

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto en el Crecimiento, Desarrollo y Producción de Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), Mediante la Aplicación de un Regulador de Crecimiento Trihormonal

Por:

**JOSUE ORTIZ LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto en el Crecimiento, Desarrollo y Producción de Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), Mediante la Aplicación de un Regulador de Crecimiento Trihormonal.

Por:

**JOSUE ORTIZ LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Laura Raquel Luna García  
Asesor Principal



M.C. Martín Alejandro Tucuch Pérez  
Asesor Principal Externo



Dra. Nadia Landero Valenzuela  
Coasesor



Dr. Valentín Robledo Torres  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Ramírez  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Octubre, 2025

## Declaración 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, graficas, 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 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.

  
\_\_\_\_\_  
Josue Ortiz López

Nombre y firma

## **DEDICATORIAS**

### **A dios**

Por haberme permitido llegar a concluir esta etapa y con salud. Gracias por ser mi guía constante y acompañarme con su gracia en cada paso del camino, por enseñarme que todo lo puedo en él y llenar de propósito este logro.

### **A mis padres**

José Ortiz Domínguez y Angela López Aparicio, este logro también es de ustedes, pues con su apoyo incondicional me han mostrado a no rendirme y luchar a pesar de las dificultades. Gracias por creer en mí y apoyarme en cada paso de este camino, enseñándome con ejemplos que la constancia, el esfuerzo y la fe siempre rinden resultados, los amo mucho.

### **A mis Hermanos**

Isaías, Ing. Raquel, han sido un pilar importante en este proceso y en mi vida, su acompañamiento ha sido fundamental. Gracias por estar siempre, por ser mis guías y abrir camino antes que yo, demostrándome que todo esfuerzo tiene una recompensa, sus palabras de aliento fueron esenciales para poder alcanzar este logro.

José y Ángel, mis hermanos menores, todo esto también es para ustedes, que mis pasos les sirva de guía e inspiración para alcanzar sus propios sueños.

### **A mis amigos**

A mis amigos de la carrera y compañeros de la universidad que estuvieron presentes en cada etapa de este camino, gracias por su amistad, sus palabras de motivación y sobre todo por los momentos vividos con cada uno de ellos.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

Por darme salud para poder llegar hasta aquí y cumplir una de mis metas, gracias por ser mi fuente de sabiduría y guía durante este proyecto.

### **A mi alma mater**

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de crecer académica y personalmente para formarme como profesionista, dándome las herramientas necesarias para mi futuro. Fue mi segunda casa, mi segunda familia, la experiencia en sus aulas, con sus enseñanzas y desafíos, ha sido esencial para mi crecimiento.

### **A la Dra. Laura Raquel Luna García**

Agradezco su apoyo infinito, por haber sido una guía a lo largo de este proyecto. Su conocimiento, paciencia y disposición para orientarme fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

### **A mis profesores y al departamento de Horticultura.**

Les expreso mi más sincero agradecimiento. Cada clase en las aulas, consejos y enseñanza han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. Gracias por compartir sus conocimientos y dejar una huella en mi desarrollo académico. Dra. Laura Raquel Gracia Luna, Dr. Víctor, Ing. Galindo, Dra. Nadia, Dra. Fabiola, Dr. Leobardo Bañuelos...

### **A mis amigos y compañeros**

Mario Rubio, Christian Michaca, Erik Carrasco, Ismael García, Carlos Velazco, Luis Ávila, Jaime García, Madai Mendiola, Ana Hernández, Enrique Ríos, David Ortiz, Citlali Reyes y Edgar López; agradezco el apoyo de cada uno de ustedes y por acompañarme en este proceso de mi vida universitaria, me llevo cada una lección de vida de cada uno de ustedes.

## **A mi familia**

Por ser el pilar fundamental en mi vida, por cada sacrificio, palabra de ánimo y por enseñarme a nunca rendirme, sin ustedes este logro no habría sido posible.

## INDICE GENERAL

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| DEDICATORIAS .....                                          | iv  |
| AGRADECIMIENTOS .....                                       | v   |
| INDICE GENERAL .....                                        | vii |
| ÍNDICE DE CUADROS .....                                     | ix  |
| RESUMEN .....                                               | 11  |
| I INTRODUCCION .....                                        | 12  |
| 1.1 Objetivo .....                                          | 13  |
| 1.2 Hipótesis .....                                         | 13  |
| II REVISIÓN DE LITERATURA.....                              | 14  |
| 2.1 Origen e Historia del Cultivo en Cuestión.....          | 14  |
| 2.2 Importancia del Cultivo.....                            | 14  |
| 2.3 Producción Mundial.....                                 | 15  |
| 2.4 Producción Nacional .....                               | 15  |
| 2.5 Características Botánicas del Cultivo (Morfología)..... | 16  |
| 2.5.1 Sistema Radical.....                                  | 16  |
| 2.5.2 Tallo.....                                            | 16  |
| 2.5.3 Hoja .....                                            | 16  |
| 2.5.4 Flor .....                                            | 17  |
| 2.5.5 Inflorescencias.....                                  | 17  |
| 2.5.6 Semilla.....                                          | 17  |
| 2.6 Ciclo de Producción (Etapas Fenológicas).....           | 17  |
| 2.6.1 Etapa Semillero (V0).....                             | 18  |
| 2.6.2 Etapa Juvenil (V1) .....                              | 18  |
| 2.6.3 Etapa de Emergencia Floral (v2) .....                 | 18  |
| 2.6.4 Etapa de Formación de la Cabeza (v3) .....            | 18  |
| 2.7 Clasificación Taxonómica del Cultivo .....              | 19  |
| 2.8 Principales Variedades en México .....                  | 19  |
| 2.8.1 Avenger .....                                         | 19  |
| 2.8.2 Zafiro .....                                          | 20  |

|        |                                                             |    |
|--------|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.8.3  | Imperial.....                                               | 20 |
| 2.8.4  | Tlaloc .....                                                | 20 |
| 2.9    | Requerimientos Edafoclimáticos .....                        | 21 |
| 2.9.1  | Suelo .....                                                 | 21 |
| 2.9.2  | Climáticos (Temperatura y Humedad Relativa) .....           | 21 |
| 2.9.3  | Riego .....                                                 | 21 |
| 2.9.4  | Nutrición .....                                             | 22 |
| 2.10   | Plagas del Cultivo .....                                    | 22 |
| 2.10.1 | Palomilla del Dorso de Diamante (Plutella Xylostella) ..... | 22 |
| 2.10.2 | Gusano Falso Medidor (Trichoplusia ni).....                 | 23 |
| 2.10.3 | Pulgón de la Col (Brevicoryne Brassicae) .....              | 23 |
| 2.10.4 | Mosca Blanca (Bemisia Tabaci) .....                         | 24 |
| 2.11   | Enfermedades del Cultivo .....                              | 24 |
| 2.11.1 | Mildiu Velloso (Peronospora Parasítica).....                | 24 |
| 2.11.2 | Mancha Negra (Alternaria spp) .....                         | 24 |
| 2.12   | Cosecha y Postcosecha.....                                  | 25 |
| 2.13   | Bioestimulantes Vegetales.....                              | 25 |
| 2.14   | Reguladores de Crecimiento.....                             | 26 |
| 2.14.1 | Citoquininas.....                                           | 26 |
| 2.14.2 | Giberelinas .....                                           | 28 |
| 2.14.3 | Auxinas.....                                                | 29 |
| 2.15   | Stimulate .....                                             | 30 |
| III    | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                  | 31 |
| 3.1    | Ubicación del Experimento.....                              | 31 |
| 3.2    | Material Vegetal y Siembra .....                            | 31 |
| 3.3    | Bioestimulantes Comerciales y Momento de Aplicación. ....   | 31 |
| 3.4    | Manejo Agronómico del Cultivo.....                          | 32 |
| 3.5    | Diseño Experimental .....                                   | 34 |
| 3.6    | Variables Agronómicas Evaluadas.....                        | 34 |
| 3.6.1  | Diámetro de Pella (DDP) .....                               | 34 |
| 3.6.2  | Diámetro de Tallo (DDT).....                                | 35 |
| 3.6.3  | Peso Fresco de Pella (PFP) .....                            | 35 |

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 3.6.4 | Peso Seco de Pella (PSP).....    | 35 |
| 3.6.5 | Número de Hojas (NDH).....       | 35 |
| 3.6.6 | Número de Floretes (NDF) .....   | 35 |
| 3.6.7 | Clorofila (CLO).....             | 35 |
| 3.6.8 | Rendimiento (RTO).....           | 36 |
| 3.7   | Análisis Estadístico .....       | 36 |
| IV    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....      | 37 |
| 4.1   | Diámetro de Pella (DDP).....     | 37 |
| 4.2   | Diámetro de Tallo (DDT) .....    | 39 |
| 4.3   | Peso Fresco de Pella (PFP) ..... | 41 |
| 4.4   | Peso Seco de Pella (PSP) .....   | 43 |
| 4.5   | Número de Hojas (NDH) .....      | 46 |
| 4.6   | Número de Floretes (NDF) .....   | 48 |
| 4.7   | Clorofila (CLO) .....            | 49 |
| 4.8   | Rendimiento (RTO) .....          | 51 |
| V     | CONCLUSIONES .....               | 54 |
| VI    | LITERATURA CITADA.....           | 55 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                  |                                                                                                       |    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1.</b> | Tratamientos aplicados vía foliar en el cultivo de Brócoli.....                                       | 32 |
| <b>Cuadro 2.</b> | Requerimientos de macroelementos en el cultivo de Brócoli (meq L <sup>-1</sup> )                      | 33 |
| <b>Cuadro 3.</b> | Requerimientos de microelementos para el cultivo de Brócoli (ppm) ..                                  | 33 |
| <b>Cuadro 4.</b> | Aplicaciones de insecticidas para el control de plagas en el cultivo de brócoli a campo abierto ..... | 33 |
| <b>Cuadro 5.</b> | Aplicaciones de control y prevención de enfermedades por hongos ...                                   | 34 |
| <b>Cuadro 6.</b> | Análisis de la varianza para la variable diámetro de pella en el cultivo de brócoli.....              | 37 |
| <b>Cuadro 7.</b> | Análisis de la varianza para la variable diámetro de tallo en el cultivo de brócoli.....              | 39 |
| <b>Cuadro 8.</b> | Análisis de la Varianza para la variable peso fresco de pella en el cultivo de brócoli.....           | 41 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 9.</b> Análisis de la Varianza para la variable peso seco de pella en el cultivo de brócoli.....  | 44 |
| <b>Cuadro 10.</b> Análisis de la Varianza para la variable número de hojas en el cultivo de brócoli.....    | 46 |
| <b>Cuadro 11.</b> Análisis de la Varianza para la variable número de floretes en el cultivo de brócoli..... | 48 |
| <b>Cuadro 12.</b> Análisis de la Varianza para la variable clorofila en el cultivo de brócoli.....          | 50 |
| <b>Cuadro 13.</b> Análisis de la Varianza para la variable rendimiento en el cultivo de brócoli.....        | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Comportamiento del diámetro de pella (DDP) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.....    | 38 |
| Figura 2. Comportamiento del diámetro de tallo (DDT) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.....    | 40 |
| Figura 3. Comportamiento del peso fresco de pella (PFP) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal..... | 42 |
| Figura 4. Comportamiento del peso seco de pella (PSP) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento.....               | 44 |
| Figura 5. Comportamiento del número de hojas (NDH) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.....      | 47 |
| Figura 6. Comportamiento del número de floretes (NDF) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.....   | 49 |
| Figura 7. Comportamiento de la clorofila (CLO) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal. ....         | 50 |
| Figura 8. Comportamiento del rendimiento (RTO) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.....          | 52 |

## RESUMEN

La producción de brócoli ha cobrado gran relevancia en los últimos años debido a su alto valor nutricional, particularmente por su aporte de vitamina C y sulforafano, compuesto bioactivo con efectos protectores frente al estrés oxidativo, gastritis, úlceras y cáncer gástrico. En México, este cultivo representa una fuente importante de ingresos para los agricultores, destacando su expansión en el estado de Guanajuato. No obstante, los rendimientos comerciales aún se mantienen por debajo del potencial experimental de la especie, lo que plantea la necesidad de estrategias que mejoren su productividad y calidad. En este contexto, los reguladores de crecimiento constituyen una alternativa viable. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta del cultivo de brócoli a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal (auxinas, giberelinas y citoquininas) en dos dosis (250 y 500 ml ha<sup>-1</sup>) y dos frecuencias de aplicación (una y dos veces por semana), bajo condiciones de campo abierto en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila. El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron variables de diámetro de pella, diámetro de tallo (DDT), peso fresco y seco (PSP) de la inflorescencia, número de hojas, número de floretes, contenido de clorofila y rendimiento. Los resultados indicaron que la aplicación de 500 ml ha<sup>-1</sup> dos veces por semana mostró efectos favorables en las variables DDT y PSP, al mejorar el soporte estructural y el transporte de nutrientes, lo que se reflejó en una mayor calidad del producto en cosecha y poscosecha. Aunque no se registraron diferencias estadísticas en rendimiento respecto al testigo, se alcanzó una ganancia práctica de 1.96 t ha<sup>-1</sup>, con impacto económico positivo. En conclusión, la aplicación del regulador de crecimiento Stimulate™ a una dosis de 500 ml ha<sup>-1</sup> dos veces por semana favoreció el crecimiento, rendimiento y calidad del brócoli bajo condiciones de campo abierto.

**Palabras clave:** *Bioestimulantes, reguladores de crecimiento, fitohormonas, auxinas, giberelinas, citoquininas.*

## I INTRODUCCION

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), perteneciente a la familia Brassicaceae, su origen proviene del Mediterráneo Oriental, donde el clima templado favorece su crecimiento y desarrollo. Su consumo se expandió en el siglo XVI a través del comercio con otros pueblos, llegando a Europa y posteriormente extendiéndose a diversos países durante el siglo XX (Acosta *et al.*, 2018). En Estados Unidos fue introducido en la época colonial por los inmigrantes italianos, al principio este no fue muy aceptado por su fuerte sabor, más sin embargo hoy en día se considera una de las hortalizas muy recomendadas por sus destacadas propiedades nutraceuticas (Castellanos, 2015).

El brócoli se distingue por su alto valor nutricional, al ser fuente primordial de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. Con su aporte de vitamina C fortalece el sistema inmunológico, estimula la producción de glóbulos blancos y actúa como antioxidante al proteger las células contra el daño oxidativo, lo que contribuye a la prevención de diversas enfermedades (Blanco *et al.*, 2020). Así mismo, contiene sulforafano, un compuesto bioactivo que ha demostrado efectos protectores frente a gastritis, úlceras gástricas y cáncer de estómago, al reducir el estrés oxidativo, considerado uno de los principales factores asociados a este tipo de cáncer (Hernández *et al.*, 2024).

En México, la producción de brócoli alcanzó 663 mil toneladas en el año 2023, con un rendimiento promedio de 17.8 t ha<sup>-1</sup>, lo que representó un incremento del 4.9% respecto al año 2022. (SIAP, 2023). Su producción ha cobrado gran valor económica y social, especialmente en el estado de Guanajuato, donde constituye un medio de subsistencia para muchos agricultores. Sin embargo, los rendimientos comerciales aún no alcanzan el potencial reportado en condiciones experimentales, donde se han obtenido valores de 19.59 t ha<sup>-1</sup> con densidades de 40,000 plantas ha<sup>-1</sup> (Infantes Fuentes, 2018), 36.73 t ha<sup>-1</sup> con 50,000 plantas ha<sup>-1</sup> (Wiverg Williams, 2015) y hasta 42.16 t ha<sup>-1</sup> con 82,500 plantas ha<sup>-1</sup> (Puenayan *et al.*, 2012).

Una alternativa para incrementar su productividad es el uso de reguladores de crecimiento vegetal, que favorecen procesos fisiológicos como la germinación, desarrollo radicular, floración, maduración de semillas, optimización de la fotosíntesis, además de mejorar el transporte de f y otros procesos importantes en las plantas (Wu *et al.*, 2017; Yi-Ping *et al.*, 2015). Sin embargo, su eficacia está relacionado a factores como la especie, la dosis y la frecuencia de aplicación (Khan y Mazid, 2018).

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del regulador de crecimiento trihormonal a base de citoquininas, auxinas y ácido giberélico STIMULATE™ de la empresa STOLLER MÉXICO aplicado exógenamente en diferentes dosis e intervalos de aplicación, sobre el crecimiento, desarrollo de la inflorescencia, rendimiento y calidad del cultivo de brócoli bajo condiciones de campo abierto.

### **1.1 Objetivo**

Evaluar el impacto en el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), de dos dosis y dos intervalos de aplicación de un fitorregulador comercial trihormonal en comparación con un testigo absoluto

### **1.2 Hipótesis**

Al menos una dosis de bioestimulante mejorará las variables de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de brócoli en comparación del testigo.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen e Historia del Cultivo en Cuestión

El cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) es de la familia brassicacea, el cual tuvo su comienzo en el Mediterráneo Oriental, en donde el clima templado favoreció el crecimiento y su desarrollo. Esta hortaliza empezó a venderse a otros pueblos en el siglo XVI, llegando a Europa en el siglo XX y así poder ser sembrado en otros países (Acosta *et al.*, 2018).

Este cultivo fue conocido y sembrado antes que la coliflor, la col y col de Bruselas, su nombre es de origen italiano y deriva del latín *brachium* que quiere decir brazo o rama, en el año 1806 los italianos llevaron el brócoli a los Estados Unidos de América y años más tarde en 1920 este se volvió tradicional, recordando como merito a los pioneros Andrea y Estefano D'arrigo (Bernal, 2011).

### 2.2 Importancia del Cultivo

Las plantas comestibles de la familia Brassicaceae son abundantes en compuestos bioactivos que al consumirse proporcionan beneficios para la salud (Montaner, *et al.*, 2023), lo que favorece la creciente demanda en los mercados. En el caso del brócoli (*Brassica oleracea* var. *itálica*) resalta su actividad antioxidante ( $87,07 \pm 0,81\%$ ), contenido fenólico ( $13,21 \pm 0,53$  mg equivalente de ac. gálico  $\text{g}^{-1}$  peso seco), flavonoides ( $14,50 \pm 1,29$  mg equivalentes de catequina  $\text{g}^{-1}$  peso seco), glucosinolatos ( $43,70 \pm 1,09$  mg  $\text{g}^{-1}$  peso seco) y vitamina C ( $7,21 \pm 0,13$  mg de ác. ascórbico  $\text{g}^{-1}$  peso seco) (Soengas, *et al.*, 2021; Vivanco-Estrada, *et al.*, 2017).

Hoy en día, las inflorescencias del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) como producto fresco, congelado o deshidratado su consumo es muy frecuente mundialmente, pues provoca beneficios a la salud por la presencia de compuestos

fenólicos y glucosinolatos, que tienen actividad antioxidante (Gratacós-Cubarsí *et al.*, 2010; Bachiega *et al.*, 2016)

## **2.3 Producción Mundial**

China ha sido el mayor productor de brócoli a nivel mundial; con una superficie por encima de las 480 mil hectáreas representando el 34.9% de la producción mundial (SIAP 2023). Sin embargo; a pesar de esto, no se encuentra entre los principales exportadores, ya que su comercialización está más enfocado al mercado interno, tal y como lo señalan Rocha y Cisneros (2019) que las exportaciones de China, son relativamente menores en comparación a México.

Por el contrario México al ocupar el segundo mayor exportador a nivel global, ha tomado posición como uno de los principales proveedores para los mercados internacionales, como Estados Unidos, fortaleciendo su relevancia en producción, así como en el comercio exterior (FAOSTAT 2021).

En cambio, España es líder en las exportaciones, con un volumen mayor a las 400,000 t, destacándose en el comercio internacional de coliflor y brócoli (FAOSTAT, 2021).

## **2.4 Producción Nacional**

En el año 2023 la producción de brócoli en México alcanzó 663 mil toneladas obtenidas en una superficie de 37,000 ha, por lo cual el rendimiento promedio fue de 17.8 t ha<sup>-1</sup>; estos valores representan un incremento del 4.9% respecto al año 2022, la tasa media anual de crecimiento en la última década ha sido de 4.5% (SIAP, 2023). Los estados principales en que se produce son Guanajuato (61.6%) con 432,217 toneladas, de las cuales, la producción en los municipios de Dolores Hidalgo, Valle de Santiago y San Luis de la Paz representan el 31,8% del valor de la hortaliza en el estado, Puebla (9.3%), Sonora (8.4%) y Michoacán (7.3%); el restante porcentaje se divide en estados como Jalisco, Baja California, Aguascalientes, Tlaxcala, Querétaro, Zacatecas, entre otros.

En este año, México mejoró su posición en la producción mundial, al ascender y posicionarse en el 4to lugar, aportando 2.8% al volumen global. El cliente principal de este producto ha sido Estados Unidos al demandar la mayor cantidad de este producto, con un incremento del 4,4% respecto al año anterior, siendo Japón, Belice y Hong Kong otros mercados de destino (SIAP, 2023).

## **2.5 Características Botánicas del Cultivo (Morfología)**

El cultivo presenta las siguientes características morfológicas, según varios autores:

### **2.5.1 *Sistema Radical***

El cultivo se caracteriza por tener una raíz pivotante, formada por una principal y varias secundarias, estos pueden penetrar hasta 1,20 m de profundidad, al tener una extensa capacidad radicular le beneficia en absorber una alta cantidad de agua, nutrientes y un buen anclaje (Octavio, 2020).

### **2.5.2 *Tallo***

González García (2021) menciona que desarrolla un tallo principal relativamente grueso (3 a 6 cm de diámetro), de 60 a 90 cm de alto. En la etapa de floración, estos sostienen las partes de la inflorescencia (brotes florales), que salen de axilas florales y forman inflorescencias, generalmente, la central es más grande y las laterales se desarrollan después del corte de la inflorescencia principal.

### **2.5.3 *Hoja***

Son de tamaño grande, puede llegar a medir hasta 50 cm de largo y 30 cm de ancho, dependiendo de la variedad pueden tener de 15 a 30 hojas, son de un tono verde oscuro, azulados, comúnmente alternas y a distancias cortas formando entrenudos cortos lo que le da forma de roseta (González García, 2021).

#### 2.5.4 **Flor**

Según Ortiz (2019) las flores son perfectas, actinomorfas con cuatro pétalos libres de color amarillo y dispuestas en forma de cruz, a pesar de esto presentan un cierto grado de auto compatibilidad por lo que el tipo de polinización es cruzada y se realiza mediante insectos.

#### 2.5.5 **Inflorescencias**

Es el órgano de interés comercial y se denomina cabeza o pella, es una agrupación de yemas florales cerradas de un tono verde grisáceo, azulado o morado, con un diámetro de 20 a 35 cm, dependiendo de la variedad. No están recubiertas por las hojas como sí sucede en la coliflor. Para su desarrollo generalmente no requiere vernalización, es decir, no requieren de un periodo de bajas temperaturas para florecer, no obstante, existen variedades que necesitan más fríos y algunas otras resistentes a diferentes temperaturas (González García, 2021)

#### 2.5.6 **Semilla**

Las semillas son de una tonalidad pardo oscuro, con más de 2 mm de largo y pueden tener de 250-300 semillas dependiendo de la variedad (Salazar, 2020).

### 2.6 **Ciclo de Producción (Etapas Fenológicas)**

Jaramillo (2012) indica que el ciclo de producción se divide en 2 etapas y se separan por la aparición del órgano de interés; en la etapa vegetativa se tiene un aumento en el desarrollo y el incremento del área foliar y el engrosamiento de tallo (etapa de semillero y juvenil) y la reproductiva la cual se por la formación y crecimiento de la inflorescencia hasta la cosecha, las cuales se describen a continuación.

### **2.6.1 *Etapla Semillero (V0)***

Esta comienza con la germinación de las semillas en las charolas, hasta que alcancen una altura de 10-12 cm y de 3 a 4 hojas verdaderas y estén listas para poder realizar el trasplante, para ello se lleva un tiempo de 30 días (Jaramillo, 2012).

### **2.6.2 *Etapla Juvenil (V1)***

Comienza cuando se realiza el trasplante de la planta y finaliza en el momento de la aparición de la cabeza o pella, tiene una duración aproximada de 40-45 días. En este periodo la altura, diámetro del tallo, biomasa, número de hojas y área foliar tienen un crecimiento logarítmico (Jaramillo, 2012).

### **2.6.3 *Etapla de Emergencia Floral (v2)***

Esta fase se da entre los 40-45 días después del trasplante y las plantas alcanzan a tener de 18 a 20 hojas aproximadamente. En esta etapa, su crecimiento es lineal y la prioridad es el desarrollo de la inflorescencia, el número de hojas nuevas, su desarrollo, así como el crecimiento del tallo disminuyen (Jaramillo, 2012).

### **2.6.4 *Etapla de Formación de la Cabeza (v3)***

Esta fase consta de 20 a 25 días, en esta ocurre el desarrollo de la pella hasta llegar a la cosecha, sin que las flores comiencen a abrir ya que se perdería la firmeza y se consideraría de mala calidad. Al principio su desarrollo es lento, seguido después de un crecimiento cada vez mayor en diámetro y biomasa, que se extiende hasta la cosecha, la cual comienza a partir de los 60 y 65 días después del trasplante. En esta etapa se da el transporte de nutrientes hacia el órgano de interés, el diámetro del tallo se incrementa lentamente y la altura de la planta presenta un segundo pico en su crecimiento, por el aumento en el tamaño de la pella (Jaramillo, 2012).

## **2.7 Clasificación Taxonómica del Cultivo**

Acosta, *et al.*, (2018) mencionan que este cultivo pertenece a la familia de la Brassicaceae (crucíferas), su descripción taxonómica es:

Reino: Plantae

División: Fanerógama Magnoliophyta

Clase: Dicotyledonea Magnoliopsida

Orden: Brassicaceae

Género: Brassica L.

Especies Brassica oleraceae.

Subespecie: Brassica oleracea var. *itálica*

## **2.8 Principales Variedades en México**

Según ProducePay (2022), en México la producción de este cultivo se ubica principalmente en los estados de Guanajuato, Puebla, Sonora, Michoacán y Jalisco, estos en conjunto aportan el 87% del volumen nacional.

Entre las variedades que son producidos se encuentran:

### **2.8.1 Avenger**

Según el manual de hortalizas de Sakata (2023), esta variedad se distingue por tener varias características que lo posicionan, como una opción relevante en el mercado. Combina una alta calidad con productividad y un alto rendimiento, además de tener una excelente retención de color y postcosecha con una buena adaptabilidad en el mercado fresco y procesado.

Las características morfológicas son: un sistema radicular vigoroso, las cabezas son grandes, pesadas y firmes, de granos finos de una tonalidad verde azulado. Es apropiado para producirse en distintas épocas del año, desde invierno y media estación hasta verano, en altitudes superiores a 1000 msnm. El cultivo se cultiva a campo abierto con un ciclo promedio de 105 días, pero esto puede verse

influenciado por las condiciones climáticas del lugar y el manejo agronómico del mismo (Sakata 2023).

### **2.8.2 Zafiro**

Esta variedad tiene una alta tolerancia a las variaciones climáticas, manteniendo una buena calidad, estabilidad en la producción y retención de color; dando una postcosecha excepcional. Las plantas son erectas, con un sistema radicular vigoroso, las cabezas son de un tamaño grande, compactas y pesadas, de un color verde azulado. Se cultiva en invierno y media estación. Se produce en campo abierto con un ciclo promedio de 100 días aproximadamente (Sakata, 2023).

### **2.8.3 Imperial**

Esta variedad muestra una alta tolerancia al calor, ideal para producirse en primavera y verano, manteniendo una buena calidad y retención de color, lo que es muy favorable mantenerse en la postcosecha para su comercialización. Se cultiva a campo abierto con un ciclo promedio de 90 días, es de madurez intermedia, presenta una cabeza de domo alto con floretes pequeños y uniformes, la maduración es uniforme, lo que facilita mucho su cosecha (Sakata, 2023).

### **2.8.4 Tlaloc**

Variedad muy precoz con un promedio de 77 días, la forma de su cabeza le permite menor incidencia de enfermedades, por lo que es ideal para cosecharse en temporadas lluviosas, de los meses de julio a octubre en la zona de bajo por lo cual es muy apreciada por los agricultores. Tiene un alto potencial de rendimiento adaptado a la transición de temporada de calor húmedo (lluvias a frío, para producir cabezas domadas uniformes y consistentes. Es ideal para la comercialización en mercado fresco, así como de proceso (Bayer Crop Science, 2023).

## **2.9 Requerimientos Edafoclimáticos**

### **2.9.1 Suelo**

El cultivo, así como todas las plantas crucíferas, le favorecen suelos ligeramente ácidos y no alcalinos, con un pH entre 6.5 y 7, es resistente a una conductividad eléctrica de hasta 2.8 mS.cm<sup>-1</sup> sin repercusiones a la producción Laiza, P (2019). Necesita suelos de textura media, aunque se pueden utilizar suelos ligeros para las variedades tempranas, mientras que los suelos fuertes son más adecuados para las variedades tardías (Infoagro, 2022).

### **2.9.2 Climáticos (*Temperatura y Humedad Relativa*)**

El intervalo de temperatura ideal para el cultivo está comprendido de los 15 y 25 °C, siendo así la temperatura promedio de 19°C para un buen desarrollo del mismo. Este cultivo puede tolerar hasta temperaturas mínimas de 2 °C, siempre y cuando la pella no esté en formación. A temperaturas muy altas, superior a 25 °C, las plantas desarrollan tamaño pequeño, pellas deformes o normales, pero se les da una tonalidad púrpura ocasionando una baja calidad. Para un buen desarrollo y que la semilla pueda germinar las temperaturas van de 7-35 °C (Zamora, 2016).

Krarp (1992) menciona que para un buen crecimiento del cultivo se debe de tener una humedad relativa del 80% y una mínima de 60%, si esta baja a menos de 50% la producción se reduce en un 25 y 30%. Tal y como menciona Hidalgo (2006) que con una humedad relativa media se favorece el desarrollo del cultivo y la calidad del producto, siendo esta la óptima de un 80%.

### **2.9.3 Riego**

Zamora (2016) menciona que los riegos deben de ser con poca cantidad de agua, pero constantes, esto para que la humedad sea favorable, de no ser así, habría un desequilibrio de humedad en el mismo, haciendo que la maduración de la cabeza se adelante. La cantidad de agua indispensable es variada, pudiendo requerir una lámina total de agua de 50 cm aproximado durante otoño-invierno y

alcanzando el más alto requerimiento hídrico en el inicio de la formación de la cabeza y durante su desarrollo.

#### **2.9.4 Nutrición**

Angelfire (2005) menciona que al usar nitrógeno (N) como fertilizante, la respuesta se ve alrededor de los 30 días de ser aplicado, pues este es liberado lentamente. El  $P_2O_5$  es esencial para las plantas ya que participa en varios procesos como: la fotosíntesis, división celular, formación temprana de raíz y crecimiento por eso es importante realizar aplicaciones en el establecimiento y las primeras etapas, así mismo como en la calidad y cantidad de ramificaciones en el cultivo. (Vélez y Germán, 2014).

Zamora (2016) menciona que el cultivo de brócoli puede llegar a requerir por hectárea la fórmula 220-40-00 kilos de fertilizante aproximadamente, tomando en cuenta que el rendimiento depende de la fertilización, recalca que no hay un formula general, por lo que es necesario trabajar con análisis de suelo y agua previamente para conocer las necesidades específicas del cultivo y así poder armar un plan de fertilización que nos permita alcanzar grandes rendimientos.

(Román-Llamuca, 2022) menciona que es importante mantener una estabilización entre la dosis para asegurar una nutrición adecuada sin arriesgar la viabilidad económica del sector, lo cual se puede lograr mediante técnicas de fertilización precisas y adaptadas a las necesidades específicas y condiciones locales.

### **2.10 Plagas del Cultivo**

#### **2.10.1 Palomilla del Dorso de Diamante (*Plutella Xylostella*)**

Cortez y Macias (2007) mencionan que es la plaga más importante de las crucíferas, ya que minimiza severamente el rendimiento y la calidad de la

inflorescencia; al ser de ciclo corto y tener varias generaciones por año han ayudado a que la plaga genere resistencia a los insecticidas químicos.

Los daños de esta palomilla al igual que el de otros lepidópteros lo hacen en la etapa de larva, sobre todo en el instar III y IV, alimentándose del envés de la hoja, originando la aparición de pequeñas perforaciones en las mismas, si este no es controlado en el cuarto instar, puede llegar a consumir la totalidad del área foliar, dejando solo las nerviaciones de la hoja, generando con esto una pérdida de rendimiento del cultivo (Proain, 2020)

#### **2.10.2 Gusano Falso Medidor (*Trichoplusia ni*)**

Las larvas se alimentan únicamente del follaje específicamente en el envés de las hojas, conforme se desarrollan estas se van hacia el centro de las plantas realizando perforaciones. Cuando la infestación es severa, llegan a provocar completa defoliación y que en consecuencia estas produzcan cabezas de calidad insuficiente para la comercialización, cuando el cultivo se encuentre en etapa reproductiva, las larvas depositan sus excrementos sobre las inflorescencias haciendo que la calidad de las mismas se vea afectada. (Proain 2022)

#### **2.10.3 Pulgón de la Col (*Brevicoryne Brassicae*)**

Estos insectos chupadores al alimentarse del cultivo succionando savia causan amarillamiento y debilitamiento de la planta, detienen el crecimiento y las hojas se enrollan; como resultado de su alimentación excretan el exceso de azúcar como melaza, un líquido pegajoso y azucarado en las hojas, impidiendo su desarrollo normal, un exceso de este favorece el desarrollo de hongos como la fumagina, reduciendo la actividad fotosintética y un descenso en la producción, así como son transmisores de enfermedades virales, eh ahí la importancia de mantener un buen control de esta plaga (Infoagro 2022).

#### **2.10.4 Mosca Blanca (*Bemisia Tabaci*)**

Ese insecto se alimenta del envés de las hojas, succionando la savia de la planta y al mismo tiempo dejan manchas amarillas; cuando la planta se encuentra muy infectada las hojas se debilitan y caen prematuramente, al comer las hojas los insectos secretan sustancias pegajosas conocidas como mielecilla que favorece el crecimiento de los hongos, estas también son transmisoras de virus, de ahí que es importante realizar su control (Bioky, 2023)

### **2.11 Enfermedades del Cultivo**

#### **2.11.1 Mildiu Velloso (*Peronospora Parasítica*)**

Es la principal enfermedad fungosa en el cultivo de brócoli, aunque ya se han desarrollado variedades tolerantes a esta enfermedad (Zamora, 2016). El cultivo puede ser afectado por este hongo en cualquier fase de desarrollo; sin embargo, depende de las condiciones de frío y humedad en el ambiente para desarrollarse; esta suele aparecer en estado de plántula y en plantas maduras. Los síntomas para su identificación en las hojas, son manchas de aspecto grasiento de varias tonalidades que posteriormente se vuelven marrones y se marchitan (Otero, 2020).

#### **2.11.2 Mancha Negra (*Alternaria spp*)**

Es un hongo fitopatógeno, en la cual su diseminación es muy fácil por viento, salpicaduras de lluvia y herramientas por la cantidad de esporas (conidios) que produce (Ortuño, 2019). Su infección se da cuando hay agua libre en las hojas (rocío) y una humedad relativa por encima del 90% y temperatura sobre los 15°C, tendiendo estas condiciones a los 3 días aparecen los primeros síntomas (Rolando, 2011). La enfermedad en etapa de plántula causa amortiguamiento junto con necrosis de cotiledones e hipocótilo y en plantas adultas ocurren en las hojas externas que después se desarrollan por toda la planta con manchas café de color oscuro en el envés de las hojas, en la pella se produce un atizonamiento y una coloración café hasta pudriciones, generando con esto pérdidas en la productividad (Cadena, 2011).

## **2.12 Cosecha y Postcosecha.**

Es muy importante hacer monitoreos en el crecimiento de las pellas de brócoli para poder determinar cuándo cosechar, siendo este cuando las flores aún no se abren, manteniéndose firmes y compactos, esto indicara que se encuentra en su punto excelente de sabor y textura (Bertola, 2020).

Para una buena calidad de cosecha, las cabezas de brócoli no deberán tener defectos tales como el ojo de gato (cat-eye), floretes dañados, separados con tamaños desiguales, así como excesivas aberturas de los floretes del tallo principal. (Zamora, 2016).

Cuando se almacenan a 0°C (32°F), con una H.R. de 90 a 95% tendrán de 10 a 14 días de vida de anaquel, si esta baja a los 10°C esta duración desciende a 5 días. Cuando el almacenamiento es por muchos días, la cabeza toma una tonalidad amarillenta, los tejidos y floretes se ablandan dando un olor desagradable y pierden sabor. (Zamora, 2016).

## **2.13 Bioestimulantes Vegetales**

Se define como bioestimulantes a cualquier sustancia o microorganismo que al ser aplicados a las plantas tanto vía foliar como edáfica, estimulan procesos naturales con el fin de promover y mejorar la absorción de nutrientes, tolerancia al estrés abiótico, la calidad de los cultivos y el rendimiento (Dehkordi *et al.*, 2021). De la misma manera dan soluciones para mejorar la fertilización y la seguridad de los cultivos, apoyando la capacidad de los sistemas biológicos para abordar los problemas de carencia de nutrientes (Lallié *et al.*, 2021).

Desde el punto de vista funcional se usan como bioestimulantes los ácidos húmicos y fúlvicos, extractos de algas y plantas, biopolímeros (quitosano, poliácido acrílico), elementos benéficos (Si, Se, etc.), hongos benéficos (Micorrizas), bacterias benéficas (PGPR4) y las bacterias endofíticas (Du Jardín, 2015).

En la actualidad encontramos muchos productos comerciales para tal fin, entre los cuales se puede mencionar: XP-Amino, BIOTRYG, Trichosym Bio, Vitanica® RZ Bio, Basfoliar® Kelp Bio SL, etc.

## **2.14 Reguladores de Crecimiento**

Una hormona vegetal o fitohormona es un compuesto que se produce por la planta a nivel celular a muy bajas concentraciones, cambiando los patrones de crecimiento (Red Agrícola, 2017). Se identifican por participar en varios procesos y depende de su concentración para ser estimuladora o inhibitoria de una respuesta. Por otra parte, varias hormonas pueden afectar una misma respuesta; cada respuesta ocurre en un momento definido en el desarrollo de la planta y se presenta solamente en un tejido específico (Cruz 2016).

Se denomina regulador de crecimiento a los compuestos creados químicamente que se producen de otros organismos y aplicados por el hombre que buscan controlar algunos procesos a nivel celular en organismos vegetales, entre ellos: acelerar, alterar o inhibir algunos procesos fisiológicos en las plantas, así como su reacción al estrés biótico y abiótico, etc. (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

Como ejemplos de regulador de crecimiento vegetal encontramos a Stimulate™, Biozyme® TF, Rooting®, etc.

### **2.14.1 Citoquininas**

Las citoquininas son mensajeros químicos característicos de las plantas que desempeñan un papel central en la regulación del ciclo celular de las plantas y en varios procesos de desarrollo; fueron descubiertas por Skoog y Miller durante la década de 1950 como factores que promueven la división celular (citocinesis). La primera descubierta fue un derivado de adenina (aminopurina) llamado "kinetina" (6-furfuril aminopurina), la cual fue aislada como resultado de degradación del ADN. (Schmülling, 2013).

Estos compuestos son capaces de impulsar la división de las células en presencia de auxinas (Rojas 2018). Son producidos en los órganos en crecimiento y en el meristemo de la raíz (Bottini, 2004). Su movimiento a otras partes de la planta puede darse a través del xilema o floema o por ambos, dependiendo del lugar en que se dio la síntesis (Kerbaudy *et al.*, 2008; Segura, 2012). Al estimular la formación de ramas y follaje, estos tejidos producen auxinas que son transportados hacia la parte inferior de la planta en donde se combina con las citoquininas para causar la división celular para las nuevas puntas radiculares (Flores, 2023).

Tienen la capacidad de estimular e inducir una alta proliferación y división celular, inducen la elongación de las raíces, así como activar la senescencia de las hojas, permitiendo estimular el desarrollo fotomorfogénico de las plantas y jugar un rol importante en el aumento y generación de la producción de brotes de la misma (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019)

Contreras (2010) menciona que hay 2 tipos de citoquininas, las de origen natural que son derivados de las purinas: kinetinas, n-benciladenina, zeanita, etc y las de origen sintético que son derivados de la difenilurea (Forclorfenuron). Ambos tipos de citoquininas tienen una actividad biológica parecida, cubriendo un extenso rango de tejidos y especies. La principal característica que los distingue es la concentración de cada una para tal fin, las de origen sintético son más fuertes que las de origen natural y la Zeatina es la forma más común como citoquinina natural en las plantas la cual fue extraída de semillas inmaduras de maíz.

Jameson (2016) menciona que mediante la aplicación exógena de citoquininas se han visto respuestas en el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a la promoción de la división celular, la organogénesis de los brotes, la liberación de la dominancia apical, la inhibición del crecimiento de las raíces y el retraso de la senescencia. Afectan también la inducción de la diferenciación de órganos, control del movimiento de las estomas, absorción de nutrientes y

distribución (Wang e Irving, 2014) así como protegen a las plantas del estrés abiótico (Segura 2012).

### **2.14.2 Giberelinas**

La giberelina, fue descubierto en la década de los 30's, por un fitopatólogo japonés al separar una sustancia promotora de crecimiento a partir de un filtrado de cultivos de hongo *Gibberella fujikuroi* localizado en plantas de arroz enfermas y a partir de este fue aislado el compuesto activo "giberelina" por Eiichi Kurosawa en 1926 (Tamura, 1991).

En 1950 se logró aislar y caracterizar varios tipos a partir de los compuestos que el mismo hongo eran capaces de dar, logrando diferenciar tres tipos biológicamente activas (GA<sub>1</sub>, GA<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>) esenciales para utilizarlas en la agricultura; de igual manera se le dio nombre al compuesto obtenido a partir de la *Gibberella* y lo llamaron ácido giberélico, este ácido (GA<sub>3</sub>), es la giberelina producida con mayor frecuencia en fermentaciones a escala comercial de *Gibberella* para usos agrícolas, hortícolas, así como otros usos científicos (Gupta y Chakrabarty, 2013)

Las giberelinas pueden ser producidas por diversos microorganismos (*Pseudomonas spp*, *Bacillus spp*, *Penicillium spp*, *Trichoderma spp*, entre otros), esto mediante interacciones simbióticas o parasitarias (Bacterias y hongos), así como por parte de las plantas de manera endógena en los tejidos jóvenes, Garay *et al.*, (2014). Están involucradas en el desarrollo de los tejidos, en la cual el crecimiento es contante, como son el alargamiento de las raíces, hojas jóvenes y floración, así como inducir la germinación de la semilla y una buena capacidad estimulante en el crecimiento embrionario luego de que se da el rompimiento de dormancia (Gupta y Chakrabarty, 2013).

### **2.14.3 Auxinas**

El estudio de las auxinas inicia con Charles Darwin cuando realizaba observaciones de los efectos de una sustancia supuesto que modulaba el alargamiento de brote de las plantas que le permitía un crecimiento hacia la luz, lo que demostró la existencia de una sustancia difusible sobre tal crecimiento (Darwin 1880, citado en Taiz y Zeiger, 2011).

El efecto de las auxinas en las plantas depende de su concentración, en bajas concentraciones favorecen el crecimiento impulsando elongación de hipocótilos, tallos y raíces, den cambio en concentraciones altas impiden la elongación de las células (Woodward y Bartel 2005).

Dentro de las auxinas más notables a nivel vegetal se encuentra el ácido 3-indol-acético (AIA), esta es la principal auxina producida de manera natural, aunque también se conocen otro tipo de auxinas que son producidas de manera sintética como el ácido indol-butírico (IBA), el ácido 2,4-dicloro-fenoxiacetico (2,4-D) y el ácido  $\alpha$ -naftalenacético (NAA) (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

Aunque todos los tejidos de la planta se muestren capaces de sintetizar auxinas, normalmente la mayoría es producida en las partes jóvenes en desarrollo, como es el ápice de los tallos, hojas jóvenes y raíces en desarrollo (Ljung *et al.*, 2001). De ahí son transportados por la planta, donde sea requerida para varios procesos de desarrollo como la división y alargamiento celular, la formación de raíces laterales, la dominancia apical, el desarrollo de hojas y flores y respuestas frente a los estímulos ambientales (Davies, 2010). Su movimiento es conducido mediante 2 vías fisiológicamente distintas, a través del floema de una forma rápida y no polar; y de célula a célula de manera polar y más lenta (Michniewicz *et al.*; 2007).

## **2.15 Stimulate**

Es un Bioestimulante Vegetal regulador de crecimiento formulado con tres tipos de hormonas, Giberelinas, Auxinas y Citoquininas (Quinetinas), que aseguran un adecuado balance hormonal y compensando los efectos negativos del estrés (biótico y abiótico); ayudando a inducir mayor resistencia a condiciones climáticas adversas o extremas, permitiendo así incrementar la expresión del potencial genético de los cultivos para obtener plantas más eficientes, con una mayor división, diferenciación y crecimiento celular, esto para alcanzar una mayor productividad en los cultivos y así obtener altos rendimientos ( Stoller 2022).

Este producto es proveniente de la casa comercial Stoller, fue introducido al mercado en los años 1990 y obtuvo el registro oficial de la agencia de protección ambiental (EPA) de Estados Unidos en junio de 1993 lo que permitió comercializarse y hacer su uso en una amplia variedad de cultivos (Pomerix s.f).

Su uso en México es de mediados de la década de 2010, ya que se reporta que al realizar la aplicación junto con el Nitroplus 18® en maíz afectados por granizo en Guanajuato, se logró recuperar la perdida en el rendimiento; así como en algunos otros ensayos se lograron incrementos de 300-1800 kg como recuperaciones de rendimiento por estos daños en el cultivo de soja (Berhongaray, 2015).

En tomate a nivel experimental se evaluó la respuesta de este producto en comparación con otros reguladores de crecimiento en desarrollo y este mostro ser inferior al regulador potenciador en rendimiento, calidad y número de frutos, lo cual pudo deberse a la composición entre cada uno (Ruiz Chavarría, 2017)

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del Experimento.

Esta investigación se realizó en el departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo Coahuila México. La cual está situada entre las coordenadas 25°21'2" latitud norte y 101° 02' 04' latitud Oeste, las temperaturas medias fueron, mínimas de 14.5°C y máximas de 27.52°C (SNM, 2023). El trabajo fue realizado a campo abierto en los meses de septiembre a diciembre del 2023.

#### 3.2 Material Vegetal y Siembra

El material vegetal utilizado para el experimento, fue plántula de brócoli F1 Avenger, líder en el mercado por su buena consistencia, caracterizado por su amplia adaptación y consistentes rendimientos, de color verde-azulado usado para el mercado fresco como para la industria congelada (Sakata, 2023). La cual fue maquilada en el estado de Guanajuato en la empresa Expor San Antonio SA de CV ubicada en Villagrán y traída a Saltillo en viaje por carretera.

#### 3.3 Bioestimulantes Comerciales y Momento de Aplicación.

El producto foliar comercial que utilizamos fue Stimulate® de la casa comercial Stoller, México a diferentes dosis y frecuencias de aplicación para cada tratamiento (5 en total) las cuales se describen a continuación:

El tratamiento uno (T1) fue el testigo absoluto, al cual no se le aplicó regulador de crecimiento. Para el tratamiento dos (T2) se aplicó 1 ml L<sup>-1</sup> del regulador de crecimiento a una frecuencia de una aplicación cada tres días. El tratamiento tres (T3) consistió en la aplicación de una dosis de 1 ml L<sup>-1</sup>, con una frecuencia de una vez por semana, tanto el T2, como el T3, es lo equivalente a 500 ml ha<sup>-1</sup> (dosis recomendada en la etiqueta). El tratamiento cuatro (T4) consistió en

la aplicación de una dosis de 0.5 ml L<sup>-1</sup>, con una frecuencia de una aplicación cada tres días y el tratamiento 5 (T5) fue de la aplicación de 0.5 ml L<sup>-1</sup> con una frecuencia de una vez por semana, lo equivalente a una dosis de 250 ml ha<sup>-1</sup>, como se muestra en el cuadro 1, esto diluido en 500 lts de agua ha<sup>-1</sup>.

La aplicación de los tratamientos se inició el día 11 de noviembre a los 63 días después de trasplante (ddt) del cultivo, con el inicio de formación de la inflorescencia.

**Cuadro 1.** Tratamientos aplicados vía foliar en el cultivo de Brócoli.

| Tratamiento | Producto        | Dosis                   | Frecuencia | Aplicaciones<br>totales |
|-------------|-----------------|-------------------------|------------|-------------------------|
| 1           | Control/testigo | -                       | -          | -                       |
| 2           | Stimulate       | 500 ml ha <sup>-1</sup> | 1x3        | 8                       |
| 3           | Stimulate       | 500 ml ha <sup>-1</sup> | 1x6        | 4                       |
| 4           | Stimulate       | 250 ml ha <sup>-1</sup> | 1x3        | 8                       |
| 5           | Stimulate       | 250 ml ha <sup>-1</sup> | 1x6        | 4                       |

1x3 es cada 3 días y 1x6 cada 6 días

### 3.4 Manejo Agronómico del Cultivo

Esta investigación inició con la limpieza del terreno, quitando la maleza, así como los restos del cultivo anterior, para poder establecer el cultivo de brócoli, esta actividad se realizó el día 31 de agosto de 2024.

El primero de septiembre se realizó la preparación del terreno, mediante la labranza con azadones, para la descompactación del mismo. Posterior a la labranza, el seis de septiembre se procedió a medir el terreno para realizar el arreglo topológico del cultivo y con ello iniciar con el armado de las camas, las cuales median 5.6 m de largo por 0.80 m de ancho. El 8 de septiembre se instaló el sistema de riego en el cual se utilizó cintilla para riego por goteo calibre 6000 y se colocó acolchado plástico de color negro. El trasplante se realizó el día 9 de septiembre,

cuando la planta llegó del estado de Guanajuato en las condiciones ideales y estándar del cultivo para dicha práctica.

Respecto al manejo de la nutrición, se utilizó una solución nutritiva universal en el manejo del cultivo (Steiner, 1981) como se muestra en el cuadro 2 y 3, tomando en cuenta tanto el análisis de agua como de suelo realizado previamente. Dicha solución se manejó en cuatro concentraciones diferentes que se fueron suministrando y aumentando conforme el crecimiento y desarrollo del cultivo, iniciando con 25% en establecimiento, 50% en desarrollo, 75% inicio de formación de pella y 100% en crecimiento de pella, las cuales se aplicaron por semana.

**Cuadro 2.** Requerimientos de macroelementos en el cultivo de Brócoli (meq L<sup>-1</sup>).

| CE  | NH <sub>4</sub> | K | Ca | Mg | NO <sup>-3</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> |
|-----|-----------------|---|----|----|------------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| 2.0 | 0               | 7 | 9  | 4  | 12               | 7                            | 1                                           |

**Cuadro 3.** Requerimientos de microelementos para el cultivo de Brócoli (ppm)

| CE  | Fe  | Mn  | Zn   | Cu   | Mo   | B    |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 2.0 | 1.3 | 0.6 | 0.13 | 0.02 | 0.05 | 0.44 |

Para llevar a cabo el control de malezas, se realizó de manera manual con azadones y rastrillo durante todo el ciclo del cultivo y para el manejo de las plagas y enfermedades, así como para su prevención, las aplicaciones se realizaron mediante un calendario, mostrado en los cuadros 4 y 5.

**Cuadro 4.** Aplicaciones de insecticidas para el control de plagas en el cultivo de brócoli a campo abierto

| Fecha    | Ingrediente activo              | Nombre comercial       | Dosis                |
|----------|---------------------------------|------------------------|----------------------|
| 23-09-23 | Diclorvos                       | DDVP                   | 1 ml L <sup>-1</sup> |
| 29-09-23 | Extracto de ajo, canela y chile | Gamma Extracto         | 5 ml L <sup>-1</sup> |
| 10-10-23 | Imidacloprid                    | Confidel               | 1 ml L <sup>-1</sup> |
| 25-10-23 | Permetrina                      | Permefos <sup>34</sup> | 1 ml L <sup>-1</sup> |

|          |                                 |                |                      |
|----------|---------------------------------|----------------|----------------------|
| 3-11-23  | Extracto de ajo, canela y chile | Gamma Extracto | 5 ml L <sup>-1</sup> |
| 12-11-23 | Diclorvos                       | DDVP           | 1 ml L <sup>-1</sup> |
| 22-11-23 | Imidacloprid                    | Confidel       | 1 ml L <sup>-1</sup> |

**Cuadro 5.** Aplicaciones de control y prevención de enfermedades por hongos.

| <b>Fecha</b>  | <b>Ingrediente activo</b> | <b>Nombre comercial</b> | <b>Dosis</b>         |
|---------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| Aplicaciones  | Captan                    | Captan (50 WP)          | 1 ml L <sup>-1</sup> |
| de prevención | Azoxistrobin              | Amistar                 | 1 g L <sup>-1</sup>  |

La cosecha se realizó el día 12 de diciembre, tomando como criterio los días a cosecha de la variedad, además de hacer un monitoreo visual para checar algunos de los índices de cosecha comunes en el cultivo, por ejemplo, la verificación de floretes, los cuales debían estar cerrados y de color verde oscuro brillante, que la cabeza estuviera compacta y firme al tacto y tuviera un tamaño adecuado a la variedad.

### 3.5 Diseño Experimental

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, cada repetición fue de un surco de 5.6 m de largo por 0.80 m de ancho con una separación de 0.60 m entre camas, las plántulas fueron sembradas en tres bolillos con una separación de 0.40 m entre planta y planta, logrando una densidad de plantación de 35,710 plantas ha<sup>-1</sup>.

### 3.6 Variables Agronómicas Evaluadas

#### 3.6.1 Diámetro de Pella (DDP)

Usando un vernier digital (Marca STEREN) se obtuvo datos del diámetro de la pella en dos dimensiones de los cuales se obtuvo el promedio y los resultados fueron expresados en centímetros (cm).

### **3.6.2 *Diámetro de Tallo (DDT)***

Usando un Vernier digital marca (marca STEREN) se obtuvo datos del diámetro del tallo por debajo del inicio de la formación de la pella, los resultados fueron expresados en cm.

### **3.6.3 *Peso Fresco de Pella (PFP)***

Utilizando una báscula analítica (OHAUS Model CS 5000 Capacidad 5 kg x 1 g) se tomó el peso total de las inflorescencias cosechadas y divididos entre el total de pellas por cada tratamiento se obtuvo el peso promedio y se expresó en gramos (g).

### **3.6.4 *Peso Seco de Pella (PSP)***

Después de determinar el peso fresco de pella, estas se sometieron a un proceso de deshidratación por 48 horas a una temperatura de 55-60°C, en una estufa de secado marca Yamato Dx 602, del laboratorio de cultivo de tejidos del Departamento de Horticultura, los resultados fueron expresados en g.

### **3.6.5 *Número de Hojas (NDH)***

Se contabilizó el número de hojas por cada planta el día de la cosecha, con el fin de determinar la masa foliar que produjo cada tratamiento.

### **3.6.6 *Número de Floretes (NDF)***

Se contó el número de floretes por cada pella cosechada.

### **3.6.7 *Clorofila (CLO)***

Usando un medidor de clorofila portátil manual marca (atLEAF), el cual se empleó para realizar una medición en todo el ciclo, se determinaron las unidades Spad de las hojas del cultivo, sacando un promedio por pella realizando tres mediciones a cada una.

### **3.6.8 Rendimiento (RTO)**

Se obtuvo el peso promedio de 6 plantas cosechadas, además se realizó una estimación a una hectárea y se reportó en  $t\ ha^{-1}$ .

### **3.7 Análisis Estadístico**

Para cada variable se realizó un análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ) y se añadió una prueba de comparación de medias mediante la prueba de LSD FISHER ( $P \leq 0.05$ ), usando el programa estadístico INFOSTAT. El modelo estadístico fue de acuerdo con el diseño experimental de bloques completos al azar.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Diámetro de Pella (DDP)

De acuerdo con el análisis de varianza, los resultados para la variable DDP, indican que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) como efecto de la aplicación de las diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento (Cuadro 6).

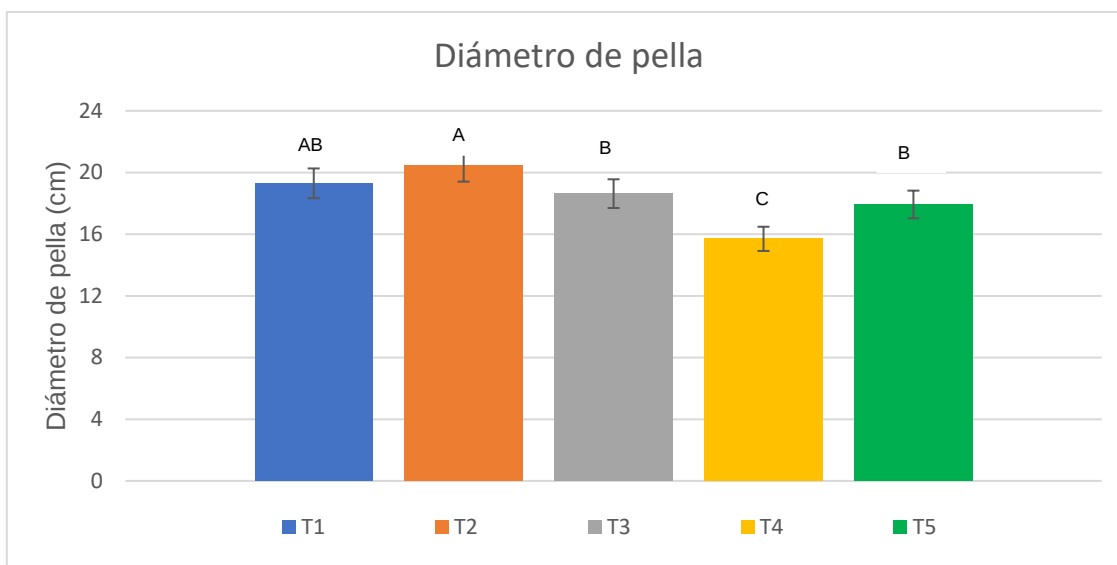
**Cuadro 6.** Análisis de la varianza para la variable diámetro de pella en el cultivo de brócoli

| Variable               |  | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|------------------------|--|----|----------------|-------------------|------|
| DIAMETRO DE PELLA (cm) |  | 15 | 0.89           | 0.81              | 4.37 |

| F.V.        | SC    | gl | CM   | F     | p-valor       |
|-------------|-------|----|------|-------|---------------|
| Modelo.     | 43.30 | 6  | 7.22 | 11.18 | 0.0016        |
| BLOQUE      | 5.78  | 2  | 2.89 | 4.47  | 0.0496        |
| TRATAMIENTO | 37.52 | 4  | 9.38 | 14.53 | <b>0.0010</b> |
| Error       | 5.16  | 8  | 0.65 |       |               |
| Total       | 48.46 | 14 |      |       |               |

Mientras que la comparación de medias ( $P \leq 0.05$ ) nos indica que el T2 obtuvo el mayor diámetro de pella en comparación con los demás tratamientos con una media de 20.43 cm, siendo el único que superó al testigo (19.30 cm) en un 5.85%; sin embargo, no es significativamente diferente a T1, ya que comparten el mismo grupo estadístico. Con respecto al diámetro más pequeño, este se pudo observar en el T4, con una media de 15.70 cm (figura 1).



**Figura 1. Comportamiento del diámetro de pella (DDP) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.**

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede suponer que utilizando una dosis de 500 ml ha<sup>-1</sup> con una frecuencia de aplicación de 2 veces por semana (T2) se presentó un ligero aumento en el diámetro de pella, esto se puede deber a que tuvo una mayor concentración de citoquininas lo que originó una mayor división celular (Rojas, 2018) mostrando un efecto positivo en el crecimiento del diámetro de pella de brócoli al utilizar bioestimulantes durante el proceso de desarrollo de planta, sin embargo, al no ser estadísticamente diferente al testigo, no se justifica el uso de reguladores en el cultivo, lo cual concuerda con Rodríguez Rosales (2023), quien al trabajar en el cultivo de brócoli y hacer aplicaciones de diferentes bioestimulantes foliares con el aporte de fitohormonas, no encontró diferencias estadísticas en el diámetro de la pella, encontrando un valor promedio de 18.3 cm. Lo que podemos atribuir a que las dosis y frecuencias de aplicación no son las ideales para el cultivo en cuestión y que el cultivo no necesita la aplicación de bioestimulantes por lo que no convendría realizar un gasto de aplicación de fitohormonas, ya que los niveles de citoquininas en una planta son directamente proporcionales con el contenido de nitrógeno en el suelo (Checca, 2018), lo cual indica que el cultivo no requiere aplicaciones exógenas de fitohormonas ya que lo que produce de manera endógena son cantidades adecuadas para su desarrollo, esto, se puede explicar con lo

obtenido por Solís (2020), quien alcanzó diámetros de 12 cm y 9.93 en este caso frutos de pimiento al realizar aplicaciones de citoquininas, concluyendo que tanto el largo y el ancho del fruto se incrementa gracias a la aplicación de esta fitohormona, aumentando así el tamaño del fruto, por lo que es indispensable trabajar en cada cultivo para ver sus requerimientos, ya que cada uno responde a la aplicación de hormonas y objetivos deseados de una forma diferente.

#### 4.2 Diámetro de Tallo (DDT)

Los resultados para la variable DDT, de acuerdo con el análisis de varianza muestran que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) como efecto de la aplicación de diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento (cuadro 7)

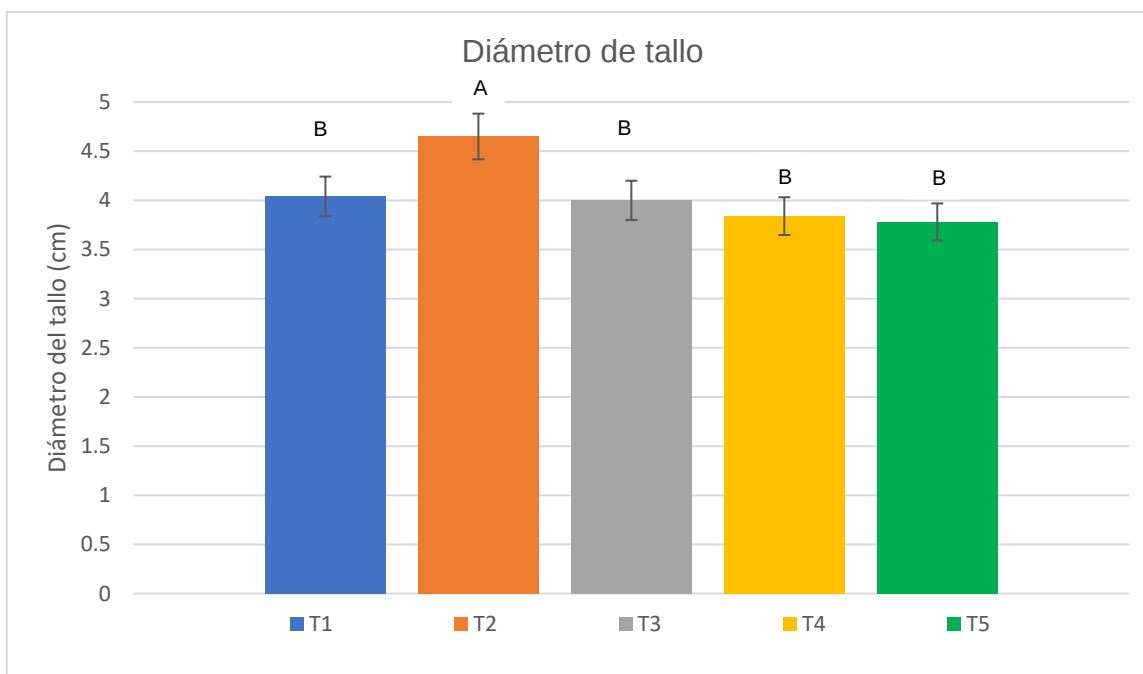
**Cuadro 7.** Análisis de la varianza para la variable diámetro de tallo en el cultivo de brócoli

| Variable               | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|------------------------|----|----------------|-------------------|------|
| DIAMETRO DE TALLO (cm) | 15 | 0.84           | 0.72              | 6.21 |

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo.     | 2.62 | 6  | 0.44 | 6.87 | 0.0079  |
| BLOQUE      | 1.18 | 2  | 0.59 | 9.23 | 0.0084  |
| TRATAMIENTO | 1.45 | 4  | 0.36 | 5.69 | 0.0181  |
| Error       | 0.51 | 8  | 0.06 |      |         |
| Total       | 3.13 | 14 |      |      | .       |

La comparación de medias nos indica que el T2 (4.66 cm) alcanzó el mayor diámetro de tallo en comparación con los demás tratamientos y fue el único estadísticamente diferente, superando al testigo en un 15.1% el cual obtuvo una media de 4.04 cm; con respecto al valor más bajo se presentó en el T5 con una media de 3.78 cm, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2. Comportamiento del diámetro de tallo (DDT) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.**

De acuerdo con estos resultados, se puede inferir que la concentración de 500 ml ha<sup>-1</sup> a una frecuencia de aplicación de 2 veces por semana logró un incremento significativo en el tallo de la planta, el cual es una parte importante de la misma, ya que aparte de dar soporte y/o sostenimiento a la parte aérea de la planta, transporta sustancias a través de la misma y además es una parte que está tomando mucha importancia ya que es comestible y nutritivo, con grandes propiedades benéficas para la salud, esta variable es de suma importancia puesto que al tener tallos más gruesos en las plantas, éstas desarrollarían inflorescencias de mayor diámetro, por el transporte eficiente de nutrientes y agua para satisfacer las demandas nutricionales y su correcto desarrollo (Shelp y Liu,1992).

Dicho aumento pudo deberse a una mayor concentración de las giberelinas en las aplicaciones, dando así un mejor desarrollo y elongación de tallos (Gupta y Chakrabarty, 2013); esto está relacionado con la teoría de Charles Darwin, publicado en su libro el poder de movimiento en las plantas, donde menciona que las auxinas, es la fitohormona con un papel fundamental en la inducción de la

elongación de los tallos en las plantas, el crecimiento de raíces, etc.; y este es una de las fitohormonas que componen al producto comercial aplicado.

### 4.3 Peso Fresco de Pella (PFP)

De acuerdo con el análisis de varianza para esta variable, podemos inferir que existen diferencias significativas (cuadro 8) entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) como efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos.

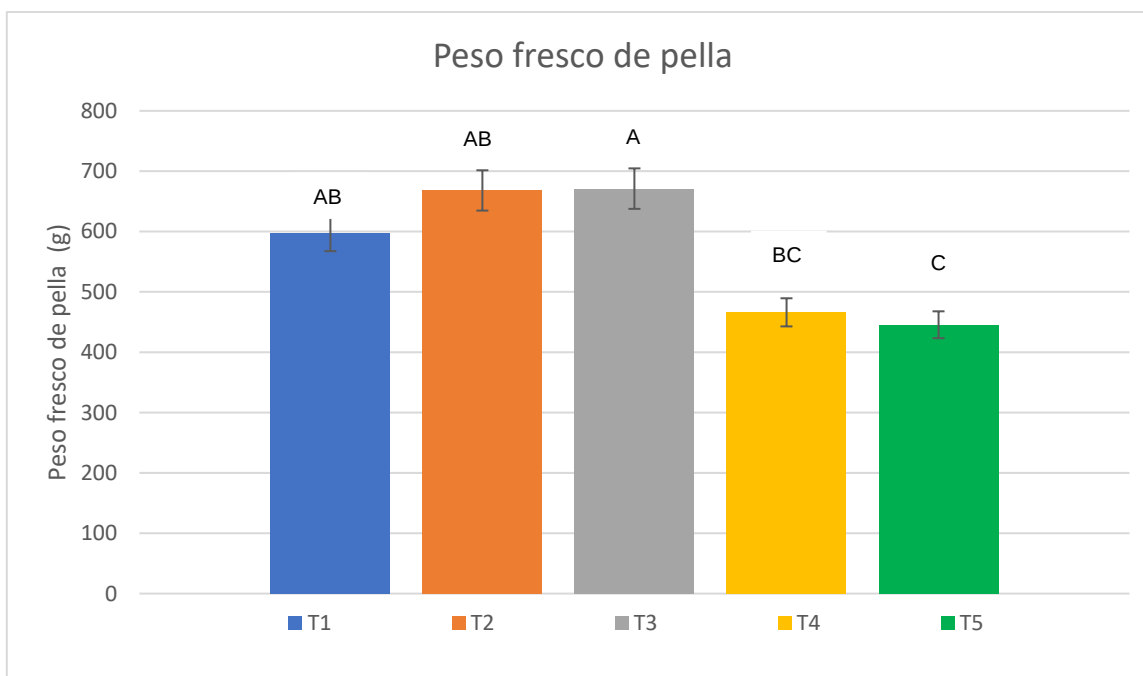
**Cuadro 8.** Análisis de la Varianza para la variable peso fresco de pella en el cultivo de brócoli

| Variable                    |  | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------------------------|--|----|----------------|-------------------|-------|
| PESO FRESCO DE FRUTO/PELLA. |  | 15 | 0.75           | 0.57              | 13.89 |

| F.V.        | SC        | gl | CM       | F    | p-valor |
|-------------|-----------|----|----------|------|---------|
| Modelo.     | 154015.32 | 6  | 25669.22 | 4.10 | 0.0352  |
| BLOQUE      | 13323.43  | 2  | 6661.71  | 1.06 | 0.3893  |
| TRATAMIENTO | 140691.89 | 4  | 35172.97 | 5.62 | 0.0188  |
| Error       | 50096.34  | 8  | 6262.04  |      |         |
| Total       | 204111.65 | 14 |          |      | .       |

La comparación de medias (Fisher  $P \leq 0.05$ ) nos indica que el T3 es el que sobresale a los demás tratamientos con una media de 671.10 g, superando 12.33% al T1 (597.4 g); sin embargo, no son significativamente diferentes ya que junto con el T2 pertenecen al mismo grupo estadístico. Con respecto al valor más bajo se reporta en el T5 con una media de 445.6 g (figura 3).



**Figura 3. Comportamiento del peso fresco de pella (PFP) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.**

A partir de estos resultados se puede señalar que hubo un pequeño aumento en peso en la formación de biomasa de pella del brócoli, al realizar la aplicación de reguladores de crecimiento. Utilizando una dosis de 500 ml ha<sup>-1</sup> con una frecuencia de una vez por semana se obtuvo mejor peso de pella que aplicando la misma dosis a una frecuencia más continua (dos veces por semana, T2), lo cual indica que es la dosis correcta para tener un adecuado balance hormonal en la planta para expresar su mayor potencial genético. Sin embargo, un exceso de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) superior a 100 ppm puede producir un crecimiento exagerado del tallo lo que originaría la formación de pellas menos compactas y pequeñas, afectando así la calidad comercial del producto (Singh, *et al.*, 2024), pues se genera un desbalance en el desarrollo de la planta y por lo tanto, un crecimiento heterogéneo de pella, esto debido a que los foto asimilados se van a los órganos vegetativos, repercutiendo así el desarrollo de las estructuras reproductivas Redemacher (2016), esto relacionado a (Mandingbam, 2020) que con una concentración de 90 ppm de GA<sub>3</sub> mostro mejoras significativas en el cultivo, por lo que inferimos que no fue la dosis,

si no la frecuencia de aplicación, la que pudo afectar dicho balance. Sin embargo, al comparar los resultados y no ser diferentes estadísticamente al testigo, no se muestra un efecto positivo el realizar aplicaciones de bioestimulantes en el cultivo para esta variable. Estos resultados difieren de lo expuesto por (Rodríguez Rosales, 2023), quien al realizar el aporte de auxinas, giberelinas y citoquininas mediante un bioestimulante orgánico a dosis de  $250 \text{ ml ha}^{-1}$  en el cultivo de brócoli, obtuvo el mayor peso con un promedio de 476.67g, superando al testigo en un 70.23%, mientras que en este trabajo con el doble de dosis se logró un 29% de aumento, por lo que se puede decir que la dosis de aplicación mejora el tamaño de pella en el cultivo, sin embargo, las frecuencias aplicadas no fueron las ideales para el cultivo, por lo que no se vio reflejada un cambio notorio entre los tratamientos.

Esto se puede justificar con lo que menciona Checra Quisp (2018), ya que al trabajar con híbridos de melón tipo harper y hacer aplicaciones de citoquininas a concentraciones de 0, 1.5 y 3  $\text{ml L}^{-1}$ , en la variedad HB2 obtuvo mejores resultados, alcanzando pesos de 2.32 kg y superando al testigo en un 48.71% al tener pesos de 1.56 kg. De igual manera Julca Olivera (2023), al trabajar con pimiento y realizar aplicaciones de citoquininas a una concentración de 500  $\text{ml Ha}^{-1}$  y 600  $\text{ml Ha}^{-1}$ , obtuvo pesos de frutos de 328.0 g y 363.67 g respectivamente, lo que favoreció la obtención de un mayor peso de frutos cosechados por planta, teniendo diferencias altamente significativas, superando al testigo en un 83.57% y 103.54% respectivamente.

#### **4.4 Peso Seco de Pella (PSP)**

De acuerdo con el análisis de varianza, los resultados para la variable PSP, muestran que hay diferencias altamente significativas (cuadro 9) entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) como resultado de la aplicación de las diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento.

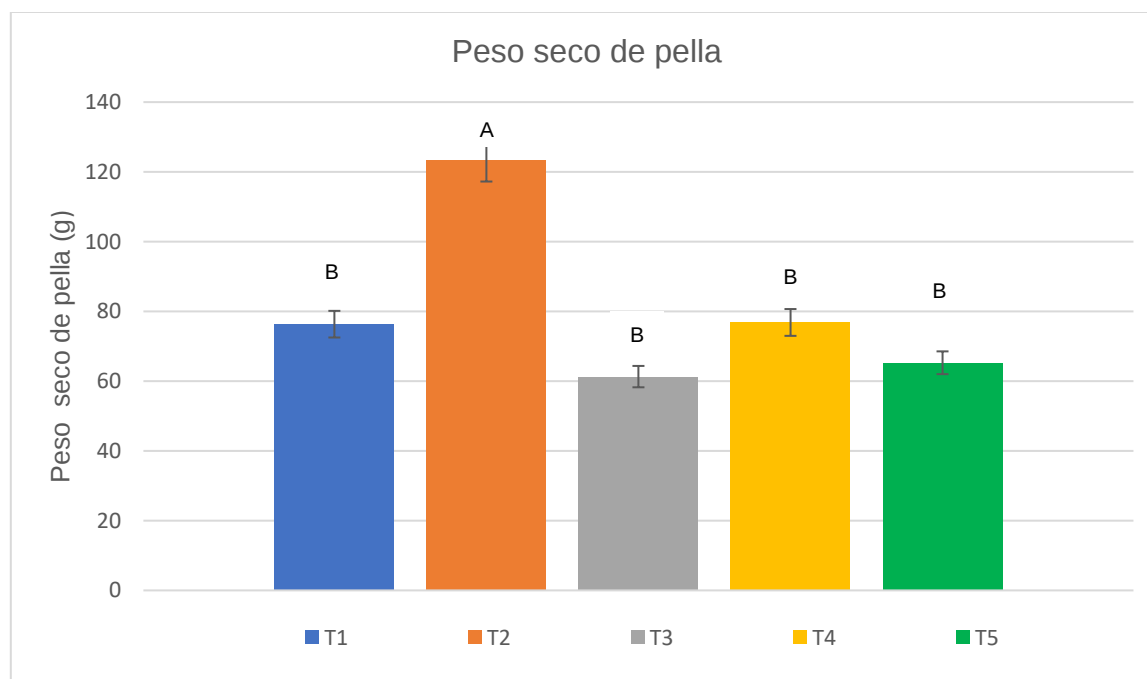
**Cuadro 9.** Análisis de la Varianza para la variable peso seco de pella en el cultivo de brócoli

| Variable                  | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| PESO SECO FRUTO/PELLA (g) | 15 | 0.91           | 0.84              | 11.97 |

| F.V.        | SC      | gl | CM      | F     | p-valor |
|-------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Modelo.     | 7533.91 | 6  | 1255.65 | 13.49 | 0.0008  |
| BLOQUE      | 118.43  | 2  | 59.21   | 0.64  | 0.5542  |
| TRATAMIENTO | 7415.49 | 4  | 1853.87 | 19.91 | 0.0003  |
| Error       | 744.71  | 8  | 93.09   |       |         |
| Total       | 8278.63 | 14 |         |       | .       |

Mientras que la comparación de medias ( $P \leq 0.05$ ) nos muestra que el tratamiento T2 alcanzó el mayor peso en seco a comparación con los demás tratamientos y fue el único estadísticamente diferente, con una media de 123.4 g superando al T1 (76.66 g) en un 61.66%; con respecto al valor más bajo se muestra en el T3 con una media de 61.30 g (Figura 4).



**Figura 4.** Comportamiento del peso seco de pella (PSP) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento.

En base a materia seca podemos decir que los resultados del T2 fueron favorables, pues logró la mayor acumulación de materia seca en el cultivo, lo cual,

está vinculado directamente con la acumulación de carbohidratos, vitaminas, proteínas, grasas, fibras, azúcares, pero sobre todo al aporte nutrimental de Calcio, Hierro y Potasio principalmente, minerales que son muy indispensables en la salud (Sardar, *et al.*, 2022).

En base a estos resultados se puede observar que al utilizar una dosis de 500 ml ha<sup>-1</sup> con una frecuencia de aplicación de dos veces por semana, se presentó un gran aumento en peso seco, esto debido a que las aplicaciones de ácido giberélico fueron más continuas, lo que impulsó la elongación celular, incrementando el tamaño de las inflorescencias y de esta manera aumentar la biomasa acumulada en el cultivo (Chanwala, *et al.*, 2019), así también al tener buen vigor vegetativo y una buena distribución de nutrientes en las plantas con la ayuda de las auxinas, estas influyeron positivamente en el peso seco de la inflorescencia (Mandingbam, *et al.*, 2020). El contenido de vitaminas en cada estructura del brócoli se ven beneficiados por un buen contenido de materia seca, estudios como el de Saavedra, *et al.*, (2021) nos muestran que al analizar las propiedades fisicoquímicas en jugo de tallo e inflorescencias mediante secado por aspersión utilizando maltodextrina como agente portador, encontraron que la concentración de la vitamina C en las inflorescencias se encontraba 6.812 mg g<sup>-1</sup> de materia seca, de ahí la importancia de tener una buena cantidad de materia seca en relación a las vitaminas; del mismo modo al tener una buena acumulación de materia seca se tendrá una mejor firmeza de las inflorescencias, esto se ve reflejado en una mejor calidad lo que se traduce en una vida útil más duradera en la postcosecha para su correcto transporte y comercialización. Del mismo modo al aumentar el contenido de materia seca en el cultivo con la aplicación de este producto, se favorece la síntesis de compuestos funcionales. Tal como lo mencionan Calvo, *et al.*, (2014) que al hacer uso de fitohormonas, se estimulan respuestas metabólicas que engloban la acumulación de metabolitos secundarios, las cuales encontramos a los compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides que son de suma importancia al estar muy relacionados con la defensa vegetal del cultivo frente a estrés biótico y

abiótico; esto debido a que los factores fisiológicos y ambientales influyen en la biosíntesis de los metabolitos secundarios (Verma, *et al.*, 2015).

#### 4.5 Número de Hojas (NDH)

Los resultados para la variable NDH, de acuerdo con el análisis de varianza realizado, muestran que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), como efecto de la aplicación de diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento (cuadro 10).

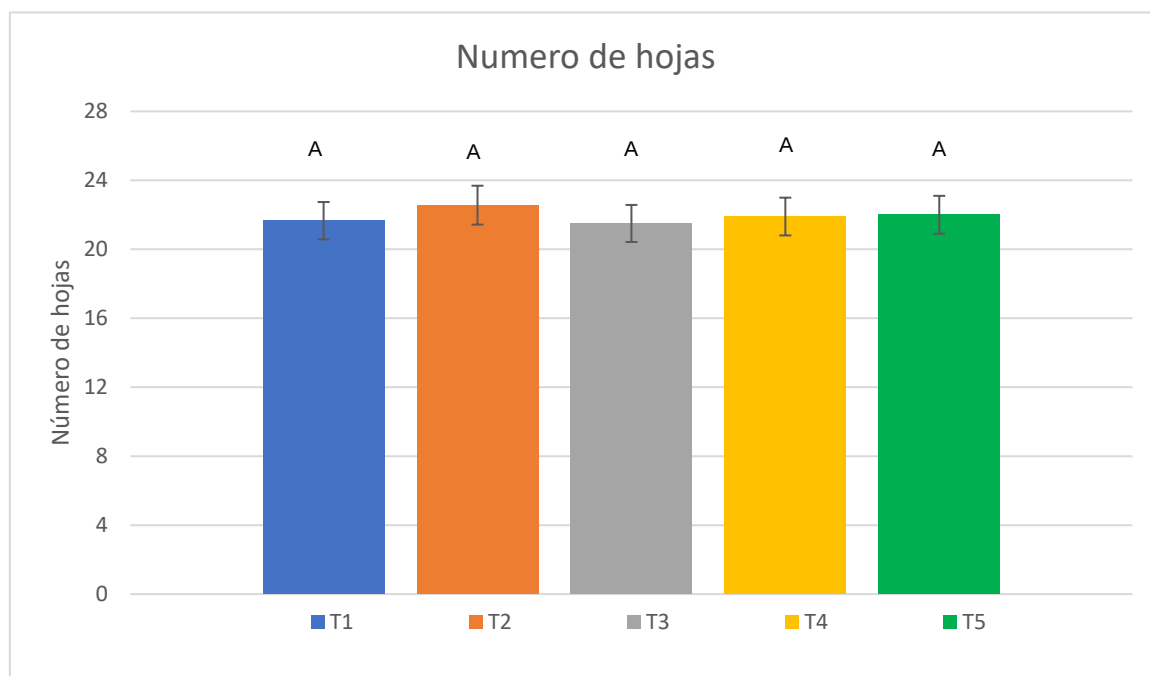
**Cuadro 10.** Análisis de la Varianza para la variable número de hojas en el cultivo de brócoli.

| Variable     | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|--------------|----|----------------|-------------------|------|
| NUMERO HOJAS | 15 | 0.80           | 0.64              | 3.47 |

| F.V.        | SC    | gl | CM   | F     | p-valor |
|-------------|-------|----|------|-------|---------|
| Modelo.     | 18.05 | 6  | 3.01 | 5.18  | 0.0184  |
| BLOQUE      | 16.05 | 2  | 8.02 | 13.82 | 0.0025  |
| TRATAMIENTO | 2.00  | 4  | 0.50 | 0.86  | 0.5270  |
| Error       | 4.64  | 8  | 0.58 |       |         |
| Total       | 22.69 | 14 |      |       | .       |

A partir de estos resultados se pudo observar que ningún tratamiento aplicado tuvo algún efecto en la producción de hojas, manteniéndose en un promedio de 22 hojas por planta (Figura 2), puesto que estos resultados son propios de la variedad, ya que coinciden con (Hernández Ramírez, 2024) quien al trabajar con la misma variedad y aplicando diferentes dosis de gallinaza como fertilizante orgánico, reportó la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, tendiendo un promedio de 21 hojas por planta. De la misma forma Patiño Zosoranga (2024) no encontró diferencia significativa alguna entre tratamientos al trabajar con el mismo cultivo y realizar aplicaciones de 3 dosis de citoquininas.



**Figura 5. Comportamiento del número de hojas (NDH) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.**

Dichos resultados, los podemos atribuir a que la producción de fotoasimilados se trasloca directamente al órgano de importancia y que ningún tratamiento modifica el número de follaje, no obstante, puede que modifique el tamaño y cantidad del mismo. Comúnmente las hojas son poco aprovechadas e incluso descartadas al momento de la cosecha, pero estas tienen diversos beneficios, estudios como el de Centeno, *et al.*, (2017) muestran que al analizar los compuestos bioactivos a diferentes tratamientos térmicos en las inflorescencias, tallos y hojas, encontró que en la hoja se encuentran la mayor cantidad de estos compuestos, eh ahí la importancia de tomar en cuenta esta variable puesto que al ser consumidas brinda grandes efectos anticancerígenos a la salud humana por el aporte de glucosinolatos, con el aporte de vitamina C fortalece el sistema inmunológico (Vázquez, *et al.*, 2020). Así mismo, las hojas pueden ser aprovechadas como alimento para ganado, es útil por su alto contenido nutrimental; transformado en silaje en combinación con la avena ha mostrado buenos resultados

al ser utilizado como suplemento en vacas lecheras, por su alto contenido de proteínas (Díaz, *et al.*, 2014). Al ser incorporado al suelo, que es lo que comúnmente se hace, brinda beneficios en la salud del mismo, reduciendo poblaciones de patógenos, puesto que las hojas de las Brassicas contienen glucosinolatos que al entrar en contacto con el suelo y descomponerse se transforman en isotiocianatos; (Morra y Kirkegaard, 2002) al utilizar tejidos de dos especies diferentes de Brassica, concluyeron que estos tienen un gran potencial como protección al suelo, ofreciendo una alternativa sostenible.

#### 4.6 Número de Floretes (NDF)

Los resultados encontrados para la variable NDF en el análisis de varianza muestran que hay diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) (cuadro 11), como resultado de la aplicación de diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento.

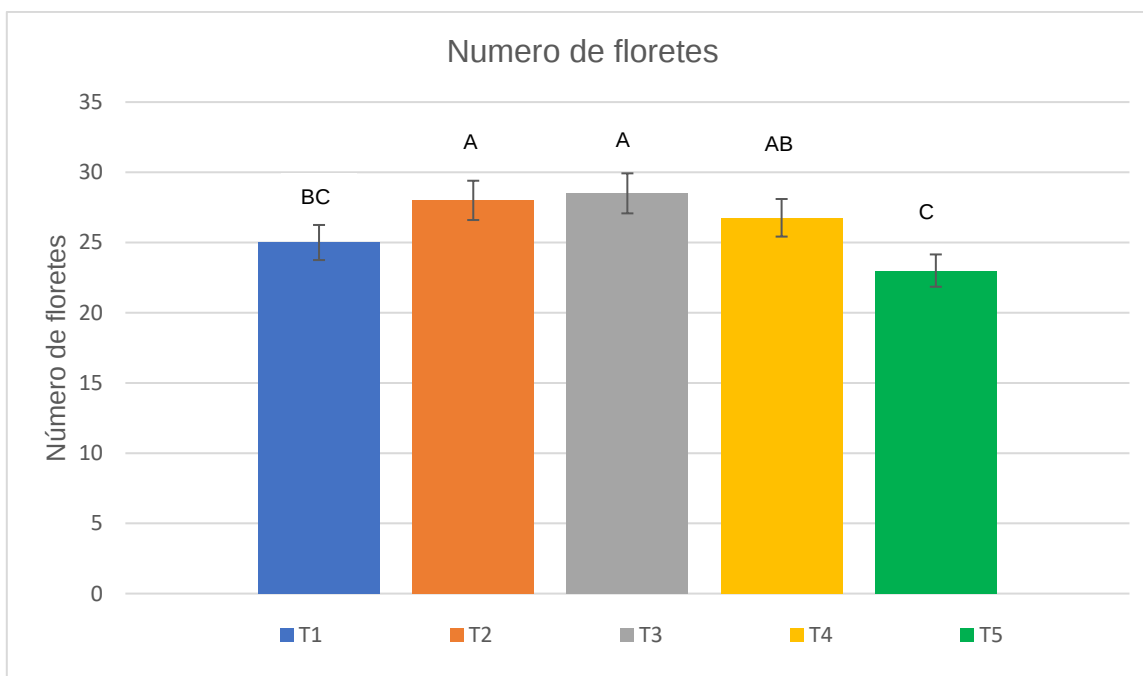
**Cuadro 11.** Análisis de la Varianza para la variable número de floretes en el cultivo de brócoli

| Variable        | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-----------------|----|----------------|-------------------|------|
| No. De FLORETES | 15 | 0.82           | 0.68              | 5.18 |

| F.V.        | SC    | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|-------|----|-------|------|---------|
| Modelo.     | 66.52 | 6  | 11.09 | 5.98 | 0.0121  |
| BLOQUE      | 4.97  | 2  | 2.48  | 1.34 | 0.3148  |
| TRATAMIENTO | 61.55 | 4  | 15.39 | 8.31 | 0.0060  |
| Error       | 14.82 | 8  | 1.85  |      |         |
| Total       | 81.34 | 14 |       |      |         |

No obstante, la comparación de medias ( $P \leq 0.05$ ) nos indica que el mayor número de floretes se encuentran en los tratamientos T3 (28.5), T2 (28) y T4 (26.77) superando en un 14, 12 y 7% respectivamente al T1 (25.0). Con respecto al valor más bajo, este se pudo observar en el tratamiento T5 con una media de 23 (Figura 6).



**Figura 6. Comportamiento del número de floretes (NDF) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.**

Respecto a los resultados obtenidos, se puede observar que los tratamientos T3 (29), T2 (28) y T4 (26.77) fueron los que mostraron los valores más altos y son estadísticamente diferentes al testigo T1 (25), esto debido a que con la aplicación de las citoquininas hubo mayor división celular (Rojas, 2018) por lo que se vio reflejado en un mayor número de floretes, sin embargo al pertenecer al mismo grupo estadístico y mostrarse significativamente iguales entre ellos, se recomienda la aplicación de (T3), 500 ml Ha<sup>-1</sup> con una frecuencia de una vez por semana, esto debido a que realizar la aplicación a una frecuencia más continua (2 veces por semana) se elevarían los costos de producción por el número de personal que implicaría realizar la actividad.

#### **4.7 Clorofila (CLO)**

De acuerdo con el análisis de varianza (cuadro 12), los resultados para la variable CLO, indican que hay diferencias altamente significativas entre

tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) como efecto de la aplicación de las diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento.

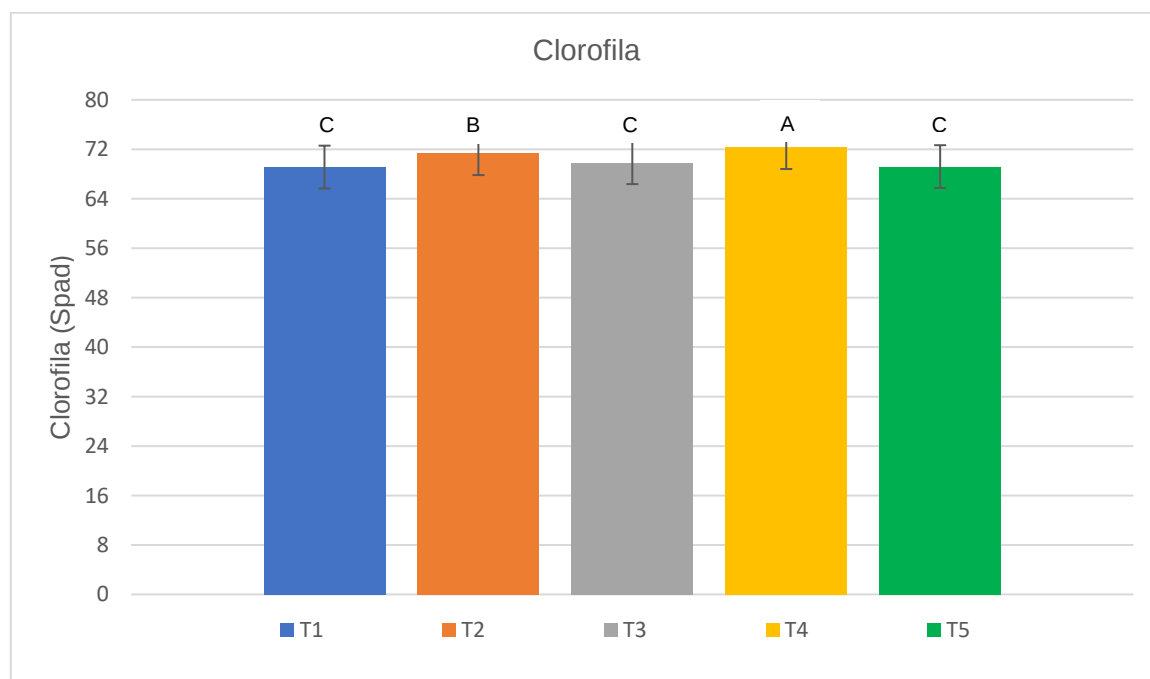
**Cuadro 12.** Análisis de la Varianza para la variable clorofila en el cultivo de brócoli.

| Variable         | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|------------------|----|----------------|-------------------|------|
| CLOROFILA (SPAD) | 15 | 0.92           | 0.86              | 0.77 |

| F.V.        | SC    | gl | CM   | F     | p-valor |
|-------------|-------|----|------|-------|---------|
| Modelo.     | 27.57 | 6  | 4.60 | 15.45 | 0.0005  |
| BLOQUE      | 2.18  | 2  | 1.09 | 3.67  | 0.0740  |
| TRATAMIENTO | 25.39 | 4  | 6.35 | 21.35 | 0.0003  |
| Error       | 2.38  | 8  | 0.30 |       |         |
| Total       | 29.95 | 14 |      |       | .       |

La comparación de medias ( $P \leq 0.05$ ) nos indica que el T4 (72.43) mostró el mayor valor y fue estadísticamente diferente a los tratamientos restantes, superando al testigo (69.13) en un 4.77%, este último, mostró el valor más bajo (Figura 7).



**Figura 7.** Comportamiento de la clorofila (CLO) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal.

En relación a los resultados obtenidos, se puede concluir que utilizando una dosis de 250 ml ha<sup>-1</sup>, con una frecuencia de aplicación de dos veces por semana, se vio reflejado un efecto positivo versus aplicando una concentración más alta (T2), las citoquininas son efectivas para retrasar la descomposición de la clorofila, por lo que desempeñan un papel en el sustento del aparato fotosintético de las plantas (Hönig, *et al.*, 2018), pero sin excederse, pues se rompería el equilibrio hormonal. Estudios como el de Kamińska (2024) mostraron la multiplicación de brotes, pero disminuyeron los niveles de clorofila y la eficiencia de la fotosíntesis al trabajar con col rizada en medio *in vitro* y realizar aplicaciones de citoquininas en concentraciones elevadas.

En base a la clorofila, se puede decir que la aplicación de reguladores de crecimiento a dosis bajas (T4) los resultados fueron favorables, pues al tener un mayor contenido de clorofila en el cultivo por la aplicación balanceada de citoquininas, la captación de luz es mejor haciendo que la tasa fotosintética sea mayor y eficiente por ende la producción de fotoasimilados aumente generando cabezas más grandes teniendo una mejora en el rendimiento (Iqbal *et al.*, 2023), la degradación es más lenta y así su vida útil en la postcosecha es mejor, pues estudios como el de Tian, *et al.*, (1995) demostraron que al realizar la aplicación de citoquininas en un tratamiento postcosecha, lograron retrasar el amarillamiento de las inflorescencias manteniendo así la calidad comercial.

#### **4.8 Rendimiento (RTO)**

Los resultados encontrados para la variable RTO que nos muestra el análisis de varianza (cuadro 13) indican que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), como resultado de la aplicación de diferentes dosis y frecuencias del regulador de crecimiento.

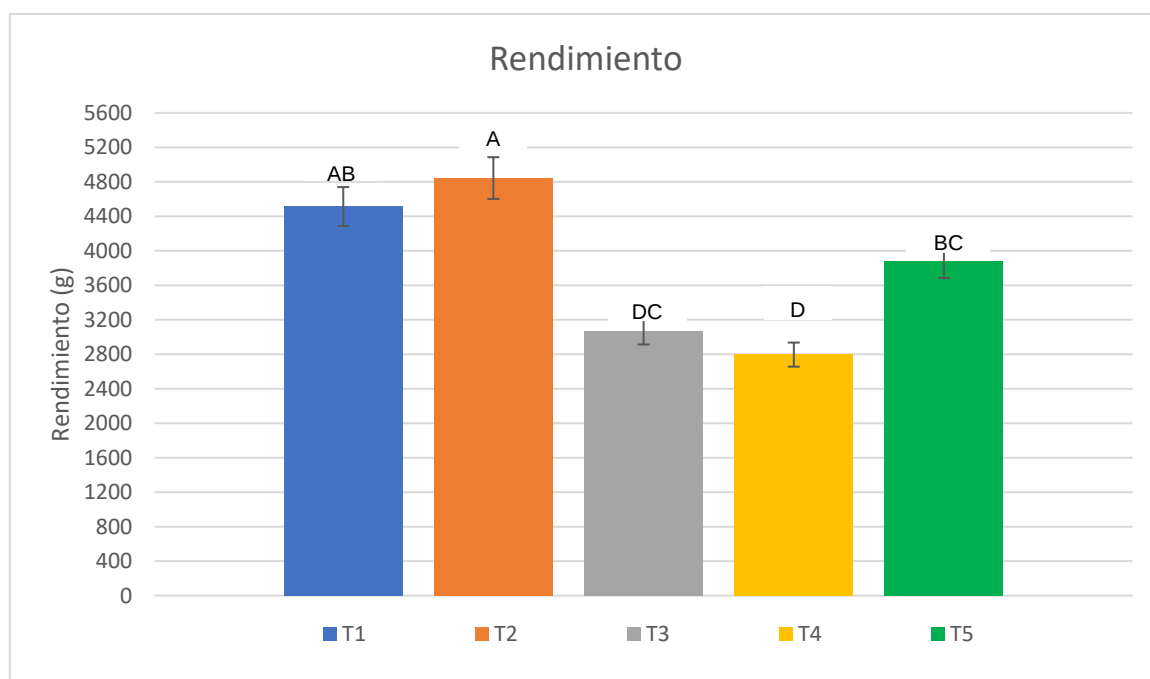
**Cuadro 13.** Análisis de la Varianza para la variable rendimiento en el cultivo de brócoli

| Variable        | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-----------------|----|----------------|-------------------|------|
| RTO (6 plantas) | 15 | 0.93           | 0.88              | 7.85 |

| F.V.        | SC          | gl | CM         | F     | p-valor |
|-------------|-------------|----|------------|-------|---------|
| Modelo.     | 9824733.70  | 6  | 1637455.62 | 18.20 | 0.0003  |
| BLOQUE      | 380322.10   | 2  | 190161.05  | 2.11  | 0.1833  |
| TRATAMIENTO | 9444411.60  | 4  | 2361102.90 | 26.24 | 0.0001  |
| Error       | 719824.40   | 8  | 89978.05   |       |         |
| Total       | 10544558.10 | 14 |            |       | .       |

En la comparación de medias ( $P \leq 0.05$ ) se puede observar que el mayor rendimiento se encuentra en el T2 (4.844 kg por cada 6 plantas) superando al T1 (4.514 kg) en un 7.31 %, sin embargo, no son significativamente diferentes ya que comparten el mismo grupo estadístico. Con respecto al valor más bajo, se observó en el T4 con una media de 2.796 kg (Figura 6).



**Figura 8.** Comportamiento del rendimiento (RTO) de plantas de brócoli, en respuesta a la aplicación de un regulador de crecimiento trihormonal

De acuerdo al arreglo topológico utilizado en este experimento y realizando la estimación a una hectárea, se tiene que el mayor rendimiento se encuentra en el T2 con  $28.82 \text{ t ha}^{-1}$ , respecto a las  $26.86 \text{ t ha}^{-1}$  del testigo. Se menciona que el rendimiento es directamente proporcional con la densidad de plantación, con la excepción de que se puede reducir el tamaño de la pella por la competencia entre las plantas Takahashi, *et al.*, (2021). En este trabajo, de acuerdo al arreglo topológico y con una densidad de 35,710 plantas, se obtuvo un rendimiento de  $28.82 \text{ t ha}^{-1}$  (806 g/planta); estudios a nivel experimental como el de Infantes Fuentes (2018) mencionan que con 40,000 plantas por hectárea obtuvo  $19.59 \text{ t ha}^{-1}$  (488g/planta), Wiverg Williams, (2015) con 50,000 plantas por hectárea logro un rendimiento de  $36.73 \text{ t ha}^{-1}$  (734 g/planta), Puenayan, *et al*; (2012) con una densidad alta de 82,500 plantas por hectárea lograron rendimientos de  $42.16 \text{ t ha}^{-1}$  (506 g/planta), por lo anterior, podemos concluir que con la aplicación del regulador de crecimiento (T2) en este trabajo de estudio se mostró una diferencia de peso por inflorescencia respecto a los trabajos mencionados, sin embargo, las frecuencias de aplicación utilizados pudieron afectar por lo cual no se mostró significativamente diferente respecto al testigo.

## V CONCLUSIONES

La evaluación de diferentes dosis y frecuencias de aplicación del regulador de crecimiento trihormonal en el crecimiento, rendimiento y calidad de brócoli, mediante análisis estadístico ( $P \leq 0.05$ ), evidenció diferencias significativas en las variables DDP, DDT, PFP, PSP, NDF, CLO y RTO, sin embargo, para las variables DDP, PFP, NDH Y RTO no se detectaron diferencias en comparación con el testigo.

La aplicación de 500 ml ha<sup>-1</sup> dos veces por semana registró las medias más altas en DDT y PSP, proporcionando mejor soporte estructural y un mayor transporte de sustancias nutritivas hacia el desarrollo de la flor y otras partes de la planta, favoreciendo la concentración de nutrientes esenciales, vitaminas y minerales en el producto final. Este efecto, se traduce en una mayor calidad del brócoli, tanto al momento de la cosecha como en su vida postcosecha. Aunque en rendimiento no se observaron diferencias estadísticas con respecto al testigo, se obtuvo una diferencia práctica de 1.96 t ha<sup>-1</sup>, lo cual resulta relevante desde el punto de vista económico.

Es importante destacar que, si bien los tratamientos presentaron un comportamiento similar en la mayoría de las variables, la aplicación del T2 mostró consistentemente una tendencia ascendente en DDP, NDF, RTO y PFP. Por su parte, el contenido de CLO se vio favorecido en el T4, alcanzando una mayor acumulación de la misma.

La aplicación del producto Stimulate™ en el cultivo de brócoli a una dosis de 500 ml ha<sup>-1</sup> dos veces por semana, favoreció el crecimiento, rendimiento y calidad del mismo, pero se sugiere darle continuidad a la parte financiera, para detectar que tan factible y/o redituable es la aplicación del mismo a gran escala.

## VI LITERATURA CITADA

1. Acosta, J., Martínez, B., Cerdá, A., Ferrández, B., y Núñez, E. (2018). Alimentos de la región de Murcia: brócoli. [E-book] (pp. 8-10). España. Retrieved from <https://n9.cl/nyoj>.
2. Alcántara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci_arttext)
3. Bachiega, P., Salgado, J. M., de Carvalho, J. E., Ruiz, A. L. T. G., Schwarz, K., Tezotto, T., y Morzelle, M. C. (2016) Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea Italica*) biofortified with selenium. *Food chemistry* 190:771-776, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.024>
4. Berhongaray, G. (2015). Daño de granizo en maíz. *Engormix*. [https://www.engormix.com/agricultura/bioestimulantes/dano-granizo-maiz\\_f25313/](https://www.engormix.com/agricultura/bioestimulantes/dano-granizo-maiz_f25313/)
5. Bernal, J. (2011). Producción y comercialización de brócoli en el cantón Batztziquinzé, aldea xonká, del municipio de nebaj, departamento de quiché-Guatemala. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03\\_3779.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3779.pdf)
6. Bertola, C. E. (2020). Caracterización y análisis de la cadena de suministro del brócoli y coliflor en el Cinturón Hortícola de La Plata en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
7. Bioky (2023). Plagas y enfermedades comunes del brócoli. <https://bioky.es/plagas-y-enfermedades-brocoli/>
8. Blanco de Alvarado Ortiz, T., & Alvarado Ortiz Ureta, C. (2020). Vitamina C: Aliada de la salud. *Revista* pag.16.
9. Bottini R, Cassán F, Piccoli P (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Appl Microbiol Biotechnol.*;65(5):497-503.

10. Calvo, P., Nelson, L., y Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41.  
<https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
11. Cadena, Y. D. R (2011). Efecto de tres dosis en tres épocas de aplicación de Pyraclostrobin (COMET®) en el control de la mancha foliar (*Alternaria brassicae* Berk) y validación del efecto AgCelence en el rendimiento de un híbrido de Brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica).
12. Castellanos, L. (2015). 10 beneficios Del Brócoli para La Salud. <https://es.scribd.com/>: 10 Beneficios Del Brócoli para La Salud. Revisado el 25 de marzo de 2015
13. Centeno Rodríguez, M. A. C., Gómez Salazar, J., & Cerón García, A. (2017). Efecto del tratamiento térmico en compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas en brócoli. *jóvenes en la ciencia*, 3(2), 95–100.  
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/articloe/view/1682>
14. Chanwala, P., Soni, A. K., y Sharma, D. (2019). Effect of foliar spray of plant growth regulators on yield of sprouting broccoli (*Brassica oleracea* var. itálica L.). *International Journal of Chemical Studies*, 7(5), 1342–1344.  
<https://www.chemijournal.com/archives/?ArticleId=7130&issue=5&si=false&vol=7&year=2019>
15. Checca, Q. J. A. (2018). Efecto de la aplicación de citoquininas en el rendimiento y la calidad del melón (*Cucumis melo* L.) (Doctoral dissertation, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano).
16. Contreras, M. (2010). Efecto de la aplicación de CPPU sobre calidad de fruta en arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivar Elliot. (tesis de pregrado).
17. Cortez, E., & Macías, J. (2007). Parasitismo natural de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* L. en canola (*Brassica napus* L.), en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*, 41(3).  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952007000300347](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952007000300347).

18. Cruz, M., Melgarejo, L., Romero, M. (2016). Fitohormonas. Disponible en <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38934198/AUXINAS.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DI>
19. Davies, P.J. (2010). Plant Hormones: *Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*, Ed 3. Springer Netherlands
20. De Britto, S., & Jogaiah, S. (2022). Priming with fungal elicitor elicits early signaling defense against leaf spot of broccoli underlying cellular, biochemical and gene expression. *Microbiological Research*, 263, 127143. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127143>
21. Dehkordi, R. A., Roghani, S. R., Mafakheri, S., & Asghari, B. (2021). Effect of biostimulants on morpho-physiological traits of various ecotypes of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, 283, 110077. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110077>
22. Díaz Monroy, B. L., Iglesias, A. E., y Valiño Cabrera, E. C. (2014). Evaluación del bioensilaje de brócoli (*Brassica oleracea* L.) y Avena (*Avena sativa* L.) como suplemento en vacas lecheras. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 21-30. <https://core.ac.uk/download/pdf/481681211.pdf>
23. Du Jardín, P., 2015. Planta Bioestimulantes: Definición, concepto, categorías principales y regulación. *Científica horticultura, Bioestimulantes en Horticultura* 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
24. FAOSTAT. (2021). Crops and livestock products: Broccoli and cauliflower exports. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 21 <https://www.fao.org/faostat/en/>
25. Flores Rodríguez, J. C. (2023). Efecto de la aplicación de Citoquinina y Potasio en el cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) en la Irrigación Olmos. Tesis de licenciatura. UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4331>
26. Garay-Arroyo, Adriana; de la Paz-Sánchez, María; García-Ponce, Berenice; Álvarez-Buylla, Elena R. y Gutiérrez, Crisanto. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. *REB. Revista de educación bioquímica*, 33(1), 13-22.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-19952014000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952014000100003&lng=es&tlng=es)

27. González García, J. Á., & Ayuso Yuste, M. C. (2021). Manual del cultivo del brócoli. <https://cicytex.juntaex.es/>: <https://cicytex.juntaex.es/manuales>
28. Gratacós-Cubarsí M., A. Ribas-Agusti, J. A. García-Regueiro and M. Castellari (2010) Simultaneous evaluation of intact glucosinolates and phenolic compounds by UPLC-DAD-MS/MS in *Brassica oleracea* L. var. botrytis. *Food Chemistry* 121:257-263, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.081>.
29. Gupta R, Chakrabarty SK (2013). Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. Doi: 10.4161/psb.25504
30. Hernández, R. C. A. (2024). Evaluación de la Gallinaza Como Fertilizante en el Cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica) en Condiciones de Campo Abierto. Tesis de licenciatura. UAAAN
31. Hernández, S. J. P., Ortega, A. E. M., González, G. P., y Huerta, A. J. (2024). Extracción de sulforafano a partir de la *Brassica oleracea* var. Itálica. *Brazilian Journal of Development*, 10(12), e75609-e75609.
32. Hidalgo, L (2006). El cultivo de brócoli. Riobamba.
33. Hönig, M; Plíhalová, L; Husičková, A; Nisler, J, y Doležal, K. (2018) Papel de las citoquininas en la senescencia, la defensa antioxidante y la fotosíntesis. *International journal of molecular sciences*, 19(12), 4045. <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/12/4045>
34. Infante Fuentes, O. J. (2018). Rendimiento y calidad de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica) cv. Imperial empleando cuatro densidades de siembra. Tesis licenciatura. UNALM.
35. INFOAGRO. (2022). El cultivo del brócoli. Obtenido de infoAgro.com: <https://infoagro.com/hortalizas/broculi.htm>
36. Iqbal, W., Ayyub, C.M., Jahangir, M.M, y Ahmad, R (2023). Effect of foliar application of bio-stimulants on growth, yield and nutritional quality of broccoli. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e263302. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.263302>

37. Jameson, P. (2016). *Cytokinins*. En B. Thomas, D. Murphy, B. Murray (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (pp 79-84). Amsterdam, Boston: Academic Press.
38. Jaramillo, N. J.E (2012). Hibridación para la obtención de *Brassica oleracea* var. Romanesco: <https://obtencionderomanesco.blogspot.com/2012/>
39. Julca Olivera, T. E. (2023). Respuesta del pimiento piquillo (*Capsicum annuum* L) a la aplicación de citoquininas en condiciones del valle de Huaura.
40. Kamińska, M., Styczynska, A., Szakiel, A., Pączkowski, C., y Kućko, A. (2024). Comprehensive elucidation of the differential physiological kale response to cytokinins under in vitro conditions. *BMC Plant Biology*, 24(1), 674. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05396-8>
41. Khan y Mazid (2018). Khan K, Mazid M. Respuestas del garbanzo a la aplicación de reguladores del crecimiento vegetal, sustancias orgánicas y nutrientes. *Avances en la investigación de plantas y agricultura*. 2018; 8:259–273.
42. Krarup, C. (1992). Seminario sobre la producción de brócoli. Quito, Ecuador. Proexant-Agridec/Chemonics.
43. Laiza, P. (2019). Influencia de tres dosis de biol como complemento a la fertilización mineral en el rendimiento del cultivo de brócoli *Brassica Oleracea* L. (Brassicaceae) en condiciones del valle Santa Catalina. Tesis Universidad Privada Antenor Orrego.
44. Lallié, H.D., Oro, F. Z., Nekkal, N., & el Hattimy, F. (2021). Effect of biostimulant Banzaï and fertilizer on the yield of cocoa trees in the locality of N'gouanmoinkro, Central Côte d'Ivoire. *E3S Web of Conferences*, 319, 02011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131902011>
45. Ljung K; Bhalerao R.P. y Sandberg G (2001). Sites and homeostatic control of auxina biosynthesis in *Arabidopsis* during vegetative growth. *Plant Journal* 28: 465 – 474
46. Mandingbam, V., Mandal, C. K., & Jana, S. (2020). Effect of some plant growth regulators on growth, yield and quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck). *International Journal of Current Microbiology and*

*Applied Sciences*, 9(11), 2437–2442.

<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.293>

47. Michniewicz, M., Zago, M. K., Abas, L., Weijers, D., Schweighofer, A., Meskiene, I., Heisler, M. G., Ohno, C., Zhang, J., Huang, F., Schwab, R., Weigel, D., Meyerowitz, E. M., Luschnig, C., Offringa, R., y Friml, J. (2007). Antagonistic regulation of PIN phosphorylation by PP2A and PINOID directs auxin flux. *Cell*, 130(6), 1044–1056. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.07.033>
48. Montaner, C; Mallor, C; Laguna, S; y Zufiaurre, R. 2023. Bioactive compounds, antioxidant activity, and mineral content of bróquil: A traditional crop of *Brassica oleracea* var. *italica*. *Frontiers in Nutrition* 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1006012>
49. Morra, M. J., & Kirkegaard, J. A. (2002). Isothiocyanate release from soil-incorporated *Brassica* tissues. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1683–1690. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00153-0)
50. Octavio, A. K. J. (2020). Evaluación del desarrollo morfológico de diferentes variedades de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) bajo un sistema hidropónico nft universidad agraria del ecuador].
51. Stoller de Chile S.p.A. (2022). *Ficha técnica Stimulate™* (FTSTIMULATE\_01219). [https://www.stoller.cl/wp-content/uploads/2022/04/FTSTIMULATE\\_01219.pdf](https://www.stoller.cl/wp-content/uploads/2022/04/FTSTIMULATE_01219.pdf)
52. ORTIZ Huamani, H. (2019). Abonamiento orgánico y químico en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.) en la comunidad campesina de Los Ángeles, Huancarama-Andahuaylas-Apurímac. Tesis de licenciatura. Repositorio Institucional UNSAAC. Disponible en: [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4186/253T20190308\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4186/253T20190308_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
53. Ortuño, V.O.E. (2019). Efecto de tres concentraciones del residuo de endulzado de chocho sobre *Alternaria* sp y *Brevicorine brassicae* L(Pulgón) en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.) en el laboratorio. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, 17-25.

54. Otero, P. (2020). Plagas y enfermedades del Brócoli: Guía completa con fotos. <https://www.agrohuerto.com/plagas-y-enfermedades-del-brocoli/>
55. Patiño, S. A. J. (2024). Evaluación de los estados fenológicos y rendimiento del cultivo de brócoli con la aplicación de distintas dosis de citoquininas en la Quinta - Experimental La Argelia.
56. Pomerix. (s.f.). Stoller Stimulate Yield Enhancer. <https://www.pomerix.com/pesticides/stoller-stimulate-yield-enhancer>
57. Proain. (2020). Plagas y enfermedades de importancia en la producción de brócoli. proain.com: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/plagas-y-enfermedades-de-importancia-economica-en-la-produccion-de-brocoli>.
58. ProducePay. (2022). *Regiones productoras de brócoli en México*. ProducePay. <https://producepay.com/es/el-blog/regiones-productoras-de-brocoli-en-mexico/>
59. Puenayan, A., Córdoba, F., y Unigarro, A. (2010). Respuesta del brócoli *Brassica oleracea* var. Italica L. Híbrido Legacy a la fertilización con N-P-K en el municipio de Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 27(1), 49-57. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/48>
60. Red Agrícola. 2017. Fitohormonas: reguladores de crecimiento y bioestimulantes. Disponible en <http://www.redagricola.com/cl/fitohormonas-reguladores-decrecimiento-y-bioestimulantes/>
61. Rademacher, W. (2016). Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(2), 303–328 [10.1007/s00344-015-9541-6](https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6)
62. Rocha Ibarra, J. E., & Cisneros-Reyes, Y. (2019). La producción de brócoli en la actividad agroindustrial en México y su Acta Universitaria, 29, 1-13. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174/au.2019.2156>
63. Rodríguez, R. R, J. (2023). Evaluación de bioestimulantes orgánicos en comportamiento y rendimiento del cultivo brócoli (*Brassica oleracea* L. var. itálica Pleck) en condiciones agroclimáticas de Huari, Áncash. Tesis de licenciatura. UNJFSC.

64. Rojas Guerrero, E. Y. (2018). Aplicación de bioestimulantes foliares sobre el rendimiento y calidad de frutos de palto (*Persea americana* Mill), variedad fuerte en el valle de Cieneguillo sur, Piura. Piura: UNP. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1265/AGR-ROJ-GUE-18.pdf>
65. Román-Llamuca, M. J. (2022). Evaluación de formulaciones potásicas en el rendimiento y calidad del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L) var. Itálica, híbrido Avenger. Tesis Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18361>
66. Ruíz Chavarría, J. G. (2017). Evaluación del efecto de tres productos comerciales que contienen auxinas, giberelinas, citoquininas y nutrientes en la producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), diagnóstico y servicios, El Amatillo, Agua Blanca, Jutiapa, Guatemala, CA (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
67. Saavedra-Leos, M.Z; Leyva-Porras, C., Toxqui-Terán, A. y Espinosa-Solis, V. (2021). Propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de polvos de jugo de tallo y flor de brócoli (*Brassica oleracea* var Itálica) secados por aspersión. *Molecules*, 26 (7), 1973. <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/7/1973>
68. Sakata. (2023). Manual de hortalizas. sakata.com: <https://www.sakata.com.br/assets/downloads/307/catalogo-de-hortalizas-2023.pdf>
69. Sardar, H; Irshad, M; Anjum, M. A; Hussain, S; ALI, S; Ahmad, R, Y Ejaz, S. (2022) "Foliar application of micronutrients improves the growth, yield, mineral contents, and nutritional quality of broccoli (*Brassica oleracea* L.)," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: Vol. 46: No. 6, Article 2. <https://journals.tubitak.gov.tr/cgi/viewcontent.cgi?article=3044&context=agriculture>
70. Schmülling, T. (2013). Enciclopedia of Biological Chemistry.627-631. Doi: 10.1016/B978-0-12-378630-2.00456-4

71. Segura, J. (2012). Citoquininas. En J. Azcón & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 421–444). McGraw-Hill.
72. Shelp, B.J., y Liu, L. (1992). Nutrient uptake by field-grown broccoli and net nutrient mobilization during inflorescence development. *Plant and Soil*, 140(1), 151–155. <https://doi.org/10.1007/BF00012817>
73. SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Brócoli. <https://online.pubhtml5.com/rsarc/ywrn/>
74. Singh, R. K., Topno, S. E., y Bahadur, V. (2024). Effect of GA<sub>3</sub>, NAA and Ethrel on plant growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* var. itálica). *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(10S): 488–492. DOI:[10.33545/26174693.2024.v8.i10Sf.2524](https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i10Sf.2524)
75. SNM. Servicio Meteorológico Nacional (2023). [Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia](#)
76. Soengas, P., Velasco, P; Fernández, J. C y Cartea, M.E. (2021). New Vegetable Brassica Foods: A Promising Source of Bioactive Compounds. *Foods* 10(12):2911. <https://doi.org/10.3390/foods10122911>
77. Solis, K. (2020). Aplicación de dos bioestimulantes agrícolas en el comportamiento agronómico del pimiento (*Capsicum annuum* L.) en el recinto el deseo, Guayas (Tesis de pregrado). Recuperado de: <file:///C:/Users/casa/Music/Proyecto%20de%20Tesis/internacional%204.pdf>
78. Stoller (2022). *Ficha técnica: STIMULATE*. Recuperado de [https://www.stoller.cl/wp-content/uploads/2022/04/FTSTIMULATE\\_01219.pdf](https://www.stoller.cl/wp-content/uploads/2022/04/FTSTIMULATE_01219.pdf)
79. Tamura, S. (1991). Historical Aspects of Gibberellins. *Gibberellins*, 1–8. doi:10.1007/978-1-4612-3002-1\_1
80. Taiz L, Zeiger E (2011) *Plant physiology*. Quinta Edición. Sinauer Associates Inc. USA.
81. Tian, M. S., Davies, L; Downs, C. G., Liu, X, F, y Lill, R.E. (1995). Effects of floret maturity, cytokinin and ethylene on broccoli yellowing. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1–2), 7–15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092552149400047V>

82. Vázquez-González, C., Mejía-Garibay, B., Robles-López, M. R., y Ramírez-López, C. (2020). Impacto de las tecnologías de procesamiento del brócoli sobre compuestos fitoquímicos relevantes en salud humana: una revisión. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81365122003>.
83. Vélez, M., & Germán, A. (2014). EL fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Pereira.
84. Verma, N., y Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.002>
85. Vivanco-Estrada, R.A; Gavi-Reyes, F; Razo-Contreras, D; Sánchez-Rodríguez, E. y Coria-Téllez, A. (2017). Incremento de la calidad y menor costo de producción de brócoli (*Brassica oleracea* L.) mediante nutrición balanceada vía fertirriego. *Agroproductividad* 10(9): 15-19. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/184/146>
86. Wang, Y., y Irving, H. (2014). Developing a model of plant hormone interactions. *Plant Signaling Behav*, 6(4), 494-500. doi: 10.4161/psb.6.4.14558
87. Wiverg, W.D.M. (2015). Introducción y adaptación de híbridos de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica) en la Estación Experimental Agraria Santa Ana-Hualahoyo Huancayo. Tesis licenciatura. UNCP.
88. Woodward A. W; Bartel B (2005) Auxin: regulation, action, and interaction. *Ann Bot* 95: 707-735.
89. Wu, C; Hua, Y; Chen, Y; Kong, X; y Zhang C. (2017). Microestructura y propiedades modelo de transporte de solutos en geles de proteína de soja inducidos por transglutaminasa: efecto de la dosis enzimática, la composición proteica y el tamaño del soluto. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. 2017; 52:1527–1533. doi: 10.1111/ijfs.13444

90. Yi-Ping C, Zhi-Wei S, Xiao-Yan W, You-Rui S, Jin-Mao Y (2015). Determinación de reguladores del crecimiento vegetal mediante cromatografía líquida de alta resolución-espectrometría de masas en tándem acoplada con derivatización con codificación isotópica. *Revista China de Química Analítica*. 2015; 43:419–423. doi: 10.1016/S1872-2040(15)60814-3
91. Zamora, E. (2016). El cultivo del brócoli. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora-Hermosillo. Campo, 1-8. <https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>