



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**UNICONAZOL Y PROPICONAZOL COMO RETARDADORES  
DE CRECIMIENTO EN *Solanum lycopersicum* L.**

**TESIS**

**Que como requisito parcial para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**Presenta:**

**MANUEL DE JESÚS AVILA LIRA**

**Bajo la supervisión de:**

**DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS**

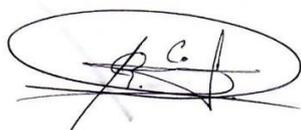


**Chapingo, Estado de México, mayo, 2022**

UNICONAZOL Y PROPICONAZOL COMO RETARDADORES DE  
CRECIMIENTO EN *Solanum lycopersicum* L.

Tesis realizada por **MANUEL DE JESÚS AVILA LIRA** bajo la dirección del  
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito  
parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**



**DIRECTOR:** \_\_\_\_\_  
DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS



**CO-DIRECTOR** \_\_\_\_\_  
DR. J. JESÚS MAGDALENO VILLAR



**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
DR. NATANAEL MAGAÑA LIRA



**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DATOS BIOGRAFICOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.2. 2.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
3.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO .....	4
3.2. ORIGEN.....	4
3.3. DISTRIBUCIÓN Y ADAPTACIÓN .....	5
3.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA .....	5
3.4.1. RAÍZ .....	5
3.4.2. TALLO .....	5
3.4.3. HOJAS.....	5
3.4.4. FLORES Y FRUTO.....	6
3.5. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS .....	6
3.5.1. ALTITUD .....	6
3.5.2. TEMPERATURA .....	6
3.5.3. HUMEDAD RELATIVA.....	8
3.5.4. RADIACIÓN .....	8
3.6. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	8
3.6.1. DAMPING-OFF.....	8
3.6.2. MOHO GRIS ( <i>BOTRYTIS CINEREA</i> ) .....	9
3.6.3. MOSQUITA BLANCA ( <i>TRIALEURODES VAPORARIOURUM</i> Y <i>BEMISIA TABACI</i> ) .....	9
3.6.4. ARAÑA ROJA ( <i>TETRANYCHUS URTICAE</i> ) .....	10
3.6.5. MOSAICO (ToMV) .....	10
3.7. HORMONAS .....	10
3.8. GIBERELINAS .....	11
3.9. AUXINAS .....	12
3.10. REGULADORES DE CRECIMIENTO .....	12
3.11. ANTECEDENTES DEL USO DE REGULADORES DE CRECIMIENTO .....	12
3.12. CUANTIFICACIÓN HORMONAL.....	14
3.12.1. CROMATOGRAFÍA LIQUIDA DE ALTO RENDIMIENTO (HPLC, HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY) .....	14
<b>4. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>15</b>
4.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO .....	15
4.2. MATERIAL VEGETAL .....	15
4.3. SUSTRATO .....	15
4.4. REGULADORES DE CRECIMIENTO .....	15

4.4.1.	PACLOBUTRAZOL.....	15
4.4.2.	PROPICONAZOL.....	16
4.4.3.	UNICONAZOL.....	16
<b>4.5.</b>	<b>DISEÑO DE TRATAMIENTOS .....</b>	<b>17</b>
4.5.1.	MÉTODO DE APLICACIÓN .....	18
<b>4.6.</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>18</b>
<b>4.7.</b>	<b>VARIABLES EVALUADAS.....</b>	<b>18</b>
4.7.1.	ALTURA DE PLANTA .....	18
4.7.2.	NÚMERO DE HOJAS .....	18
4.7.3.	DIÁMETRO DEL TALLO .....	18
4.7.4.	ÁREA FOLIAR .....	18
4.7.5.	PESO FRESCO.....	19
4.7.6.	PESO SECO.....	19
4.7.7.	NÚMERO DE BOTONES .....	20
4.7.8.	NÚMERO DE FLORES .....	20
4.7.9.	NÚMERO DE FRUTOS .....	20
4.7.10.	PESO FRESCO DE FRUTOS .....	20
4.7.11.	PESO SECO DE FRUTOS .....	20
4.7.12.	VOLUMEN DE FRUTOS .....	20
<b>4.8.</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.9.</b>	<b>CUANTIFICACIÓN DE AG<sub>3</sub> Y IAA.....</b>	<b>21</b>
4.9.1.	ANÁLISIS DE MUESTRAS .....	23
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
5.1.	ALTURA DE PLANTA.....	25
5.2.	NÚMERO DE HOJAS.....	27
5.3.	DIÁMETRO DE TALLO MEDIO .....	28
5.4.	NÚMERO DE BOTONES FLORALES .....	30
5.5.	NÚMERO DE FLORES .....	31
5.6.	NÚMERO DE FRUTOS POR RACIMO .....	33
5.7.	PESO FRESCO Y PESO SECO DE PLANTAS .....	34
5.8.	ÁREA FOLIAR .....	36
5.9.	NÚMERO DE FRUTOS, PESO FRESCO, PESO SECO Y VOLUMEN DE FRUTOS .....	38
5.10.	RENDIMIENTO .....	40
5.11.	COMPARACIONES DE MEDIAS PARA DOSIS DE PRODUCTOS RETARDADORES DE CRECIMIENTO. ....	42
5.12.	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE CONCENTRACIÓN DE HORMONAS AG <sub>3</sub> Y AIA POR CROMATOGRFÍA DE LÍQUIDOS DE ALTA EFICIENCIA. ....	50
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos generados con tres productos retardadores de crecimiento y tres dosis de aplicación en plantas de tomate.....	17
<b>Cuadro 2.</b> Especificación para las lecturas de estándares hechas mediante el HPLC. ....	24
<b>Cuadro 3.</b> Análisis de varianza correspondiente a la altura de plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis. ....	25
<b>Cuadro 4.</b> Comparación de medias para la altura de plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento. ....	26
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de varianza correspondiente al número de hojas en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.....	27
<b>Cuadro 6.</b> Comparación de medias para el número de hojas en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.....	28
<b>Cuadro 7.</b> Análisis de varianza correspondiente a diámetro de tallo medio en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.....	29
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias para el diámetro medio del tallo en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.....	30
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de varianza correspondiente al número de botones florales en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento en tres dosis distintas. ....	30
<b>Cuadro 10.</b> Comparación de medias para el número de botones florales por racimo en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento, a los 97 dds.....	31

<b>Cuadro 11.</b> Análisis de varianza correspondiente al número de flores en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.....	32
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de medias para el número de flores por racimo en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento, a los 67 y 97 dds. ....	33
<b>Cuadro 13.</b> Análisis de varianza correspondiente al número de frutos por racimo en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis, a los 97 dds. ....	33
<b>Cuadro 14.</b> Comparación de medias para el número de frutos por racimo en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento, a los 97 dds. ....	34
<b>Cuadro 15.</b> Análisis de varianza correspondiente al peso fresco y peso seco en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.....	35
<b>Cuadro 16.</b> Comparación de medias para el peso fresco y peso seco de plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.....	36
<b>Cuadro 17.</b> Analisis de varianza correspondiente al área foliar (cm <sup>2</sup> ) de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis. ....	36
<b>Cuadro 18.</b> Comparación de medias para el área foliar de plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento. ....	37
<b>Cuadro 19.</b> Análisis de varianza correspondiente al número de frutos en racimo muestreado al azar, peso fresco, peso seco y volumen de tres frutos seleccionados al azar en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis. ....	38
<b>Cuadro 20.</b> Comparación de medias para el peso fresco, peso seco y volumen de plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) con aplicación de retardadores de crecimiento. ....	40

<b>Cuadro 21.</b> Análisis de varianza correspondiente al rendimiento (kg) de plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento en tres diferentes dosis.....	40
<b>Cuadro 22.</b> Efecto de la aplicación de retardadores de crecimiento en el rendimiento (kg) de plantas de tomate. ....	41

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Integrador foliar Li-Cor® 3100. ....	19
<b>Figura 2.</b> Horno de secado con aire circulante. ....	19
<b>Figura 3.</b> Pesado de muestras en balanza granataria (izquierda); Tanque de nitrógeno líquido (derecha). ....	21
<b>Figura 4.</b> Liofilizadora LABCONCO, Laboratorio de Biofísica y Fisiología Vegetal y Ambiental, COLPOS. ....	22
<b>Figura 5.</b> Maceración de muestras en mortero (izquierda) pesado de muestras en balanza electro analítica (derecha). ....	22
<b>Figura 6.</b> Activación de columnas (filtros). ....	23
<b>Figura 7.</b> Equipo de cromatografía líquida de alta resolución. ....	24
<b>Figura 8.</b> Comparación de medias para dosis en tres productos retardadores, a) Altura de plantas de tomate a los 37 dds; b) Altura de diez plantas de tomate a los 97 dds; c) Número de hojas a los 97 dds; d) Diámetro del tallo medio a los 37 dds; D1, D2 y D3 paclobutrazol: 25, 50 y 75 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente; D1, D2 y D3 propiconazol: 50, 100 y 150 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente; D1, D2 y D3 uniconazol: 2, 3 y 4 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente. ....	44
<b>Figura 9.</b> Comparación de medias entre dosis de tres productos retardadores para número de botones florales en plantas de tomate a los 97 dds; a) primer racimo; b) segundo racimo; c) tercer racimo; d) cuarto racimo; e) quinto racimo; D1, D2 y D3 paclobutrazol: 25, 50 y 75 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente; D1, D2 y D3 propiconazol: 50, 100 y 150 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente; D1, D2 y D3 uniconazol: 2, 3 y 4 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente. ....	46

<b>Figura 10.</b> Comparacion de medias entre dosis en tres productos retardadores para el Número de flores por racimo en plantas de tomate a los 97 dds; a) segundo racimo; b) tercer racimo; c) cuarto racimo; d) quinto racimo; D1, D2 y D3 paclobutrazol: 25, 50 y 75 mg·L, respectivamente; D1, D2 y D3 propiconazol: 50, 100 y 150 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente; D1, D2 y D3 uniconazol: 2, 3 y 4 mg·L <sup>-1</sup> , respectivamente.....	47
<b>Figura 11.</b> Comparacion de medias para dosis en tres productos retardadores del número de frutos en el tercer racimo a los 97 dds.....	48
<b>Figura 12.</b> Comparación de medias para dosis en tres productos retardadores del peso fresco de tres plantas de tomate a los 37 dds. ....	49
<b>Figura 13.</b> Lecturas cromatograficas para estandar de AG <sub>3</sub> , λ = 206 nm....	51
<b>Figura 14.</b> Lecturas cromatograficas para estandar de AIA, λ = 254 nm.....	51
<b>Figura 15.</b> Lecturas cromatograficas para AG <sub>3</sub> y AIA de muestras de tallos y hojas de tomate tratadas con retardadores de crecimiento; λ = 206, , λ = 254, respectivamente.....	52

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** y al pueblo mexicano que han hecho posible la realización de este trabajo de investigación ofreciendo los recursos necesarios.

A mi alma mater la **Universidad Autónoma Chapingo** que me ha brindado el espacio y recursos para mi estancia en este posgrado.

Al **Instituto de Horticultura** y los profesores del **Departamento de Fitotecnia**, con las enseñanzas impartidas en cada curso sustentaron el conocimiento y crecimiento profesional adquiridos.

A mi comité asesor conformado por **Dr. Rogelio Castro Brindis, Dr. J. Jesús Magdaleno Villar, Dr. Natanael Magaña Lira y Dr. Mario Pérez Grajales** del Departamento de Fitotecnia, que con su dirección y apoyo permitieron la realización de este proyecto.

A los profesores del **Colegio de Postgraduados** campus Montecillo, especialmente al Dr. Ivan Ramírez por su asesoría y apoyo durante el trabajo de laboratorio. Al Dr. Victor A. González del Departamento de Fisiología Vegetal, Dr. Carlos Trejo del Departamento de Fisiología Vegetal Ambiental y a la Dra. María Magdalena Crosby del Departamento de Nutrición Animal por las facilidades, apoyo y disposición durante el proceso de análisis hormonal.

A mis compañeros y amigos C. Rivera, G. Ramos, C. Castañeda, T. Del Prado, K. Martínez y G. Acosta por todo el soporte y amistad en este trayecto.

A la administración del Posgrado en Horticultura dirigida por el Dr. Alejandro F. Barrientos y anteriormente por el Dr. J. Oscar Mascorro Gallardo por todo el apoyo brindado en el transcurso de esta maestría.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **DATOS PERSONALES**

Nombre: Manuel de Jesús Avila Lira

Fecha de nacimiento: 17/ enero/ 93

Lugar de nacimiento: Guadalupe Victoria, Durango

CURP: AILM930117HDGVRN05

Profesión: Ing. Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola

Cédula profesional: 12722842



### **DESARROLLO ACADÉMICO**

Bachillerato: 2008-2011 EMSAD 12 Ramón Corona, Dgo.

2011-2012 Propedéutico, Universidad Autonoma Chapingo

Universidad: 2012-2016 Departamento de Parasitología agrícola, UACH

## RESUMEN

### UNICONAZOL Y PROPICONAZOL COMO RETARDADORES DE CRECIMIENTO EN *Solanum lycopersicum* L.

Los objetivos del presente estudio fueron evaluar el efecto fisiológico de retardar temporalmente el crecimiento y analizar el cambio en la concentración hormonal de giberelinas y auxinas ( $AG_3$  y AIA) en tomate (Híbrido comercial 'El Cid F1') con la aplicación de diferentes dosis de los productos retardadores de crecimiento uniconazol y propiconazol (2, 3 y 4; 50, 100 y 150  $mg \cdot L^{-1}$ , respectivamente) las aplicaciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de siembra (dds), y la evaluación de las variables de interés a los 7 días después de cada aplicación. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial de dosis anidadas en productos, con cuatro repeticiones y 10 tratamientos los cuales resultaron de la combinación de productos, dosis (baja, media y alta) y dos testigos (paclobutrazol 25, 50 y 75  $mg \cdot L^{-1}$ ; y sin aplicación). Durante la etapa de plántula la dosis 4  $mg \cdot L^{-1}$  de uniconazol presentó el mayor efecto de reducción en altura y peso fresco, en el producto propiconazol la dosis 50  $mg \cdot L^{-1}$  mostró el mayor promedio en diámetro de tallo mientras que la dosis con 150  $mg \cdot L^{-1}$  generó un efecto superior en la reducción de peso fresco. En términos generales la dosis de 50  $mg \cdot L^{-1}$  de paclobutrazol se mostró como la mejor en la detención temporal del crecimiento. La cuantificación hormonal no generó resultados válidos ya que el límite de detección del cromatógrafo de líquidos de alta resolución excede la concentración de los analitos.

**Palabras clave:** paclobutrazol, tomate, hormonas, crecimiento.

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.  
Autor: Manuel de Jesús Avila Lira  
Director de Tesis: Dr. Rogelio Castro Brindis

## ABSTRACT

### UNICONAZOLE AND PROPICONAZOLE AS GROWTH RETARDANTS IN *Solanum lycopersicum* L.

The objectives of the present study were to evaluate the physiological effect of the temporarily retard growth and to analyze the change in the hormonal concentration of gibberellins and auxins (GA<sub>3</sub> and IAA) in tomato (commercial hybrid El Cid F1') with the application of different growth retardant doses of uniconazole and propiconazole (2, 3 and 4; 50, 100 and 150 mg·L<sup>-1</sup>, respectively) the applications were made at 30, 60 and 90 days after sowing (das), and the evaluation of the variables of interest at 7 days after each application. The experimental design was randomized complete blocks with a factorial arrangement of nested doses in products, with four replicates and 10 treatments which resulted from the combination of products, doses (low, medium, and high) and two controls (paclobutrazol [25, 50 and 75 mg·L<sup>-1</sup>] and not applied). During the seedling stage the dose of 4 mg·L<sup>-1</sup> of uniconazole presented the greatest effect of reduction in height and fresh weight, in the product propiconazole the dose of 50 mg·L<sup>-1</sup> showed the highest average in stem diameter while the dose with 150 mg·L<sup>-1</sup> generated a superior effect on fresh weight reduction. Overall, the 50 mg·L<sup>-1</sup> dose of paclobutrazole was shown to be the best at temporary growth retard. Hormonal quantification did not generate valid results since the detection limit of the high-resolution liquid chromatograph exceeds the concentration of analytes.

**Keywords:** paclobutrazole, tomato, hormones, growth.

---

<sup>2</sup> Thesis, MSc In Horticultural Sciences, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: Manuel de Jesús Avila Lira  
Advisor: Dr. Rogelio Castro Brindis

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia del tomate rojo (jitomate) es fácil de resaltar ya que su uso en la cocina e industria alimenticia nacional y en un contexto mundial es demasiado extenso, por ello este cultivo junto al de chile y papa son los más importantes dentro de las solanáceas. Aunado a esta demanda su relativo alto valor comercial propicia la implementación de tecnología agrícola como el uso de estructuras de protección, sistemas de riego, nutrición y monitoreo del ambiente, así como mejoramiento genético, uso de semillas certificadas, productos plaguicidas y en general sistemas de producción que representan costos de inversión elevados, por ello la importancia de garantizar altos rendimientos que justifiquen estos métodos de producción.

La producción y el consumo a nivel global y nacional de tomate presenta una tendencia al alza durante esta década. Se considera a China como el más importante productor y consumidor de esta hortaliza con más de 60 millones de toneladas por año, México es el principal exportador convenientemente teniendo al principal importador como vecino, Estados Unidos (1,662,000 toneladas en 2020). La producción ha crecido principalmente por el aumento en la productividad promedio por unidad de superficie con el avance en la tecnología e implementación de métodos más efectivos de cultivo. Por su parte, el consumo debe su alta demanda por un aumento en el comercio en países como China e India, además del constante aumento en la población mundial (FIRA, 2019; SIAP, 2021).

En México el tomate es la hortaliza de mayor producción, ya que se debe garantizar cubrir la demanda nacional y de exportación. De acuerdo con datos reportados en 2021 para el ciclo primavera-verano 2020, la producción de tomate fue de 1,878,289 toneladas, esto representa 1.3 % menos cantidad que la registrada el año anterior (1,902,276 toneladas). Se ha indicado que durante el año en curso el tomate nacional ha sido demandado por cuatro países como Estados Unidos, Canadá, Japón y Emiratos Árabes Unidos (SIAP, 2021).

La producción del tomate en invernadero proporciona una gran ventaja al compararla con la producción convencional a cielo abierto ya que esta estructura cumple la función de crear un microclima ideal para el crecimiento y desarrollo óptimos y con ello obtener mayores rendimientos, considerando que este factor está determinado por la capacidad de la planta para acumular materia seca en los órganos destinados para la cosecha (Casierra-Posada et al., 2007), dicha producción pretende cubrir la demanda generada en dos ventanas de mercado importantes en los periodos de julio-agosto y al final del año en noviembre-diciembre (SADER, 2019).

Para complementar el buen uso de la agricultura protegida, el conocimiento del cultivo nos proporciona un panorama más claro sobre su manejo. Durante el ciclo de vida, dentro de la planta sus procesos son regulados en gran medida por la acción de las hormonas, estas sustancias se caracterizan por ser sintetizadas de manera natural y en cantidades adecuadas de acuerdo con el proceso que regulan. Los cambios en la concentración y su distribución regulan el crecimiento además de las respuestas al estrés biótico y abiótico (Porta & Jiménez, 2019).

Las hormonas vegetales controlan la mayoría de los procesos fisiológicos como son: la división celular, la germinación, el crecimiento, la floración, la formación del fruto, la caída de hojas y la senescencia (Buchanan et al, 2015; Finkelstein, 2010; Porta & Jiménez 2019). Algunas sustancias sintéticas pueden presentar actividad biológica similar a la desempeñada por las hormonas inclusive sin que dichas sustancias presenten analogía estructural con la hormona, basado en esto los reguladores de crecimiento se consideran como compuestos orgánicos, naturales o sintéticos similares a las fitohormonas y cumplen un papel importante en la regulación de diferentes procesos bioquímicos a nivel celular en los organismos vegetales (Alcántara, et al., 2019).

Dentro de este grupo, se encuentran los retardadores de crecimiento. Las plantas de tomate responden a la aplicación de sustancias retardadoras de crecimiento dependiendo del tipo de regulador, concentración y el método de

aplicación, otro factor importante es el estado fenológico de la planta (Fletcher et al., 2000).

Algunos productos químicos utilizados en la agricultura como fungicidas han sido reportados con efecto retardador, el paclobutrazol es el más estudiado de ellos, con acción en la inhibición de la síntesis de giberelinas (Jankiewicz, 2003), otros productos con efectos menos documentados son el uniconazol que presenta el mismo modo de acción, la inhibición de síntesis de giberelinas (Ballester-Olmo, 2005) y el propiconazol que se ha reportado genera en la planta aumento en las concentraciones de ácido abscísico y citoquininas (Kavina et al., 2012). Determinar la relación entre la aplicación de productos con efecto retardante de crecimiento y la concentración hormonal, específicamente de auxinas (ácido indolacético) y giberelinas ( $AG_3$ ) resulta interesante ya que ello supone lograr un mejor entendimiento de los cambios internos en la planta de tomate con dos sustancias biorreguladoras ligadas al crecimiento y desarrollo de la planta.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.2. 2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto fisiológico en la detención temporal del crecimiento de tomate mediante la aplicación de retardadores del crecimiento.

### **2.3. Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de distintas dosis de los retardadores de crecimiento uniconazol y propiconazol durante la etapa de plántula sobre la disminución diferentes variables de carácter agronómico al momento del trasplante, y parámetros de rendimiento en los primeros tres racimos en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero.

Analizar el cambio en la concentración hormonal de la giberelina y auxina ( $AG_3$  y AIA) de las plantas tratadas con dichos retardadores del crecimiento.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Importancia del cultivo

El tomate es la hortaliza más importante del mundo. FIRA (2017) indicó que en 2014 la superficie cosechada a nivel mundial se concentró en cuatro países, donde destaca China con el 19.8 %, India con el 18.8 % siendo estos dos también de los países con mayor número de población, complementan Nigeria y Turquía con 10.8 y 6.4 % respectivamente.

En México, gracias al cultivo de esta hortaliza, la industria hortofrutícola nacional ha podido desarrollar, debido a su valor comercial en el mercado nacional y de exportación y la superficie sembrada, en 2021 a causa de la pandemia mundial por Coronavirus el SIAP (2021) en su publicación del escenario mensual de productos reporta que para este cultivo se tiene la capacidad de garantizar el abasto del consumo nacional, pero la preocupación principal es garantizar la distribución de dicha producción. El estado de Sinaloa líder nacional de producción concentra el 91.3 %, sin embargo, por la disminución del 10.1 % de superficie cosechada (1,047 hectáreas) presentó una disminución de 73,296 toneladas con respecto al año anterior, debido entre otras causas a la falta de mano de obra, también ocasionada por la pandemia.

#### 3.2. Origen

Se considera a la región andina como centro de origen del género *Lycopersicum*, esta abarca desde Colombia hasta Chile, pasando también por Ecuador, Perú y Bolivia. En regiones de estos países se considera surgieron todos los tomates nativos que se conocen, incluidas las Islas Galápagos (Rick, 1973; Taylor, 1986). México es considerado el mayor centro de domesticación del tomate (Peralta & Spooner, 2007).

El tomate fue clasificado en 1794 por Miller como *Lycopersicon esculentum* posteriormente este nombre fue modificado por Peralta et al. (2006) como *Solanum lycopersicum*, clasificación que se mantiene vigente hasta ahora (Díez & Nuez, 2008).

### **3.3. Distribución y adaptación**

El cultivo se distribuye en las latitudes 40° LN a 40° LS (Benacchio, 1982). El tomate es una planta de clima calido con buena adaptación a climas templados (Corpeño, 2004). Otros autores como González (1984) indicó que se adapta tambien a zonas tropicales y subtropicales.

### **3.4. Descripción botánica**

Es una planta perenne con porte arbustivo, puede desarrollarse de tres formas: rastrera, semierecta o erecta. Es una herbácea de tallo semileñoso, que se cultiva como anual, cuyo crecimiento puede ser limitado en variedades denominadas determinadas o ilimitado en variedades indeterminadas.

#### **3.4.1. Raíz**

El sistema radical de la planta presenta una raíz principal pivotante que crece aproximadamente 3 cm por día hasta que alcanza unos 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen (Rodríguez et al., 2001). El sistema radical tiene como funciones la absorción y el transporte de nutrientes, así como la sujeción o anclaje de la planta al suelo (Nuez, 1995).

#### **3.4.2. Tallo**

Tiene una apariencia herbácea; se encuentra compuesto de epidermis cubierta con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular (Escobar & Lee, 2009). A pesar de su naturaleza semileñosa el tallo es delgado y no es capaz de mantenerse erguido (Gorini, 2018).

#### **3.4.3. Hojas**

A lo largo del tallo se desarrollan las hojas de hasta 25 cm de longitud en cada nudo, se denominan hojas pinnadas o compuestas ya que constan de 9 a 11 foliolos simples, características distintas varían de acuerdo con los factores edafoclimáticos (Gorini, 2018).

#### **3.4.4. Flores y fruto**

Las inflorescencias aparecen bajo el ápice del tallo principal después de la cuarta hoja éstas presentan flores agrupadas en racimos simples y ramificados; las flores son bisexuadas (lo cual prevalece la autofecundación), actinomorfas y péndulas, de 1 a 2 cm de largo y color amarillo brillante. Están formadas por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, es decir, con los sépalos soldados entre sí, y la corola gamopétala; el androceo tiene cinco o más estambres adheridos debajo de la corola con las anteras que forman un tubo; el gineceo presenta de dos a treinta carpelos (Gorini, 2018).

El fruto tarda entre cuarenta y cinco a sesenta días en madurar después de la polinización; El fruto es una baya de forma ovoide, globular o aplastado que tiene de dos a siete cavidades ováricas que contienen numerosas semillas. Los pigmentos que dan color rojo o amarillo al fruto maduro son antocianinas y carotenos (Gorini, 2018).

### **3.5. Requerimientos climáticos**

#### **3.5.1. Altitud**

Se consideraba 0-1000 m (Benacchio, 1982), posteriormente 100-1500 m (Corpeño, 2004).

#### **3.5.2. Temperatura**

La planta de tomate tiene respuestas favorables ante el clima cálido, sin embargo, es intolerante a bajas temperaturas y heladas, la temperatura base de crecimiento es de 10.5 °C, por debajo de esta, el cultivo tiene efectos negativos en la planta y el fruto como reducción en la germinación de semillas, inhibición del desarrollo vegetativo, retraso en la maduración y disminución en la producción de frutos. Por otro lado, temperaturas arriba de 35° C tiene afecciones en el desarrollo de color del fruto y reduce el cuajado. La temperatura óptima para el desarrollo de la planta se encuentra entre 18.5 °C Y 26.5 °C (Jones, 1999; Shamshir et al., 2018)

El tomate requiere de una diferencia de temperatura entre el día y la noche de 5 y 7 °C (Shamshir et al., 2018). La temperatura diurna adecuada se encuentra entre 21-29.5 °C y nocturna entre 18.5- 21 °C (Jones, 1999).

### **Germinación**

La temperatura óptima para la germinación de tomate está comprendida entre los 25 a 30 °C, por debajo de los 10 °C la semilla no germina (Velasco & Nieto, 2006).

### **Crecimiento**

La temperatura óptima para el crecimiento vegetativo se encuentra en un rango de 18 a 25 °C. En los cultivos jóvenes, la temperatura desempeña un papel de suma importancia en la expansión del follaje y por lo tanto en la intercepción de la radiación, mientras que para las hojas cerradas su principal efecto se da a través del mantenimiento de la respiración (Heuvelink, 2005).

### **Floración**

En variedades de crecimiento indeterminado, la temperatura afecta la iniciación, el desarrollo floral, el cuajado y el crecimiento del fruto, y dicho efecto se relaciona con las condiciones de luz. La temperatura considerada óptima para la antesis es de 19 °C, y el cuajado de los frutos se interrumpe por encima de la temperatura día/noche de 26/20 °C. Las altas temperaturas reducen la calidad del polen, aumentan también las anomalías florales y con ello reduce el número de frutos, por el contrario, una amplitud baja de temperatura nocturna (10-13 °C) puede inducir a la planta a producir un mayor número de inflorescencias (Dorais et al., 2001).

### **Fructificación**

La temperatura óptima para que se produzca la fecundación y amarre del fruto se puede establecer entre los de 23 a 26 °C en el día, con un rango de 14 y 18 °C durante la noche, según estudios presenta mayor relevancia la temperatura nocturna, ya que ésta tiene mayor influencia sobre estos dos procesos (Velasco & Nieto, 2006).

## **Producción de raíces**

La temperatura considerada adecuada para el crecimiento de raíces es de 22 a 25 °C, con temperatura de 15 °C o menor a estos valores las raíces se vuelven susceptibles a enfermedades; se incrementa también el riesgo de presentar síntomas de deficiencia nutricional de elementos como fósforo y de magnesio (León, 2006).

### **3.5.3. Humedad relativa**

El manejo adecuado de la humedad relativa es muy importante en el desarrollo de este cultivo, un intervalo óptimo para la mayoría de las variedades se encuentra entre 60-90 % (Shamshiri et al., 2018). Si la humedad relativa aumenta demasiado la planta puede presentar enfermedades fungosas, se propicia el agrietamiento de frutos y se dificulta la fecundación a causa de la compactación del polen. Niveles demasiado bajos de humedad relativa también ocasionan fallas en la fecundación ya que se reseca el polen y se imposibilita la fijación en el estigma floral (León, 2006).

### **3.5.4. Radiación**

El tomate se considera insensible al fotoperiodo, entre 8-16 horas, pero siempre requiere que exista buena iluminación. La radiación total diaria de 0.85 MJ m<sup>-2</sup> es considerada el umbral mínimo para la correcta floración y cuajado de fruto, considerando más adecuado un periodo corto de mayor iluminación a otro con iluminación baja por un periodo de tiempo más prolongado (León, 2006).

## **3.6. Plagas y enfermedades**

### **3.6.1. Damping-off**

Agente causal *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp.

Los síntomas ocasionados por este complejo de hongos se dividen en pre y post-emergentes, los primeros destacan por la pudrición y muerte de semillas, mientras los post-emergentes son la podredumbre de la base del tallo hasta las raíces, se presentan también decoloramiento en tallos, marchitez y muerte

general de la planta, los cuales se presentan principalmente en plantulas, aunque si las condiciones climaticas son optimas para el desarrollo fungoso pueden aparecer en plantas maduras, otros sintomas reportados son lesiones oscuras en las raices laterales y la reduccion de raices absorbentes. Las condiciones que favorecen su aparicion son suelos humedos y temperaturas calidas, y su forma de propagacion es por el agua de lluvia o de riego ya que estos hongos son habitantes comunes del suelo.

El manejo de la enfermedad es preventivo con la aplicación de productos quimicos, evitar riegos y fertilización nitrogenada excesiva (Obregon, 2018).

### **3.6.2. Moho gris (*Botrytis cinerea*)**

Se presenta en las hojas como manchas color marron por la abundante esporulacion del hongo, en los frutos inmaduros genera halos color blancos, sintoma conocido como mancha fantasma, cuando los frutos son maduros esta enfermedad puede causar ablandamiento de tejidos y se forman areas blanquecinas donde tambien se pueden formar esclerocios oscuros (Obregon, 2018).

*B. cinerea* es uno de los patogenos con más riesgo de generar cepas resistentes a fungicidas ( Russel, 2004). El manejo de esta enfermedad consta de una combinacion de medidas culturales y el uso de productos fungicidas, entre estos estan los bencimidazoles, dicarboximidias y carboxamidias (Gepp et al., 2012).

Es un saprófito muy eficiente ya que sus esporas son liberadas y transportadas en el aire con gran facilidad durante las labores culturales. El metodo de control más utilizado es la eliminación de plantas enfermas y la aplicación de fungicidas como azoxistrobina y una mezcla de cyprodynil con fludioxinil (Obregon, 2018).

### **3.6.3. Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*)**

Existen varias especies de mosca blanca, sin embargo hay dos de ellas reconocidas por su importancia en pérdidas económicas en invernaderos; *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*. Su ciclo biológico dura

aproximadamente 28 a 30 días y el incremento de la población depende de las altas temperaturas.

El hábito alimenticio de estos insectos es chupador, el estado de ninfa y adulto se alimentan de la savia causando daño directo e indirecto, el primero provoca amarillamiento y marchitez de la planta y el daño indirecto, principalmente es la capacidad de transmisión de virus, también la reducción del área fotosintética debido al desarrollo de un hongo llamado fumagina cuya propagación es favorecida por el desecho de sustancias azucaradas que excretan los adultos y la humedad ambiental (Villasanti & Pantoja, 2013).

#### **3.6.4. Araña roja (*Tetranychus urticae*)**

Este ácaro pertenece a la familia tetranychidae, su ciclo biológico dura de 10 a 15 días con 25 °C y 80 % de humedad relativa. Las condiciones de altas temperaturas y tiempo seco favorecen su desarrollo.

Las ninfas y adultos ocasionan daños al consumir la savia de las plantas provocando amarillamiento, necrosis y desprendimiento de hojas. Generalmente las colonias se ubican en el envés de las hojas, cuando las colonias son elevadas se puede observar las telarañas que cubren a los huevos y larvas (Villasanti & Pantoja, 2013).

#### **3.6.5. Mosaico (ToMV)**

Tomato mosaic virus (ToMV) es el agente causal del mosaico, que se refiere a zonas cambiantes entre verde claro y oscuro en las hojas, las cuales además pueden presentar enrollamiento. En frutos los síntomas son pardeamiento difuso y posterior necrosamiento. Éste virus es capaz de hospedar a otras especies de solanáceas y puede transmitirse por semilla (Villasanti & Pantoja, 2013).

### **3.7. Hormonas**

Las hormonas vegetales o fitohormonas también consideradas sustancias reguladoras en los procesos naturales de las plantas, son pequeñas sustancias químicas que desempeñan un papel de suma importancia en el crecimiento y desarrollo vegetal. Existen hasta ahora nueve fitohormonas bien

caracterizadas: ácido abscísico, ácido salicílico, ácido jasmónico y etileno son caracterizados como sustancias de respuesta al estrés, en cambio las auxinas, giberelinas, citocininas, brasinoesteroides y las estrigolactonas (nuevo grupo de hormonas vegetales) son clasificadas como promotoras de crecimiento (Verma, 2016; Stührwohldt & Schaller, 2019; Bowman et al., 2019).

La concentración hormonal puede variar dependiendo del tejido vegetal, la etapa de desarrollo en que se encuentre y las condiciones ambientales (Swarup et al., 2007). Numerosas investigaciones en el tema demuestran que no se comprende con exactitud como se distribuyen en espacio y tiempo las hormonas vegetales, si no que desempeña funciones específicas y eficientes en distintas etapas, diferentes tejidos o condiciones ambientales (Yu, 2020).

Las fitohormonas son responsables de la comunicación entre las células por medio de señales químicas y con ello coordinar sus actividades, esto es considerado un mecanismo de regulación por el cual la planta responde a los estímulos ambientales, si bien este sistema denominado mensajeros químicos es el más conocido, no excluye a otros mediadores químicos de naturaleza actualmente desconocida (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

### **3.8. Giberelinas**

Son compuestos terpénicos de cuatro anillos los cuales se relacionan con el alargamiento celular y con la sustitución del efecto ocasionado por la luz o por temperaturas bajas (Jankiewicz, 2003). Su descubrimiento data de los años 30's, el científico japonés Eichi Kurosawa logró aislar una sustancia promotora de un cultivo de hongos *Gibberella fujikuroi* de ahí que se denominó giberelina (Jordán & Casaretto, 2006), posteriormente se lograron aislar y caracterizar por métodos de filtración y purificación los metabolitos que producían dichos hongos y con ello se diferenciaron tres tipos de giberelinas AG<sub>1</sub>, AG<sub>2</sub> y AG<sub>3</sub>, estas hormonas tienen gran capacidad de inducir la germinación de semillas y notable efecto estimulante en el crecimiento embrionario (Gupta & Chakrabarty, 2013; Alcantara-Cortes et al., 2019).

### **3.9. Auxinas**

Las primeras hormonas vegetales en ser descubiertas, las auxinas son un grupo de fitohormonas encargadas de regular múltiples aspectos en el desarrollo y crecimiento de las plantas, su forma predominante es el ácido indolacético (AIA o IAA) el cual se encuentra generalmente en concentraciones nanomolares dentro de las plantas (Jordán & Casaretto, 2006).

Dentro de las características de mayor relevancia de las auxinas se destacan su capacidad en la inducción de producción y elongación de tallos, inducir la diferenciación celular de raíces, tallos y hojas (Alcantara-Cortes et al., 2019). El AIA esta involucrado en una serie de procesos fisiológicos que incluyen la division celular, el fototropismo, el gravitropismo, respuestas defensivas de las plantas y un destacado papel en la formación del xilema y la raíz (Vega-Celedón et al., 2016).

### **3.10. Reguladores de crecimiento**

Los reguladores vegetales o de crecimiento son compuestos que han sido sintetizados químicamente o bien, obtenidos de otros organismos, desempeñan una importante función en la regulación de diversos procesos bioquímicos en las plantas principalmente a nivel celular y de forma similar a las fitohormonas (Alcantara-Cortes et al., 2019).

Existen diferentes tipos de reguladores los cuales por su acción son capaces de promover, retardar o inhibir el crecimiento vegetal, por lo que se han clasificado de acuerdo con su actividad o capacidad estimulante en un órgano específico, o procesos vegetales como la fotosíntesis, maduración del fruto, etc., otras clasificaciones se establecen con base en su estructura molecular (Alcantara-Cortes et al., 2019).

### **3.11. Antecedentes del uso de reguladores de crecimiento**

Se considera a Neljubow (1901) como el pionero en el descubrimiento de las hormonas vegetales, demostrando que el etileno causa el crecimiento horizontal en plantas de guisantes, y en la raíz provoca la inhibición del

alargamiento e hinchazón. El uso metódico de reguladores de crecimiento inició a partir de 1930, con la aplicación de etileno y acetileno para inducción floral y formación de frutos en el cultivo de *Ananas comosus* L.

Los reguladores de crecimiento y el mejoramiento genético comparten muchos de sus objetivos, sin embargo, en muchos casos los reguladores permiten soluciones más rápidas y eficientes (Rademacher, 2015). Dichos compuestos han encontrado una serie de usos prácticos por ejemplo en Europa con el cultivo intensivo de granos se han convertido en una parte sustancial en el sistema de producción reduciendo el riesgo de acame causado por lluvias intensas y acción del viento (Rademacher, 2000). Ahora estos retardadores son ampliamente utilizados para evitar el sobrecrecimiento de plántulas de hortalizas en todo el mundo, por ejemplo Uniconazol esta registrado en Estados Unidos para este uso en cultivos como tomates, berenjenas, entre otros (Rademacher, 2015).

Los triazoles son muy activos y eficientes como retardadores de altura en plantas a muy bajas concentraciones, especialmente si se aplican al tallo o en la zona radicular de la planta (Barrett & Bartuska, 1982), dentro de este grupo de retardadores paclobutrazol (PBZ) es una de las sustancias químicas más activas y de uso más extendido a nivel mundial, afecta a numerosas especies vegetales ya que actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas y a su vez bloqueando las reacciones de oxidación en el paso de ent-kaureno a ácido entkaurenoico (Fletcher et al., 2000; Selegini et al., 2016). Otros retardadores pertenecientes a este grupo son el uniconazol y el propiconazol, el primero es considerado más activo que PBZ de 6-10 veces, pero también es más residual (1/10) por lo que su aplicación se realiza foliar donde pierde su actividad de 10-14 días, aunque su actividad se basa en inhibir las giberelinas no contrarresta el efecto de la aplicación de estas (Jankiewicz, 2003). El propiconazol es menos activo que el paclobutrazol por lo que es aplicado a tasas más altas lo que proporciona un margen mayor de seguridad (Zandstra et al., 2004).

### **3.12. Cuantificación hormonal**

El análisis de las hormonas vegetales requiere procesos de extracción que destruyen las estructuras *in vivo* lo que puede generar fallos en la estimación de la actividad de la división biológicamente activa. Es necesario purificar y fraccionar los extractos, para no tener interferencia y reacción cruzada con compuestos análogos. La precisión de la cuantificación hormonal depende del uso de controles internos con los cuales se determina el porcentaje de recuperación, para esto, las hormonas análogas de alta especificidad resultan las más acertadas (Roncancio, 1997). Varios compuestos en las rutas biosintéticas y degradativas de las fitohormonas presentan actividad biológica, lo que da origen a una red demasiado compleja de moléculas de señalización. Por lo que los métodos para el análisis simultaneo y completo de las fitohormonas y sus metabolitos requieren procesos analíticos y de extracción que se adapten a la amplia gama de propiedades químicas presentes en las diferentes clases de hormonas vegetales, haciendo especial énfasis en la efectividad del proceso de extracción y la selectividad del método analítico (Chiwocha, 2003).

#### **3.12.1. Cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC, High-performance liquid chromatography)**

Es un método de separación de sustancias específicas (analitos) presentes en un compuesto o muestra, utilizando diversas técnicas complementarias (Suarez, 2018). A diferencia de la cromatografía de gases, la HPLC no se encuentra limitada por la estabilidad térmica y volatilidad de la muestra que se analiza (Hedden, 1993).

La cromatografía líquida requiere de dos fases, la fase móvil es en esencia un líquido que fluye a través de una columna, la cual contiene la denominada fase fija o estacionaria. Las interacciones específicas entre las moléculas de la muestra analizada da origen a la separación por esta técnica (Hedden, 1993). Los componentes que presentan mayor afinidad con la fase fija se desplazan con una menor velocidad que aquellos de menor afinidad. Con las diferencias entre las velocidades de estos compuestos se genera la separación (Suarez, 2018).

## **4. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1. Localización del experimento**

El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel del área de Posgrado en Horticultura del campo experimental del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo cuya ubicación geográfica es 19° 49' N y 98° 87' O a una altitud de 2240 m, durante el periodo de marzo a agosto del 2021.

### **4.2. Material vegetal**

La variedad utilizada en el experimento fue 'EL CID F1' de la productora de semillas Harris Moran, tomate del tipo saladette indeterminado la cual presenta buena sanidad, alta precocidad y rendimiento. Es considerada muy adaptable a climas templados y presenta alta productividad en invernaderos (Dávila, 2016), presenta frutos de color rojo intenso con tamaños grandes y extragrandes, ya que generalmente se cultiva para los mercados de exportación, ayudan también las paredes gruesas de sus frutos, se reporta alta resistencia a: ToMV (Virus mosaico del tomate), V1 (Verticilosis) y Fol: 1,2 (Fusarium del tomate) (Harris Moran, 2020).

### **4.3. Sustrato**

Como sustrato se utilizó arena de tezontle rojo, con partículas menores a 5 mm de diámetro, el cual se colocó en bolsas plásticas color negro de 10 litros de volumen las cuales se distribuyeron en las camas del invernadero.

El sustrato empleado en la producción de las plántulas fue una mezcla de vermiculita y perlita en proporción 2:1. Colocado en charolas de 200 cavidades donde se realizó la siembra.

### **4.4. Reguladores de crecimiento**

Se utilizaron tres productos plaguicidas en los cuales se ha documentado efecto de retraso del crecimiento en plantas de tomate:

#### **4.4.1. Paclobutrazol**

De la familia triazoles con nombre comercial CULTAR 25 SC® de Syngenta®.

Este producto se caracteriza por su acción inhibidora en la producción de giberelinas, lo que genera una notable disminución del crecimiento vegetal desviando los nutrientes asimilados hacia los frutos buscando un aumento en la producción (Syngenta, 2019a).

Además de retardar el crecimiento vegetativo, incrementa el crecimiento de las raíces, reduce el crecimiento de los entrenudos del tallo generando disminución en la altura de la planta, induce la formación de yemas florales y produce mejor calidad de fruta en diversos cultivos. También estimula la precocidad e incrementa la formación de semillas en el fruto de tomate (Berova & Zlatev, 2000).

Interactúa con monooxigenasas del citocromo P450 al bloquear las oxidaciones del ent-kaureno a ent-kaurenol, ent-kaurenal y ácido ent-kaurenico, dentro del ciclo del mevalonato, con este proceso logra inhibir la síntesis de giberelinas y la elongación celular (Rademacher, 2006).

#### **4.4.2. Propiconazol**

De nombre comercial Tilt 250 CE de la casa Syngenta, el propiconazol pertenece al grupo de triazoles, inhibidores de la biosíntesis del ergosterol. Actúa en el hongo patógeno durante la penetración y formación de haustorios. El propiconazol detiene el desarrollo del hongo interfiriendo con la biosíntesis de las membranas celulares (Syngenta, 2019b).

Difenoconazole y propiconazol son fungicidas del grupo triazol con propiedades de reguladores de crecimiento, se reportan para inhibir la biosíntesis del ácido giberélico y aumento en el ácido abscísico y citoquininas (Kavina et al., 2012).

#### **4.4.3. Uniconazol**

Recibe el nombre comercial de Sumagic 5 SC® de la empresa Valent®. Penetra en las plantas a través de los órganos aéreos y, sobre todo, por las raíces, moviéndose de forma acrópeta y distribuyéndose por el xilema. Cuando llega a los meristemos apicales inhibe la biosíntesis de las giberelinas y reduce el crecimiento. Es efectivo a pequeñas dosis (Ballester-Olmo, 2005).

Es también un inhibidor derivado del triazol. Es absorbido fuertemente por el suelo y después es liberado gradualmente. Su influencia puede durar hasta tres años. Se aplica con mayor frecuencia en aspersiones foliares, ya que en este caso, pierde su actividad después de 10-14 días. Las aplicaciones se pueden repetir todo el ciclo cuando la planta muestra un crecimiento acelerado. Aunque una de sus aplicaciones es bloquear la síntesis de giberelinas, no contrarresta el efecto de la aplicación de las giberelinas. Se trasloca por el xilema con el transporte del agua para la transpiración. Se absorbe tanto por las raíces como por los brotes vegetativos. Estimula el amarre de yemas florales en frutales (Jankiewicz, 2003).

#### 4.5. Diseño de Tratamientos

Para el diseño de tratamientos se probaron tres retardadores de crecimiento: Uniconazol (Sumagic® , Valent, Chile), propiconazol (Tilt®, Syngenta, Suiza) y paclobutrazol (Cultar®, Syngenta, Suiza) que servirá como testigo, cada producto con tres dosis de aplicación como se muestra en el cuadro 1. Las aplicaciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de siembra y las variables se evaluaron 7 días después de cada aplicación para evidenciar de mejor manera el efecto de los productos. Se estableció un testigo absoluto sin aplicación, lo que genera un total de diez tratamientos.

**Cuadro 1.** Tratamientos generados con tres productos retardadores de crecimiento y tres dosis de aplicación en plantas de tomate.

Tratamiento	Producto	Ingrediente activo (I.A.)	Dosis de I.A. (mg L <sup>-1</sup> )
1	Tilt®	Paclobutrazol	50
2	Tilt®	Paclobutrazol	100
3	Tilt®	Paclobutrazol	150
4	Cultar®	Propiconazol	25
5	Cultar®	Propiconazol	50
6	Cultar®	Propiconazol	75
7	Sumagic®	Uniconazol	2
8	Sumagic®	Uniconazol	3
9	Sumagic®	Uniconazol	4
10	Sin aplicar	Sin aplicar	Sin aplicar

#### **4.5.1. Método de aplicación**

Los productos retardadores fueron aplicados vía foliar con atomizador individual (genérico de material plástico) para cada tratamiento en etapa de plántula (30 dds) y con mochila de aspersión manual (Lola®, Swissmex, México) posterior al trasplante, utilizando barreras plásticas para evitar contaminación cruzada por deriva de los productos, la aplicación se realizó con gotas uniformes hasta cubrir por completo el follaje, fue llevada a cabo por la mañana para evitar estresar a las plantas.

#### **4.6. Diseño experimental**

El experimento fue establecido bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial anidado (factor dosis anidado en productos), con cuatro repeticiones. Como unidad experimental se consideraron 10 plantas.

#### **4.7. Variables evaluadas**

##### **4.7.1. Altura de planta**

Se determinó la longitud en cm de las plantas a los 37, 67, y 97 dds, considerando de la base del tallo al ápice de crecimiento, en plántula se utilizó regla y en planta adulta flexómetro (Truper®, 5m, México).

##### **4.7.2. Número de hojas**

Se cuantificó el número de hojas por planta de manera visual a los 37, 67 y 97 dds.

##### **4.7.3. Diámetro del tallo**

Se midió el diámetro en mm, de la parte media del tallo a los 37, 67, y 97 dds con un vernier digital (modelo 14388, Truper, México).

##### **4.7.4. Área foliar**

Se utilizó un integrador foliar Li-Cor® 3100 con el cual se cuantificó el área foliar en cm<sup>2</sup> de tres plantas a los 37, 67 y 97 dds (Figura 1).



**Figura 1.** Integrador foliar Li-Cor® 3100.

#### **4.7.5. Peso fresco**

Se realizó muestreo destructivo de tres plantas completas (sin sustrato en raíces) y se pesaron en una balanza granataria (Pioneer, Ohaus®) a los 37, 67 y 97 dds. Valor reportado en g/planta.

#### **4.7.6. Peso seco**

Después de haber cuantificado el área foliar de las tres plantas estas se colocaron en bolsas de papel dentro de un horno de secado (FE-291, Felisa®) a 65 °C hasta obtener el peso constante, mismo que se cuantificó en una balanza granataria (Pioneer, Ohaus®). Valor reportado en g/planta (Figura 2).



**Figura 2.** Horno de secado con aire circulante.

#### **4.7.7. Número de botones**

Se contaron de manera visual el número de botones por racimo a los 97 dds.

#### **4.7.8. Número de flores**

Se contaron de manera visual el número de flores en toda la planta a los 67 dds y por cada racimo a los 97 dds.

#### **4.7.9. Número de frutos**

Se contabilizaron de manera visual el total de frutos por racimo a los 97 dds.

#### **4.7.10. Peso fresco de frutos**

Se determinó el peso (g) de tres frutos seleccionados al azar en tres plantas utilizando una balanza granataria (Pioneer, Ohaus®).

#### **4.7.11. Peso seco de frutos**

Posteriormente se obtuvo el peso seco (g) de los tres frutos, se colocaron en bolsas de papel dentro de una estufa de secado (FE-291, Felisa®) a 70 °C hasta lograr el secado total de los líquidos en el fruto, posteriormente fueron pesados en una balanza granataria (Pioneer, Ohaus®).

#### **4.7.12. Volumen de frutos**

Se obtuvo el volumen (ml) de tres frutos utilizando una pipeta graduada de 1000 ml.

#### **4.7.13. Rendimiento promedio**

Se cuantificó el rendimiento promedio en kilogramos por planta con ayuda de una balanza digital con capacidad de 20 kg (Pioneer, Ohaus®) a los 138 y 145 dds y un rendimiento promedio total calculado.

### **4.8. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de análisis de varianza (ANOVA) bajo el modelo de bloques completos al azar con arreglo factorial anidado; además se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Se utilizó el paquete estadístico SAS version 9.1.3 (SAS institute, 2003).

#### 4.9. Cuantificación de AG<sub>3</sub> y IAA

Conforme a la adaptación del protocolo de Chiwocha (2003) se extrajeron las muestras de plantas seleccionadas al azar dentro de cada unidad experimental siete días después de cada aplicación de los retardadores (37, 67 y 97 dds). Cada muestra estuvo compuesta por 10 g de material vegetal fresco pesado en una balanza granataria (Pioneer, Ohaus®), posteriormente se cubrieron en papel aluminio, etiquetados y perforados para conservarlos en un tanque de nitrógeno líquido (MVE, Millenium 2000 XC 20), esto con el fin de detener toda actividad biológica en el material vegetal y evitar con ello la pérdida o contaminación de los compuestos de interés (Figura 3).



**Figura 3.** Pesado de muestras en balanza granataria (izquierda); Tanque de nitrógeno líquido (derecha).

El material vegetal fue deshidratado empleando una liofilizadora (LABCONCO®, FreeZone) durante 48 horas, operando a una temperatura de -60 °C y una presión de 0.100 mBar, para evitar la pérdida y degradación de las fitohormonas (Figura 4).



**Figura 4.** Liofilizadora LABCONCO, Laboratorio de Biofísica y Fisiología Vegetal y Ambiental, COLPOS.

Las muestras liofilizadas se mantuvieron en refrigeración para posteriormente macerar en mortero hasta obtener partículas finas y con ello facilitar su manejo (Figura 5). Se pesaron 100 mg de macerado en una balanza electro analítica de precisión (Straorious®, Handy 45), fueron depositados en tubos de ensayo, donde también se adicionaron 4 ml de solución buffer de extracción, compuesta por 1-isopropanol (J.T, Baker®) y ácido acético glacial (Sigma-Aldrich®) en proporción 99:1. Se agitaron por 5 minutos en vortex (Scientific Industries®, genie 2) posteriormente permanecieron en oscuridad y refrigeración por 24 horas.



**Figura 5.** Maceración de muestras en mortero (izquierda) pesado de muestras en balanza electro analítica (derecha).

Los tubos se agitaron en vortex hasta sedimentar los sólidos más pesados, con una micropipeta se extrajo el contenido líquido a tubos de plástico tipo falcón para centrifuga (Hettich®, EBA 21) operando a temperatura ambiente, 6 000 rpm/ 25 min por ciclo.

Las columnas o filtros (Sep-Pak C18, Waters®) se activaron con un émbolo adicionando 4 ml de metanol grado HPLC al 100% (J.T., Baker®), posteriormente se filtran 2 ml de solución buffer de extracción seguida de las muestras, el contenido de las columnas fue recolectado en microtubos de ensayo (eppendorf®) adicionando 2 ml de solución buffer (Figura 6).



**Figura 6.** Activación de columnas (filtros).

Las muestras se centrifugaron hasta evaporar totalmente el contenido líquido (centrífuga Hettich® modelo EBA 21 operando a temperatura ambiente, 6 000 rpm/ 25 min por ciclo), se adicionaron 500 µl de metanol grado HPLC al 100 % y éste contenido se recolectó en botellas cromatográficas de bayoneta.

#### **4.9.1. Análisis de muestras**

De acuerdo con una adaptación del protocolo de Pan (2010), se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) (Agilent Technologies)

operado en una computadora Hewlett Packard serie 1100 (Figura 7). La columna del HPLC fue Agilent modelo 866953-906 Rx/SB-C8 4.6 x 75 mm.



**Figura 7.** Equipo de cromatografía líquida de alta resolución.

La calibración del equipo para la inyección de hormonas y estándares se muestra en el Cuadro 2, donde se detalla que los estándares de hormonas vegetales grado HPLC se inyectaron a un volumen de 20  $\mu\text{L}$  por muestra, disueltas en metanol y su lectura se llevo a cabo en tres longitudes de onda (206, 254, 280 nm). Se indica también la relación porcentual entre las fases y el flujo del eluyente a través de la columna cromatográfica.

**Cuadro 2.** Especificación para las lecturas de estándares hechas mediante el HPLC.

Hormona	Concentración (mg/mL de Metanol)	Volumen de inyección ( $\mu\text{L}$ )	Fase líquida (proporción)		Flujo (mL/min)	Longitud de onda ( $\lambda$ )
			% H <sub>2</sub> O	% ACN		
MET		20	80	20	2	(206, 254, 280)
GA <sub>3</sub>	(1, 0.1, 0.01)	20	80	20	2	206
AIA	(1, 0.1, 0.01)	20	80	20	2	254
ME	0.1	20	80	20	2	(206, 254, 280)

MET: methanol grado HPLC al 98.30 % (J.T. Baker).; GA<sub>3</sub>: ácido giberélico 3 grado HPLC al 90 % (SIGMA-ALDRICH).; AIA: ácido indol-3-acético grado HPLC al 98 % (SIGMA-ALDRICH).; ME: Mezcla de estándares GA<sub>3</sub> y AIA.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Altura de planta

En el análisis de varianza para la variable altura de planta se observó que a los 67 y 97 días después de siembra (dds) el factor producto fue altamente significativo ( $P \leq .01$ ). Con relación al factor dosis anidada en producto se detectó efecto altamente significativo ( $P \leq .01$ ) a los 37, no significativo a los 67 y significativo ( $P \leq .05$ ) a los 97 dds (Cuadro 3).

La primera medición de la altura (37 dds) correspondió a la etapa de plántula, donde las plantas de tomate presentaban síntomas de deficiencia de fósforo la cual de acuerdo con Sonneveld & Voogt (2009) se manifiesta con una coloración verde oscuro, rojizo o púrpura en hojas y tallos, probablemente debido a las bajas temperaturas (menores a 7 °C) registradas en el invernadero y el sustrato durante la madrugada y parte de la mañana. Por lo que, la absorción foliar de los productos retardadores de crecimiento se pudo ver afectada o dicha deficiencia pudiese enmascarar los efectos retardadores de los productos con relación al control ya que también afectan el desarrollo.

Estos resultados contrastan con lo reportado por Hickman et al. (1989) ya que encontraron efecto retardador de diferentes dosis de uniconazol (0.25, 0.5, 1, 2 y 5 mg·L<sup>-1</sup>) en tomate cv. Royal Flush en etapa de semillero. De igual manera Velázquez-Alcaraz et al. (2008) reportan diferencias significativas con la aplicación de paclobutrazol en el efecto de reducción de altura en plántulas de tomate variedad 'Rio Grande' en etapa fenológica de dos hojas verdaderas.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza correspondiente a la altura de plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.

FV	GL	ALT1	ALT2	ALT3
BLO	3	0.621	16.873	355.325
PRO	3	1.466	405.427 **	7748.935 **
DOS(PRO)	6	2.882 **	44.083	629.300 *
Error	187	0.778	42.033	245.099
Total	199			
CV		13.41	17.95	12.92

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad;

ALT1: Altura a los 37; ALT2: Altura a los 67; ALT3: Altura a los 97 dds; \*, \*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

No obstante, a los 67 y 97 dds (segunda y tercera aplicación, respectivamente) el tratamiento con paclobutrazol afectó de manera significativa la altura de planta comparado con el resto de los tratamientos, excepto el control absoluto que fue similar a los 67 dds (Cuadro 4).

En ese sentido, los resultados de la presente investigación concuerdan con los obtenidos por Moreno-Pérez et al. (2021), Ramos-Fernández (2021) donde se ha demostrado el efecto retardador de crecimiento por el producto fungicida paclobutrazol. Flores et al. (2011) encontraron que uniconazol y paclobutrazol fueron más efectivos en retardar el crecimiento en plantas de papa a los 45 días después de emergencia, con dosis de 20 y 40  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de uniconazol se redujo 32 y 40 % de altura, respectivamente, con relación al control. Al reducir el promedio de altura de las plantas de tomate en variedades indeterminadas propicia múltiples ventajas en las labores culturales del cultivo, tales como podas de formación, tutorado, deshojado, eliminación de brotes axilares, aclareo de frutos, entre otros ya que se puede acceder con facilidad a la totalidad de la planta, esto representa también una ventaja económica ya que se reduce el tiempo en dichas labores una vez que las plantas han alcanzado alturas donde resulta necesario el uso de zancos o escaleras.

**Cuadro 4.** Comparación de medias para la altura de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.

Productos	Altura (cm)		
	37 dds	67 dds	97 dds
<b>Control</b>	6.36 a <sup>z</sup>	36.00 ab	132.80 a
<b>Paclobutrazol</b>	6.45 a	32.47 b	104.92 b
<b>Propiconazol</b>	6.78 a	37.62 a	128.08 a
<b>Uniconazol</b>	6.58 a	38.28 a	126.68 a
<b>DMSH</b>	0.51	3.76	9.07

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds: días después de siembra.

## 5.2. Número de hojas

En la variable número de hojas en plantas de tomate, el análisis de varianza (Cuadro 5) mostró diferencias significativas ( $P \leq .05$ ) a los 37 y 97 dds. Mientras que para el factor dosis anidada en productos no fue significativo a los 37 y 67 dds, pero resultando altamente significativo ( $P \leq .01$ ) en la tercera evaluación. Los coeficientes de variación son aceptables ya que son valores inferiores al 15 %.

**Cuadro 5.** Análisis de varianza correspondiente al número de hojas en plantas de tomate tratadas con retardadores de crecimiento con tres diferentes dosis.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>
<b>BLO</b>	3	0.033	1.000	4.938
<b>PRO</b>	3	0.084 *	0.744	19.026 *
<b>DOS(PRO)</b>	6	0.044	1.328	27.811 **
<b>Error</b>	187	0.028	1.042	5.265
<b>Total</b>	199			
<b>CV</b>		8.46	10.74	12.44

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; H1: Hojas a los 37; H2: Hojas a los 67; H3: Hojas a los 97 dds; \*, \*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

Para la variable número de hojas no hubo diferencias significativas a los 37 y 67 dds entre productos. En la tercera aplicación de productos, propiconazol tuvo mayor efecto en el número de hojas comparado con paclobutrazol, pero no es estadísticamente diferente a uniconazol y el control (Cuadro 6). De acuerdo con Jankiewicz (2003), los traizoles no generan efecto en el número de hojas de las plantas tratadas, es probable que las diferencias encontradas en el tercer análisis (97 dds) hayan sido generadas por labores culturales o la interacción de la planta con el ambiente.

Sin embargo, Miguel-Zarate et al. (2021) encontraron que el propiconazol aplicado a los 49 dds generó mayor número de hojas de tomate, comparadas con plantas tratadas con paclobutrazol y uniconazol. Por lo que se puede inferir que dicho producto tiene cierta influencia sobre el número de hojas en plantas de tomate.

En otros trabajos de investigación relacionados como el de Zandstra et al. (2004) no encontraron diferencias entre aplicaciones de propiconazol y paclobutrazol en la longitud de hojas de tomate a los 45 dds. Shin et al. (2009) reportaron una reducción en el número de hojas en plantas de tomate cv. Seogeon al comparalas con las plantas tratadas con etefón y las plantas sin aplicación.

**Cuadro 6.** Comparación de medias para el número de hojas en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.

Productos	Número de hojas		
	37 dds	67 dds	97 dds
<b>Control</b>	2.00 a <sup>z</sup>	9.25 a	18.50 ab
<b>Paclobutrazol</b>	1.98 a	9.52 a	17.68 b
<b>Propiconazol</b>	1.92 a	9.62 a	19.03 a
<b>Uniconazol</b>	2.00 a	9.45 a	18.60 ab
<b>DMSH</b>	0.10	0.59	1.33

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.3. Diámetro de tallo medio

Con relación al diámetro de tallo, el factor producto fue altamente significativo ( $P \leq .01$ ) a los 37 dds y significativo ( $P \leq .05$ ) a los 67 y 97 dds. Para el factor dosis anidada en producto se encontraron diferencias significativas ( $P \leq .05$ ) a los 37 dds (Cuadro 7).

Estos resultados concuerdan con Jingfang et al. (2004) quienes encontraron que semillas tratadas con  $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de uniconazol aumentaron el diámetro de tallo en un 8.9-44.5 % en plántulas de tomate. Esto contrasta con lo reportado por Bañon et al. (2003) quienes encontraron hasta un 52.1 % de reducción en el diámetro con la aplicación de  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{maceta}$  de paclobutrazol en plantas de *Reichardia tingitana* L.

**Cuadro 7.** Análisis de varianza correspondiente a diámetro de tallo medio en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>DT1</b>	<b>DT2</b>	<b>DT3</b>
<b>BLO</b>	3	0.000	0.800	0.861
<b>PRO</b>	3	0.002 **	4.007 *	5.232 *
<b>DOS(PRO)</b>	6	0.001 *	0.520	1.946
<b>Error</b>	187	0.000	1.034	1.477
<b>Total</b>	199			
<b>CV</b>		9.76	19.13	11.46

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; DT1: Diámetro a los 37; DT2: Diámetro a los 67; DT3: Diámetro a los 97 dds; \*,\*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

El producto retardador de crecimiento uniconazol muestra mayor efecto en el diámetro de tallo a los 37 dds comparado con el propiconazol. En la segunda aplicación el paclobutrazol se muestra con efecto superior en esta variable en comparación al control, pero estadísticamente no diferente a propiconazol y uniconazol. En la última evaluación no se encontraron diferencias estadísticas entre productos (Cuadro 8).

Estos resultados si bien no presentan continuidad o seguimiento lógico en cuanto al tratamiento que presenta mayor efecto en esta variable, coinciden con los obtenidos por diferentes autores, Ferreira et al. (2017), Giovinazzo y Souza-Machado (2001), Berova y Zlatev (2000) observaron un aumento en el diámetro de tallo con aplicaciones de paclobutrazol, lo que concuerda con lo observado a los 67 dds, las ventajas más notorias en el engrosamiento de tallo van de la mano con la reducción de altura, ya que plantas con estas características presentan mayor resistencia al doblado o quebrado de tallo, especialmente en etapas tempranas del ciclo de cultivo.

Por otra parte, Wang y Greg (1991) encontraron que la aplicación de uniconazol y paclobutrazol a una dosis de  $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  redujeron el diámetro de tallo en un 75 y 25 %, respectivamente, en plantas ornamentales de *Hibiscus rosasimensis* L. var. 'Seminole Pink'.

**Cuadro 8.** Comparación de medias para el diámetro medio del tallo en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.

Productos	Diámetro (mm)		
	37 dds	67 dds	97 dds
<b>Control</b>	0.182 ab <sup>z</sup>	5.08 b	10.85 a
<b>Paclobutrazol</b>	0.182 ab	5.68 a	10.36 a
<b>Propiconazol</b>	0.175 b	5.25 ab	10.39 a
<b>Uniconazol</b>	0.190 a	5.10 ab	10.98 a
<b>DMSH</b>	0.01	0.59	0.7

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

#### 5.4. Número de botones florales

El siguiente análisis de varianza corresponde al número de botones por racimo posterior a la tercera aplicación de productos retardadores de crecimiento donde se observa que el factor producto fue altamente significativo ( $P \leq .01$ ) en el tercer y cuarto racimo, significativo ( $P \leq .05$ ) en el segundo y quinto racimo. Para el factor dosis anidada en producto, hubo efecto altamente significativo del primero al tercer racimo y significativo en los dos racimos restantes (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Análisis de varianza correspondiente al número de botones florales en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento en tres dosis distintas.

FV	GL	BOT1	BOT2	BOT3	BOT4	BOT5
<b>BLO</b>	3	0.060	2.298	2.573	21.267 **	7.127
<b>PRO</b>	3	0.171	7.035 *	18.040 **	19.584 **	26.338 *
<b>DOS(PRO)</b>	6	0.511 **	29.017 **	20.250 **	10.694 *	20.194 *
<b>Error</b>	187	0.164	2.492	2.728	4.190	8.877
<b>Total</b>	199					
<b>CV</b>		449.61	168.84	139.98	119.01	103.10

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; BOT 1, 2, 3, 4 y 5: Número de botones florales en el racimo 1,2,3,4 y 5, respectivamente, a los 97 dds; \*,\*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

El número de botones florales de los racimos 1, 2 y 5 no presentó diferencias entre productos. Para el tercer y cuarto racimo el paclobutrazol presentó el

menor efecto comparado con propiconazol (tercer racimo), uniconazol y el control (Cuadro 10). Berova & Zlatev (2000) encontraron un aumento en el número de botones florales en plantas de tomate cv. Precador asperjadas con paclobutrazol comparadas con las plantas control, también reportaron un aumento de dos a tres veces en el peso de los botones florales. Esta variable tiene relevancia ya que mayor número de botones representa mayores posibilidades de obtener rendimientos altos si las condiciones durante la polinización y el amarre de frutos son adecuadas.

**Cuadro 10.** Comparación de medias para el número de botones florales por racimo en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento, a los 97 dds.

Productos	Número de botones				
	Racimo 1	Racimo 2	Racimo 3	Racimo 4	Racimo 5
<b>Control</b>	0.05 a <sup>z</sup>	0.65 a	1.35 ab	2.4 a	4 a
<b>Paclobutrazol</b>	0.07 a	0.58 a	0.57 b	1.12 b	3.52 a
<b>Propiconazol</b>	0.17 a	0.93 a	1.88 a	1.47 ab	2.3 a
<b>Uniconazol</b>	0.05 a	1.38 a	1.03 ab	2.35 a	2.48 a
<b>DMSH</b>	0.23	0.92	0.96	1.19	1.73

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.5. Número de flores

En el análisis de varianza (Cuadro 11) para el número de flores presentó diferencias significativas ( $P \leq .05$ ) en el factor producto a los 67 dds (2FLOR), esta evaluación corresponde al número total de flores por planta. El número de flores en los racimos 2, 3 y 5 presentó diferencias altamente significativas ( $P \leq .01$ ) ocasionadas por el producto, en el cuarto racimo el mismo factor de variación fue estadísticamente significativo.

En los racimos 2 y 3 hubo efecto significativo ( $P \leq .05$ ) y altamente significativo ( $P \leq .01$ ) en el cuarto y quinto racimo ocasionados por las dosis. En el primer racimo no se encontraron diferencias en los factores de estudio debido a que en dicho racimo solo existían frutos a los 97 dds.

**Cuadro 11.** Análisis de varianza correspondiente al número de flores en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.

FV	GL	2FLOR	3FLOR1	3FLOR2	3FLOR3	3FLOR4	3FLOR5
BLO	3	2.685	0.698	8.773	6.325	19.900 *	5.320
PRO	3	8.359 *	0.226	30.484 **	56.246 **	22.344 *	78.273 **
DOS(PRO)	6	1.928	0.128	10.361 *	12.761 *	21.278 **	114.617 **
Error	187	2.153	0.306	4.182	5.765	6.337	16.192
Total	199						
CV		30.54	381.61	101.23	46.94	43.78	108.17

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; 2FLOR: Número de flores a los 67 dds; 3FLOR1, 2, 3, 4 y 5: Número de flores en el racimo 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente, a los 97 dds; \*,\*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

Para la variable número de flores (2 flor x P) el control fue superior y diferente al producto uniconazol, mientras que paclobutrazol y propiconazol no difieren estadísticamente de los otros productos a los 67 dds. En la evaluación realizada a los 97 dds en los racimos 1 y 4, no se encontraron diferencias significativas entre productos, en el segundo y tercer racimos el propiconazol tuvo menor promedio, contrastando en el racimo 5 donde resultó diferente y superior al uniconazol y el tratamiento control (Cuadro 12).

La floración siendo un periodo que comprende aproximadamente desde los 20-40 días después del transplante hasta el final del ciclo de producción del tomate (López, 2017), la polinización y el cuajado de frutos son procesos relacionados directamente al número de flores en la planta, por lo que, si se va a aplicar un retardador de crecimiento, se debe tener la certeza de que no afecte dicha variable. Por lo tanto, el propiconazol no favorece este aspecto.

Los resultados pertenecientes a la evaluación realizada a los 67 dds contrastan con lo reportado por Zandstra et al. (2004) quienes encontraron diferencias en el número de flores a los 23, 36 y 42 ddt en plantas de tomate tratadas con propiconazol y paclobutrazol. Por otra parte Carver et al. (2014) indicaron no encontrar diferencias significativas en esta variable al emplear paclobutrazol, uniconazol y daminozida en plantas de caléndula marina (*B. frutescens* L.) a los 25 días después de aplicación.

**Cuadro 12.** Comparación de medias para el número de flores por racimo en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento, a los 67 y 97 dds.

Productos	Número de flores					
	2 flor x P	Racimo 1	Racimo 2	Racimo 3	Racimo 4	Racimo 5
<b>Control</b>	5.55 a <sup>z</sup>	0.05 a	2.35 ab	5.60 a	5.00 a	2.30 b
<b>Paclobutrazol</b>	5.03 ab	0.20 a	1.90 ab	5.65 a	6.10 a	3.33 ab
<b>Propiconazol</b>	4.75 ab	0.08 a	1.17 b	3.72 b	6.33 a	5.32 a
<b>Uniconazol</b>	4.38 b	0.18 a	2.88 a	5.82 a	5.07 a	2.98 b
<b>DMSH</b>	0.85	0.32	1.19	1.39	1.46	2.33

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.6. Número de frutos por racimo

Para la variable número de frutos se observó efecto altamente significativo ( $P \leq .01$ ) en el segundo racimo, significativo ( $P \leq .05$ ) en el tercero y no significativo en el primero y cuarto racimo, ocasionado por el factor productos. En el tercer racimo el factor dosis anidada en producto manifestó efecto altamente significativo y sin significancia en el resto de los racimos (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Análisis de varianza correspondiente al número de frutos por racimo en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis, a los 97 dds.

FV	GL	FRU1	FRU2	FRU3	FRU4
<b>BLO</b>	3	1.393	0.698	0.907	0.485
<b>PRO</b>	3	1.973	26.626 **	8.429 *	0.835
<b>DOS(PRO)</b>	6	1.433	4.728	12.406 **	0.883
<b>Error</b>	187	1.324	3.847	2.703	0.822
<b>Total</b>	199				
<b>CV</b>		21.59	45.04	111.09	342.11

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; FRU1: frutos en el racimo 1 a los 97 dds; FRU2: frutos en el racimo 2 a los 97 dds; FRU3: frutos en el racimo 3 a los 97 dds; FRU4: frutos en el racimo 4 a los 97 dds; \*, \*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

Como resultado de la comparativa de medias para dicha variable no se encontraron diferencias significativas entre los productos retardadores en el primero y cuarto racimo. El producto propiconazol resultó diferente y superior

a uniconazol en el segundo racimo y a paclobutrazol en el tercero (Cuadro 14).

Los resultados obtenidos difieren con los reportados por Moreno-Pérez et al. (2021) donde el paclobutrazol en diferentes formas de aplicación superó al tratamiento sin aplicación en tomate 'El Cid F1', siendo la combinación de 25 mg·L<sup>-1</sup> como dosis aplicado a los 20, 30 y 40 dds la que logró más frutos por planta (17.9). Mientras que Ferreira et al. (2017) encontraron no haber encontrado diferencias significativas en el número de frutos promedio por hectárea en plantas de tomate industrial tratadas con paclobutrazol.

Lima et al. (2016) encontraron que la aplicación de 4 g de i.a de uniconazol por árbol difirió significativamente del control, con un aumento de 167 % en el número de frutos por árbol, en mango cv. 'Palmer'.

**Cuadro 14.** Comparación de medias para el número de frutos por racimo en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento, a los 97 dds.

Productos	Número de frutos			
	Racimo 1	Racimo 2	Racimo 3	Racimo 4
<b>Control</b>	5.55 a <sup>z</sup>	4.35 ab	0.9 b	0.05 a
<b>Paclobutrazol</b>	5.28 a	4.58 ab	1.5 ab	0.17 a
<b>Propiconazol</b>	5.52 a	5.03 a	1.95 a	0.32 a
<b>Uniconazol</b>	5.12 a	3.45 b	1.18 ab	0.38 a
<b>DMSH</b>	0.67	1.14	0.95	0.53

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.7. Peso fresco y peso seco de plantas

Los resultados del análisis de varianza para la variable peso fresco (Cuadro 15) muestran efecto significativo ( $P \leq .05$ ) del factor producto en el segundo y tercer análisis. Las dosis anidadas en producto generaron efecto altamente significativo ( $P \leq .01$ ) a los 37 dds, correspondiente a la primera aplicación de los retardadores. El efecto de los productos en el peso seco fue altamente significativo ( $P \leq .01$ ) en la primera evaluación.

**Cuadro 15.** Análisis de varianza correspondiente al peso fresco y peso seco en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>PF1</b>	<b>GL</b>	<b>PF2</b>	<b>PF3</b>
<b>BLO</b>	3	0.002	3	271.086	319334.208 **
<b>PRO</b>	3	0.146	3	782.540 *	89398.478 *
<b>DOS(PRO)</b>	6	0.179 **	6	226.798	13769.423
<b>Error</b>	27	0.049	107	260.586	31625.195
<b>Total</b>	39		119		
<b>CV</b>		23.01		35.24	22.57
	<b>GL</b>	<b>PS1</b>	<b>GL</b>	<b>PS2</b>	<b>PS3</b>
<b>BLO</b>	3	0.000	3	7.687	543674.697 **
<b>PRO</b>	3	0.005 **	3	8.505	7982.192
<b>DOS(PRO)</b>	6	0.001	6	2.686	9126.806
<b>Error</b>	27	0.001	107	3.561	6335.930
<b>Total</b>	39		119		
<b>CV</b>		24.71		41.13	39.57

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; PF1: Frutos a los 37; PF2: Frutos a los 67; PF3: Frutos a los 97 dds; PS1: Peso seco a los 37; PS2: Peso seco a los 67; PS3: Peso seco a los 97 dds \*,\*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

Como resultado de la comparación de medias en la variable peso fresco de plantas (Cuadro 16) no se encontraron diferencias entre los productos retardadores, lo mismo se observó en el peso seco en la segunda y tercera evaluación, excepto a los 37 dds, donde el propiconazol y el control tuvieron mayor peso seco de planta que el paclobutrazol.

En ese sentido, Miguel-Zarate et al. (2022) observaron que el paclobutrazol redujo el peso fresco de planta a los 66 dds, comparado con el propiconazol y el uniconazol en plantas de tomate, mientras que los tratamientos con 25  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de paclobutrazol a los 25 y 50 dds y 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  a los 25 dds redujeron el peso seco de planta que los otros retardadores. Por otro lado, Zandstra et al. (2004) al comparar distintas dosis de propiconazol (25, 37.5 y 50 ppm) con paclobutrazol (5 ppm), encontraron que el primero tuvo mayor efecto de reducción en esta variable a los 29 y 37 ddt.

En otra investigación, Ruvalcaba et al. (2007) indicaron diferencias entre dosis de 150, 250, 300 y 350 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol y el control sin aplicación, dichas dosis generaron aumento en el peso fresco de las raíces y la parte aérea, y una reducción en el peso seco de raíz, en plantas de berenjena cv. Dalia a los 64 días después de aplicación.

**Cuadro 16.** Comparación de medias para el peso fresco y peso seco de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.

Productos	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
	37 dds	67 dds	97 dds	37 dds	67 dds	97 dds
Control	1.105 a <sup>z</sup>	47.87 a	777.31 a	0.13 a	4.89 a	211.67 a
Paclobutrazol	0.809 a	40.36 a	718.97 a	0.08 b	3.96 a	182.22 a
Propiconazol	1.005 a	44.81 a	829.6 a	0.12 a	4.58 a	217.56 a
Uniconazol	1.028 a	51.57 a	818.28 a	0.11 ab	5.12 a	200.19 a
DMSH	0.303	12.16	133.98	0.04	1.42	59.97

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.8. Área foliar

Para la variable área foliar no se detectó efecto significativo por la fuente de variación dosis de aplicación en las tres evaluaciones realizadas. Por otra parte, los productos retardadores muestran efecto significativo ( $P \leq .05$ ) a los 67 dds y altamente significativo ( $P \leq .01$ ) para los dos restantes (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Analisis de varianza correspondiente al área foliar (cm<sup>2</sup>) de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.

FV	GL	AF1	GL	AF2	AF3
BLO	3	3.503	3	26177.075	4764381.150 **
PRO	3	31.328 **	3	61918.669 *	5107631.840 **
DOS(PRO)	6	9.558	6	16720.785	695289.810
Error	27	5.513	107	22935.080	681164.700
Total	39		119		
CV		25.64		36.07	25.90

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; AF1: Área foliar a los 37; AF2: Área foliar a los 67; AF3: Área foliar a los 97 dds; \*, \*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

En la variable área foliar el paclobutrazol manifestó el mayor efecto de reducción en las tres etapas estudiadas; a los 37 y 67 días los promedios más altos en esta variable correspondieron al control, mientras que en el resto de los tratamientos no hubo diferencias (Cuadro 18).

Estos resultados concuerdan con Juárez-Rodríguez et al. (2022), Moreno-Pérez et al. (2021), Miguel-Zarate et al. (2022) quienes encontraron diferencias entre plantas sin aplicación y plantas tratadas con paclobutrazol, donde se observó una reducción significativa del área foliar, generada por este retardador. Esto contrasta con los resultados de Berova & Zlatev (2000) ya que no encontraron diferencias entre las plantas de tomate aplicadas con paclobutrazol y el control. Generalmente las plantas de tomate tratadas con paclobutrazol reaccionan tornando de un verde oscuro su follaje, presentan también mayor contenido de clorofila y una tasa fotosintética más alta, esta abundancia en contenido de clorofila conserva relación directa con la fotosíntesis ya que es este compuesto el encargado de absorber la energía solar y promover la fijación de carbono (Xia et al., 2018), el efecto inhibitor de síntesis de giberelina afecta la orientación de los microtúbulos los cuales son esenciales para la división y el crecimiento celular esto genera una compartimentación del contenido celular, es decir no hay más biosíntesis de clorofila si no un efecto “concentrador” de la misma (Matsumoto, 2005). Melo et al. (2014) encontraron que en las plantas aplicadas con dosis 115,4 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol mostraron una reducción del 27.19 % de área foliar y un incremento del 27.39 % en la detección de clorofila con relación al control.

**Cuadro 18.** Comparación de medias para el área foliar de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.

Productos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )		
	37 dds	67 dds	97 dds
<b>Testigo</b>	11.929 a <sup>z</sup>	481.11 a	3743.9 a
<b>Paclobutrazol</b>	7.076 b	364.5 b	2671.7 b
<b>Propiconazol</b>	10.102 ab	426.72 ab	3390.9 a
<b>Uniconazol</b>	9.372 ab	448.11 ab	3310.1 a
<b>DMSH</b>	3.213	114.1	621.81

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.9. Número de frutos, peso fresco, peso seco y volumen de frutos

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 19) mostraron efecto significativo ( $P \leq .05$ ) en número de frutos a los 138 dds en un racimo seleccionado al azar generado por los productos y las dosis anidadas en productos, en la variable peso fresco de frutos se observó significancia alta ( $P \leq .01$ ) en ambas evaluaciones solamente en el factor productos, esto se repite con exactitud en la variable volumen de frutos, y en el segundo periodo de la variable peso seco de frutos.

El factor dosis de productos no tuvo significancia en el peso fresco, peso seco y el volumen de frutos para ninguna de las dos evaluaciones.

**Cuadro 19.** Análisis de varianza correspondiente al número de frutos en racimo muestreado al azar, peso fresco, peso seco y volumen de tres frutos seleccionados al azar en plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento a tres diferentes dosis.

FV	GL	1FRU X RM	2FRU X RM	1PFFRU	2PFFRU
BLO	3	1.483	1.350	6776.262	3722.183
PRO	3	4.956 *	1.850	31711.484 **	49501.017 **
DOS(PRO)	6	3.264 *	0.417	4718.433	5514.833
Error	67	1.359	2.708	2959.358	5283.925
Total	79				
CV		14.62	20.13	12.28	20.56
		1PSFRU	2PSFRU	1VOL	2VOL
BLO	3	7.109	81.432 **	1804.583	14501.250
PRO	3	21.421 *	140.371 **	41662.083 **	57686.528 **
DOS(PRO)	6	9.988	7.120	6470.833	4365.278
Error	67	7.632	11.682	3023.489	6325.131
Total	79				
CV		13.99	25.24	12.25	22.46

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; 1FRUXRM: Número de frutos en un racimo muestreado al azar a los 138 dds; 2FRUXRM: Número de frutos en un racimo muestreado al azar a los 145 dds; 1PFFRU: Peso fresco de tres frutos a los 138 dds; 2PFFRU: Peso fresco de tres frutos a los 145 dds; 1PSFRU: Peso seco de tres frutos a los 138 dds; 1VOL: Volumen de tres frutos a los 138 dds; 2VOL: Volumen de tres frutos a los 145 dds; \*, \*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

Como resultado de la comparación de medias (Cuadro 20) se observó que no existieron diferencias significativas entre los productos retardadores y el tratamiento sin aplicación en las dos evaluaciones del número de frutos por racimo muestreado al azar, en el peso fresco de tres frutos se registró que el propiconazol generó el mayor efecto a los 138 dds con un aumento de 19 % comparado al testigo, mientras que en la segunda evaluación paclobutrazol tuvo efecto similar al del control, pero inferior estadísticamente a propiconazol y uniconazol.

Con relación a la variable peso seco de frutos en la primera evaluación el producto propiconazol fue superior al testigo, no obstante, no difiere estadísticamente de paclobutrazol y uniconazol. Esto se mantiene de cierta manera en la segunda toma de datos ya que paclobutrazol generó la mayor reducción con relación a los demás productos y el testigo. En la primera medición del volumen de tres frutos el propiconazol presentó un aumento de 23 % con relación al control, en la segunda medición el paclobutrazol generó un menor volumen (24 y 28 %) comparado con el propiconazol y el uniconazol, respectivamente.

Los resultados de la segunda evaluación de peso fresco concuerdan con lo reportado por Moreno-Pérez et al. (2021) quienes no encontraron diferencias en el peso fresco de frutos de tomate tratadas con PBZ con dosis de 25 y 50 mg·L<sup>-1</sup> y diferentes épocas de aplicación.

Wang & Gregg (1990) encontraron que el número y peso de frutos de tomate se duplicó cuando se aplicaron de 25 a 250 µg de uniconazol por planta al inicio de la floración, con relación al tratamiento sin aplicación.

**Cuadro 20.** Comparación de medias para el peso fresco, peso seco y volumen de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con aplicación de retardadores de crecimiento.

Tratamientos	1FRU X RM	2FRU X RM	1PFFRU (g)	2PFFRU (g)
Testigo	7.63 a	8.13 a	392.73 c <sup>z</sup>	341.75 ab
Paclobutrazol	7.79 a	7.79 a	456.08 ab	292.17 b
Propiconazol	7.63 a	8.33 a	483.25 a	375.42 a
Uniconazol	8.63 a	8.42 a	406.52 bc	397.08 a
DMSH	1.09	1.53	50.67	67.71

Tratamientos	1PSFRU (g)	2PSFRU (g)	1VOL (ml)	2VOL (ml)
Testigo	18.35 b	14.26 a	381.25 c	346.25 ab
Paclobutrazol	19.06 ab	10.44 b	461.67 ab	286.67 b
Propiconazol	20.99 a	13.63 a	495.42 a	379.58 a
Uniconazol	19.65 ab	16.32 a	412.08 cb	398.75 a
DMSH	2.57	3.18	51.22	74.08

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds:días después de siembra.

### 5.10. Rendimiento

Al analizar la variable rendimiento (Cuadro 21) el factor productos mostró efecto altamente significativo ( $P \leq .01$ ) en la segunda evaluación del rendimiento y en el rendimiento total.

**Cuadro 21.** Análisis de varianza correspondiente al rendimiento (kg) de plantas de tomate con aplicación de retardadores de crecimiento en tres diferentes dosis.

FV	GL	RP1	RP2	RTP
BLO	3	0.103 **	0.035	0.246 **
PRO	3	0.030	0.143 **	0.226 **
DOS(PRO)	6	0.009	0.035	0.067
Error	27	0.017	0.027	0.040
Total	39			
CV		33.23	31.19	21.82

FV: Fuentes de variación; Blo: Bloques; PRO: Productos retardadores de crecimiento; DOS (PRO): Dosis anidada en producto; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; AF1: Área foliar a los 37; AF2: Área foliar a los 67; AF3: Área foliar a los 97 dds; \*, \*\* significativo a una  $P=0.05$  y  $P=0.01$ , respectivamente.

El paclobutrazol presentó el menor efecto significativo sobre el rendimiento en la segunda evaluación y en el rendimiento total, los demás productos y el control no difieren estadísticamente entre sí.

El rendimiento es por sí misma la variable más importante a la hora de evaluar un método de producción, paquete tecnológico, efectividad de productos químicos (excluyendo plaguicidas), densidad de plantación, etcétera, ya que permite validar si su implementación será rentable o cuanto menos si existe una marcada diferencia con o sin su aplicación. En este caso la aplicación del paclobutrazol tuvo menor rendimiento comparado con el control, una reducción del 38 y 31 % en el rendimiento promedio a los 145 dds y el rendimiento total promedio, respectivamente. Por otro lado, el propiconazol y el uniconazol no tuvieron diferencias significativas entre sí, ni con las plantas sin aplicación. Los resultados de esta investigación difieren con los reportados por Juárez et al. (2022) quienes encontraron un incremento de 45 % en el rendimiento de frutos con 50 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol aplicado cada 40 días con respecto a plantas sin aplicación. De igual forma, Endegen (2019) encontró un incremento significativo en el rendimiento por planta de tomate con dosis de 1 a 4 kg·ha<sup>-1</sup> de ingrediente activo PBZ. Zandstra et al. (2004) en su investigación con propiconazol y paclobutrazol encontraron reducción en el rendimiento de la cosecha con relación a las plantas de control, lo cual también contrasta con los resultados de la presente investigación.

**Cuadro 22.** Efecto de la aplicación de retardadores de crecimiento en el rendimiento (kg) de plantas de tomate.

<b>Productos</b>	<b>RP1</b>	<b>RP2</b>	<b>RTP</b>
<b>Testigo</b>	0.435 a <sup>z</sup>	0.606 a	1.041 a
<b>Paclobutrazol</b>	0.348 a	0.375 b	0.723 b
<b>Propiconazol</b>	0.456 a	0.551 ab	1.008 a
<b>Uniconazol</b>	0.364 a	0.626 a	0.990 ab
<b>DMSH</b>	0.179	0.225	0.275

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P=0.05$ ). DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; RP1: Rendimiento promedio a los 138 dds; RP2: Rendimiento promedio a los 145 dds; RTP: Rendimiento total promedio.

### **5.11. Comparaciones de medias para dosis de productos retardadores de crecimiento.**

Como resultado de la comparación de medias de altura en plantas de tomate tratadas con paclobutrazol, propiconazol y uniconazol a los 37 dds, no se detectaron diferencias significativas entre las dosis de los dos primeros productos, la dosis correspondiente a  $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de uniconazol tuvo efecto significativo en la reducción del promedio de altura en un 17 % con respecto a las dosis de 2 y  $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Figura 8a). En la variable altura de planta correspondiente a la evaluación realizada a los 97 dds no existieron diferencias significativas entre dosis de propiconazol y uniconazol, las dosis de 50 y  $75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de paclobutrazol mostraron mayor efecto sobre la variable con promedios de altura similares 101.25 y 98.65 cm, respectivamente (Figura 8b).

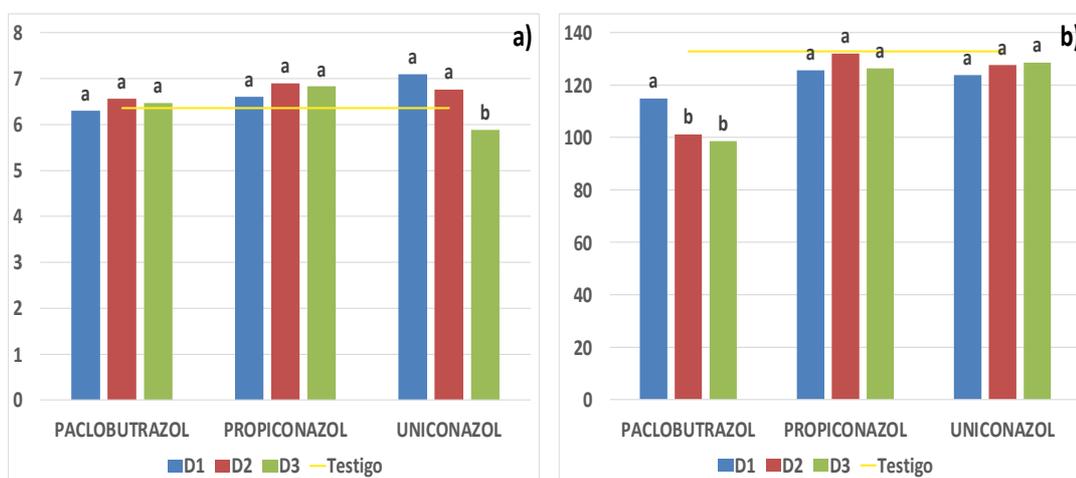
La comparación de medias para el número de hojas a los 97 dds (Figura 8c) encontró diferencias entre las dosis de los tres productos retardadores, nuevamente las dosis de 50 y  $75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de paclobutrazol tuvieron mayor efecto que la dosis de  $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con diferencia de 9 y 12 %, respectivamente. En la dosis  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de propiconazol se presentó mayor promedio de número de hojas por planta (20.3) por lo que las dosis de 50 y  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  tuvieron mayor efecto de reducción con promedios muy similares de 18.05 y 18.75 hojas en plantas de tomate. En el caso del uniconazol la dosis más baja generó 11 % de reducción para esta variable en comparación a las dosis media y alta, las cuales presentaron los mismos promedios de número de hojas (19.3).

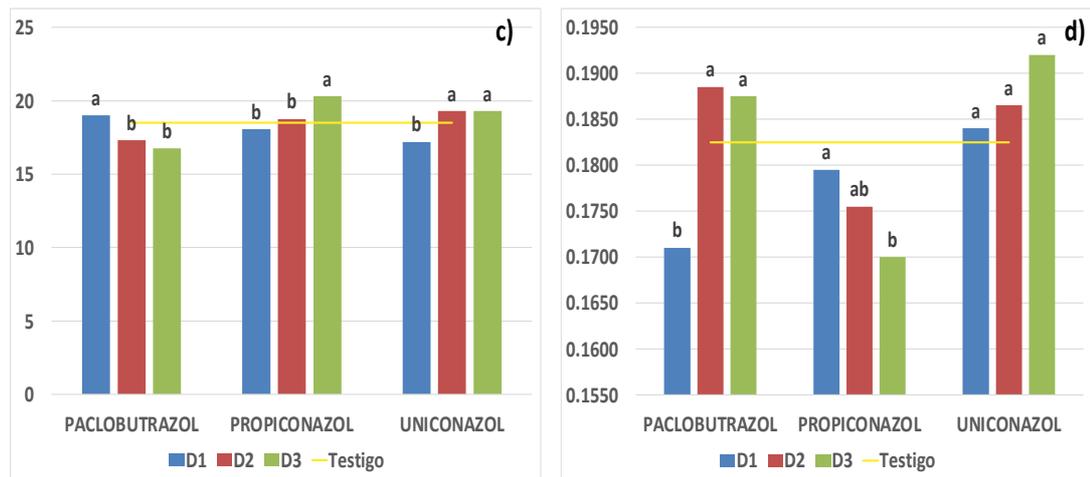
El diámetro de tallo mostró diferencias en la comparativa de medias de las dosis de paclobutrazol y propiconazol (Figura 8d), donde las dosis medias y altas de PBZ tuvieron hasta un 9 % de aumento en relación con la dosis más baja, al ser este análisis correspondiente a los 37 dds el tomate se encontraba aún en etapa de plántula, donde se considera es más notorio el efecto de paclobutrazol en esta variable. En el caso de propiconazol la dosis más baja es estadísticamente superior a la más alta, presentando un aumento de 5%

en el diámetro de tallo medio. No se encontraron diferencias significativas entre las dosis de uniconazol.

Los resultados obtenidos en la variable de altura de planta a los 37 dds correspondientes a la etapa de plántula y a la primera aplicación de los productos no muestran diferencias entre las medias de las diferentes dosis de paclobutrazol, en otras investigaciones como la de Melo et al. (2014) encontraron diferencias entre dosis de 38.5 mg·L<sup>-1</sup> y 115.4 mg·L<sup>-1</sup> donde la dosis más alta presentó mayor efecto de reducción en plantulas de tomate cv. Kada gigante. Tambien Velázquez-Alcaraz et al. (2008) con dosis de 100, 150 y 200 mg·L<sup>-1</sup> encontraron diferencias significativas en la reducción de altura en plantas de tomate con relación a dosis altas como 300 y 350 mg·L<sup>-1</sup> de PBZ.

Las diferencias en el número de hojas por planta a los 97 dds son interesantes ya que esta evaluación corresponde a la tercera aplicación de productos donde la planta se encontraba en inicio de producción, y en teoría, los retardadores de crecimiento no infieren en esta variable según indica Jankiewicz (2003), en este sentido Flores-López et al. (2016) encontraron diferencias entre dosis de uniconazol (20 y 40 mg·L<sup>-1</sup>) y paclobutrazol (200 y 250 mg·L<sup>-1</sup>) en plantas de papa cv. Gigant a los 45 días despues de aplicar observando reducciones de hasta 4 hojas con el uniconazol y de 6 con PBZ. Contrario a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación Zandstra et al. (2004) no encontraron diferencias entre dosis de 25, 37.5 y 50 mg·L<sup>-1</sup> de propiconazol sobre el diametro de tallo medio en plantas de tomate.





**Figura 8.** Comparación de medias para dosis en tres productos retardadores, a) Altura de plantas de tomate a los 37 dds; b) Altura de diez plantas de tomate a los 97 dds; c) Número de hojas a los 97 dds; d) Diámetro del tallo medio a los 37 dds; D1, D2 y D3 paclobutrazol: 25, 50 y 75 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente; D1, D2 y D3 propiconazol: 50, 100 y 150 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente; D1, D2 y D3 uniconazol: 2, 3 y 4 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Al realizar la comparación de medias del número de botones florales por racimo a los 97 dds (Figura 9), se identificó que no hay diferencia significativa para dosis en los productos paclobutrazol y uniconazol en el primer racimo (Figura 9a), sin embargo la dosis alta de propiconazol (150 mg·L<sup>-1</sup>) generó efecto significativo en la variable con un promedio de 0.45 botones por racimo.

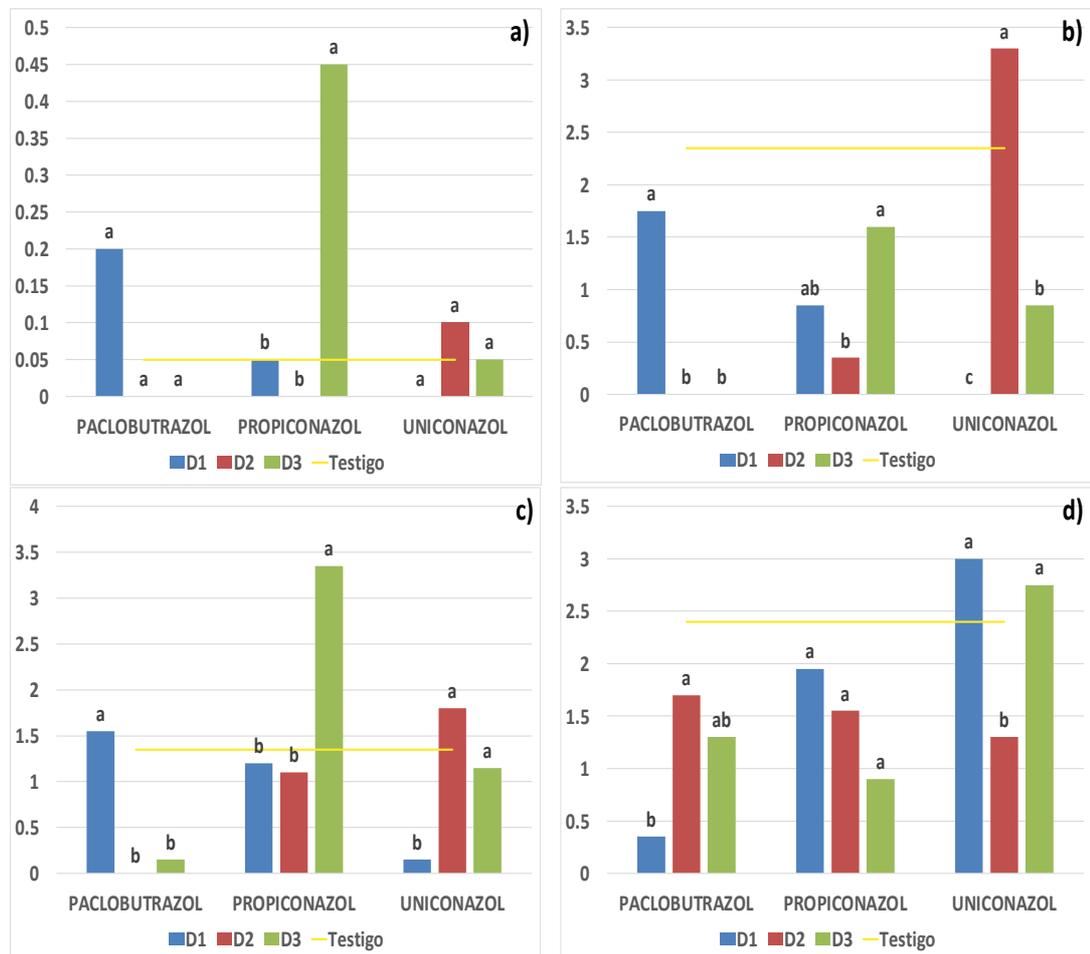
La comparación de medias entre dosis para el segundo racimo encontró diferencias en los tres productos, en paclobutrazol la dosis baja (25 mg·L<sup>-1</sup>), en uniconazol la dosis media (3 mg·L<sup>-1</sup>) y en paclobutrazol la dosis alta (150 mg·L<sup>-1</sup>) fueron las que presentaron mayores promedios y por consecuente mayor efecto en la variable (Figura 9b).

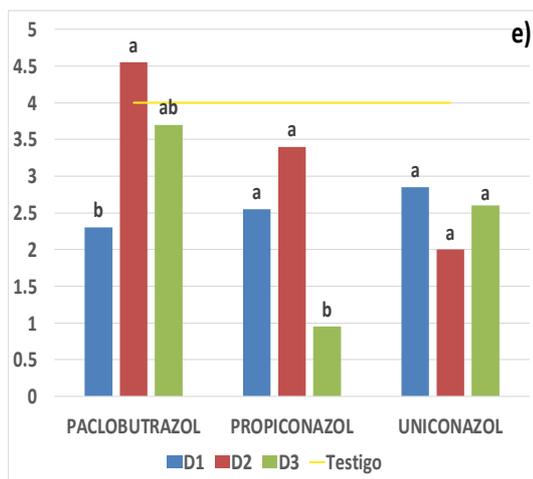
En el tercer racimo se encontró que la dosis baja de paclobutrazol tuvo mayor efecto con relación a las demás dosis, por otra parte la dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> de propiconazol generó un incremento de 67 % comparado a la dosis baja y media. En el producto uniconazol las dosis media y alta fueron estadísticamente diferentes y superiores a la dosis baja (Figura 9c).

En el cuarto y quinto racimo la dosis de 50 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol tuvo mayor promedio de botones por planta en relación a las otras dosis, en especial a la dosis baja la cual generó el menor efecto. Para el producto propiconazol no existieron diferencias entre dosis en el cuarto racimo y la dosis alta tuvo el

menor efecto en la variable en el quinto racimo en relación a las demás. Las dosis de 2 y 4 mg·L<sup>-1</sup> de uniconazol generaron los promedios más altos de botones florales (3 y 2.75, respectivamente), en el quinto racimo no existieron diferencias significativas entre las dosis de este producto (Figura 9d y Figura 9e, respectivamente).

Con los resultados obtenidos se puede observar una tendencia donde la dosis baja (25 mg·L<sup>-1</sup>) de paclobutrazol, la dosis alta de propiconazol (150 mg·L<sup>-1</sup>) y la dosis media de uniconazol (3 mg·L<sup>-1</sup>) generaron el mayor efecto en el número de botones florales desde el racimo 1 al 3.





**Figura 9.** Comparación de medias entre dosis de tres productos retardadores para número de botones florales en plantas de tomate a los 97 dds; a) primer racimo; b) segundo racimo; c) tercer racimo; d) cuarto racimo; e) quinto racimo; D1, D2 y D3 paclobutrazol: 25, 50 y 75  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente; D1, D2 y D3 propiconazol: 50, 100 y 150  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente; D1, D2 y D3 uniconazol: 2, 3 y 4  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente.

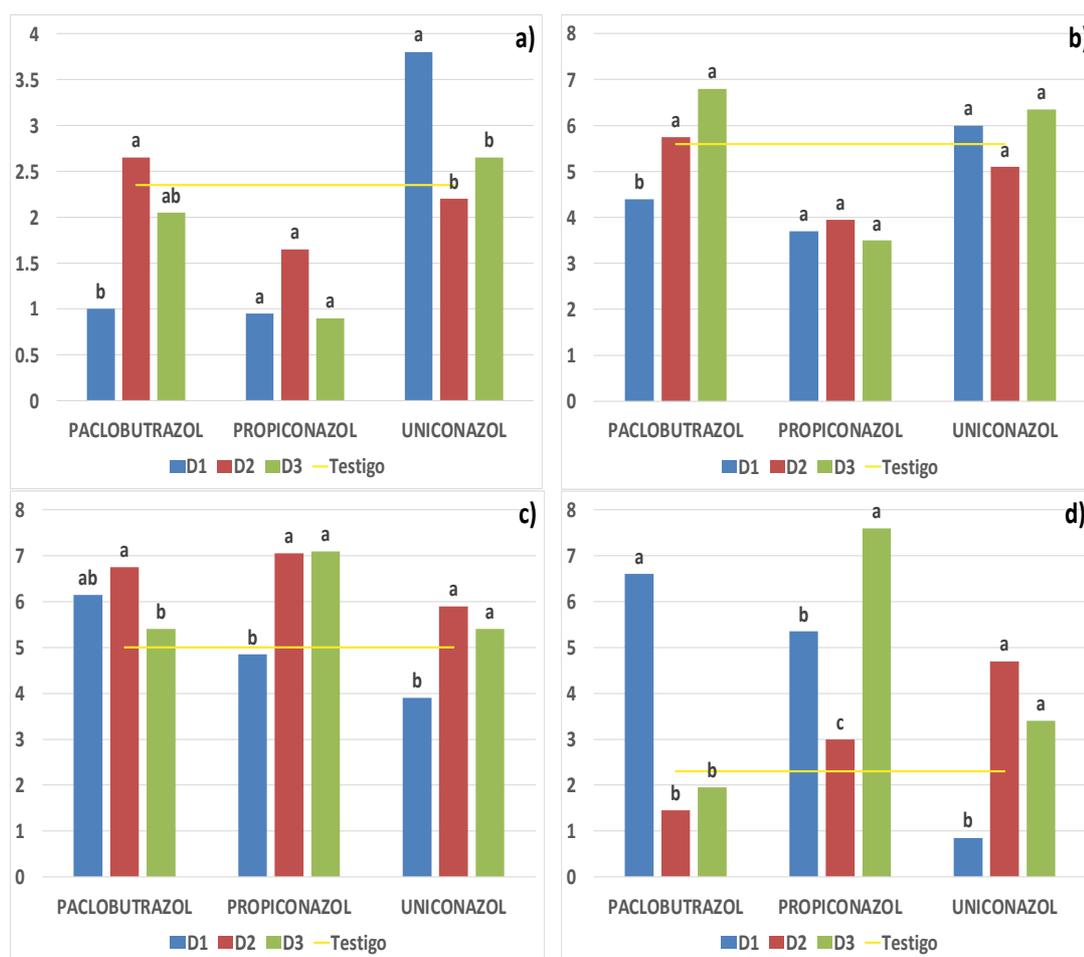
La comparación de medias correspondiente a la variable número de flores en el segundo racimo registrada a los 97 dds mostró diferencias significativas entre dosis de uniconazol y paclobutrazol. Para el caso de paclobutrazol la dosis media fue significativamente superior a la dosis baja pero no estadísticamente diferente a la dosis alta. La dosis 2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de uniconazol tuvo el mayor efecto en el número de flores en el segundo racimo con un promedio de 3.8, lo que representa un incremento de 42 y 30 % en comparación con la dosis media y baja, las cuales no difieren entre sí.

En el tercer racimo las dosis de los productos propiconazol y uniconazol no presentan diferencias estadísticas, a diferencia del paclobutrazol donde las dosis media y alta superaron estadísticamente a la dosis baja en número de flores (Figura 10).

El efecto de las dosis media y alta de propiconazol y uniconazol en el número de flores en el cuarto racimo fue mayor a la dosis baja, en paclobutrazol la dosis media fue estadísticamente superior a la dosis alta pero similar a la dosis baja. La dosis de 25  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de paclobutrazol generó un promedio notablemente superior (6.6 flores por racimo) con relación a la dosis media y alta, cuyos promedios (1.45 y 1.95 flores por racimo, respectivamente) no difieren estadísticamente. En el producto propiconazol todas las dosis fueron apreciablemente diferentes, cuyo mayor efecto se obtuvo con la dosis alta. La

dosis media y alta propiciaron un aumento de 82 y 75 %, respectivamente, en comparación con la dosis baja para el número de flores en el quinto racimo (Figura 10).

Moreno-Pérez et al. (2021) no encontraron diferencias en el número de flores por planta de tomate tratadas con 25 y 50 mg·L<sup>-1</sup> de PBZ, en combinación con distintas fechas de aplicación (20, 30 y 40 dds), contrario a los resultados de la presente investigación.

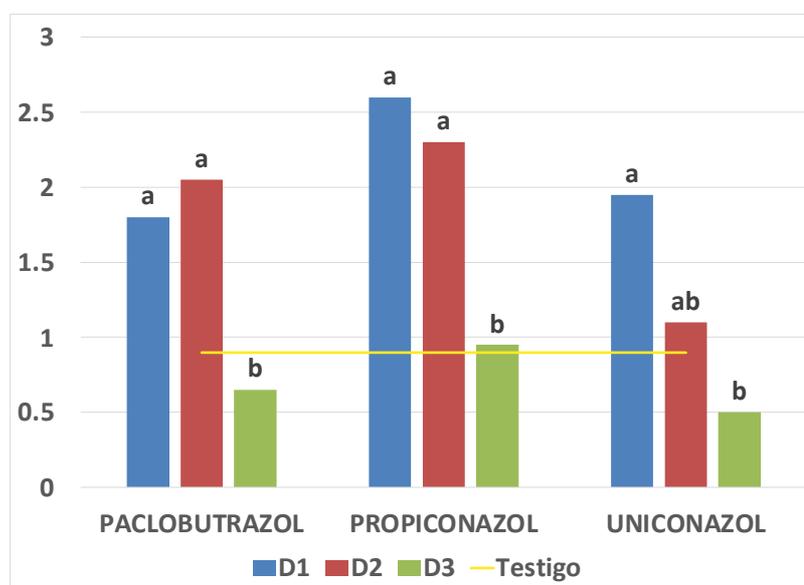


**Figura 10.** Comparación de medias entre dosis en tres productos retardadores para el Número de flores por racimo en plantas de tomate a los 97 dds; a) segundo racimo; b) tercer racimo; c) cuarto racimo; d) quinto racimo; D1, D2 y D3 paclobutrazol: 25, 50 y 75 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente; D1, D2 y D3 propiconazol: 50, 100 y 150 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente; D1, D2 y D3 uniconazol: 2, 3 y 4 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente.

La comparación de medias correspondiente al número de frutos en el tercer racimo registró un efecto similar en las dosis baja y media al aplicar paclobutrazol y propiconazol, los cuales resultaron considerablemente superiores a la dosis alta. La dosis baja fue superior estadísticamente a la

dosis alta logrando un incremento de 74 %. El efecto de la dosis media no fue diferente estadísticamente a las demás dosis (Figura 11).

Villavicencio (2015) no encontró diferencias entre dosis de 2.5, 5 y 10 mg·L<sup>-1</sup> de uniconazol en el número de frutos por planta, en tomate cv. Early Girl al final de la fase post-transplante (13 semanas después de tratamiento), esto contrasta en cierta medida con los resultados observados en la presente investigación donde si bien se aplicaron dosis más bajas de este retardador, si presentan diferencias entre su efecto sobre la variable, cabe aclarar que se pudieron generar al analizar los promedios por racimo y no en el total por planta. La polinización fue natural, es decir, no se emplearon técnicas complementarias como vibración, aire inducido con sopladoras, polinización manual o la más utilizada a nivel mundial en invernadero, los abejorros (INTAGRI, 2020), por lo que resultaría de interés adicionar a los futuros estudios sobre retardadores distintos métodos de polinización como los ya mencionados e inclusive el uso de hormonas artificiales usadas en polinización (principalmente auxinas) con el fin de encontrar mejores técnicas que conjuntas generen mayor rendimiento.



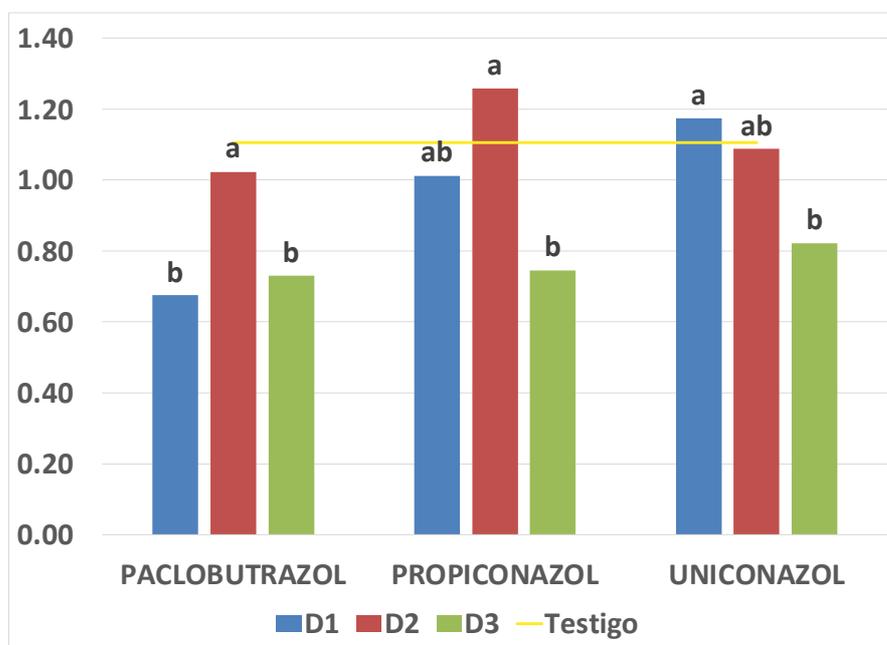
**Figura 11.** Comparación de medias para dosis en tres productos retardadores del número de frutos en el tercer racimo a los 97 dds.

Como resultado de la comparación de medias correspondiente al peso fresco de la primera evaluación a los 37 dds (figura 12) se observa que la dosis de

50 mg·L<sup>-1</sup> fue significativamente mayor a las dosis de 25 y 75 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol, las cuales no difieren entre sí estadísticamente. De igual manera la dosis media tuvo un efecto superior en el producto propiconazol, con respecto a la dosis alta pero similar a la dosis baja. En el uniconazol el promedio más alto de peso fresco de plántulas (1.18 g) fue generado por la dosis 2 mg·L<sup>-1</sup>, la cual es estadísticamente diferente a la dosis de 4 mg·L<sup>-1</sup>. Consistentemente las dosis altas de los tres retardadores mostraron los valores más bajos de peso fresco de plantas.

Estos resultados coinciden con los reportados por Miguel-Zarate et al. (2022) quienes encontraron diferencias entre dosis de paclobutrazol, el tratamiento con 100 mg·L<sup>-1</sup> de PBZ a los 25 dds obtuvo los promedios mas altos de peso fresco en comparación a dosis de 25 y 50 mg·L<sup>-1</sup> de PBZ aplicadas en diferentes periodos.

Ruvalcaba et al. (2007) encontraron que las dosis de 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol mostraron diferencias significativas entre sí en el peso fresco de raíz y parte aérea de plantas de pimiento morrón cv. California Wonder a los 64 días después de aplicación.



**Figura 12.** Comparación de medias para dosis en tres productos retardadores del peso fresco de tres plantas de tomate a los 37 dds.

### **5.12. Análisis cuantitativo de concentración de hormonas AG3 Y AIA por cromatografía de líquidos de alta eficiencia.**

Como resultado del análisis de concentración de AG<sub>3</sub> y AIA se obtuvieron las siguientes lecturas las cuales se adaptaron de un documento impreso debido a que los resultados digitales permanecieron en la computadora que opera el cromatografo de liquidos perteneciente al Colegio de Postgraduados, el cual a la fecha de redacción del presente documento se encuentra en huelga laboral lo que impide el acceso a dichos resultados.

Las lecturas cromatograficas refieren a los analisis de muestras donde los picos en la longitud de onda 206 nm pertenecen al grupo de las giberelinas, los generados en la longitud de onda de 254 nm pertenecen al grupo de las auxinas, mientras que la mezcla de estandares corresponde tambien a la longitud 280 nm. En la figura 13 los picos generados a los 30- 40 min de iniciado el analisis (en la banda inferior se muestra la cronología) corresponden a las lecturas de los estandares de AG3 utilizados como referencia, las lecturas de los estandares de AIA se generaron a los 40-50 min como se muestra en la Figura 14. La lectura perteneciente a AG3 y AIA de una de las muestras analizadas (Figura 15) no se observan picos en los tiempos correspondientes a cada fitohormona por lo que dichos resultados no son validos ni representativos, lo mismo sucedió en múltiples analisis realizados donde se modificó la proporción de diluyentes y el flujo de inyección con el fin de generar lecturas fiables. Esto se puede explicar debido al limite de detección del cromatografo de liquidos empleado en el analisis el cual esta por encima de la concentración de los analitos y resultó ineficaz sin un metodo complementario por ejemplo, un detector ultravioleta para HPLC, el cual mediante un sistema optico de doble haz con un policromador de red permite registrar el espectro completo de todo soluto que analiza el detector (Harris, 2007), otra posibilidad en la falla de detección fue la baja concentración de la muestra al momento de inyectarse en el cromatografo por lo que se modificó el metodo de extracción para realizar doble recolección de las muestras en las columnas de filtrado, y llevar al limite de capacidad al cromatografo, dichas

lecturas no se pudieron analizar esto debido a la huelga laboral antes mencionada.

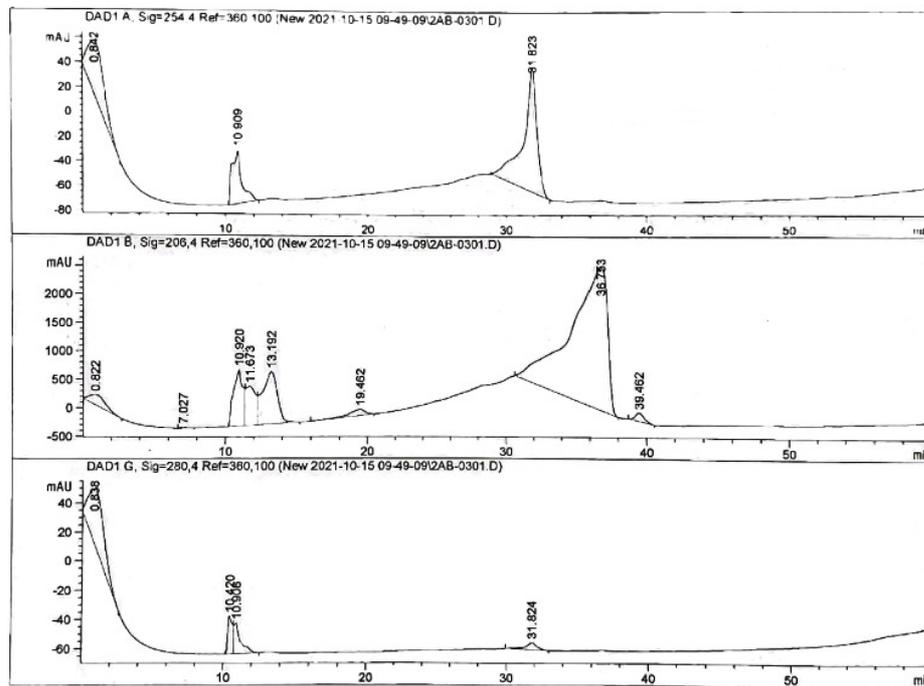


Figura 13. Lecturas cromatográficas para estandar de AG<sub>3</sub>,  $\lambda = 206$  nm.

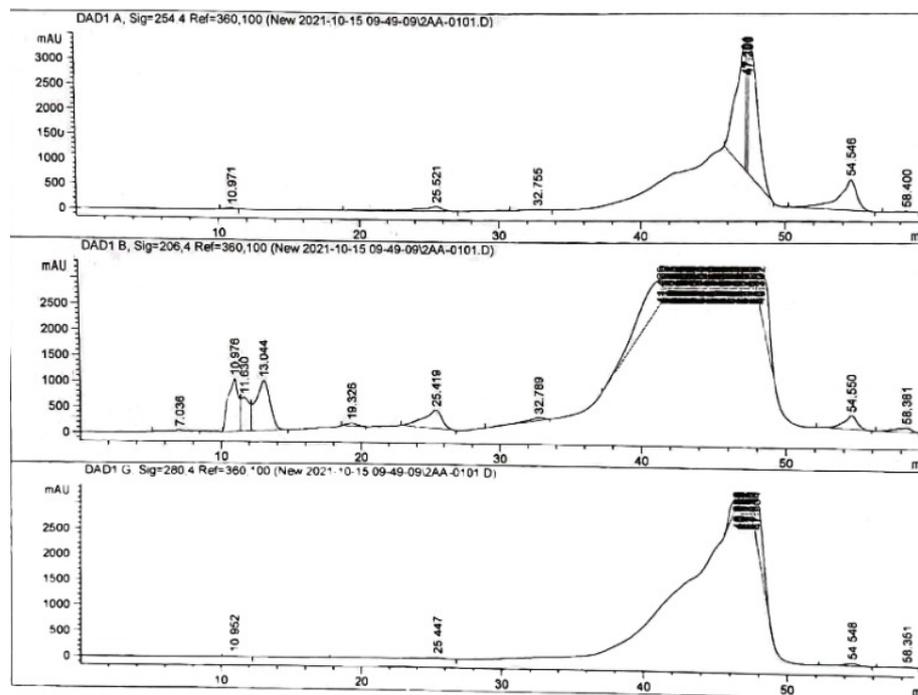
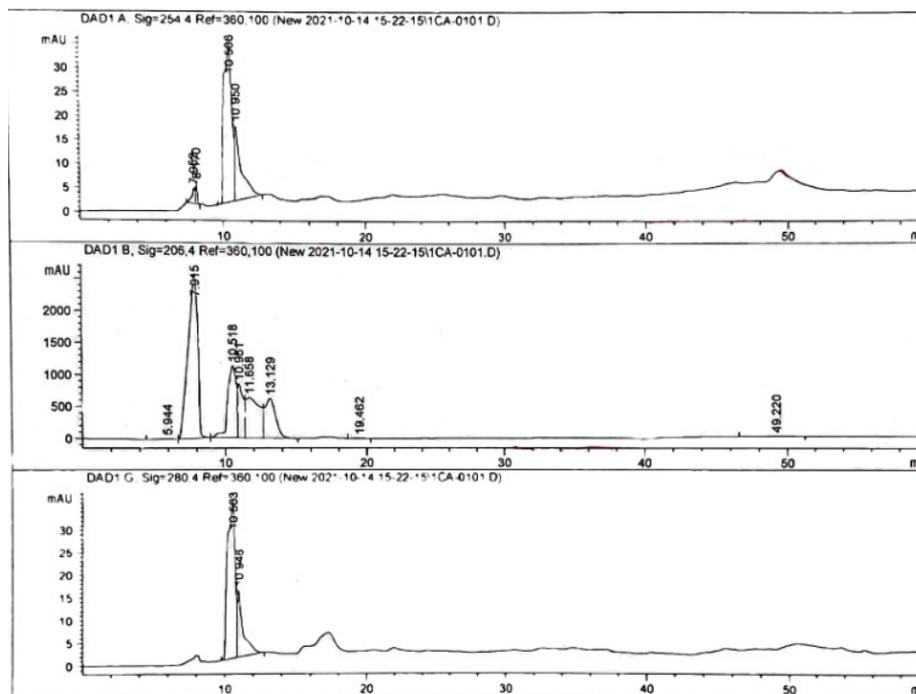


Figura 14. Lecturas cromatográficas para estandar de AIA,  $\lambda = 254$  nm.



**Figura 15.** Lecturas cromatográficas para AG<sub>3</sub> y AIA de muestras de tallos y hojas de tomate tratadas con retardadores de crecimiento;  $\lambda = 206$ ,  $\lambda = 254$ , respectivamente.

## 6. CONCLUSIONES

La aplicación de los retardadores de crecimiento uniconazol y propiconazol a los 30, 60 y 90 dds, no generaron diferencias significativas en las variables altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, peso fresco de planta y área foliar a los 37, 67 y 97 dds con relación al tratamiento sin aplicación. Sin embargo, las aplicaciones de paclobutrazol provocaron detención temporal del crecimiento en plantas de tomate.

Durante la etapa de plántula la dosis  $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de uniconazol presentó el mayor efecto de reducción de altura y peso fresco, en el producto propiconazol la dosis  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  mostró el mayor promedio en diámetro de tallo mientras que la dosis con  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  generó un efecto superior en la reducción de peso fresco.

La dosis alta de propiconazol ( $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) tuvo mayor efecto de aumento en el número de botones florales en los primeros tres racimos, en el número de flores del tercer y cuarto racimo, además de mayor reducción en peso fresco. Las dosis media y alta de los retardadores de crecimiento favorecieron número de frutos en el tercer racimo. En términos generales la dosis de 50

mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol se mostró como la mejor en las características antes mencionadas.

Es necesaria otra técnica de detección hormonal o aumentar la concentración de la muestra analizada mediante la modificación del método de extracción implementado para obtener resultados válidos.

## 7. LITERATURA CITADA

- Alcantara-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.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (No. 581.1). McGraw-Hill Interamericana.
- Ballester-Olmo J. F. (2005). Reguladores del crecimiento para su uso en viveros. *Revista Horticultura internacional*. Extra (1), 97-105.
- Bañón, S., Ochoa, J., Fernández, J. A., González, A., Sánchez, J. J. M., & Franco, J. A. (2003). Plant growth retardants for introduction of native *Reichardia tingitana*. *Acta Horticulturae*, 598, 271-278.
- Barrett, J. E., & Bartuska, C. A. (1982). PP333 effects on stem elongation dependent on site of application. *HortScience*, 17(5), 737-738.
- Benacchio, S. S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano: Un compendio* (No. 630.2745 B456a). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Caracas.
- Berova, M., & Zlatev Z. (2000). Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Regulation*, 30(2), 117-123.
- Bowman, J. L., Briginshaw, L. N., Fisher, T. J., & Flores-Sandoval, E. (2019). Something ancient and something neofunctionalized—evolution of land plant hormone signaling pathways. *Current Opinion in Plant Biology*, 47, 64-72.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley & sons.
- Cabrera, F. A. V. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido*. Universidad Nacional de Colombia.
- Carver, S. T., Arnold, M. A., Byrne, D. H., Armitage, A. R., Lineberger, R. D., & King, A. R. (2014). Growth and flowering responses of sea marigold to daminozide, paclobutrazol, or uniconazole applied as drenches or sprays. *Journal of plant growth regulation*, 33(3), 626-631.

- Chiwocha, S. D., Abrams, S. R., Ambrose, S. J., Cutler, A. J., Loewen, M., Ross, A. R., & Kermodé, A. R. (2003). A method for profiling classes of plant hormones and their metabolites using liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry: an analysis of hormone regulation of thermodormancy of lettuce (*Lactuca sativa* L.) seeds. *The Plant Journal*, 35(3), 405-417.
- Corpeño, B. (2004). *Manual del cultivo de tomate*. Centro de Inversión, Desarrollo y Exportación de Agronegocios El Salvador. 38 p.
- Dávila, L. M., Ramírez, H. T., Ortiz, R. H., Landero, T. I., & Enriquez, R. V. (2016). Evaluación de la calidad fisicoquímica de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), tipo saladette Variedad El Cid F-1. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 4(2), 55-60.
- Díez, M. J., & Nuez, F. (2008). Tomato. In (Eds.). *Vegetables II* (pp. 249-323). Springer.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2002). Greenhouse tomato fruit quality. In *Horticultural Reviews* (Vol. 26, pp 239-349).
- Endegen, W. (2019). Yield and yield-related parameters of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) treated with paclobutrazol at different stages in North West Ethiopia. *Journal of Horticulture and Plant Research*, 6, 37-46.
- Ferreira, N. C., Vendruscolo, E. P., Seleguini, A., Dourado, W. D. S., Benett, C. G. S., & Nascimento, A. D. R. (2017). Crescimento, produção e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo adensado com uso de paclobutrazol. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 72-79.
- Finkelstein, R. R. (2010). The role of hormones during seed development and germination. In *Plant hormones* (pp. 549-573). Springer.
- FIRA (2017). Panorama agroalimentario: tomate rojo. Fecha de consulta 3 de abril de 2021 en <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20la%20producci%C3%B3n%20de,anual%20de%202.5%20por%20ciento>
- Fletcher, R. A., Gilley, A., Davis, T. D., & Sankhla, N. (2000). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews*, 24. 55-138.
- Flores López, R., Sánchez del Castillo, F., Rodríguez Pérez, J. E., Mora Aguilar, R., Colinas León, M. T., & Lozoya Saldaña, H. (2011). Paclobutrazol, uniconazol y cycocel en la producción de tubérculo-semilla de papa en cultivo hidropónico. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 173-182.
- Gepp, V., Vero, S., Cassanello, M. E., Romero, G., Silvera, E., González, P., & Bentancur, O. (2012). Resistencia a fungicidas en *Botrytis cinerea* en el Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 16(1), 97-107.

- González de Cosío., M. (1984). *Especies vegetales de importancia económica en México*. Ed. Porrúa.
- Gorini, F. (2018). *Guía completa del cultivo del tomate*. Parkstone International.
- Gupta, R., & Chakrabarty, S. K. (2013). Gibberellic acid in plant: still a mystery unresolved. *Plant signaling & behavior*, 8(9), e25504.
- Harris Moran (2020). Ficha técnica indeterminado EL CID F1. Harris Moran Claus. Fecha de consulta 8 de enero de 2021 <https://hmclause.com/>
- Harris, D. C. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Reverté.
- Hedden, P. (1993). Modern methods for the quantitative analysis of plant hormones. *Annual Review of Plant Biology*, 44(1), 107-129.
- Heuvelink, E. (2005). *Tomatoes*. Ed. CAB International.
- INTAGRI (2020). Técnicas de Polinización en Tomate bajo Invernadero. Serie Horticultura Protegida, Núm. 39. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. Consultada el 07 de mayo 2022 <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/tecnicas-de-polinizacion-en-tomate-bajo-invernadero>
- Jankiewicz, L. S. (2003). *Reguladores de crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas, propiedades y acción*. Ed. Mundiprensa.
- Jingfang, Y., Fengyu, C., Jianqiang, L., Jianguo, C., & Yan, W. (2004). Effects of seed soaking with uniconazole on the growth and physiological characters of tomato seedlings. *Zhongguo Nong ye da xue xue bao= Journal of China Agricultural University*, 9(2), 8-11.
- Jones, J. B. (1999). *Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden*. CRC press.
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. *Squeo, F, A., & Cardemil, L.(eds.). Fisiología Vegetal*, 1-28.
- Juárez-Rodríguez, L., Grajales, M. P., Castro-Brindis, R., Miranda, A. S., Magaña-Lira, N., & Villar, J. J. M. (2022). Evaluación de dosis, periodos de aplicación y residualidad y de Paclobutrazol en tomate. *Bioagro*, 34(1), 63-74.
- Kavina, J; Gopi, R; Panneerselvam, R. (2012). Difenconazole and Propiconazole's Effects on Antioxidant Potentials of *Gloriosa superba* Linn. *World Journal of Agricultural Sciences* 8(3): 247-252.
- Leon, H.M. (2006). *Guía para el cultivo de tomate en invernadero* (2ª Edición). SEP-INDAUTOR.
- Lima, G. M. D. S., Pereira, M. C. T., Oliveira, M. B., Nietsche, S., Mizobutsi, G. P., Públio Filho, W. M., & Mendes, D. S. (2016). Floral induction management in 'Palmer' mango using uniconazole. *Ciência Rural*, 46, 1350-1356.

- Matsumoto, K. (2005). Giberelinas em plantas superiores: Síntese e propriedades fisiológicas. *Hormônios vegetais em plantas superiores. Brasília: Embrapa recursos genéticos*, 80-101.
- Melo, A. P. C. D., Seleguini, A., & Veloso, V. D. R. S. (2014). Peliculização de sementes de tomate associada ao paclobutrazol. *Bragantia*, 73, 123-129.
- Miguel-Zarate, N., Ayala-Garay, O. J., Sánchez-del Castillo, F., & Magdaleno-Villar, J. J. (2021). The use of plant growth retardants in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 27(3), 157-169.
- Moreno-Pérez, E. C., Sánchez-del Castillo, F., Ruiz-Díaz, M., & Contreras-Magaña, E. (2021). Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(1), 5-17.
- Neljubow, D. J. B. C. B. (1901). Über die horizontale Nutation der Stengel von *Pisum Sativum* und einiger anderen Pflanzen. *Bot. Centralbl. Beih.*, 10, 128-139.
- Nuez, F. (1995). *El cultivo del tomate: obra colectiva* (No. 635.642). Mundi-Prensa,.
- Obregón, V. (2018). *Guía para la identificación de las enfermedades de tomate en invernadero*. Ediciones INTA.
- Pan, X., Welti, R., & Wang, X. (2010). Quantitative analysis of major plant hormones in crude plant extracts by high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *Nature protocols*, 5(6), 986-992.
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2007). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). *Genetic improvement of solanaceous crops*, 2, 1-27.
- Peralta, I. E., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2006). Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *Tomato Genetics Cooperative Report*, 56, 6-12.
- Porta, H., & Jiménez-Nopala, G. (2019). Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22.
- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual review of plant biology*, 51(1), 501-531.
- Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of plant growth regulation*, 34(4), 845-872.
- Rademacher, w., Spinelli, f., & Costa, G. (2006). Prohexadione–Ca: Modes of action of a multifunctional plant biorregulator for fruit trees. *Acta Horticulturae* 727: 97–106.
- Ramos-Fernández, J., Ayala-Garay, O. J., Pérez-Grajales, M., Sánchez-del Castillo, F., & Magdaleno-Villar, J. J. (2021). Efecto del paclobutrazol

sobre el crecimiento de la planta, rendimiento y calidad del fruto en tomate. *Bioagro*, 33(1), 59-64.

- Rick, C. M. (1973). Potential genetic resources in tomato species: clues from observations in native habitats. In: Srb, A. M. (Ed.), *Genes, enzymes, and populations* (pp. 255-269). Plenum Press.
- Rodriguez R., R., J.M. Tavares R. & J. A. Medina J. (2001). *Cultivo moderno de tomate*. Mundi-Prensa.
- Roncancio, V. J. F. (1997). Análisis hormonal en plantas: tendencias actuales. *Agronomía Colombiana*, 14(2), 144-148.
- Ruvalcaba, L. P., Alcaraz, T. D. J. V., Villegas, B. A., Tafoya, F. A., Valdés, T. D., Castro, J. F. I., & Ortega, J. E. C. (2007). Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 145-149.
- SADER (2019). Producción de jitomate en invernadero. Fecha de consulta 5 de diciembre de 2021 en <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/articulos/produccion-de-jitomate-en-invernadero?idiom=es>
- Seleguini, A., Pradi Vendruscolo, E., Fernandes Cardoso Campos, L., & de Araújo Faria Júnior, M. J. (2016). Efeito do paclobutrazol sobre o crescimento de plantas e produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em ambiente protegido. *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 391-399.
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International agrophysics*, 32(2), 287-302.
- Shin, W., Hwang, S., Sivanesan, I., & Jeong, B. (2009). Height suppression of tomato plug seedlings by an environment friendly seed treatment of plant growth retardants. *African Journal of Biotechnology*, 8(17).
- SIAP (2021). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Fecha de consulta 5 de diciembre de 2021 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/687048/Escenario\\_jitomate\\_nov21.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/687048/Escenario_jitomate_nov21.pdf)
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Tissue Test. In *Plant nutrition of greenhouse crops* (pp. 83-98). Springer.
- Stührwohldt, N. & Schaller, A. (2019). Regulation of plant peptide hormones and growth factors by post-translational modification. *Plant Biol.* 21, 49–63.
- Suarez-Ospina, D., & Morales-Hernández, Y. (2018). Principios básicos de la cromatografía líquida de alto rendimiento para la separación y análisis de mezclas. *Revista Semilleros: Formación Investigativa*, 8-14.

- Swarup, R., Perry, P., Hagenbeek, D., Van Der Straeten, D., Beemster, G. T., Sandberg, G., & Bennett, M. J. (2007). Ethylene upregulates auxin biosynthesis in Arabidopsis seedlings to enhance inhibition of root cell elongation. *The Plant Cell*, 19(7), 2186-2196.
- Syngenta. (2019a). Ficha tecnica CULTAR 25 SC®. Fecha de consulta 17 de noviembre de 2021 en <https://www.syngenta.com.mx/product/crop-protection/regulador-de-crecimiento/cultarr-25-sc>
- Syngenta. (2019b). Ficha tecnica Tilt 250 CE®. Fecha de consulta 20 de noviembre de 2021 en <https://www.syngenta.com.mx/product/crop-protection/fungicida/tiltr-250-ce>
- Taylor, I. B. (1986). Biosystematic of the tomato. In: Atherton I. G., & Rudich, I. (Eds.), *The tomato crop: a scientific basis for improvement* (pp. 1-34). Chapman and Hall.
- Vega-Celedón, P., Canchignia Martínez, H., González, M., & Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37, 33-39.
- Velasco, H., E y R. Nieto A. (2006). *Cultivo de Jitomate en Hidroponía e Invernadero* (2ª Edición). Universidad Autónoma Chapingo..
- Velázquez-Alcaraz, T. J., Partida-Ruvalcaba, L., Acosta-Villegas, B., & Ayala-Tafoya, F. (2008). Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. *Universidad y ciencia*, 24(1), 21-28.
- Verma, V., Ravindran, P., & Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC plant biology*, 16(1), 1-10.
- Villasanti, C., & Pantoja, A. (2013). El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. Fecha de consulta 3 de enero de 2022 en <https://www.fao.org/3/i3359s/i3359s.pdf>
- Villavicencio, L. E., Bethke, J. A., & Corkidi, L. (2015). Effect of uniconazole on the control of plant height and fruit yield of potted tomato, pepper, and eggplant. *HortTechnology*, 25(4), 522-527.
- Wang, Y.-T., & Gregg, L. L. (1991). Modification of hibiscus growth by treating unrooted cuttings and potted plants with uniconazole or paclobutrazol. *Journal of Plant Growth Regulation*, 10(1-4), 47-51.
- Xia, X., Tang, Y., Wei, M., & Zhao, D. (2018). Effect of paclobutrazol application on plant photosynthetic performance and leaf greenness of herbaceous peony. *Horticulturae*, 4(1), 5.
- Yu, Z., Duan, X., Luo, L., Dai, S., Ding, Z., & Xia, G. (2020). How plant hormones mediate salt stress responses. *Trends in plant science*, 25(11), 1117-1130.
- Zandstra, J. W., Dick, J., & Lang, J. (2004). *Evaluation of Topaz (propiconazole) for transplant size control and earlier maturity of processing tomato*. University of Guelph Ridgetown College.