

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



Proporción de sustratos en variables agronómicas de planta y bioquímicas en frutos de tomate bajo invernadero

**Por:**

**Sarahí Peña Hernández**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Torreón, Coahuila, México  
Marzo 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Proporción de sustratos en variables agronómicas de planta y bioquímicas en frutos de tomate bajo invernadero

Por:

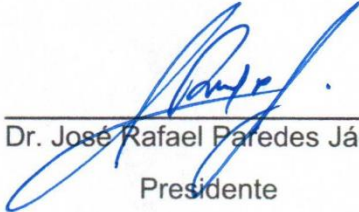
**Sarahí Peña Hernández**

TESIS


Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**


Aprobada por:


  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
Presidente

  
Dr. Marco Antonio Villegas Olguín  
Vocal Externo

  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Vocal

  
Dr. Fabián García Espinoza  
Vocal Suplente

  
M.C. Rafael Ávila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

  
Unidad Laguna  
Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Marzo 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Proporción de sustratos en variables agronómicas de planta y bioquímicas en frutos de tomate bajo invernadero

Por:

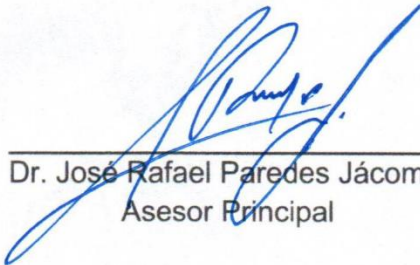
**Sarahí Peña Hernández**


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

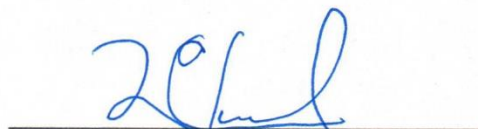
Aprobada por el Comité de Asesoría:


  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
Asesor Principal

  
Dr. Marco Antonio Villegas Olguín  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Coasesor

  
Dr. Fabián García Espinoza  
Coasesor

  
M.C. Rafael Ávila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

  
Unidad Laguna  
Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

**Torreón, Coahuila, México**  
Marzo 2026

## DEDICATORIAS

*Finalmente, dedico todo mi trabajo y esfuerzo a mi madre María Magdalena Peña, quien tu amor, tus enseñanzas y tu ejemplo de fortaleza han sido una guía constante en mi camino. Este logro también es tuyo, porque fuiste mi impulso para no rendirme, incluso en momentos difíciles. Tu recuerdo vive en mí y me acompaña siempre, donde estes espero te sientas orgullosa de mí. Has sido mi motivación y soporte día con día para seguir adelante. A mi padre Albino, gracias por ser parte de mi vida.*

*A mis hermanas: Alma Karen, Josselin, Alejandra y Jacinto que siempre me han dado ánimos para seguir adelante y no rendirme, y especialmente a mi hermana Alberta por ser uno de los pilares más importantes en mi vida, quien me ha dado su apoyo incondicional, me ha motivado a seguir adelante, por confiar en mí. Este triunfo también tuyo, gracias por todos los sacrificios que has hecho para que yo pueda seguir mis sueños.*

## AGRADECIMIENTOS

*A dios por darme sabiduría, entendimiento y sobre todo paciencia en los momentos difíciles, permitiéndome cumplir una meta más en mi vida profesional y personal, que fue plasmada y hoy en día doy por cumplida.*

*A mi madre quien en la infancia siempre me alentó a salir adelante y enseñarme a nunca rendirme.*

*A mis hermanos quienes siempre han estado para mí, por ser esa raíz fuerte que me mantiene firme.*

*A mis amigos que conocí a lo durante carrera, gracias por su apoyo y compañía durante este proceso.*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Mi Alma Mater, por haberme recibido en esta casa de estudios y permitirme crecer bajo la sombra de su excelencia. Ser parte de la UAAAN ha sido un honor que llevare con orgullo durante toda mi vida profesional.*

*A los maestros que conocí a lo largo de la carrera, gracias por brindarme todo el conocimiento adquirido en estos 4 años.*

# ÍNDICE

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	viii
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
HIPÓTESIS .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Origen e historia del cultivo de tomate.....	3
2.2 Importancia del cultivo de tomate .....	3
2.2.1 Producción Nacional.....	3
2.2.2 Producción mundial.....	4
2.3 Características botánicas del cultivo de tomate .....	5
2.3.1 Sistema radical .....	5
2.3.2 Tallo .....	5
2.3.3 Hoja .....	5
2.3.4 Flor .....	5
2.3.5 Fruto.....	6
2.3.6 Semilla .....	6
2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de tomate .....	6
2.5 Clasificación taxonómica de tomate .....	7
2.6 Sustratos utilizados en la agricultura.....	7
2.6.1 Tipos de sustrato .....	8
2.7 Ventajas y desventajas de los sustratos .....	10
III. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1 Ubicación del experimento .....	11
3.2 Material vegetal y siembra .....	11
3.3 Sistema de producción .....	11
3.4 Sistema de riego .....	12

<b>3.5 Manejo del cultivo .....</b>	<b>12</b>
3.5.1 Trasplante .....	12
3.5.2 Nutrición del cultivo .....	12
3.5.3 Tutorio .....	13
3.5.4 Desbrote .....	13
<b>3.6 Descripción de los tratamientos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.7 Variables agronómicas evaluadas .....</b>	<b>14</b>
3.7.1 Altura de planta .....	14
3.7.2 Diámetro de tallo .....	14
3.7.3 Cantidad de frutos .....	14
3.7.4 Peso de fruto .....	14
3.7.5 Diámetro polar y ecuatorial .....	14
3.7.6 Firmeza .....	15
3.7.7 Sólidos solubles totales (° Brix) .....	15
3.7.8 Diámetro de mesocarpio .....	15
3.7.9 Peso fresco de la planta y raíz .....	15
3.7.10 Peso seco de la planta y raíz .....	15
3.7.11 Vitamina C .....	16
<b>2.10 Análisis estadístico .....</b>	<b>16</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>17</b>
4.1 Altura de la planta .....	17
4.2 Diámetro de tallo .....	18
4.3 Número de frutos .....	19
4.4 Peso fresco de la planta .....	20
4.5 Peso seco de la planta (g) .....	21
4.6 Peso fresco de la raíz .....	22
4.7 Peso seco de la raíz .....	23
4.8 Vitamina C .....	24
4.9. Diámetro polar .....	25
4.10 Diámetro ecuatorial .....	26
4.11 Endocarpio .....	27
4.12 Peso promedio del fruto .....	28
4.13 Sólidos solubles (°Brix) .....	29

V. CONCLUSIONES.....	31
VI. REVISION BIBLIOGRAFICA .....	32

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía del cultivo de tomate .....	7
<b>Tabla 2.</b> Productos fitosanitarios aplicados para control de plagas y enfermedades .....	13
<b>Tabla 3.</b> Descripción de los tratamientos evaluados .....	13

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Invernadero donde se realizó el experimento.....	11
<b>Figura 2.</b> Altura de planta obtenido de la mezcla de diferentes sustratos utilizados en el cultivo de tomate. ....	17
<b>Figura 3.</b> Diámetro de tallo obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	19
<b>Figura 4.</b> Número de frutos obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	20
<b>Figura 5.</b> Peso fresco de la planta (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	21
<b>Figura 6.</b> Peso seco de la planta (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate. ....	22
<b>Figura 7.</b> Peso fresco de la raíz (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate. ....	23
<b>Figura 8.</b> Peso seco de la raíz (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate. ....	24
<b>Figura 9.</b> Vitamina C (mg/100g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate. ....	25
<b>Figura 10.</b> Diámetro polar (mm) del fruto obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	26
<b>Figura 11.</b> Diámetro ecuatorial (mm) del fruto obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	27
<b>Figura 12.</b> Diámetro endocarpio del fruto obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	28
<b>Figura 13.</b> Peso promedio del fruto (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	29
<b>Figura 14.</b> Sólidos solubles del fruto (°Brix) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.....	30

## RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia a nivel nacional e internacional, debido a su relevancia económica, nutricional y social. En México ocupa un lugar destacado dentro de la producción agrícola, siendo uno de los principales productos de exportación y consumo interno. En los últimos años, el uso de sustratos alternativos ha cobrado gran importancia en la producción de tomate bajo condiciones de invernadero, los sustratos permiten mejorar la aireación, la retención de agua y el control. Entre los más utilizados se encuentran la fibra de coco, la perlita, la arena y sus mezclas, que han demostrado influir en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

La mezcla de sustratos representa una estrategia para combinar las propiedades físicas y químicas de distintos materiales, optimizando las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas. En este contexto en el presente trabajo se llevó a cabo la evaluación de diferentes sustratos y sus mezclas en el cultivo de tomate, la cual se busca determinar cuáles ofrecen los mejores resultados en términos de crecimiento vegetativo, producción de frutos y calidad del producto final. Se evaluaron tres tipos de sustratos en sus diferentes mezclas, por lo que se obtuvieron 4 tratamientos, los cuales fueron los siguientes: Tratamiento 1 (Arena 50%: perlita 50%) tratamiento 2 (Fibra de coco 100%) tratamiento 3 (fibra de coco 50%: perlita 50%) tratamiento 4 (fibra de coco 33.3%: arena 33.3%: perlita 33.3%). Para el material vegetal se utilizó la variedad "101" de la empresa Farmer-HI-TECH Seeds, con un diseño experimental completamente al azar en la cual se evaluaron variables en campo y en laboratorio como son: altura de planta, número de frutos, diámetro de tallos, diámetro polar, diámetro ecuatorial, sólidos solubles totales, firmeza, peso promedio del fruto, diámetro del mesocarpio, peso fresco de la planta y raíz, peso seco del diámetro de la raíz. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en crecimiento y calidad del tomate. En T4 se destacó la altura de planta y el peso fresco y seco; en T2 el sistema radicular presentó mayor peso; y en T1 y T4 la concentración de vitamina C fue superior. El peso promedio del fruto resultó mayor en T4. Se concluye que el tipo de sustrato influye significativamente en el rendimiento y calidad, confirmando a T4 como una alternativa eficaz en cultivos sin suelo.

**Palabras clave:** Rendimiento, Calidad, Sustratos, Tratamientos

## I. INTRODUCCIÓN

El tomate ocupa un lugar destacado en el comercio internacional de hortalizas, siendo cultivado en diferentes sistemas de producción desde campo abierto hasta a sistemas de agricultura protegida. Este último ha permitido mejorar la calidad del fruto y aumentar la productividad, lo que fortalece la competitividad de los países productores en el mercado global (Martínez Rocha, 2006).

México se posiciona entre los principales productores y exportadores de tomate a nivel mundial, con un mercado orientado principalmente hacia Estados Unidos. Esta actividad agrícola ha consolidado el país como líder dentro del comercio internacional de hortalizas. Además, el cultivo de tomate genera una gran cantidad de empleos, tanto directo como indirectos. Su impacto económico y social se refleja en el desarrollo regional de estados como Sinaloa, Baja California y Michoacán donde la producción es especialmente productiva (Burgueño Ávila, 2007).

El uso de sustratos en el cultivo de tomate bajo sistemas protegidos constituye una alternativa eficiente frente al cultivo en suelo, ya que permite un mejor control del ambiente radicular y reduce la incidencia de enfermedades. En los sistemas de cultivos sin suelo se utilizan diversos materiales como medios de crecimiento, entre los que destacan la fibra de coco, la perlita, la turba y diferentes mezclas comerciales. Estos materiales proporcionan soporte a las raíces y favorecen condiciones adecuadas de aireación y retención de humedad (Urrestarazu, 2015).

El empleo de estos sustratos ha demostrado incrementar la productividad y calidad del fruto, además de optimizar el uso de agua y fertilizantes mediante sistemas de fertirrigación. En México y otros países el tomate en sustratos se ha consolidado como una práctica clave dentro de la agricultura protegida, contribuyendo a la competitividad internacional y a la sostenibilidad agrícola (Martínez Rodríguez et al., 2018).

En el cultivo de tomate se emplean principalmente fibra de coco, arena y perlita, cada uno con propiedades particulares. La fibra de coco retiene agua y mantiene aireación, lo que favorece raíces sanas y reduce problemas de sales (Longoria Saldaña, 2017). La arena, aunque con baja capacidad de retención de humedad, ofrece excelente drenaje y bajo costo, pero requiere manejo cuidadoso para evitar déficit hídrico (Nava Villa, 2014). La perlita, sustrato volcánico inerte, suele mezclarse con otros materiales

para equilibrar humedad y oxigenación, contribuyendo a un desarrollo uniforme del cultivo (Longoria Saldaña, 2017).

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de diferentes proporciones de sustratos en el desarrollo de variables agronómicas de la planta y en las características bioquímicas de frutos de tomate cultivados bajo condiciones de invernadero.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar la influencia de distintas combinaciones de sustratos en el crecimiento vegetativo y rendimiento agronómico de la planta de tomate en invernadero.
- Determinar el impacto de las proporciones de sustratos en parámetros bioquímicos de los frutos de tomate.

### **HIPÓTESIS**

La proporción de sustratos utilizada en el cultivo de tomate bajo invernadero influye significativamente tanto en las variables agronómicas de la planta como en las características bioquímicas de los frutos, de manera que ciertas combinaciones optimizan simultáneamente el crecimiento y la calidad del fruto.

## I. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen e historia del cultivo de tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de la región de América, particularmente de la zona andina de Perú, Ecuador y el norte de Chile, aunque su domesticación ocurrió principalmente en Mesoamérica, especialmente en México. Posteriormente, el cultivo fue llevado a Europa a principios del siglo XVI tras la llegada de los españoles al continente americano. Sin embargo, durante varios años el tomate no fue ampliamente consumido, ya que existía el temor de que pudiera ser tóxico debido a la presencia de compuestos alcaloides. Con el paso de los años el tomate comenzó a incorporarse gradualmente con la alimentación, siendo la cocina española e italiana las primeras en utilizarlo de manera frecuente. Posteriormente, su cultivo se expandió para otros países europeos y más tarde hacia EU, donde ya se registraba su producción como alimento durante el siglo XVIII. Durante el siglo XIX, el tomate adquirió mayor relevancia agrícola y comercial lo que impulsó procesos de selección y mejoramiento genético, como resultado surgieron numerosas variedades con diferencias en forma, color del fruto y tamaño lo que contribuyó a la diversificación del cultivo a su difusión a nivel mundial (Donoso et al., 2022).

### 2.2 Importancia del cultivo de tomate

El tomate constituye uno de los cultivos de mayor relevancia tanto en México como a nivel global, debido a su impacto económico en el comercio agrícola y a su aporte nutricional en la dieta humana. Este fruto es una fuente importante de minerales esenciales como potasio, fósforo, calcio y magnesio, además de contener vitaminas antioxidantes como la vitamina C y compuestos bioactivos como el licopeno. Desde el punto de vista funcional, el tomate presenta propiedades de interés medicinal y nutraceútico: actúa como antiséptico natural, favorece procesos depurativos y diuréticos, estimula la digestión y contribuye a la reducción de procesos antiinflamatorios en el organismo (SADER, 2022).

#### 2.2.1 Producción Nacional

A nivel nacional, el tomate es una de las actividades hortícolas más relevantes dentro del sector agrícola contribuyendo tanto en la oferta interna de alimentos como a la

economía rural. México se sitúa entre los principales países productores de tomate en América Latina, con una producción que supera regularmente los millones de toneladas métricas al año, destacándose por su amplia adaptación a diferentes regiones agroclimáticas y a sistemas de producción protegida y de temporal (Helgi Library, 2026)

El tomate se cultiva en diversas entidades federativas mexicanas, siendo estados como Sinaloa el cual reporta un volumen de producción de 593,022 ton, equivalente al 48.9% de la producción nacional. En segundo lugar, se encuentra Sonora con 128,524 toneladas (10.6%), seguido por Baja California Sur, que aporta 87,942 toneladas (7.2 %). En conjunto estas tres entidades contribuyen con el 66.7% del total nacional. En cuanto a los incrementos más destacados respecto al siglo 2023, sobresalen San Luis Potosí con 33,066 toneladas adicionales, Michoacán con 16,289 toneladas y Guanajuato con 7,319 (SIAP, 2024).

### **2.2.2 Producción mundial**

El tomate se reconoce como uno de los cultivos hortícolas de mayor relevancia y con el más alto valor económico a nivel mundial. Según World Processing Tomato Council (WPTC) la producción global de tomate en 2025 se calculó en 40.5 millones de toneladas cifra que refleja una reducción del 11.5 % en comparación con el año 2024, cuando se alcanzaron 45.8 millones de toneladas (Redagricola, 2025)

Entre los principales países productores de tomate a nivel mundial se encuentran Eu, Italia y China, seguidos por España, Turquía y Egipto. Durante la campaña del 2025, Eu se consolidó como el mayor productor, mientras que Italia y China ocuparon el segundo y tercer lugar respectivamente (Observatorio Tecnológico del Tomate, 2025).

El tomate genera millones de empleos directos e indirectos en las etapas de producción, cosecha, empaque, transporte, transformación y comercialización. Asimismo, constituye una fuente importante de divisas para países exportadores, especialmente con aquellos con sistema de agricultura protegida altamente tecnificados (OECD/FAO, 2022).

## **2.3 Características botánicas del cultivo de tomate**

### **2.3.1 Sistema radical**

El tomate desarrolla un sistema radicular poco profundo. Se distingue por desarrollar en etapas iniciales una raíz principal de tipo pivotante, de la cual posteriormente emergen numerosas raíces laterales y secundarias que conforman una estructura ramificada responsable de la absorción de agua y nutrientes. En las primeras fases de crecimiento, la raíz primaria tiende a crecer de forma vertical en el suelo o sustrato; no obstante, a medida que la planta se desarrolla, aumenta la formación de raíces laterales, lo que incrementa la superficie de exploración de sistema radicular y mejora la eficiencia en la captación de recursos (Schwarz et al., 2013)

### **2.3.2 Tallo**

El tallo del tomate está cubierto por tricomas de tipo glandular y no glandular a partir del cual se pueden originar las hojas, las ramificaciones laterales y las inflorescencias. Tiene la capacidad de formar raíces adventicias en el tallo al entrar en contacto con el suelo, esto puede favorecer en la estabilidad y el anclaje de la planta. El crecimiento del tallo puede ser determinado o indeterminado, dependiendo de la variedad (Schwarz et al., 2013; Heuvelink, 2018)

### **2.3.3 Hoja**

Se caracteriza por tener hojas compuestas de tipo imparipinadas, es decir, cuenta con un foliolo en la parte terminal y entre 8 y 9 en la parte de los lados los cuales suelen presentar un pequeño peciolo con forma lobulada, bordes dentados los cuales están cubiertos de pelos glandulares. Además, las hojas se disponen de manera alterna a lo largo de los nudos del tallo. (Taiz et al., 2015)

### **2.3.4 Flor**

Las flores del tomate son hermafroditas, amarillas y pequeñas. Presentan 5 sépalos y varios pétalos, con un pistilo rodeado por estambres que favorecen la autopolinización, el ovario contiene de 2 a 20 óvulos, según la variedad, lo que influye en la forma del fruto. Se agrupan en racimos simples o ramificados, con 4 a 20 flores. La primera flor aparece en la yema apical y los demás se disponen lateralmente; las inflorescencias surgen cada 2-3 hojas (Heuvelink, 2018; Schwarz et al., 2013).

### **2.3.5 Fruto**

El fruto del tomate es una baya que presenta variaciones en color, forma, tamaño y consistencia según la variedad. Está conformada por la epidermis, la pulpa, el tejido placentario y las semillas. Internamente se divide en lóculos, cuyos números pueden variar y en los cuales se desarrollan las semillas. Al alcanzar la madurez los frutos pueden alcanzar coloraciones rojas (el más producido), así como rosadas y amarillas que son pocos comunes (Dorais et al., 2017).

### **2.3.6 Semilla**

La semilla del tomate mide 3-5 mm suele ser lenticular y puede variar en forma (ovalada, redonda, plana, etc.). Está compuesta por embrión, endospermo y testa cubierta de tricomas. Cada semilla contiene un embrión, tejido de reserva y una cubierta protectora, estructuras que permiten el proceso de germinación y el desarrollo inicial de la plántula cuando existen condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno (Heuvelink, 2018; Taiz et al., 2015).

## **2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de tomate**

El tomate es una de las hortalizas de mayor importancia nutricional debido a la gran variedad de compuestos bioactivos que aportan beneficios importantes para la salud humana. Entre los principales compuestos destacan el licopeno, un carotenoide responsable del color rojo del fruto que posee propiedades antioxidantes y ayuda a proteger las células del daño oxidativo, reduciendo el riesgo de enfermedades crónicas. Además, el tomate contiene vitamina C y vitamina A, las cuales contribuyen al fortalecimiento del sistema inmunológico, el mantenimiento de la salud de la piel y el adecuado funcionamiento de la visión. También aporta potasio, mineral que participa en la regulación de la presión arterial y en el equilibrio de los líquidos en el organismo. De igual forma, la fibra dietética favorece el funcionamiento del sistema digestivo y ayuda a la prevención de algunas enfermedades. Por otra parte, el tomate contiene polifenoles, compuestos antioxidantes que contribuyen a la protección contra enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. El contenido de licopeno puede variar dependiendo de la variedad, el grado de madurez y las condiciones de cultivo, encontrándose generalmente en un rango de 3 a 12.2 mg por cada 100 g de fruto maduro (Salas-Pérez et al., 2016).

## 2.5 Clasificación taxonómica de tomate

**Tabla 1.** Taxonomía del cultivo de tomate

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Genero</b>	<i>Lycopersicon</i>
<b>Especie</b>	<i>Esulentum</i>
<b>Familia</b>	<i>Solanaceae</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

(Blanca, 2015)

## 2.6 Sustratos utilizados en la agricultura

El sustrato se define como una mezcla formada por una o varios materiales sea de origen mineral, orgánico, sintético o residual, que, colocado en un contenedor, en forma pura o mezclada a los cuales se pueden incorporar complementos y aditivos y permite el anclaje del sistema radicular. Los complementos se utilizan con el objetivo de mejorar las propiedades físicas o químicas de los materiales principales, mientras que los aditivos cumplen funciones específicas o favorecer al desarrollo de las plantas. Entre estos pueden incluirse fertilizantes, estimuladores de crecimiento, microorganismos, etc. (Bárbaro et al., 2015).

El uso de contenedores o macetas en la horticultura tuvo como primer medio de crecimiento al suelo mineral. Sin embargo, con el avance de las técnicas del cultivo, este ha sido progresivamente reemplazado por materiales alternativos como la fibra de coco, arena, perlita y la turba. Aunque el suelo puede considerarse un sustrato, su utilización presenta limitaciones relacionado con la presencia de patógenos, semillas indeseables, contaminación, heterogeneidad y baja fertilidad lo que cuestiona su idoneidad para sistemas intensivos. La elección de los sustratos depende de sus propiedades físicas, como la porosidad total y la relación agua-aire, las cuales son determinantes en el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de invernadero (Raviv et al., 2011)

La utilización de un material para utilizarse como sustrato requiere considerar diversos factores que permitan garantizar un adecuado desarrollo de las plantas. Entre los criterios más relevantes se encuentran: que el material posea características físicas, químicas y biológicas apropiadas para el crecimiento vegetal; que exista una relación favorable entre el costo y el beneficio; que el material esté disponible en la región donde se llevara a cabo el cultivo; y que sea fácil de manejar o compatible con otros materiales cuando se utilicen mezclas (Gruda, 2012).

### **2.6.1 Tipos de sustrato**

Los sustratos pueden clasificarse bajo distintos criterios, sin embargo, según lo señalado por Abad (2004) se distinguen en dos grandes grupos:

Materiales orgánicos: esto a su vez se subdividen en varias categorías:

- De origen natural como, la turba o peat mos
- Sintéticos incluyendo materiales como espumas de poliuretano o poliestireno expandido.
- Residuos y subproductos de distintas actividades, los cuales deben ser previamente tratados mediante compostaje o vermicompostaje antes de su uso. Entre los ejemplos de esta categoría se encuentran el bagazo de caña, bagazo de agave, aserrín, corteza de árboles, residuos sólidos urbanos, cascarilla de arroz y fibra o polvo de cocos.

Materiales inorgánicos o minerales: estos también se clasifican en varias subcategorías:

- De origen natural, provenientes de rocas o minerales diversos, como rocas volcánicas (tezontle), piedra pómez, arena y grava.
- Transformados o tratados industrialmente, obtenidos a partir de rocas o minerales mediante procesos físicos y, en ocasiones químicos que modifican sus propiedades originales: ejemplos incluyen perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca.
- Residuos y subproductos industriales, como escoria de horno alto o estériles de carbono

## **Sustratos utilizados**

Fibra de coco: La fibra de coco es un sustrato deriva de la cascara de fruto del cocotero, ampliamente empleado en sistemas de cultivo sin suelo por sus propiedades físicas que favorecen el desarrollo vegetal. Este material destaca por su elevada retención de agua, adecuada aireación y porosidad equilibrada lo que permite mantener condiciones óptimas de humedad y oxígeno en la zona radicular. Además de que presenta un pH ligeramente ácido, que oscila entre 5.5 y 6.5, además de una adecuada capacidad de intercambio catiónico. Estas características permiten que el sustrato retenga nutrientes y los libere de manera gradual, favoreciendo así la disponibilidad de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas (Gruda, 2012).

Perlita: Es un material de origen volcánico que, al ser sometido a altas temperaturas, se expande y genera partículas ligeras y porosas utilizadas como sustrato en la agricultura, principalmente en cultivos sin suelo y producción bajo invernadero. Se distingue por su baja densidad, elevada porosidad y excelente capacidad de aireación, cualidades que favorecen el desarrollo radicular y mejoran el drenaje del agua en el medio de cultivo. Además, al ser químicamente inerte con pH cercano a la neutralidad y sin aporte de nutrientes suele emplearse en combinación con otros materiales para optimizar las propiedades del sustrato. Gracias a estas características su uso contribuye a potenciar el crecimiento vegetal y facilita el manejo de riego y la fertilización en sistemas hortícolas (Barrett et al., 2016)

Arena: es un material mineral ampliamente utilizado en la agricultura como componente de sustratos, especialmente en sistemas de cultivo en contenedores y en modalidades sin suelo. Está formada principalmente por partículas silíceas de tamaño relativamente grande, lo que le otorga una elevada capacidad de drenaje y adecuada aireación en el medio de cultivo. Estas propiedades evitan la compactación y favorecen en desarrollo radicular, facilitando el intercambio gaseoso y el crecimiento de las raíces. No obstante, la arena presenta una baja capacidad de retención de agua y nutrientes, debido a su reducida superficie específica y escaso intercambio catiónico. Por ello, suele combinarse con otros materiales orgánicos o inorgánicos como la fibra de coco o la perlita, con el fin de mejorar las características físicas y

químicas del sustrato y lograra un equilibrio entre aireación, humedad y disponibilidad de nutrientes (Barrett et al., 2016).

## **2.7 Ventajas y desventajas de los sustratos**

Los sustratos constituyen medios de cultivo fundamentales para el crecimiento de las plantas, ya que permiten un control preciso de las condiciones del entorno, regulando la aireación de las raíces, la disponibilidad de agua y los nutrientes, lo que se traduce en un incremento del rendimiento y la calidad de los cultivos. Muchos de estos medios son estériles o tratados, lo que contribuye a reducir la incidencia de patógenos, malezas y plagas, proporcionando un ambiente más seguro para las plantas (Gruda, 2019).

Los sustratos orgánicos, como la fibra de coco o el compost, presentan la ventaja de ser renovables y sostenibles, favoreciendo prácticas agrícolas responsables y de bajo impacto ambiental. Por otro lado, los sustratos inorgánicos, como la perlita, vermiculita o la arena, aportan estabilidad física y un drenaje eficiente, lo que los hace adecuados para cultivos sin suelo. No obstante, estos materiales también presentan limitaciones como alto costo de algunos sustratos procesados o importados, la necesidad de mezclas y preparaciones previas para optimizar sus propiedades físicas y químicas, y la variabilidad en su disponibilidad y calidad según la región, el origen y el almacenamiento (Barrett et al., 2016).

## II. MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, en el Invernadero 1 del Departamento de Horticultura. Con las siguientes coordenadas geográficas 25°33'27' de latitud Norte y 103°22'30' de longitud Oeste.



**Figura 1.** Invernadero donde se realizó el experimento

### 3.2 Material vegetal y siembra

Se utilizaron semillas de la variedad 101 de la empresa FARMER HL-TECH SEEDS la cual presenta un crecimiento determinado.

La siembra se realizó el día 22 de enero del 2025, se utilizó una charola de polietileno la cual contenía 200 cavidades utilizando como sustrato peat-moss y perlita, colocando una semilla por cavidad. Las cuales fueron posteriormente trasladadas en bolsas de color negra y mantenidas bajo condiciones de invernadero hasta la germinación de las semillas.

### 3.3 Sistema de producción

Se utilizó un sistema de producción bajo invernadero para el cultivo de las plantas lo que permitió controlar de manera precisa las condiciones ambientales, tales como la

temperatura, humedad, ventilación, etc. Este control facilitó el manejo del crecimiento vegetal y redujo la incidencia de plagas y enfermedades. Además, se implementaron sistemas de riego y nutrición eficientes, optimizando la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas.

### **3.4 Sistema de riego**

Para el riego de las plantas se utilizó un sistema de riego por goteo, la cual es una técnica para suministrar agua, fertilizante y agroquímicos directamente a los cultivos. Este sistema permite aplicar el agua junto con distintos insumos en la zona radicular de las plantas, mediante aplicaciones pequeñas y constantes de riego. Los componentes principales que se utilizaron para el sistema de riego son: fuente de agua, cabezal de riego, la línea principal, las válvulas, las líneas secundarias, las emisoras o goteros.

### **3.5 Manejo del cultivo**

#### **3.5.1 Trasplante**

El trasplante se realizó a los 60 días posteriores a su siembra la cual ya presentaba buen vigor. Esta actividad se llevó a cabo el día 14 de marzo del 2025 en bolsas de plástico con una altura de 40 cm y 30 cm de ancho colocando una planta por bolsa. Teniendo una densidad total de población de 60 plantas, 15 plantas por cada tratamiento.

#### **3.5.2 Nutrición del cultivo**

La nutrición del cultivo se llevó a cabo mediante un sistema de riego por goteo, utilizando como fuente de suministro un tanque con capacidad de 450 L (Rotoplas). En dicho depósito se preparó y almaceno la solución nutritiva, la cual fue distribuida de manera controlada a cada planta. Se empleó la solución nutritiva Steiner en su formulación estándar la cual tiene una adecuada relación entre macro y micro nutrientes. Esta solución nos permitió los elementos esenciales requeridos para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

### 3.5.3 Tutoreo

El tutoreo se realizó a 20 días después del trasplante una vez que las plantas alcanzaron un desarrollo vegetativo adecuado para sostenerse. Para esto se utilizaron anillos de soporte y rafia los cuales permitieron brindar una mejor estabilidad a las plantas durante su crecimiento.

### 3.5.4 Desbrote

El desbrote consiste en la eliminación de chupones o brotes laterales que se desarrollan en las axilas de las hojas. Esta se realizó de manera manual y periódica, generalmente cada 7 a 14 días dependiendo del crecimiento de la planta

**Tabla 2.** Productos fitosanitarios aplicados para control de plagas y enfermedades

<b>Función</b>	<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Dosis</b>
Insecticida	Flupyradifurone	Sivanto	1 mL/L
Insecticida/acaricida	Abamectina	Abamectina Delta	2 mL/L

### 3.6 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron 4 tratamiento diferentes (Tabla 3), que consistieron en la mezcla de diferentes sustratos.

**Tabla 3.** Descripción de los tratamientos evaluados

<b>Tratamientos</b>	<b>Sustratos</b>	<b>Volumen</b>
T1	Arena + Perlita	50%:50%
T2	Fibra de coco	100%
T3	Fibra de coco + perlita	50%:50%
T4	Fibra de coco + perlita + Arena	33.3%:33.3%:33.3%

### **3.7 Variables agronómicas evaluadas**

Se evaluaron distintas variables agronómicas tanto en planta como en fruto. Así como calidad y cantidad del mismo, que a continuación se describen:

#### **3.7.1 Altura de planta**

Para determinar la altura de las plantas se utilizó un flexómetro, colocando el inicio de la medición al nivel del sustrato y extendiéndolo hasta la punta apical de la planta expresando el resultado en centímetros.

#### **3.7.2 Diámetro de tallo**

Esta variable se determinó utilizando un vernier digital, herramienta que permitió obtener registros con mayor precisión. La medición se realizó en la base del tallo expresando el resultado en milímetros.

#### **3.7.3 Cantidad de frutos**

La cantidad de frutos se determinó de forma manualmente, registrando el número de frutos por planta en cada repetición de los distintos tratamientos.

#### **3.7.4 Peso de fruto**

El peso individual de cada fruto fue determinado mediante un bascula con capacidad de 5 kg, asegurando mediciones exactas y confiables.

#### **3.7.5 Diámetro polar y ecuatorial**

Se utilizó un vernier digital para la evaluación de estas variables. El diámetro polar se midió a lo largo del eje longitudinal del fruto, desde la base hasta el ápice, mientras que el diámetro ecuatorial se obtuvo en dirección perpendicular a dicho eje. Ambas mediciones se expresaron en milímetros (mm).

### **3.7.6 Firmeza**

La firmeza de los frutos se evaluó mediante la recolección de aleatoria de 6 frutos por cada tratamiento, obteniendo un total de 24 muestras. La determinación se realizó utilizando un penetrómetro portátil, y los valores registrados se expresaron en kilogramos (kg).

### **3.7.7 Sólidos solubles totales (° Brix)**

La determinación de los sólidos solubles (° Brix) se realizó mediante un refractómetro digital. Para cada análisis se colocaron algunas gotas de la muestra sobre el sensor de equipo y, posteriormente este se enjuago con agua destilada antes de la siguiente medición, con el fin de recalibrarlo y asegurar la precisión de los datos obtenidos.

### **3.7.8 Diámetro de mesocarpio**

La medición del mesocarpio de los frutos se realizó mediante un vernier digital. Se corto el fruto de manera transversal y se colocó el vernier en la sección media del mesocarpio. Las muestras utilizadas fueron las mismas que en la evaluación de la firmeza, considerando 6 frutos de cada tratamiento, para un total de 24 muestras analizadas.

### **3.7.9 Peso fresco de la planta y raíz**

El peso fresco de la planta se determinó mediante la recolección de 5 muestras por cada tratamiento. Para ello cada planta fue cortada cuidadosamente en la base del tallo y colocadas en bolsas previamente identificadas. Posteriormente se utilizó una báscula para registrar el peso, expresado en gramos.

Para el peso fresco de la raíz, estas fueron cuidadosamente lavadas con agua para retirar cualquier resto de sustrato adherido, una vez limpias, se pesaron en la misma bascula y posteriormente se colocó dentro de una bolsa previamente identificada.

### **3.7.10 Peso seco de la planta y raíz**

Estas variables se obtuvieron mediante un proceso de deshidratación en estufa, con el objetivo de eliminar completamente la humedad presente en las muestras. Se colocaron las plantas y raíces recolectadas en la estufa durante un periodo de 48 horas. Transcurrido este tiempo, cada muestra fue pesada utilizando una báscula registrando los resultados en gramos.

### 3.7.11 Vitamina C

Se utilizó el método de Thielman, el cual se basa en una reacción química sencilla de oxidación-reducción. Se utilizaron reactivos y muestras en las mismas cantidades en cada muestra y se tomaron los datos obtenidos los cuales se utilizaron para determinar el dato final con la siguiente fórmula:

$$\text{Vitamina C (mg/100 g)} = \frac{(\text{ml gastados de reactivo de Thielman} \times 0.88 \times \text{VT} \times 100)}{\text{VA} \times \text{P}}$$

Donde:

- MI gastados de reactivo de Thielman= volumen de DCPIP consumido en la titulación de la muestra.
- 0.88= constante de conversión (mg de ácido ascórbico equivalente por cada ml de reactivo)
- VT= volumen total de la solución preparada de la muestra (mL).
- VA= volumen de alícuota tomada por la titulación (mL)
- P= peso de la muestra analizada (g)
- El resultado se expresa en mg de vitamina C por cada 100 g de muestra fresca.

### 2.10 Análisis estadístico

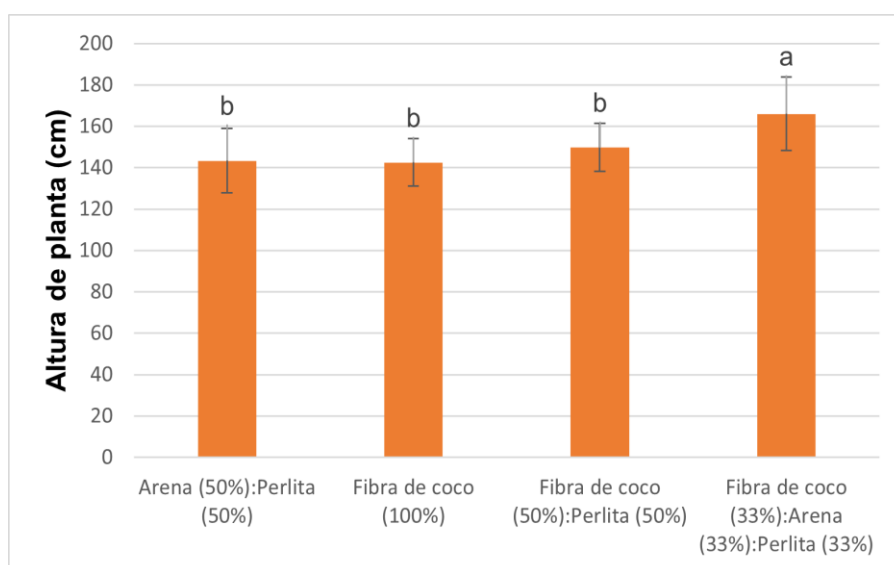
Se empleó un diseño experimental con bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANVA) fue SAS 9.1 y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Altura de la planta

De acuerdo al análisis de varianza el T4 favoreció en 15.38 % significativamente el crecimiento en altura de plantas, mientras que los T1, T2 y T3 tuvieron un comportamiento similar y menos desarrollo en comparación con T4. Estos datos sugieren que la combinación equilibrada de arena, perlita y fibra de coco utilizada en el T4 favoreció un mejor desarrollo de altura de planta posiblemente debido a una mejor relación entre retención de humedad, aireación y drenaje del sustrato.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Sandoval-Castro et al. (2021), quienes evaluaron diferentes sustratos y concentraciones nutritivas en dicho trabajo se observó que la mayor altura de planta se observó en el peat moss, esta diferencia depende del medio de cultivo donde los tratamientos con sustratos que presentaban mejores propiedades físicas, como adecuada retención de humedad y aireación favoreciendo un mayor crecimiento vegetal.



**Figura 2.** Altura de planta obtenido de la mezcla de diferentes sustratos utilizados en el cultivo de tomate.

Así mismo, estos resultados son similares a lo obtenido por Ávila-Peralta et al. (2018) quienes evaluaron diferentes sustratos orgánicos en el crecimiento del tomate, donde la altura de planta fue influenciada por el tipo de sustrato utilizado, observándose que los medios de cultivos con mejor propiedades físicas y disponibilidad de nutrientes

favorecieron un mayor crecimiento vegetativo de las plantas. De acuerdo a los autores sugieren que la combinación de diferentes materiales en el sustrato puede favorecer el crecimiento vegetativo, al proporcionar un equilibrio adecuado de aireación, retención de agua y drenaje en la zona radicular.

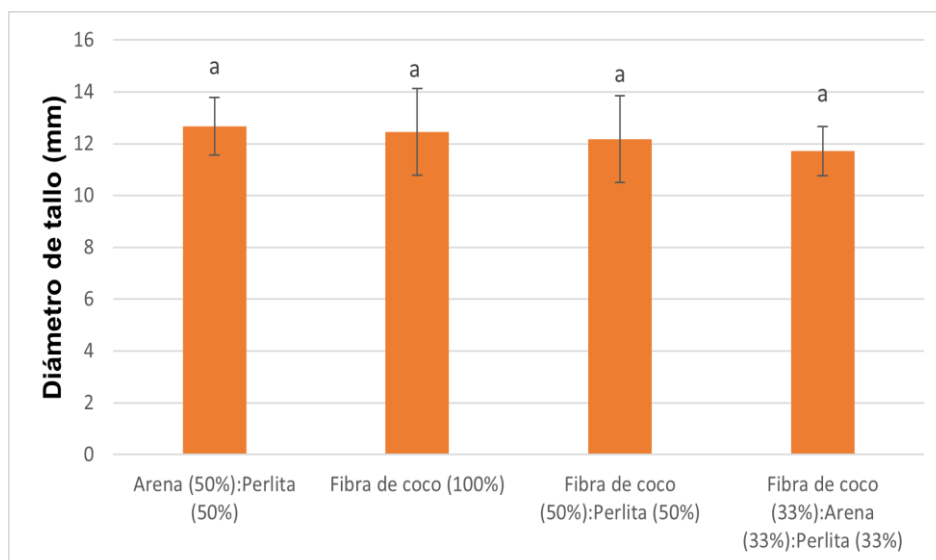
#### **4.2 Diámetro de tallo**

De acuerdo con los resultados del diámetro de tallo no presento diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados; esto indica que los distintos sustratos utilizados no influyeron de manera significativa en el grosor del tallo de las plantas. Sin embargo, de manera descriptiva se observa que el T1 favoreció con un 8.1 % a los demás tratamientos.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Castillo-Sanchez et al. (2020) quienes evaluaron diferentes sustratos en el crecimiento del tomate bajo condiciones de cultivos protegidos, el diámetro de tallo no presento diferencias estadísticas significativas entre algunos sustratos, lo que sugiere que varios tipos de sustratos pueden proporcionar condiciones similares para el desarrollo vegetativo.

Así mismo, estos resultados son similares a los obtenidos por Barret et al., (2016) donde sugiere que los sustratos utilizados en sistemas de producción hortícola deben ofrecer un equilibrio adecuado entre retención de agua, drenaje y aireación, ya que estas características permiten mantener un ambiente favorable para el crecimiento de las raíces y el desarrollo general de las plantas. Cuando estas condiciones se cumplen, es posible que algunas variables de crecimiento vegetativo como el diámetro de tallo, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos.

Los autores señalan que, aunque ciertos sustratos mostraron valores ligeramente superiores las diferencias no fueron suficientes para evidenciar efectos significativos sobre esta variable



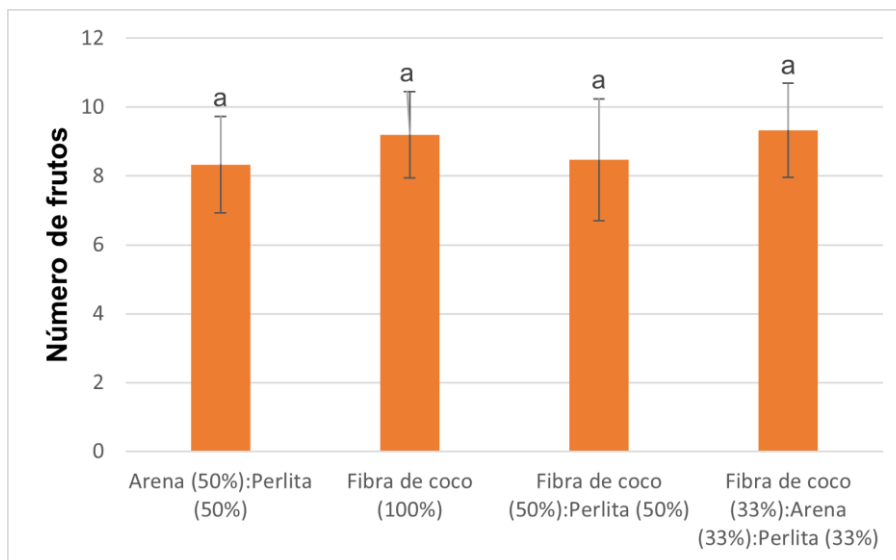
**Figura 3.** Diámetro de tallo obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.3 Número de frutos

De acuerdo a los resultados esta variable no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. Aunque de manera descriptiva el T4 registro el mayor promedio de frutos lo que presenta un incremento aproximado del 12 % en comparación con el T1.

De acuerdo con Ugarin-Montoya y Robles-Bermúdez (2012) reportaron que, en sistemas semi-hidroponicos de tomate, las diferencias en rendimientos entre mezclas de tezontle, arena y perlita no fueron estadísticamente significativas, aunque se observaron tendencias hacia mayor uniformidad en sustratos con fibra de coco. Esto coincide con los resultados, donde la fibra de coco mostro valores más altos, pero sin diferencias significativas.

Así mismo, estos resultados son similares a lo obtenido por Longoria (2018) quien evaluó distintos sustratos en la producción de tomate donde se observó que el número de frutos por planta no presento diferencias estadísticas significativas entre algunos tratamientos, aunque los sustratos que contenían fibra de coco mostraron una tendencia a registrar valores ligeramente mayores en comparación con otros materiales. Esto sugiere que, aunque varios sustratos pueden proporcionar condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo, algunos materiales pueden favorecer ligeramente a la producción.



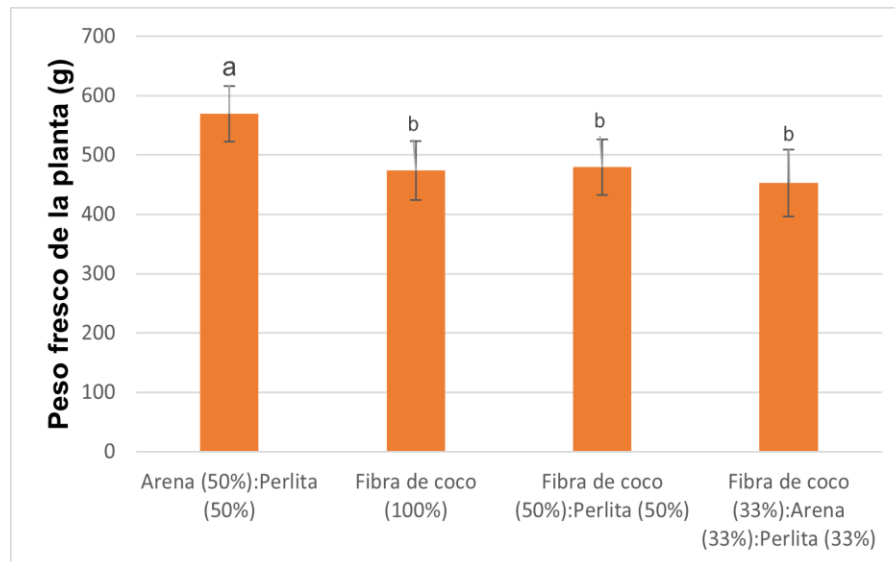
**Figura 4.** Número de frutos obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.4 Peso fresco de la planta

Los resultados muestran que el peso fresco de la planta presentó una diferencia significativa según el tipo de sustrato, siendo el T1 quien obtuvo mayor peso fresco con un valor aproximado de 5.7 % estadísticamente superior al resto de los tratamientos. Esto sugiere que esta combinación de sustratos favoreció en mayor medida el crecimiento y la acumulación de biomasa fresca en la planta. Por otro lado, los T2, T3 y T4 indican que no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí.

Estos resultados coinciden con el estudio de Lazcano-Bello et al. (2022) quien demostró que el peso fresco de las plántulas del tomate varió significativamente en el tipo de sustrato utilizado, observaron que las mezclas de perlita con vermiculita favorecieron en mayor desarrollo debido a que estos materiales proporcionan una adecuada aireación y retención de humedad y favorecen en la acumulación de biomasa en la planta.

Así mismo, estos resultados contradicen con López et al. (2023) reporta que, si hubo diferencia significativa en la variable de peso fresco de la planta. Sin embargo, observo que la fibra de coco fue el sustrato más eficiente para incrementar el peso fresco de la planta, esto gracias a su alta retención de retención hídrica, mientras que la arena sola produjo los valores más altos. La perlita mostró un valor intermedio, aportando aireación, pero menos retención de agua que la fibra de coco.



**Figura 5.** Peso fresco de la planta (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

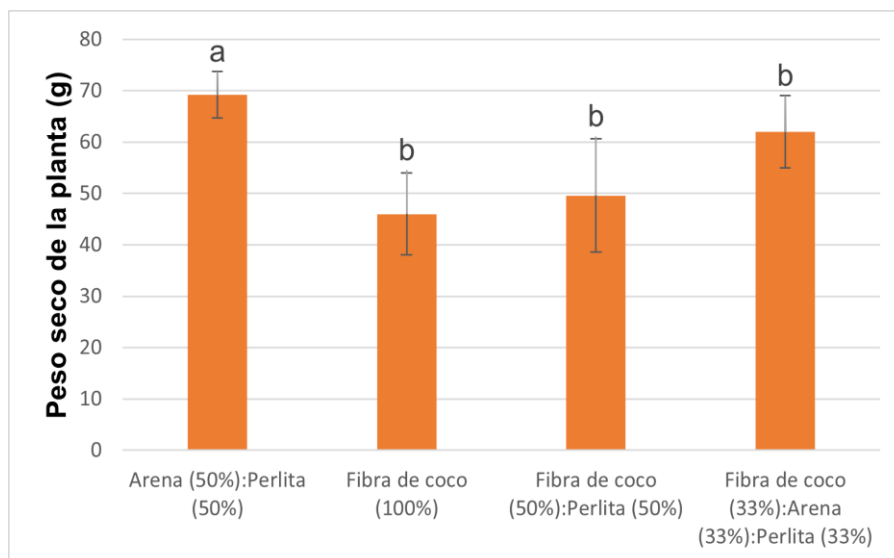
#### 4.5 Peso seco de la planta (g)

De acuerdo a los resultados obtenidos el T1 presentó el mayor peso seco favoreciendo con un 50.4 % con el T2 que fue el menor peso seco. Esto indica que este sustrato fue estadísticamente superior a los demás tratamientos evaluados lo que sugiere una mayor acumulación de materia seca (ms). Por lo que los T2, T3 y T4 presentaron valores menores de peso seco como indica en la (Fig. 6).

De acuerdo con el estudio de Somocurcio (2018) donde se evaluaron distintos sustratos como arena, turba, musgo y fibra de coco en la producción de tomate Cherry en condiciones semicontroladas se encontró que el peso seco de la planta varió según el tipo de sustrato. En dicho estudio se observó que los sustratos compuestos por mezclas minerales y combinación de materiales con buen drenaje favorecen el crecimiento de la planta y la acumulación de la planta.

Resultados similares fueron reportados por Gruda (2012) quien al analizar diferentes sustratos alternativos utilizados en cultivos hortícolas observó que aquellos medios de cultivos que incorporan materiales como perlita presentan mayor porosidad y mayor disponibilidad de oxígeno en la zona radicular. Estas características físicas favorecen al desarrollo del radical y contribuyen a un mayor crecimiento y acumulación de biomasa en las plantas.

De acuerdo a lo anterior la composición de los sustratos es un factor determinante en el crecimiento de la planta, ya que influye directamente en el desarrollo radicular y en la capacidad de la planta de acumular biomasa durante su crecimiento.



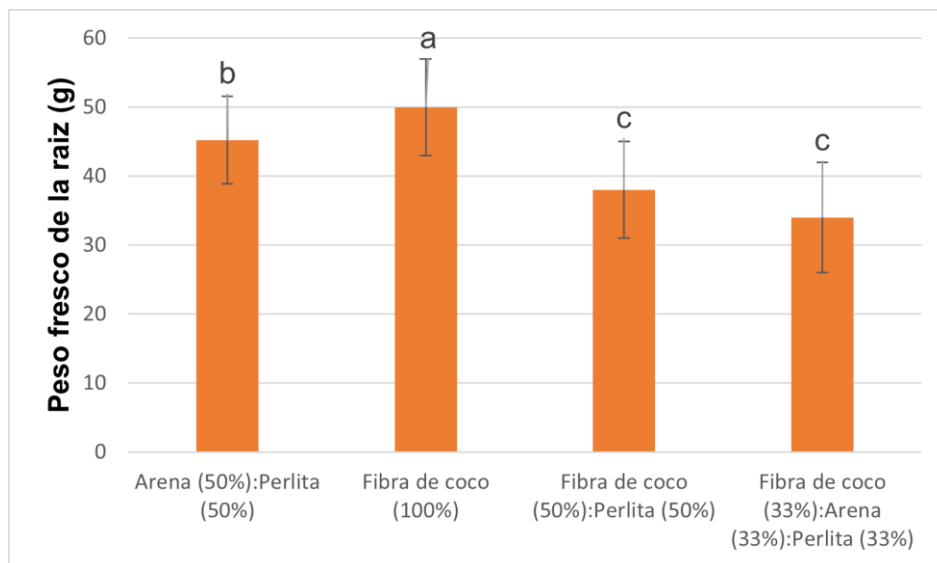
**Figura 6.** Peso seco de la planta (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.6 Peso fresco de la raíz

Los resultados muestran que el T2 presentó mayor peso fresco de la raíz con una diferencia del 7 %, lo que indica que fue estadísticamente superior a los demás tratamientos. Por otro lado, el T1 indica que fue significativamente menor y los T3 y T4 presentaron los valores más bajos. Estos resultados indican que el sustrato de fibra de coco favoreció el mayor desarrollo radical.

De manera similar, Adekiya et al. (2024) señalaron que los sustratos a base de fibra de coco favorecen al desarrollo del sistema radicular, ya que poseen la capacidad de mantener un adecuado equilibrio entre la retención de agua y la disponibilidad de aire en el medio de cultivo. Estas condiciones facilitan la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces, promoviendo así su crecimiento. Así mismo, estos resultados son similares a lo obtenido por Caballero-Salinas et al. (2020), quien evaluó sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cascara, en el que se observó que los sustratos orgánicos particularmente la fibra de coco y humus favorecieron el desarrollo radicular y mostraron mayores valores en peso fresco de la raíz en comparación con combinaciones minerales.

Este resultado es consistente a lo observado en el presente estudio, donde el tratamiento con fibra de coco registro el mayor peso fresco de la raíz. Esto se debe a que este sustrato es eficiente la estimular el crecimiento de raíces, gracias a su capacidad de retención de agua y retención.



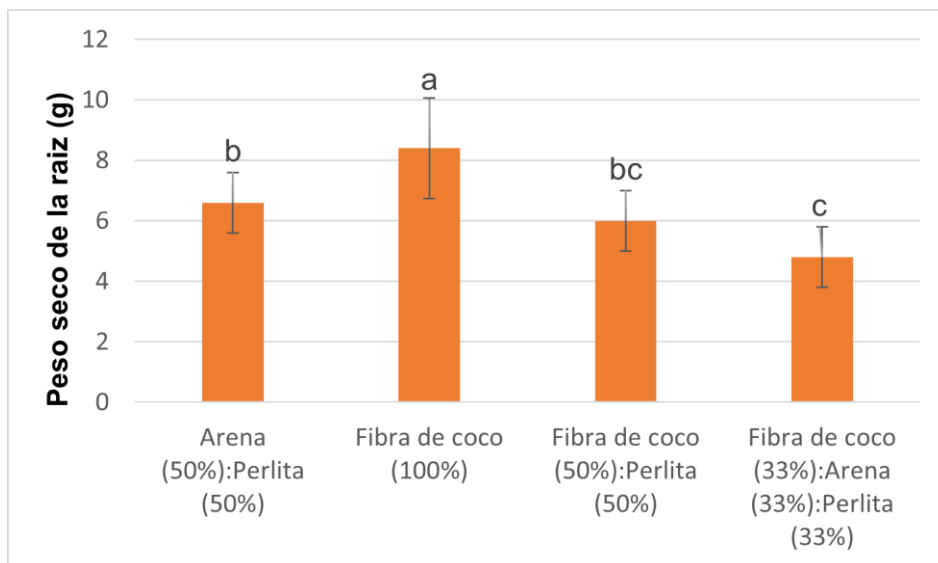
**Figura 7.** Peso fresco de la raíz (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.7 Peso seco de la raíz

De acuerdo al análisis de varianza y comparación de medias el T2 alcanzó el mayor valor en peso seco de la raíz con una diferencia significativa de 7.5 % a los demás tratamientos. Mientras que el T4 tuvo el menor peso seco, por lo que el uso de fibra de coco es el sustrato más eficiente para estimular el crecimiento radicular.

Estos resultados coinciden con Xiong et al. (2017), quienes, al evaluar diferentes sustratos en la producción de tomate bajo sistemas de cultivos sin suelo, observaron que las plantas establecidas en fibra de coco mostraron un mayor desarrollo del sistema radical y una mayor acumulación de biomasa seca en las raíces en comparación con aquellas cultivadas en otros sustratos como la turba o lana de roca. Así mismo, Belosi (2018), evaluó diferentes mezclas de sustratos en la producción de platines de tomate, se observó que el peso seco de la raíz varía dependiendo el tipo de sustrato, ya que las propiedades físicas del medio de crecimiento influyen en el desarrollo radicular. En su estudio los sustratos que contenían mezclas orgánicas combinadas con materiales que mejoran la aireación favoreciendo un mayor desarrollo radicular y una mayor acumulación de biomasa en las raíces.

Según los autores, estos resultados se relacionan con las propiedades físicas del sustrato, ya que este material permite mantener un equilibrio adecuado entre la retención de agua y la disponibilidad de oxígeno en la zona radicular.



**Figura 8.** Peso seco de la raíz (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

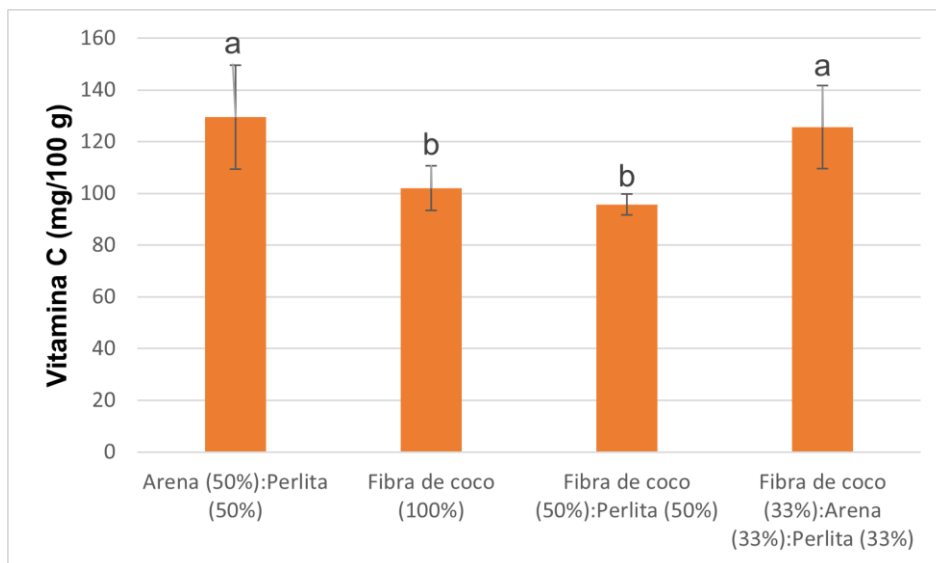
#### 4.8 Vitamina C

De acuerdo a los resultados obtenidos los T1 y T4 alcanzaron los valores más altos superando a los T2 y T3 con un 5.9 y 6.9 % respectivamente. Esto significa que los sustratos de dichos tratamientos favorecen significativamente la calidad nutricional del fruto incrementando el contenido de vitamina C respecto a los tratamientos basado en fibra de coco.

Resultados similares fueron descritos por Sánchez-Del Castillo et al. (2014) quienes evaluaron distintos sustratos en el cultivo de tomate en condiciones bajo invernadero y observaron que las mezclas que incluían materiales inertes como perlita y arena promovieron una mayor acumulación de ácido ascórbico (vitamina C) en los frutos, en comparación con sustratos orgánicos utilizados de forma individual. De acuerdo con los autores, este efecto podría explicarse por la mayor disponibilidad de oxígeno en la zona radicular y una mejor regulación de humedad de sustrato, factores que favorecen diversos procesos metabólicos involucrados en la síntesis de compuestos antioxidantes.

Así mismo esto contradice con el estudio de Gonzales et al. (2016), quienes evaluaron distintos sustratos orgánicos en la producción de tomate saladette bajo condiciones

de invernadero. En dicho trabajo se observó que la fibra de coco y la composta favorecieron a la acumulación de compuestos de antioxidantes, incluyendo la vitamina C; la diferencia puede explicarse por las condiciones de manejo, el tipo de fibra de coco utilizado o factores que influyen directamente en la síntesis de antioxidantes.



**Figura 9.** Vitamina C (mg/100g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

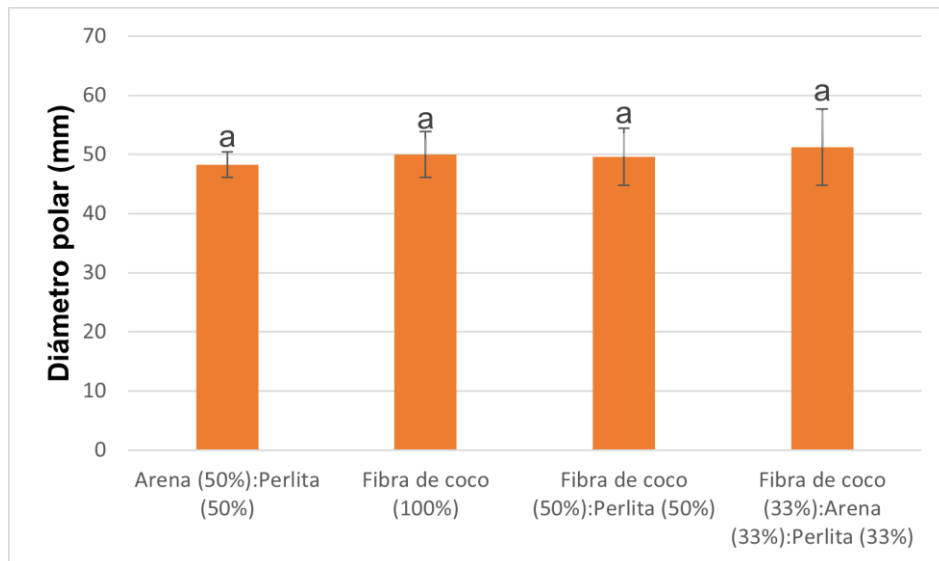
#### 4.9. Diámetro polar

De acuerdo al análisis de varianza y comparación de medias para el diámetro polar de plantas se observó que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Esto indica que los sustratos utilizados no influyeron significativamente en el tamaño polar, el T4 supero en un 6.1 % al T1 quien obtuvo el valor más bajo.

Este resultado es similar al resultado que obtuvo Escandón et al. (2016), donde se evaluaron distintos sustratos en la producción de tomate saladette en invernadero, en dicha investigación se determinó que el diámetro polar del fruto no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. En ese estudio el tratamiento compuesto por compost, arena y perlita mostraron valores más altos. El tipo de sustrato no modificó el diámetro polar, esto se puede deber a factores genéticos, manejo agronómico o condiciones climáticas.

Sin embargo, este resultado se contradice con lo obtenido por Sepúlveda-Gonzales (2011), quien evaluó diversas fórmulas de sustratos contenidos en sacos de cultivos

para la producción de tomate, observo que el diámetro polar del fruto si hubo diferencias significativas según el tipo de sustrato, siendo el más alto en aquellos tratamientos con mayor proporción de fibra de coco y mezclas con perlita, mientras que los sustratos con biofertilizantes presentaron valores menores.



**Figura 10.** Diámetro polar (mm) del fruto obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.10 Diámetro ecuatorial

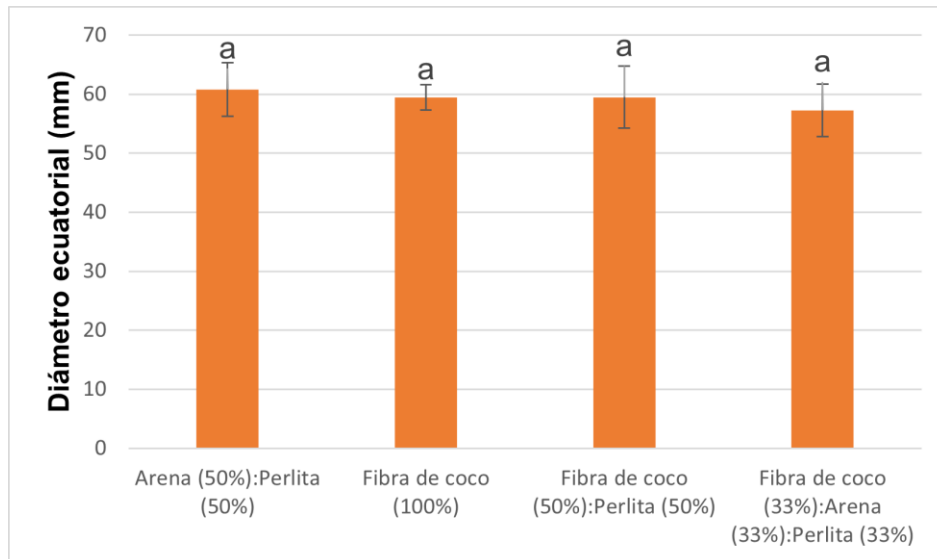
De acuerdo al análisis de varianza y a los resultados obtenidos se observan que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. Esto indica que los diferentes sustratos utilizados no influyeron significativamente en el tamaño del fruto en el eje ecuatorial. En términos numéricos, el T1 presentó el mayor valor promedio y superó en 6.1 % al T4 la cual mostró el valor promedio más bajo.

Estos resultados coinciden con Hernández Aguilar (2016), donde evaluó variables de calidad de fruto de tomate bajo diferentes condiciones de manejo y el efecto de diferentes mezclas de sustratos compuestas por vermicompost, arena y perlita. En dicha investigación se evaluaron variables como diámetro ecuatorial, encontrándose que los valores obtenidos entre los distintos tratamientos fueron similares y sin diferencias estadísticas significativas a pesar de utilizar distintos materiales como medio de cultivo.

Así mismo, estos resultados son similares a lo obtenido por Valenzuela-Lopez (2014) quienes evaluaron diferentes mezclas de sustratos compuestos por fibra de coco y humus de lombriz en el cultivo de tomate bajo condiciones hidropónicas y observaron

que no se observaron diferencias estadísticas significativas en los sustratos evaluados, aunque algunos tratamientos mostraron valores ligeramente mayores en términos numéricos.

De acuerdo con los autores, esto sugiere que el tamaño de los frutos puede mantenerse estable entre distintos medios de crecimiento, ya que estas características dependen en gran medida del potencial genético del cultivo y de las condiciones de manejo de cultivo.



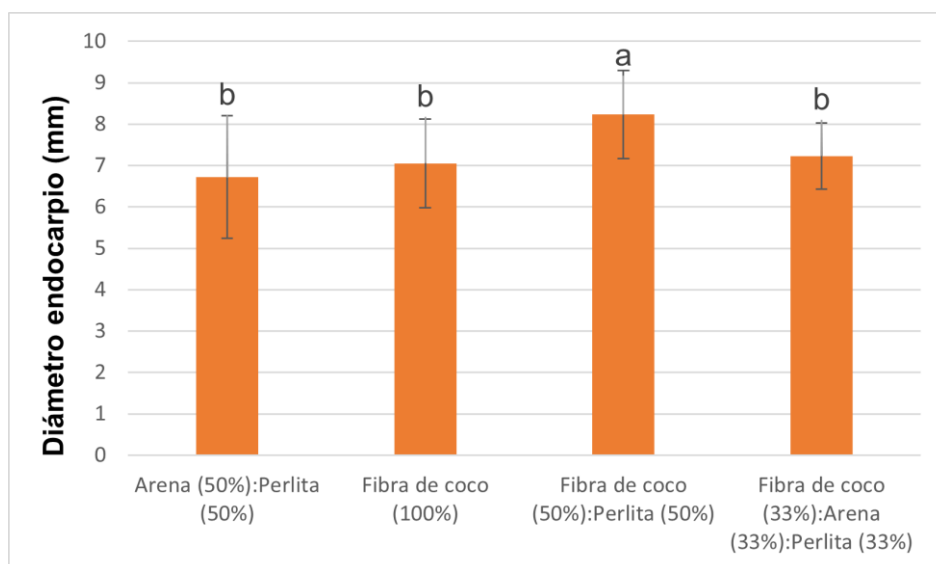
**Figura 11.** Diámetro ecuatorial (mm) del fruto obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.11 Diámetro de endocarpio

De acuerdo al análisis de varianza y los resultados obtenidos muestran que el diámetro endocarpio del fruto sí presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Donde el T3 fue el de mayor valor promedio superando con un 2.4 % al T1 quien obtuvo el menor promedio estadísticos. No obstante, el T1, T2 y T4 no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Este resultado sugiere que la mezcla de fibra de coco con perlita favoreció a esta variable, debido a que esta combinación puede proporcionar mejor balance en la retención de agua, aireación y disponibilidad de nutrientes en la zona radicular, lo que favorece el desarrollo de fruto. Estos resultados coinciden con Carranza Torres (2021), quien evaluó una variedad de tomate para calidad y rendimientos de frutos en diferentes mezclas de sustratos (arena sola, compost y perlita). En el que observo que la arena, compost y perlita mejoraron significativamente el grosor y la firmeza del endocarpio, gracias al aporte de nutrientes del compost y la aireación de la perlita. En el que concluye de la arena

por si sola limita la calidad interna mientras que la mezcla de materiales orgánicos y perlita favorecen un mayor diámetro de endocarpio.

Así mismo, estos resultados son similares a los obtenidos por Trejo Rangel (2014), sobre la evaluación de sustratos y enarenados en la producción de tomate bola bajo invernadero, donde la variable del diámetro de endocarpio también mostró diferencias dependiendo del sustrato. Donde el sustrato que permitió un mayor diámetro de endocarpio fue la mezcla con perlita, confirmando que la arena sola no es suficiente para optimizar la calidad interna del fruto.



**Figura 12.** Diámetro endocarpio del fruto obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.12 Peso promedio del fruto

Los resultados indican que en el peso promedio del fruto sí se presentó diferencia estadística significativa en los tratamientos evaluados. El T4 fue el de mayor peso promedio del fruto lo que indica que fue sumamente superior con un 4.7 % al T1 quien fue el de menor peso promedio. Los T2, T3 mostraron valores intermedios, pero sin diferencias significativas entre sí. De acuerdo a los resultados las mezclas de sustratos que incluyen fibra de coco favorecieron un mayor peso promedio de fruto esto debido a que tiene una alta capacidad de retención de agua y buena aireación lo que favorece a la absorción de nutrientes, contribuyendo así a una mayor acumulación de biomasa en los frutos.

Estos resultados coinciden con Ortega-Martínez et al. (2021) en el que se observa la influencia del sustrato sobre el peso promedio del fruto. Su estudio encontró que el

tezontle fue el sustrato más eficiente esto se debe a su estructura porosa, ofrece una excelente aireación y retención de humedad. Al igual que la combinación de la fibra de coco, con arena y perlita logra un efecto similar al equilibrar la disponibilidad de agua y nutrientes con una adecuada oxigenación de las raíces.

Así mismo, estos resultados son similares con lo reportado por Guzmán Díaz (2017) en el que evaluó sustratos en el comportamiento agronómico y rendimiento de tomate y se observa una coincidencia clara donde los sustratos que incluyen fibra de coco con perlita generan frutos más pesados.

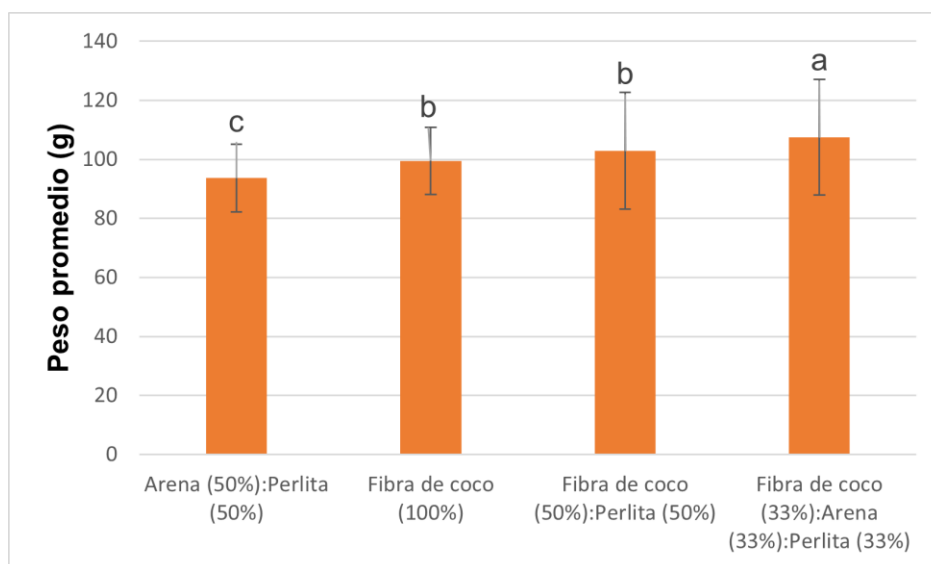


Figura 13. Peso promedio del fruto (g) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### 4.13 Sólidos solubles (° Brix)

Los resultados muestran que el contenido de sólidos solubles no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. Esto indica que las diferentes mezclas de sustratos no influyeron significativamente en esta variable. Sin embargo, de manera numérica se puede observar ligeras variaciones entre tratamientos en el que el T1 presentó el mayor valor promedio de sólidos solubles superando con un 5.3 % al T3 quien mostro el valor promedio más bajo, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Estos resultados se contradicen con lo obtenido por Contreras Reza (2025) quien reporto que los sustratos si generan diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles. En este estudio se observó que las mezclas de con compostas

orgánicas y materiales minerales (arena, perlita y fibra de coco) favorecieron una mayor concentración de °Brix, mientras que la arena sola fue el sustrato menos eficiente. Los resultados son parcialmente similares, pero difieren en la magnitud del efecto.

Así mismo, estos resultados contradicen a Méndez et al. (2023) quien también reporta que los sustratos si generan diferencias significativas en el contenido de solidos solubles. Destacando que las mezclas con arena, perlita y materiales orgánicos fueron los que mayor favorecieron a esta variable.

Esto puede deberse a que esta variable esta más relacionado con factores fisiológicos y genéticos del cultivo, así como con las condiciones de manejo, nutrición y maduración del fruto, más que con el tipo de sustrato empleado.

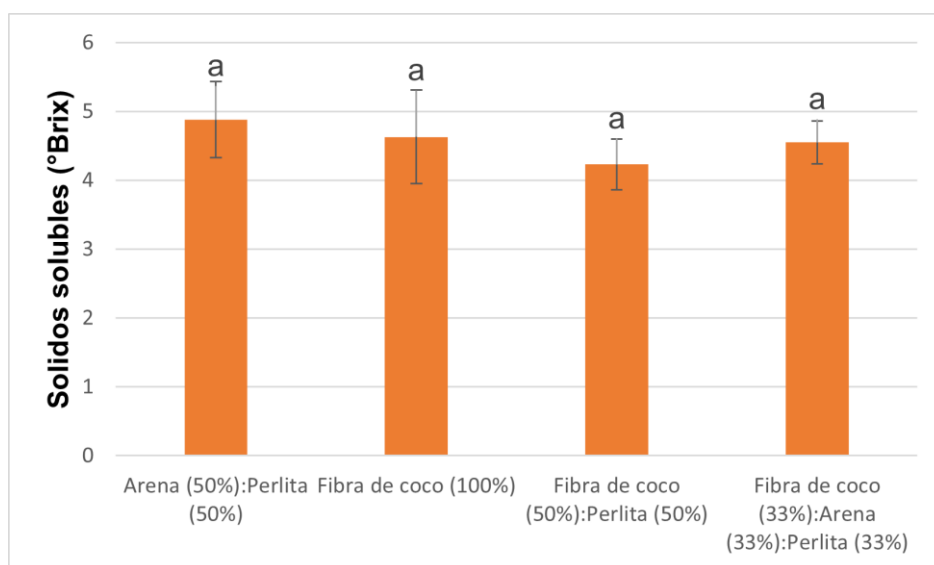


Figura 14. Solidos solubles del fruto (°Brix) obtenido de las diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate.

#### **IV. CONCLUSIONES**

En este trabajo fue posible evaluar diferentes mezclas de sustratos en el cultivo de tomate bajo invernadero. De acuerdo a lo obtenido en el experimento podemos concluir que el T4 en proporción igualitaria para los sustratos (Fibra de coco, arena y perlita) puede considerarse uno de los tratamientos más sobresalientes, ya que mostro mayor altura de planta, mayor peso promedio del fruto, además de presentar valores altos en vitamina C.

No obstante, otros tratamientos también destacaron en variables específicas, lo que indica que la respuesta del cultivo depende de la característica agronómica o de la variable evaluada. Por lo tanto, la selección del sustrato más adecuado puede depender del objetivo de producción, ya sea sobre la calidad del fruto, maximizar el crecimiento vegetativo o el desarrollo radicular.

## V. REVISION BIBLIOGRAFICA

- Abad Berjón, M., Noguera-Murray, P., & Carrión-Benedito, C. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En M. Urrestarazu-Gavilán (Ed.), *Cultivo sin suelo* (pp. 113–158). Mundi-Prensa.  
<https://dialnet.unirioja.es/metricas/documentos/ARTLIB/860892>
- Adekiya, A. O., et al. (2024). *Effect of coconut coir substrate on physiological performance and yield of tomato grown under greenhouse conditions. Discover Sustainability.*
- Ávila Peralta, O., Mendoza-Villarreal, R., Valdez-Aguilar, L. A., Rodríguez-Campos, E. M., Hernández-Pérez, A., & Cárdenas-Flores, A. (2018). Crecimiento y estado nutricional de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.*
- Barbaro, L. A., Ila-Healy, V., Karlanián, M. A., & Mazzoni, A. (2015). Ceniza volcánica como alternativa a la perlita en la formulación de sustratos para plantines florales. *Ciencia del suelo*, 33(2), 0-0.
- Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S., & Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems. *Scientia Horticulturae*, 212, 220–234.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>
- Belosi, H. M. (2018). Evaluación del uso de distintas mezclas de sustratos y un promotor de crecimiento sobre plantines de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) producidos en bandejas de germinación. Universidad Nacional de Luján.  
<http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/541>
- Blanca, J. (2015). Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, 16, 257. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1>
- Burgueño Ávila, H. A. (2007). La importancia del cultivo de tomate en el estado de Sinaloa (1997–2002). Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: Repositorio TESIUNAM
- Caballero-Salinas, J. C., Ovando-Salinas, S. G., Núñez-Ramos, E., & Aguilar-Cruz, F. (2020). Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*) en Chiapas. *Siembra*, 7(2), 14-21.

- Carranza Torres, J. (2021). Evaluación de una variedad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para la calidad y rendimiento del fruto inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/48099>
- Castillo-Sánchez, J., et al. (2020). Evaluación de sustratos en el crecimiento y rendimiento del tomate bajo condiciones de invernadero. *Siembra*, 7(1), 14–24. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S247788502020000100014&script=sci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S247788502020000100014&script=sci_arttext)
- Contreras Reza, J. B. (2025). Evaluación de sustratos en el rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Repositorio Institucional UAAAN. <http://repositorio.uaaan.edu.mx/handle/123456789/50804>
- Donoso, A., Martínez, J. P., & Salazar, E. (2022). Historia del cultivo del tomate en Chile: el caso del tomate Limachino. *RIVAR (Santiago)*, 9(27), 204-220.
- Dorais, M., Ehret, D. L., & Papadopoulos, A. P. (2017). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: From the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 231–250
- Escandón Hernández, I., & Moreno Reséndez, A. (2016). Impacto de diferentes sustratos orgánicos sobre el contenido de licopeno del tomate bajo condiciones de invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-uaaan-mx-123456789-7837/Description>
- González, B. M. L., Fortis, H. M., Preciado, R. P., Segura, M. A. C., Salazar Sosa, E., García, J. L., & Esparza, J. R. (2016). Calidad fitoquímica de tomate Saladette producido con sustratos orgánicos bajo condiciones de invernadero. *Phyton (Buenos Aires)*, 85(1), 1–10. <https://doi.org/10.32604/phyton.2016.08501>
- Gruda, N. (2012). *Sustainable peat alternative growing media*. *Acta Horticulturae*, 927, 973–979. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.120>
- Gruda, N. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060298>

- Guzmán Díaz, J. L. (2017). Evaluación de sustratos en el comportamiento agronómico y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Repositorio Institucional UAAAN. <http://repositorio.uaaan.edu.mx/handle/123456789/4447>
- Helgi Library. (2026). *Tomato production in Mexico* [Datos de producción]. <https://www.helgilibrary.com/indicators/tomato-production/mexico/>
- Hernández Aguilar, J. L. (2016). *Evaluación de la producción y calidad de tomate tipo saladette (Solanum lycopersicum L.) con porcentajes de vermicompost en el sustrato*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Repositorio UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/8340>
- Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 61–76. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2450>
- Longoria Saldaña, A. P. (2017). Evaluación de sustratos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Disponible en: Repositorio UANL.
- López, J., Partida Ruvalcaba, L., & Marínova, A. (2023). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz–fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(3), 567–580. <https://revistascolpos.mx/index.php/revistas/article/view/1234>
- Martínez Rocha, J. R. (2006). *La importancia del cultivo del tomate*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en: Repositorio UAAAN
- Martínez, J. R., & Rodríguez, F. (2018). Producción de tomate en sistemas protegidos con diferentes sustratos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 789-802. Disponible en: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Méndez Tomalá, H. A., Pertierra Lazo, R. E., & Balmaseda Espinosa, C. (2023). Eficiencia del agua en tomate cultivado en sustrato inerte. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 10(2), 23–34. <https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.753>

- Nava Villa, J. (2014). Evaluación de sustratos hidropónicos en tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) bajo invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en: Repositorio UAAAN.
- OECD/FAO. (2022). Organisation for Economic Co-operation and Development, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. *agricultural outlook 2022–2031*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>
- Ortega-Martínez, L. D., Martínez-Valenzuela, C., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., & Pérez-Armendáriz, B. (2016). Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 643–653. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.444>
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., & Manzo-Ramos, F. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*, 6(3), 339-346.
- Raviv, M., & Lieth, J. H. (Eds.). (2011). *Soilless culture: Theory and practice*. Elsevier. <https://shop.elsevier.com/books/soilless-culture-theory-and-practice/raviv/9780444529756>
- Redagícola. (2025). *Producción global de tomate para 2025 sería 11% menor*. World Processing Tomato Council. Recuperado de <https://www.redagricola.com>
- SADER, (2022), El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es>.
- Salas-Pérez, L., González-Fuentes, J. A., García-Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. (2016). *Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos*. **Nova Scientia**, 8(17), 310–325. <https://doi.org/10.21640/ns.v8i17.677>
- Sandoval-Castro, E., Lazcano-Bello, M. I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 77–88. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342021000100061&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342021000100061&script=sci_arttext)

- Schwarz, D., Thompson, A. J., & Kläring, H. P. (2013). Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, 4, 625.
- Sepúlveda González, C. D. (2011). Evaluación de diversas fórmulas de sustratos contenidos en sacos de cultivo para la producción de tomate. Tesis de pregrado, Universidad de Chile. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112328>
- SIAP. (2024). *Anuario estadístico de producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap>
- Somocurcio Mesa, D. (2018). Efecto de 7 diferentes sustratos en la producción de tomate cherry var. 6122 (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) bajo condiciones semicontroladas en la zona de Villa El Salvador (Tesis de licenciatura). Universidad Científica del Sur. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/532>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Trejo Rangel, R. (2014). *Evaluación de sustratos y enarenados en producción de tomate bola (Solanum lycopersicum L.) en invernadero*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. Repositorio Institucional UANL. <http://eprints.uanl.mx/4447/>
- Ugarín-Montoya, R., & Robles-Bermúdez, A. (2012). Sustratos en la horticultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(3), 245–256. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.07.011>
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual de cultivo en sustratos e hidroponía*. Universidad de Almería. Disponible en: Universidad de Almería.
- Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz-Valdés, T., Velázquez-Alcaraz, T. J., Bojórquez-Bojórquez, G., & Enciso-Osuna, T. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 807–818. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i5.903>
- Xiong, J., Tian, Y., Wang, J., Liu, W., & Chen, Q. (2017). Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient balance, plant

growth and fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1327.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01327>