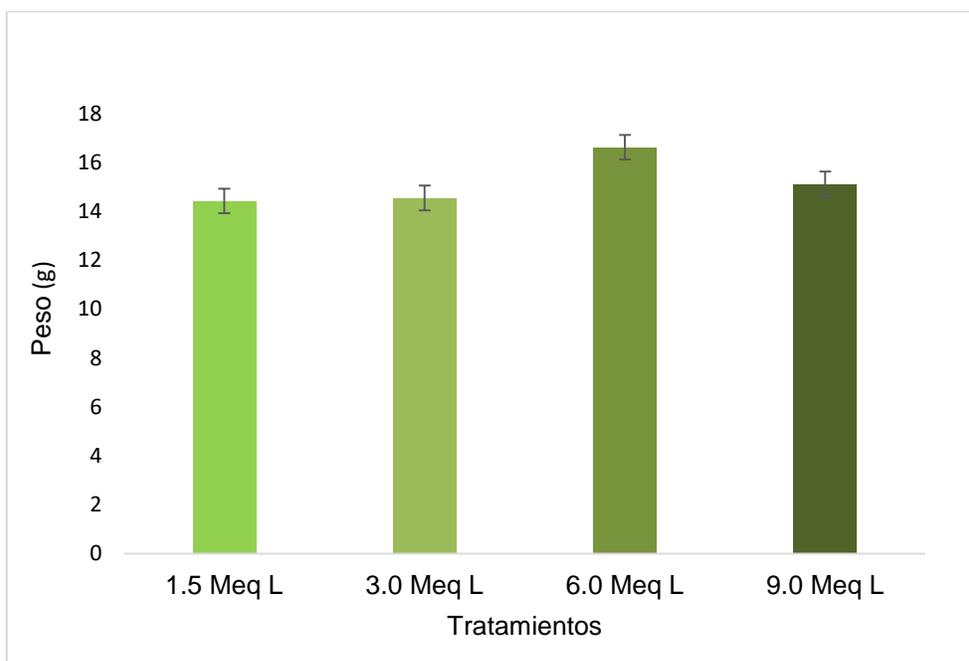
#### 4.9 Peso de la inflorescencia

En el peso de la inflorescencia, se puede observar la dosis de 6.0 Meq L<sup>-1</sup> produjo el mayor peso promedio con 532.52 g. (Figura 13).

**Tabla 9.** Efecto de cuatro dosis de azufre en el peso del fruto.

TRATAMIENTO	DOSIS	PESO PROMEDIO FRUTO (g)
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	441.98 b
2	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	399.85 b
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	532.58 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	460.52 b

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.



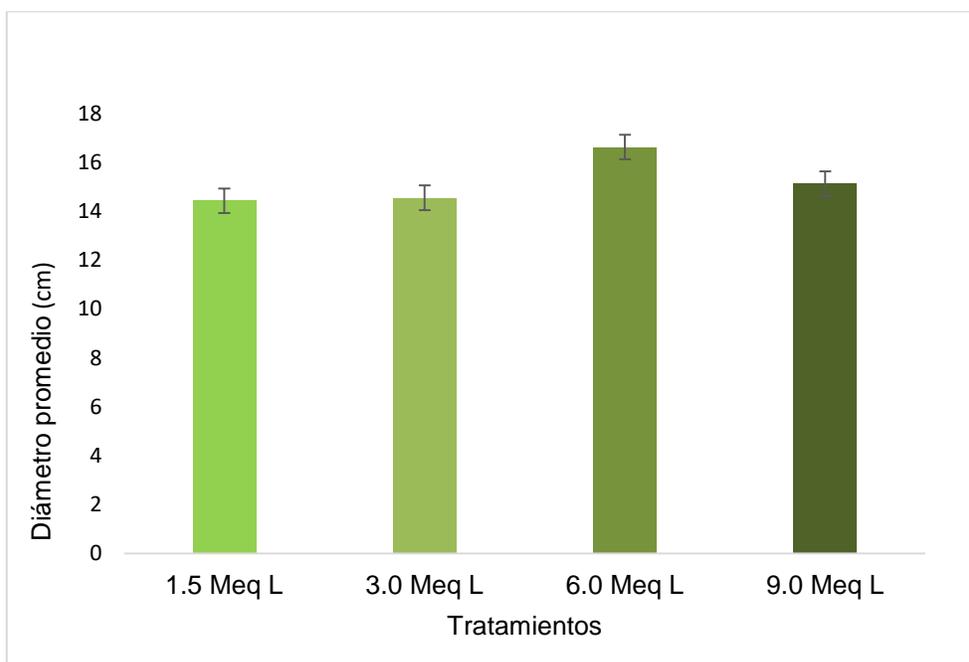
**Figura 17.** Gráfica del efecto de cuatro dosis de azufre en el peso del fruto.

#### 4.10 Diámetro de la Inflorescencia

Los resultados del diámetro de la inflorescencia son similares a los reportados en el peso promedio, donde la dosis de 6.0 Meq L<sup>-1</sup> produjo el mayor tamaño con 16.62 cm. (Tabla 14)

TRATAMIENTO	DOSIS	DÍAMETRO PROMEDIO FRUTO (g)
1	1.5 Meq L <sup>-1</sup>	14.43 b
2	<b>3.0 Meq L<sup>-1</sup></b>	14.55 b
3	6.0 Meq L <sup>-1</sup>	16.63 a
4	9.0 Meq L <sup>-1</sup>	15.13 b

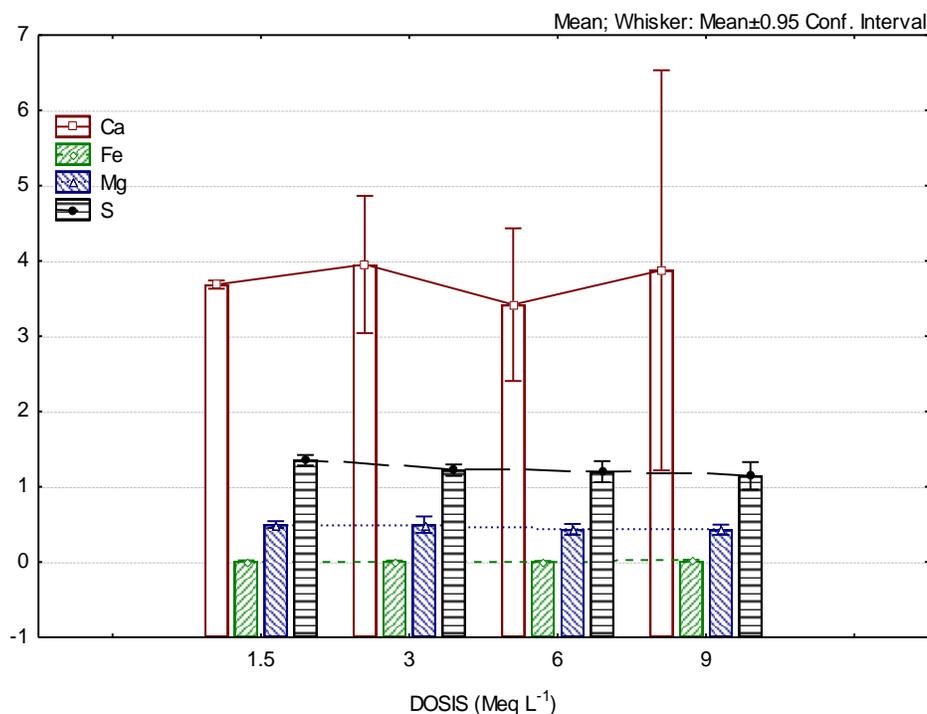
**Tabla 10.** Efecto de cuatro dosis de azufre en el diámetro promedio de fruto.



**Figura 18.** Grafica del efecto de cuatro dosis de azufre en el diámetro promedio del fruto.

#### **4.11 Contenido de Minerales hojas de coliflor**

La aplicación de azufre en forma de  $H_2SO_4$ , no afecto el contenido de  $Ca^{++}$ ,  $Fe^+$ ,  $Mg^{++}$  y  $S^+$  en las hojas de coliflor.



#### 4.12 Caracterización de Extractos Botánicos

Los extractos botánicos se caracterizaron con las variables de Proteínas totales (Bradford, 1976) y Fenoles totales (Yu & Dahlgren, 2000).

El contenido promedio de proteínas fue de 137.46 mg L<sup>-1</sup>, la dosis de azufre que promovió mayor síntesis de proteína fue 3.0 Meq L<sup>-1</sup>, tanto para extractos etanólicos y metanólicos. Se esperaba que a dosis más altas se encontraran más proteínas, debido a que el azufre es precursor de la síntesis de los aminoácidos cisteínas y metionina (Bakdi *et al.*, 2023; Correa-Salgado *et al.*, 2024).

En la caracterización de fenoles totales, se encontró una media de 238.52 mg L<sup>-1</sup> y existe diferencia entre el tipo de extracto, donde los extractos etanólicos mostraron un alto contenido de fenólicos en las dosis de 3.0, 6.0 y 9.0 Meq L<sup>-1</sup>. El encontrar altos niveles de fenoles en los extractos es deseable, debido a su alta capacidad bactericida, fungicida y viricida (Abud-Blanco *et al.*, 2015).

**Tabla 15.** Caracterización de extractos botánicos

Tipo de extracto	Planta	Dosis (Meq L)	Proteínas totales (mg L <sup>-1</sup> )	Fenoles totales (mg L <sup>-1</sup> )
Metanólico	Coliflor	1.5	134.71 ± 1.89 c	232.95 ± 10.78 a
		3	<b>143.64 ± 1.91 a</b>	239.7 ± 9.88 a
		6	136.5 ± 1.61 c	249.45 ± 4.34 a
		9	134.98 ± 2.93 c	244.95 ± 5.37 a
Etanólico	Coliflor	1.5	134.71 ± 1.26 c	248.7 ± 5.44 b
		3	<b>143.64 ± 1.11 a</b>	<b>298.7 ± 8.34 a</b>
		6	139.55 ± 2.68 b	<b>337.3 ± 4.2 a</b>
		9	131.98 ± 2.93 c	<b>337.91 ± 5.73 a</b>

Letras diferentes representan diferencias estadísticas (<0.05). Testigo dosis 3.0 Meq L<sup>-1</sup>.

## 5. CONCLUSIONES

La aplicación de azufre en el suelo como  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en el riego, afectó el crecimiento, productividad y calidad del cultivo de la coliflor. La dosis más adecuada fue de 6.0 Meq.L<sup>-1</sup>. Con efectos positivos en la altura de la planta, diámetro de tallo, ancho de hoja, conductancia estomática, peso fresco, peso y diámetro de la inflorescencia. Respecto a la síntesis de proteínas y fenoles la mejor dosis fue de 3.0 Meq.L<sup>-1</sup>.

Las dosis de 1.5, 3.0, 6.0 y 9.0 meq. L<sup>-1</sup> de azufre, no afectan el contenido de minerales en las hojas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Acosta Reynosa, A. J. (2015). Determinación de azufre disponible en forma de sulfato en muestras de suelos por espectrofometría de UV-VIS utilizando monofosfato de calcio como extractante (Doctoral dissertation).
- Aguilar, R., García-Rojas, J., Álvarez, A. (2019). PERTINENCIA DE LA GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON EL DESECHO DE LA COSECHA DE COLIFLOR EN MIXQUIAHUALA, HGO. 10.13140/RG.2.2.15732.50562.
- Aplicación de azufre en los suelos sería esencial para la nutrición vegetal y humana | PanoramaWeb UdeC. (s. f.). <https://www.udec.cl/panoramaweb2016/content/aplicaci%C3%B3n-de-azufre-en-los-suelos-ser%C3%ADa-esencial-para-la-nutrici%C3%B3n-vegetal-y-humana>
- Arbona, V. (2020, mayo 27). Defensa a la mostaza. Naukas. <https://naukas.com/2020/05/27/defensa-a-la-mostaza/>
- Ayala Saldaña, O. (2014). Respuesta fisiológica de semillas de coliflor (*Brassica oleracea* L.) aplicando cepas de *Azospirillum* sp. en laboratorio e invernadero.
- Bernal *et al.*, (2006). Evaluación de la incorporación de residuo de coliflor combinado con solarización para el control de la Verticilosis de la alcachofa en la Comunidad Valenciana. (s. f.-b). <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/179-mayo-2006/>
- Cevallos Guatemal, G. A. (2013). Influencia de dos medios de cultivo en la productividad de tres cultivares de coliflor (*Brassica oleracea*, L) de colores (Sunset, verde Trevi y Graffiti), bajo condiciones orgánicas de cultivo a 2450 msnm El Quinche-Pichincha 2013 (Bachelor's thesis).
- De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (s. f.). Coliflor, una deliciosa hortaliza de temporada. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/coliflor-una-deliciosa-hortaliza-de-temporada>

- Dell'amico Rodríguez, J. M., & Morales Guevara, D. M. (2017). Comportamiento De La Conductancia Estomática De Dos Variedades De Tomate Cubanas En Condiciones De Campo Y Riego Limitado. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 137-144.
- Di Benedetto, A. CAPÍTULO 7 HORTALIZAS DONDE EL PRODUCTO COMERCIAL SON LAS HOJAS. *ECOFISIOLOGÍA DE ESPECIES HORTÍCOLAS*, 214.
- Emma et al.,2021 Glucosinolatos de vegetales crucíferos y su posible papel en las enfermedades crónicas: investigación de la evidencia preclínica y clínica
- Gabriel Trujillo, S. F., & Lucas Loyola, J. J. (2023). Efecto del azufre y zinc foliar en el rendimiento y el contenido de vitamina C en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en condiciones de Yanahuanca-Pasco.
- Guamán, L. (2013). INTRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SEIS HÍBRIDOS DE COLIFLOR (*Brassica oleracea*), CON FINES DE RENTABILIDAD, CANTÓN PILLARO PROVINCIA DEL TUNGURAHUA. *Ingeniero en administracion y produccion agropecuaria*.
- Haro Bailón, A. D., Jurado Millán, A. M., Pérez-Melgares, J. D., Saavedra, M., Bejarano-Alcázar, J., & Obregón, S. (2013). Variabilidad cualitativa y cuantitativa del contenido en glucosinolatos en especies de Crucíferas de interés para la biofumigación del olivar.
- Hernández Álvarez, J. L. (2014). Acolchado de suelos con películas bicolor en el cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.).
- Huayanay De la Rosa, T. L. (2020). Efecto de aplicación del fertilizante microessentials SZ en el desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var *Botrytis*) bajo condiciones del distrito de Yanahuanca provincia de Daniel Alcides Carrión–Pasco.
- Huayanay De la Rosa, T. L. (2020). Efecto de aplicación del fertilizante microessentials SZ en el desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de

coliflor (*Brassica oleracea* var *Botrytis*) bajo condiciones del distrito de Yanahuanca provincia de Daniel Alcides Carrión–Pasco.

- InfoAgro, P. (2022, 24 noviembre). Producción de coliflor en México - Revista InfoAgro México. Revista InfoAgro México. <https://mexico.infoagro.com/produccion-de-coliflor-en-mexico/>
- Khan, N., Ullah, Z., Ahmad, J., Khan, A., Nawaz, F. y Khan, R. (2018). Effect of deficit irrigation and nitrogen levels on growth and yield of cauliflower under drip irrigation. *Pure and Applied Biology*, 7(2), 910-921. doi: 10.19045/bspab.2018.700112
- Lasso, A., Álvarez, M., & Ruiz, H. (2011). Fertilización con azufre y magnesio en cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* VAR. *Itálica*) sobre suelos Vitric Haplustand y Typic Dystrandep del altiplano de pasto.
- Los beneficios del azufre en los cultivos | manvert. (s. f.). Manvert | Bioestimulantes y Nutrientes Avanzados Para Tus Cultivos. <https://manvert.com/medios/beneficios-azufre-cultivos>
- Madrid, D. A. A. (2018). Producción de glucosinolatos en mostaza blanca (*Sinapis alba* L) con factores modificadores de metabolismo en invernadero.
- Ovando, J. Y. G. (2024). Caracterización química y enzimática del enverdecimiento de coliflor congelada.
- Pacheco, F. A. (2023, 9 marzo). Hilfe Agrotechnical |. Hilfe Agrotechnical. <https://hilfeagrotechnical.com/>
- Partida, L., Díaz, T., Cortegaza, L., Zazueta, N. D., & Flores, L. L. C. (2022). Compilación sobre nutrimentos, sustancias donde se les encuentra y síntomas que ocasionan cuando su concentración disminuye en las plantas. *UCE Ciencia. Revista de postgrado*, 10(3).
- Patishtán Pérez, Juan, Rodríguez García, Raúl, Zavala García, Francisco, & Jasso Cantú, Diana. (2010). Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(4), 305-314. Recuperado en 10 de diciembre de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802010000400008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400008&lng=es&tlng=es).

- Peralta Tabarez, Y. X. Efecto de subproductos de brócoli sobre la calidad del melón pos cosecha.
- Pérez, A. R. (2014). BIOSINTESIS DE LOS GLUCOSINOLATOS E IMPORTANCIA NUTRICIONAL HUMANA Y FUNCIONES DE PROTECCIÓN A LAS PLANTAS. *Alimentos hoy*, 22(31), 64-80.
- Prieto, M. A., López, C. J., & Simal-Gandara, J. (2019). Glucosinolates: Molecular structure, breakdown, genetic, bioavailability, properties and healthy and adverse effects. *Advances in food and Nutrition Research*, 90, 305-350.
- Ringuelet, J. A., & Viña, S. Z. (2013). *Productos naturales vegetales*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- SIAP 2015, Recuperado de: [http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochureleche\\_Abr-Jun2015.pdf](http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochureleche_Abr-Jun2015.pdf)
- Silva Buñay, D. F. (2011). *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)* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Sinaluisa Sinaluisa, L. M. (2012). *Evaluación de la eficacia de ocho mezclas de Fertilizantes Inorgánicos en el rendimiento y rentabilidad del cultivo de Brócoli (Brassica oleracea var. itálica) en la comunidad Gatazo Zambrano provincia Chimborazo* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Tasistro, A. (2015) *Aspectos Básicos del Manejo de Azufre, Calcio, y Magnesio*.
- Vivas, H., Vera, N., Albrecht, R., Martins, L., Quaino, O., & Hotián, J. (2011). *Fósforo y Azufre aplicados en una secuencia cada dos cultivos*.
- Wien, H.C. y Stützel, H. (Eds.). (2020). *The Physiology of Vegetable Crops*. Boston, USA, CABI
- Wingeyer, A., Echeverría, H., & Sainz Rozas, H. (2005). *Aplicación foliar de nitrógeno y azufre en el cultivo de soja (Glycine Max (L.) Merr.) en el sudeste bonaerense*. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(2), 33-47.

- Zamora, E. (2016). El cultivo de la coliflor. Serie guías-producción de hortalizas DAG/HORT-013. Universidad de Sonora. Mexico. Enlace.

## 7. ANEXO









