

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



**Evaluación del efecto de tres dosis de fertilizante foliar calcio-boro en la producción de semilla artesanal de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Sébaco en hidroponía bajo condiciones de invernadero.**

**POR:  
BR. MÓNICA ISABEL RIVAS URÍAS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2025**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**Evaluación del efecto de tres dosis de fertilizante foliar calcio-boro en la producción de semilla artesanal de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Sébaco en hidroponía bajo condiciones de invernadero.**

**POR:**

**BR. MÓNICA ISABEL RIVAS URÍAS**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERA AGRÓNOMO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2025**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MSc. Juan Rosa Quintanilla

**SECRETARIO GENERAL**

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO**

MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

**SECRETARIO**

MSc. Edgar Geovany Reyes Melara

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

---

ING. AGR. M.Sc. OSCAR ALONSO RODRÍGUEZ GRACIAS

**DOCENTES DIRECTORES**

---

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

---

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION**

---

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

## Resumen

La producción de semilla artesanal de tomate constituye un componente importante en la cadena productiva, al garantizar la disponibilidad de material genético de calidad para nuevos ciclos de siembra. Su eficiencia depende de varios factores, entre ellos el manejo nutricional, siendo el calcio y el boro elementos clave en procesos fisiológicos como la formación de estructuras florales, desarrollo de frutos y calidad de semillas. La variedad Sébaco, por su adaptabilidad a las condiciones de nuestro país, representa una alternativa viable para la producción artesanal de semilla.

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de tres dosis de fertilizante foliar calcio-boro sobre la producción de semilla artesanal de tomate variedad Sébaco en hidroponía bajo condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos (0, 5, 7.5 y 10 ml.L<sup>-1</sup>) y cinco repeticiones. Se evaluaron variables de crecimiento, rendimiento y características organolépticas. Se aplicó un análisis de varianza (ANVA), seguido de la prueba de Tukey al 5% de significancia. Asimismo, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre variables.

Los resultados mostraron un 94% de germinación en la semilla obtenida bajo condiciones ambientales. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), por lo que se deja a criterio del productor o investigador el uso del fertilizante foliar calcio-boro para la producción de semilla artesanal de tomate. No obstante, la dosis de 7.5 ml·L<sup>-1</sup> evidenció una tendencia positiva en el número de semillas por gramo y en el rendimiento total de semillas.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., artesanal, fertilizante foliar, hidroponía, producción de semilla, invernadero.

## **Agradecimientos**

A lo largo de este camino, lleno de aprendizajes y desafíos, he tenido la fortuna de contar con el apoyo incondicional de personas maravillosas.

A mis papás, por ser un pilar fundamental no solo durante el desarrollo de este proyecto, sino a lo largo de toda mi vida. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia me ha motivado a superar cada obstáculo. A mi hermana, por ser mi apoyo incondicional a lo largo de los años y estar siempre a mi lado cuando más la he necesitado. A mis seres queridos y amigos, quienes con sus palabras de apoyo y su compañía, me motivaron y fortalecieron mi confianza.

A mis asesores de tesis, por su conocimiento y paciencia, que guiaron cada etapa de este trabajo. Sus aportes no solo mejoraron este proyecto, sino que también contribuyeron a mi desarrollo profesional. A los Ingenieros encargados del vivero, quienes también compartieron su experiencia conmigo y me brindaron su apoyo cuando surgieron dudas, les agradezco profundamente. Su orientación me ayudó a alcanzar este logro.

Este trabajo es, también, un reconocimiento a la importancia de técnicas como la hidroponía en la agricultura sostenible. El cuidado de los recursos naturales nos recuerda nuestra conexión con la tierra, como dijo el jefe Seattle: "Todo lo que le ocurra a la tierra, le ocurrirá a los hijos de la tierra". Con esto, invito a reflexionar sobre nuestra responsabilidad de proteger y valorar la tierra que nos sustenta.

A todos los que estuvieron conmigo en este proceso, mi más sincero agradecimiento.

## Índice general

1. Introducción .....	ii
2. Revisión bibliográfica .....	2
2.1. Importancia del tomate .....	2
2.2. Generalidades del cultivo.....	2
2.2.1. Origen y distribución .....	2
2.3. Características morfológicas.....	3
2.3.1. Raíz.....	3
2.3.2. Tallo .....	3
2.3.3. Hoja.....	3
2.3.4. Flor .....	4
2.3.5. Fruto.....	4
2.3.6. Semilla.....	4
2.4. Producción de semilla de tomate .....	4
2.4.1. Época y lugar de producción .....	4
2.4.2. Aislamiento.....	5
2.4.3. Inspección .....	5
2.4.4. Cosecha .....	5
2.4.5. Extracción de semilla.....	5
2.4.6. Rendimiento de semilla .....	6
2.5. Hábito de crecimiento .....	6
2.5.1. Crecimiento determinado.....	6
2.5.2. Crecimiento indeterminado .....	7
2.5.3. Crecimiento semideterminado .....	7
2.6. Etapas fenológicas .....	7
2.6.1. Inicial .....	7
2.6.2. Vegetativa .....	8
2.6.3. Floración.....	8
2.6.4. Fructificación .....	8
2.7. Requerimientos climáticos .....	8
2.7.1. Temperatura.....	8
2.7.2. Humedad relativa .....	9
2.7.3. Luminosidad .....	9
2.7.4. Altitud .....	9
2.8. Requerimientos hídricos .....	9

2.8.1.	El agua en la planta .....	10
2.8.2.	Funciones del agua .....	10
2.9.	Nutrición mineral.....	11
2.9.1.	Nutrientes esenciales .....	11
2.9.3.	Relación calcio-boro .....	12
2.10.	Desórdenes fisiológicos .....	13
2.11.	Plagas y enfermedades.....	13
2.12.	Cultivares .....	13
2.13.	Hidroponía .....	13
2.14.	Sistema hidropónico en sustrato .....	14
2.14.1.	Sustrato inorgánico .....	15
2.14.2.	Sustrato orgánico .....	15
2.14.3.	Sustrato sintético.....	15
2.15.	Solución stock.....	15
2.15.1.	Compatibilidad de fertilizantes.....	16
2.16.	Solución nutritiva.....	17
2.16.1.	Relación entre iones nitrato-amonio.....	17
2.16.2.	Temperatura y el oxígeno disuelto .....	18
2.16.3.	pH de la solución nutritiva .....	18
2.16.4.	Conductividad eléctrica .....	18
2.17.	Sistema de riego .....	19
2.17.1.	Riego por goteo .....	19
3.	Materiales y Métodos.....	20
3.1.	Descripción del estudio.....	20
3.1.1.	Localización.....	20
3.2.	Metodología de campo .....	20
3.2.1.	Descripción del invernadero .....	20
3.2.2.	Limpieza y desinfección del invernadero .....	20
3.2.3.	Preparación de sustrato y llenado de macetas .....	21
3.2.4.	Producción de plantines .....	21
3.2.5.	Trasplante de plántulas .....	22
3.2.6.	Riego.....	22
3.2.7.	Nutrición .....	23
3.2.8.	Tutoreo.....	24
3.2.9.	Control de plagas y enfermedades .....	24
3.2.10.	Inspección.....	24

3.2.11.	Podas.....	25
3.2.12.	Monitoreo del microclima .....	25
3.2.13.	Cosecha.....	25
3.3.	Metodología estadística.....	25
3.3.1.	Diseño experimental.....	25
3.3.2.	Variables .....	26
4.	Resultados y Discusión.....	28
4.1.	Variables de crecimiento.....	29
4.1.1.	Altura de la planta de tomate .....	29
4.1.2.	Diámetro del tallo.....	31
4.2.	Variables de rendimiento .....	32
4.2.1.	Número de frutos por planta .....	32
4.2.2.	Peso del fruto .....	33
4.2.3.	Diámetro del fruto .....	34
4.2.4.	Espesor de la pulpa.....	35
4.2.5.	Número de lóculos por fruto.....	36
4.2.6.	Número de semillas por lóculo.....	37
4.2.7.	Total de semillas por fruto.....	38
4.2.8.	Número de semillas por gramo.....	39
4.2.9.	Rendimiento de semillas.....	39
4.2.10.	Porcentaje de germinación.....	40
4.3.	Características organolépticas.....	41
4.3.1.	Sólidos solubles en fruto maduro.....	41
4.3.2.	Firmeza .....	42
5.	Conclusiones .....	44
6.	Recomendaciones .....	45
7.	Bibliografía.....	46
8.	Anexos .....	55

### **Índice de cuadros**

Cuadro 1.	Frecuencia y duración del riego.....	22
Cuadro 2.	Requerimiento de macronutrientes.....	23
Cuadro 3.	Requerimiento de micronutrientes.....	23
Cuadro 4.	Plano de arreglo espacial.....	26
Cuadro 5.	Distribución de tratamientos.....	26

Cuadro 6. Procedimiento para la toma de variables.....	27
Cuadro 7. Tasa de crecimiento del cultivo de tomate.....	31
Cuadro 8. Rendimiento de semillas. ....	40
Cuadro 9. Clasificación de la firmeza del fruto según tratamiento. ....	42

### Índice de figuras

Figura 1. Temperatura durante el ciclo del cultivo.....	28
Figura 2. Humedad relativa durante el ciclo del cultivo .....	29
Figura 3. Tasa de crecimiento en $\text{cm.día}^{-1}$ .....	30
Figura 4. Efecto de las dosis en el diámetro del tallo de cosecha .....	32
Figura 5. Efecto de las dosis en el número de frutos por planta.....	33
Figura 6. Efecto de las dosis en el peso del fruto.....	34
Figura 7. Efecto de las dosis en el diámetro del fruto.....	35
Figura 8. Efecto de las dosis en el espesor de la pulpa .....	36
Figura 9. Efecto de las dosis en el número de semillas por lóculo .....	37
Figura 10. Efecto de las dosis en el total de semillas por fruto.....	38
Figura 11. Efecto de las dosis en el número de semillas por gramo.....	39
Figura 12. Efecto de las dosis en los sólidos solubles.....	41
Figura 13. Efecto de las dosis en la firmeza.....	42

### Índice de anexos

Cuadro A-1. Composición nutricional del tomate por 100 gramos de porción. ....	55
Cuadro A-2. Clasificación del fruto del tomate con base en el color.....	55
Cuadro A-3. Guía para valoración de resultados de la prueba de germinación.....	55
Cuadro A-4. Principales funciones de los nutrientes esenciales. ....	56
Cuadro A-5. Características agronómicas de la variedad Sébaco.....	57
Cuadro A-6. Caracterización de la escoria volcánica. ....	57
Cuadro A-7. Propiedades de la fibra de coco.....	58
Cuadro A-8. Fertilizantes utilizados para elaborar soluciones nutritivas. ....	58
Cuadro A-9. Compatibilidad de los fertilizantes solubles. ....	59
Cuadro A-10. Fertilizantes utilizados para la solución molar 200 veces concentrada.....	59
Cuadro A-11. Fertilizantes utilizados para la solución nutritiva.....	59
Cuadro A-12. Productos utilizados para control de plagas y enfermedades.....	60
Cuadro A-13. Registro de variables climáticas.....	60
Cuadro A-14. Correlación de Pearson. ....	61

Cuadro A-15. Efecto de las dosis en el diámetro del tallo en fase vegetativa.....	61
Cuadro A-16. Análisis de varianza del diámetro del tallo en fase vegetativa.....	62
Cuadro A-17. Análisis de varianza del diámetro del tallo en cosecha. ....	62
Cuadro A-18. Prueba de Tukey para el diámetro del tallo en cosecha.....	62
Cuadro A-19. Efecto de las dosis en el número de frutos por planta.....	62
Cuadro A-20. Análisis de varianza del número de frutos por planta.....	63
Cuadro A-21. Efecto de las dosis en el peso del fruto.....	63
Cuadro A-22. Análisis de varianza del peso del fruto.....	63
Cuadro A-23. Efecto de las dosis en el número de semillas por lóculo. ....	63
Cuadro A-24. Análisis de varianza del número de semillas por lóculo. ....	64
Cuadro A-25. Efecto de las dosis en el total de semillas por fruto.....	64
Cuadro A-26. Análisis de varianza del total de semillas por fruto.....	64
Cuadro A-27. Efecto de las dosis en el diámetro del fruto.....	64
Cuadro A-28. Análisis de varianza del diámetro del fruto.....	65
Cuadro A-29. Efecto de las dosis en el espesor de la pulpa. ....	65
Cuadro A-30. Análisis de varianza del espesor de la pulpa.....	65
Cuadro A-31. Efecto de las dosis en los sólidos solubles. ....	65
Cuadro A-32. Análisis de varianza de los sólidos solubles.....	66
Cuadro A-33. Efecto de las dosis en la firmeza.....	66
Cuadro A-34. Análisis de varianza de la firmeza.....	66
Cuadro A-35. Medias generales de los tratamientos.....	66
Figura A-1. Mayor absorción de nutrientes .....	67
Figura A-2. Desordenes fisiológicos y enfermedades .....	67
Figura A-3. Limpieza y desinfección del invernadero .....	68
Figura A-4. Preparación de sustrato y llenado de macetas .....	68
Figura A-5. Producción de plantines .....	69
Figura A-6. Trasplante de plántulas .....	70
Figura A-7. Riego.....	70
Figura A-8. Nutrición .....	70
Figura A-9. Aplicación de tratamientos con fertilizante foliar calcio-boro .....	71
Figura A-10. Amarre de pitas para tutoreo de plantas.....	71
Figura A-11. Planta atípica .....	71
Figura A-12. Eliminación de brote axilar.....	72
Figura A-13. Segunda poda fitosanitaria.....	72
Figura A-14. Registro de variables climáticas .....	72
Figura A-15. Procedimiento para la toma de variables.....	73

## 1. Introducción

El tomate es una hortaliza de gran relevancia a nivel mundial, con amplio uso en la cocina internacional. Destaca por su valor nutricional y su potencia antioxidante, formando parte de la dieta básica de numerosas sociedades (Oddone *et al.* 2016). En El Salvador, su producción nacional ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años. Sin embargo, la dependencia de semillas importadas representa un desafío para la economía local (MAG 2023). En este contexto, la producción de semilla artesanal de tomate de calidad adaptada a las condiciones del país se convierte en una necesidad.

La hidroponía surge como una alternativa sostenible para la producción de hortalizas, incluyendo el tomate. Esta técnica ofrece un sistema controlado que optimiza el uso de agua y nutrientes, minimiza el impacto ambiental y permite obtener cosechas de alta calidad (Beltrano *et al.* 2015). Sin embargo, para maximizar el potencial de la hidroponía en la producción de semilla de tomate, es fundamental establecer programas de nutrición precisos y adaptados a las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

La fenología, como ciencia que estudia los eventos periódicos de vida de las plantas, en relación con el clima y otros factores ambientales, proporciona una herramienta valiosa para comprender las necesidades nutricionales cambiantes del tomate durante su desarrollo (SMEAP 2024). Al comprender los procesos fisiológicos y las demandas nutricionales específicas de cada etapa fenológica, es posible diseñar programas de nutrición que optimicen el crecimiento, floración, fructificación y la calidad de la semilla.

Por otro lado, la relación entre el calcio y el boro es fundamental para el desarrollo reproductivo de muchos cultivos hortícolas, ya que estos elementos desempeñan un papel clave en la formación de estructuras florales, el cuajado y el llenado de frutos, así como en la calidad de las semillas producidas (Agroesa 2021). En el caso específico del tomate, las deficiencias de calcio y boro pueden ocasionar trastornos fisiológicos como pudrición apical, mala formación de frutos y baja viabilidad de semillas (Beltrano *et al.* 2015).

Por lo anterior, la investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de tres dosis de fertilizante foliar calcio-boro en la producción de semilla artesanal de tomate variedad Sébaco en hidroponía bajo condiciones de invernadero. Se busca aportar mayor información sobre tecnologías en el sector agrícola, con el fin de producir semillas confiables, de alto porcentaje de germinación. Esto contribuye a la autosuficiencia de los pequeños agricultores, al reducir su dependencia de semillas comerciales.

## **2. Revisión bibliográfica**

### **2.1. Importancia del tomate**

El tomate se destaca por su elevada diversidad genética, con innumerables variedades que ofrecen distintos aspectos, colores y sabores (Allende 2017). Se considera una de las hortalizas más relevantes por su valor económico, y su riqueza en vitaminas y minerales tal como se detalla en el Cuadro A-1, siendo un alimento esencial para una dieta saludable (Larín *et al.* 2018).

Las semillas son depositarias del potencial genético de las especies agrícolas y su mejora continua a través del tiempo, mediante la selección y el desarrollo de nuevas variedades. Son esenciales para enfrentar los crecientes desafíos ambientales y la seguridad alimentaria de las comunidades agrícolas (FAO 2014).

Su demanda presenta un crecimiento continuo, lo que ha impulsado tanto la producción como la comercialización a nivel mundial y nacional. Según la FAO (2023), el tomate fue la hortaliza más producida del mundo con 186 millones de toneladas en 2022. En El Salvador, durante el período 2022-2023 se registró una superficie de siembra de 400.4 ha (572 mz), logrando un rendimiento promedio de 58.95 toneladas por hectárea. Por otro lado, en el ciclo 2021-2022, aunque la superficie sembrada fue mayor, el rendimiento por manzana fue menor, según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2023). Este aumento en la producción se atribuye a un mayor rendimiento por unidad de superficie, resultado de la incorporación de tecnologías de cultivo avanzadas (Allende 2017).

En cuanto al tamaño del mercado de semillas de hortalizas se estima que alcanzará los 8.58 mil millones de dólares en 2024 y los 11.94 mil millones de dólares en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 5.66%. Solo el crecimiento del tomate en el 2021, representó el 14.9% en el mercado de variedades de polinización libre (Mordor Intelligence 2022). La producción de semillas de calidad es fundamental para este crecimiento.

### **2.2. Generalidades del cultivo**

#### **2.2.1. Origen y distribución**

El género *Solanum*, al que pertenece el tomate, tiene su origen en la región andina, que abarca desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile. Sin embargo, se cree que la

domesticación del tomate se llevó a cabo en México, donde probablemente crecía como una mala hierba entre los huertos. Para el siglo XVI, ya se consumían en México tomates de diversas formas, tamaños y colores. En ese mismo período, el tomate había sido introducido en España y era utilizado como alimento tanto allí como en Italia. En el resto de Europa, su uso se limitaba a la farmacia, situación que se mantuvo en países como Alemania hasta principios del siglo XIX. Los españoles y portugueses fueron responsables de la difusión del tomate a Oriente Medio y África, y desde allí a otras regiones de Asia. Por otra parte, desde Europa, el tomate también se introdujo en Estados Unidos y Canadá (MAG 2007).

### **2.3. Características morfológicas**

El tomate cultivado pertenece a la familia de las Solanáceas, al género *Solanum* y a la especie *lycopersicum*. Se le cultiva como planta anual, de porte arbustivo. Se desarrolla de forma rastrera, semierecta o erecta, dependiendo de la variedad (Larín *et al.* 2018).

#### **2.3.1. Raíz**

El sistema radical del tomate es superficial y está compuesto por la raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. En la estructura de la raíz, se encuentra la epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en la absorción de agua y nutrientes, así como el córtex y el cilindro central donde se localiza el xilema (Jaramillo *et al.* 2007).

#### **2.3.2. Tallo**

Por lo general, tiene un diámetro de entre 2 y 4 centímetros en la base de la planta y se va estrechando hacia la parte superior, donde se encuentran en desarrollo nuevas hojas y racimos florales. La estructura comprende la epidermis, que incluye pelos glandulares, la corteza, el cilindro vascular (xilema) y el tejido medular (Escobar y Lee 2009).

#### **2.3.3. Hoja**

Las hojas son compuestas, alternas, imparipinadas, con los folíolos dentados o lisos y con pelos glandulares (Larín *et al.* 2018). El número de hojas por tallo y su frecuencia de aparición están principalmente determinados por el tipo de hábito de crecimiento de la planta y la temperatura del ambiente (Escobar y Lee 2009).

#### **2.3.4. Flor**

El tomate es una planta autógama, de flor perfecta, con órganos femeninos y masculinos funcionales (Escobar y Lee 2009). Está compuesta por 5 o más sépalos e igual número de pétalos de color amarillo, dispuestos de forma helicoidal, junto con un número similar de estambres alternados con los pétalos. Los estambres se fusionan con las anteras, formando un cono estaminal que envuelve al gineceo, favoreciendo la autopolinización y evitando la polinización cruzada. El ovario puede ser bilocular o plurilocular (Pérez 2018).

#### **2.3.5. Fruto**

El fruto es una baya, de tamaño y forma muy variables. Está compuesto por epicarpio (cáscara), mesocarpio (pulpa), endocarpio, placenta y semillas. Internamente, los frutos se dividen en depósitos o lóculos, en los que las semillas se encuentran sumergidas en el mucílago placentario. Los frutos, dependiendo del cultivar, pueden ser bi, tri, tetra o plurilocular. Los frutos uniloculares son raros (Tavares y Ribeiro 1990). El fruto de tomate puede tener entre 40 y 400 semillas, mientras mayor es la cantidad mejor forma tiene el fruto y las semillas tienden a ser de menor tamaño (Gaviola 2020). El color varía dependiendo de la madurez fisiológica en el que se encuentra (Cuadro A-2).

#### **2.3.6. Semilla**

La semilla está constituida por el embrión, el endosperma y la testa o cubierta seminal, esta última recubierta de pelos (Jaramillo *et al.* 2007). Es aplanada y de forma arriñonada con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1 mm. Su poder germinativo bajo condiciones de ambiente controlado es de 3 a 4 años (Pérez 2018). Para determinar la viabilidad de la semilla se puede realizar la prueba de germinación sin suelo, utilizando los rangos y criterios indicados en el Cuadro A-3.

### **2.4. Producción de semilla de tomate**

#### **2.4.1. Época y lugar de producción**

El lugar para producir semillas debe encontrarse en zonas con niveles moderados de precipitación, humedad relativa del aire, y con estaciones bien definidas. Esta condición, asociada a temperaturas suaves, permite obtener semillas de alta calidad. Las

temperaturas extremas, ya sean muy bajas o muy altas, pueden perjudicar la polinización y reducir el rendimiento de las semillas (Tavares y Ribeiro 1990).

#### **2.4.2. Aislamiento**

Aunque el tomate tiene la capacidad de autopolinizarse, existe la posibilidad de un cruzamiento del 5% debido a la polinización natural por insectos. Por lo tanto, se recomienda que las parcelas destinadas a la producción de semillas estén separadas por al menos 100 a 150 metros, o incluso más, para asegurar la pureza y cumplir con las categorías establecidas para la semilla. De esta manera, se garantiza que las flores no se crucen accidentalmente y se mantenga la calidad genética deseada en las semillas producidas (Pérez 2022).

#### **2.4.3. Inspección**

De acuerdo con Tavares y Ribeiro (1990), las inspecciones de campo deben realizarse sistemáticamente para eliminar plantas atípicas (fuera del estándar de cultivar). Por ello, se recomienda realizar varias inspecciones a lo largo del ciclo del cultivo. Este tipo de inspecciones son realizadas por organismos certificadores debidamente autorizados.

#### **2.4.4. Cosecha**

La recolección debe realizarse cuando los frutos están maduros, mostrando un color rojizo. Las semillas extraídas de frutos inmaduros pueden no haber completado su maduración fisiológica y tener bajo poder germinativo y plántulas anormales (Tavares y Ribeiro 1990).

#### **2.4.5. Extracción de semilla**

La semilla de tomate está recubierta por una sustancia mucilaginosa que cumple varias funciones, entre ellas actúan como una barrera que impide su germinación prematura mientras permanece dentro del fruto. Esta capa asegura que la semilla no se desarrollará antes de ser dispersada, gracias a la presencia de compuestos inhibidores (Andalhuerto 2024).

Entre ellos el ácido abscísico (ABA), una hormona vegetal que regula eventos clave durante la formación de las semillas. El ABA evita la germinación anticipada, induce la latencia

primaria y favorece la tolerancia a la desecación, en parte mediante su interacción con otras hormonas y sus redes de señalización asociadas (Kermode 2005).

Según Tavares y Ribeiro (1990), los métodos para eliminar este mucílago son: mediante fermentación natural, donde la pulpa y las semillas se dejan fermentar durante uno o dos días; el material debe agitarse varias veces durante el día. Por separación química, que presenta mayor rapidez, bajo costo y mejor aspecto. Y mediante el uso de agua, que consiste en remojar las semillas para ablandar y disolver el mucílago con movimiento constante. Después de cualquier proceso de extracción, las semillas deben lavarse y secarse inmediatamente. Si se envasan, se deben secar hasta alcanzar el 6% de humedad.

#### **2.4.6. Rendimiento de semilla**

El rendimiento se determina mediante la relación entre el peso del fruto (PF) y el peso de la semilla (PS). Esta relación es del 1%, lo que significa que por cada tonelada de fruto producida se obtienen 10 kg de semillas. Para calcularlo, se puede emplear la fórmula =  $(PF) * 0.01$  (Tavares y Ribeiro 1990).

En tomate, es sumamente difícil hacer cualquier predicción respecto al rendimiento de semillas por unidad de área, ya que está determinado por varios factores, incluyendo el clima, tipo de sustrato, cultivar y manejo agronómico (Tavares y Ribeiro 1990). La diferencia entre la cantidad de semillas producidas y la cantidad teóricamente calculada se debe a diversas causas, tales como el método de extracción utilizado, posibles errores de conteo, el proceso de lavado, el porcentaje de humedad durante el secado, las condiciones ambientales y el tipo de cultivar empleado (Pérez 2022).

### **2.5. Hábito de crecimiento**

Los cultivares de tomate se clasifican en tres grandes grupos según sus patrones de crecimiento: determinado, indeterminado y semideterminado. Este patrón de crecimiento determina la dinámica de las necesidades de nutrientes a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo (Haifa 2014).

#### **2.5.1. Crecimiento determinado**

De acuerdo con CATIE (1990), las variedades de tomate con hábito determinado son de tipo arbustivo, de porte bajo y compacto. Su producción de frutos se concentra en un

período relativamente corto, ya que las plantas crecen, florecen y fructifican en etapas bien definidas, con inflorescencias apicales. Este tipo de variedades, comúnmente utilizadas para la industrialización, suelen tener frutos en forma de pera o ciruela, redondos-alargados, acorazonados o cilíndricos.

### **2.5.2. Crecimiento indeterminado**

Las variedades de hábito indeterminado tienen inflorescencias laterales y su crecimiento vegetativo es continuo. La floración, fructificación y cosecha se extienden por períodos mucho más largos. Estas variedades son típicas para consumo en mesa y los tomatillos, y suelen necesitar tutores que guíen su crecimiento debido a su naturaleza de crecimiento prolongado y expansivo (CATIE 1990).

### **2.5.3. Crecimiento semideterminado**

Las plantas con crecimiento semideterminado se caracterizan por detener el desarrollo de sus ramas después de alcanzar un determinado número de inflorescencias. Pero normalmente suele ocurrir en una etapa avanzada del ciclo del cultivo (Haifa 2014).

## **2.6. Etapas fenológicas**

La duración del ciclo de cultivo del tomate está determinada por diversos factores, entre los cuales se incluyen las condiciones climáticas de la zona, las características del sustrato, el manejo agronómico, el número de racimos a dejar por planta y la variedad utilizada (Jaramillo *et al.* 2007).

### **2.6.1. Inicial**

Esta etapa comienza con la germinación de la semilla. Se caracteriza por un rápido aumento en la materia seca, ya que la planta dirige su energía hacia la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis. Para que ocurra la germinación, las semillas requieren una temperatura entre 15 y 25 °C; de lo contrario, los porcentajes de germinación se reducen considerablemente o pueden inhibirse por completo. El límite inferior del rango de temperatura, en el cual las plantas de tomate pueden crecer, es de 10 °C, mientras que el límite superior es de 35 °C (Pérez 2018).

### **2.6.2. Vegetativa**

Esta fase comienza a partir de los 21 días después de la germinación y se extiende durante un período de entre 25 y 30 días antes de que comience la floración. Durante este tiempo, se requieren mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las demandas de crecimiento y expansión de las hojas y ramas (FUNDESYRAM 2009).

### **2.6.3. Floración**

Consiste en el desarrollo y apertura de las flores, donde ocurre la autopolinización y fecundación. Las variedades de tomate de crecimiento determinado inician su floración entre los 55 y 60 días después de sembrados, mientras que las de crecimiento indeterminado florecen entre los 65 y 75 días después de la siembra (FUNDESYRAM 2009).

### **2.6.4. Fructificación**

Por lo general la maduración de los frutos ocurre aproximadamente ochenta días después del trasplante, dependiendo del cultivar, la nutrición y las condiciones climáticas (López 2017). El número de cortes variará según el manejo que se le dé al cultivo de tomate, las condiciones climáticas durante su ciclo de crecimiento y su patrón de desarrollo (Larín *et al.* 2018).

## **2.7. Requerimientos climáticos**

### **2.7.1. Temperatura**

La temperatura es el principal factor climático que influye en la mayoría de los estados de desarrollo y procesos fisiológicos de la planta. El desarrollo de etapas (germinación, el crecimiento vegetativo, la floración, la fructificación y la maduración de los frutos) depende del valor térmico que la planta experimenta durante cada período (Jaramillo *et al.* 2012).

El tomate prefiere el calor, y su desarrollo óptimo ocurre en un rango de temperatura entre 18 y 30°C. Sin embargo, las temperaturas extremas pueden causar diversos problemas, como alteraciones en la maduración, adelanto de la cosecha o cambios en el color de los frutos. Por ejemplo, temperaturas por debajo de los 10°C pueden afectar la formación de flores, mientras que aquellas superiores a los 35°C pueden causar el aborto floral y

perjudicar la fructificación. Además, las temperaturas nocturnas también son cruciales para la producción, ya que temperaturas inferiores a los 10°C pueden causar problemas en el crecimiento de la planta y los frutos, resultando en deformidades (Allende 2017).

### **2.7.2. Humedad relativa**

La humedad relativa óptima oscila entre el 60% y el 80%. Niveles muy elevados pueden propiciar el desarrollo de enfermedades aéreas (hongos y bacterias), así como provocar el agrietamiento del fruto y dificultar la fecundación, ya que el polen tiende a compactarse, resultando en el aborto de parte de las flores. Del mismo modo, una humedad relativa baja puede dificultar la fijación del polen en el estigma de la flor (Infoagro Systems S.L. 2016).

### **2.7.3. Luminosidad**

La luminosidad en el cultivo de tomate cumple un rol importante, más allá del crecimiento vegetativo de la planta, ya que el tomate requiere de al menos 6 horas diarias de luz directa para el proceso de floración y fecundación (Allende 2017).

La baja luminosidad afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta. Esto se traduce en una reducción de la viabilidad del polen, limitación en la evapotranspiración, menor absorción de agua y nutrientes, y predisposición a deficiencias de calcio o podredumbre apical en los frutos (Jaramillo *et al.* 2012).

### **2.7.4. Altitud**

Se cultiva tanto en zonas cálidas como templadas, en altitudes que van desde los 100 hasta los 1,500 metros sobre el nivel del mar. Además, su siembra puede realizarse durante todo el año en lugares con acceso a riego (Larín *et al.* 2018). El rango puede variar dependiendo de la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido (FUNDESYRAM 2009).

## **2.8. Requerimientos hídricos**

El agua es fundamental para la vida y, por tanto, para las plantas. En la fotosíntesis, uno de los principales procesos fisiológicos de las plantas, requiere que absorban CO<sub>2</sub> del aire a través de los estomas y simultáneamente pierdan agua por transpiración, lo que puede llevarlas a un estado de deshidratación. Si esta condición se prolonga, puede generar

estrés hídrico, afectando el crecimiento, el rendimiento e incluso provocar la muerte. Por ejemplo, en ambientes con alta demanda hídrica insatisfecha, pueden presentarse desórdenes fisiológicos como la necrosis apical en tomate. Esta fisiopatía que tiene una incidencia económica de importancia, está relacionada con una restricción en el transporte de calcio al fruto (Beltrano et al. 2015).

Al aire libre, el tomate puede necesitar hasta  $6,000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de agua, y en invernaderos hasta  $10,000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (SQM 2010).

### 2.8.1. El agua en la planta

El agua es el componente mayoritario de las plantas, representando entre el 60 y 90% de su peso fresco, dependiendo del tejido. A pesar de su alta presencia, las moléculas de agua permanecen en la planta solo por minutos, circulando constantemente desde el suelo o la solución nutritiva hasta la atmósfera. Este proceso ocurre a través de la relación suelo-planta-atmósfera, en el cual el agua es absorbida por las raíces desde el suelo, transportada por el xilema hacia las hojas y liberada finalmente al aire mediante la transpiración estomática. Como resultado, el estado hídrico de la planta varía continuamente a lo largo del día y en diferentes días (Beltrano et al. 2015).

### 2.8.2. Funciones del agua

**Función estructural:** En las vacuolas de las células vegetales, el agua ejerce presión sobre el protoplasma y la pared celular, garantizando la turgencia (forma y estabilidad) de hojas, raíces y otros órganos (Beltrano et al. 2015). En una semilla, el contenido de agua es aproximadamente del 5%, mientras que en una planta adulta puede alcanzar hasta el 95% (Alegría 2016).

**Función metabólica:** Es indicador de la actividad metabólica, ya que actúa como disolvente universal para sustancias como sales inorgánicas, azúcares y aniones orgánicos, facilitando las reacciones bioquímicas (Beltrano et al. 2015). También es fuente de iones, gases y electrones, además de participar directamente como reactivo en diversos reacciones (Alegría 2016).

**Función en procesos fisiológicos:** Es fundamental en el transporte de nutrientes a través del xilema y el floema. Además, contribuye a la regulación de la temperatura (Alegría 2016).

## **2.9. Nutrición mineral**

El estudio de la nutrición mineral de las plantas amerita conocer su composición química, así como las proporciones de humedad y de materia seca en de los órganos. La determinación del peso seco es indispensable, ya que el contenido de agua de los órganos vegetales está entre 6 y 90% (Alegría 2016).

Entre el 90-95% del peso seco está constituido por carbono, oxígeno e hidrógeno, que son los principales constituyentes de las sustancias orgánicas que forman el cuerpo vegetal. El 5-10% restante del peso seco corresponde a otros elementos cuya presencia es esencial para el correcto desarrollo de la planta. Estos elementos se denominan nutrimentos minerales y entran en general, en forma de iones inorgánicos disueltos en el agua que la planta absorbe por las raíces (Alegría 2016).

### **2.9.1. Nutrientes esenciales**

De acuerdo con Alegría (2016), un elemento se considera esencial para las plantas cuando cumple con los siguientes criterios:

- a) La planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia de dicho elemento.
- b) La función del elemento es específica y no puede ser reemplazada por otro mineral.
- c) El elemento forma parte de una molécula o constituyente esencial para la planta.

Según Molina (2016), el tomate requiere al menos 16 elementos esenciales para su crecimiento, los cuales se dividen en nutrientes no minerales y minerales. Los no minerales incluyen carbono, hidrógeno y oxígeno. Los minerales, a su vez, se clasifican en macronutrimentos y micronutrimentos. Los macronutrimentos se subdividen en primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) y secundarios (calcio, magnesio y azufre), necesarios en cantidades relativamente grandes. Los micronutrimentos, necesarios en menor cantidad, incluyen cloro, hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno. En el Cuadro A-4 se muestra un resumen de las principales funciones de los nutrientes en el cultivo de tomate.

### **2.9.2. Mayor absorción de nutrientes**

Los tomates absorben más potasio, nitrógeno y calcio que cualquier otro nutrimento, como se muestra en la Figura A-1. El nitrógeno es necesario en las primeras etapas del desarrollo para fomentar un buen desarrollo de las plántulas y plantas, con una demanda máxima

justo antes de la floración. La mayor parte del fósforo se necesita al principio del desarrollo de la planta para garantizar un buen crecimiento de las raíces y la floración. El potasio se necesita en mayores cantidades que el nitrógeno. El calcio también se necesita en cantidades relativamente grandes, sobre todo desde la floración, desarrollo del fruto y hasta la cosecha. En muchas situaciones, es tan importante como el nitrógeno. Más del 60% del nitrógeno, fósforo y potasio que absorbe la planta lo utiliza el fruto (Korob 2018).

### **2.9.3. Relación calcio-boro**

La relación entre el calcio y el boro desempeña un papel fundamental en el cultivo de tomate, especialmente para lograr una fructificación óptima. Estos elementos son esenciales para el desarrollo y llenado de frutos, bulbos y semillas. Su adecuada disponibilidad no solo mejora la calidad de los frutos, sino que también prolonga su vida postcosecha, garantizando productos más duraderos y de mejor calidad (Agroesa 2021).

La interacción entre estos elementos es compleja, ya que la deficiencia de uno puede generar efectos antagonistas en la absorción del otro. Una carencia de boro puede desencadenar una deficiencia de calcio, comprometiendo el desarrollo adecuado del cultivo. De igual forma, la falta de calcio puede interferir con la absorción de otros elementos como el potasio, y viceversa. Por ello, resulta crucial identificar de manera rápida y precisa los síntomas asociados a estas deficiencias para implementar estrategias correctivas que aseguren un equilibrio nutricional óptimo en el cultivo (Resh 2002).

La sintomatología de deficiencia de calcio se observa principalmente en los órganos jóvenes y meristemas apicales, donde se limita el crecimiento del vegetal. Estos tejidos suelen presentar necrosis, lo que los convierte en puntos vulnerables para el ingreso de enfermedades fúngicas. Además, se manifiestan fisiopatías típicas como la pudrición apical del fruto, característica en cultivos como tomate, pimiento, berenjena y algunas cucurbitáceas (Beltrano *et al.* 2015).

Por su parte, la deficiencia de boro presenta síntomas como necrosis negra en hojas jóvenes y yemas terminales. También se observa rigidez y fragilidad en los tallos, pérdida de la dominancia apical y una alta ramificación. En frutos, raíces carnosas y tubérculos pueden aparecer necrosis o deformaciones relacionadas con la ruptura de los tejidos internos (Beltrano *et al.* 2015).

## **2.10. Desórdenes fisiológicos**

Los desórdenes fisiológicos en cultivos de hortalizas son el resultado de una compleja interacción entre factores genéticos y ambientales. Estas alteraciones afectan directamente el desarrollo de los frutos, reduciendo el rendimiento comercializable y las ganancias de los productores. En el caso del tomate en invernadero, los desórdenes fisiológicos más comunes incluyen el agrietamiento del fruto, la roña, la pudrición apical, la mancha dorada y la maduración irregular, como se muestran algunas en la Figura A-2 (Costa 2009).

## **2.11. Plagas y enfermedades**

Las plantas de tomate son un objetivo muy popular para un amplio rango de insectos y ácaros. Las especies que ocasionan mayores daños pueden variar entre países e incluso entre regiones (Koppert 2019).

Además de las plagas, también es susceptible a diversas enfermedades que pueden afectar su desarrollo, rendimiento y calidad. Estas enfermedades, causadas principalmente por hongos, bacterias y virus, se ven favorecidas por condiciones ambientales específicas, como alta humedad, temperaturas extremas y una ventilación limitada en los invernaderos. Algunas de las enfermedades más comunes son: oídios, alternaria, botritis, mildiu y tizón, como se muestran algunas en la Figura A-2 (Syngenta 2020).

## **2.12. Cultivares**

El tipo de tomate a sembrar está determinado por el propósito de consumo y el mercado al que se destine. Se puede clasificar en tomate de mesa o ensalada, y tomate de pasta, industrial o de cocina. Dependiendo del tipo seleccionado, el cultivar deberá satisfacer los requisitos específicos que demande el mercado, tales como buena firmeza, alto porcentaje de sólidos solubles, resistencia al manejo y al transporte, así como una larga vida útil en el anaquel, entre otros. Además, el productor deberá elegir variedades que presenten características de tolerancia o resistencia a enfermedades y plagas (Pérez 2018). En el Cuadro A-5 se presentan las características de la variedad Sébaco (cultivar en estudio).

## **2.13. Hidroponía**

Según Castañares (2020), la hidroponía es una técnica de cultivo en la que no se utiliza suelo, y los nutrientes que necesita la planta para crecer son provistos a través del agua.

Entre sus ventajas se incluyen la reducción del espacio requerido, la higiene de los cultivos, la comodidad del trabajador, la optimización del uso del agua y la capacidad de producción en áreas donde la tierra es escasa o de mala calidad, así como en diversos climas. Sin embargo, presenta algunas limitaciones, como la necesidad de una inversión inicial, una mayor especialización requerida, la dependencia energética y la exigencia de agua de alta calidad.

Se clasifica con base en el medio de cultivo utilizado, dividiéndose en dos tipos: medio líquido y medio sólido. Dentro del medio líquido se encuentran los sistemas NFT (Nutrient Film Technique, por sus siglas en inglés) y raíz flotante. Por otro lado, el medio sólido corresponde al cultivo en sustrato. Esta investigación se enfocará en este último.

#### **2.14. Sistema hidropónico en sustrato**

En este sistema, las plantas se cultivan utilizando materiales inertes como sustrato, los cuales se riegan mediante sistemas por goteo, subirrigación o exudación (Novagric 2019).

Según Calderón y Cevallos (2001), el sustrato de cultivo es un medio sólido que cumple una doble función: actúa como soporte físico para las raíces, anclándolas y protegiéndolas de la luz mientras permite su respiración, y también funciona como un reservorio de agua y nutrientes esenciales, facilitando el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La capacidad de retención de agua de un sustrato se determina por el tamaño y la forma de sus partículas, así como por su porosidad. El agua se retiene en la superficie de las partículas y en el espacio formado por los poros. Cuanto más pequeñas sean las partículas, más cerca estarán unas de otras y mayor será el espacio de los poros y su superficie. Esto significa que se podrá almacenar una mayor cantidad de agua. Es importante tener en cuenta que el medio no solo debe tener una buena retención de agua, sino también un buen drenaje. Debemos evitar los materiales excesivamente finos para prevenir una retención excesiva de agua y una falta de movimiento del oxígeno dentro del medio (Resh 2002).

La elección del sustrato dependerá de la disponibilidad, el costo, la calidad y el tipo de método de cultivo hidropónico que se vaya a utilizar (Resh 2002). Los sustratos se pueden clasificar en tres grupos: inorgánicos, orgánicos y sintéticos.

### **2.14.1. Sustrato inorgánico**

En este grupo se incluyen los sustratos que contienen partículas con un diámetro superior a 2 mm. Se distinguen por su estructura estable, buen drenaje y baja capacidad de retención de agua (Valencia 2024).

Un ejemplo de este tipo de sustrato es la escoria volcánica. La escoria volcánica se caracteriza por ser granular, de forma irregular, con una superficie rugosa y poros en su interior. Tiene un origen volcánico y un tamaño de partícula inferior a 16 mm (Baixauli y Aguilar 2002). Las propiedades físicas se detallan en el Cuadro A-6.

### **2.14.2. Sustrato orgánico**

Estos sustratos suelen ser residuos de actividades agropecuarias o industriales, o productos importados de otros países. Debido a su origen, tienden a ser más económicos que los sustratos inorgánicos y sintéticos. Sin embargo, al ser de naturaleza orgánica, son biodegradables, lo que desaconseja su reutilización (Valencia 2024).

Un ejemplo común de sustrato orgánico utilizado en regiones tropicales debido a su bajo costo es la fibra de coco, elaborada a partir de cáscaras de coco trituradas hasta alcanzar un tamaño similar al de un grano de café. A diferencia de otros sustratos, la fibra de coco no se deshilacha, lo que incrementa su porosidad y aireación (Resh 2002). Las propiedades específicas se describen en el Cuadro A-7.

### **2.14.3. Sustrato sintético**

Los sustratos sintéticos son materiales fabricados artificialmente para su uso en la agricultura. Están constituidos por polímeros, espumas y fibras sintéticas, diseñados con el propósito de proporcionar un ambiente óptimo para los cultivos hidropónicos. A menudo, sus características superan las de otros sustratos, aunque su precio tiende a ser más elevado. Ejemplos más comunes de estos son los geles y las espumas sintéticas (Valencia 2024).

## **2.15. Solución stock**

Una solución stock es una solución concentrada de nutrientes diseñada para simplificar la preparación de grandes volúmenes de soluciones nutritivas y facilitar la automatización de

sistemas (Basterrechea 2017). Estas soluciones pueden prepararse con concentraciones de 50, 100 o hasta 200 veces la concentración estándar. Sin embargo, el grado de concentración de una solución stock está limitado por la solubilidad del fertilizante; el fertilizante menos soluble determinará el límite máximo de concentración en la mezcla (Resh 2002).

Para determinar el límite superior de concentración en una solución stock, es necesario conocer la solubilidad de cada compuesto, detallada en el Cuadro A-8. La solubilidad se expresa en gramos de fertilizante que pueden disolverse en 100 ml de agua fría (20° C).

Es fundamental preparar cuatro soluciones stock separadas en tanques individuales, denominadas comúnmente como stock A, stock C, stock B (microelementos) y stock D (ácido fosfórico). Estas soluciones se mantienen separadas para evitar la precipitación de compuestos, la cual ocurre si los sulfatos y nitratos se mezclan en altas concentraciones. Si se produce la precipitación, los compuestos se vuelven inaccesibles y pierden efectividad en la solución (Basterrechea 2017).

### **2.15.1. Compatibilidad de fertilizantes**

Los fertilizantes son sales que, al disolverse en agua, se disocian en iones (aniones y cationes). Estos iones pueden interactuar en la solución y precipitar (formando compuestos insolubles). Esta precipitación no solo reduce la disponibilidad de nutrientes para las raíces, sino que también aumenta el riesgo de obstrucción en los emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los nutrientes (Hirzel 2009).

En este sentido, al combinar fuentes de fertilizantes, es fundamental considerar como la compatibilidad química de los ingredientes en la mezcla, Cuadro A-9.

Si se utiliza ácido, este debe aplicarse antes que los fertilizantes. El ácido se añade lentamente al agua (nunca hay que aplicar agua sobre el ácido). A continuación, se incorporan los fertilizantes, comenzando por aquellos de menor solubilidad. Se recomienda realizar la mezcla de fertilizantes en la mitad del volumen total de agua requerido, agitar vigorosamente, y luego añadir el resto del agua hasta completar el volumen total. En la preparación de la solución concentrada, la presencia de material flotante o residuos sin disolver indica que se ha excedido la solubilidad del fertilizante (Hirzel 2009).

## 2.16. Solución nutritiva

Una solución nutritiva es una combinación de elementos nutritivos disueltos en agua y oxígeno, diseñada para favorecer la absorción de nutrimentos por las plantas en crecimiento. Contiene todos los elementos esenciales necesarios para el desarrollo óptimo de los cultivos, lo que les permite alcanzar su máximo potencial de rendimiento (Intagri 2017). Para formular y preparar soluciones nutritivas (milimolares), se parte de soluciones concentradas (molares). La formulación de los nutrientes se realiza normalmente en partes por millón de la concentración de cada uno de los elementos esenciales. Esto también puede expresarse en medida de peso y volumen ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  o  $\text{g}\cdot 1000\text{ L}^{-1}$ ), y otros equivalentes.

La solución nutritiva se da mediante una solución stock que representa la concentración formulada. Esta puede ser 50, 100, 150 o 200 veces más concentrada, dependiendo de la capacidad del inyector. Las soluciones stock son concentrados de nutrientes. Se deben preparar dos soluciones stock y una solución de ácido en tanques individuales. Generalmente, se les llama stock A, stock B y ácido. La razón de mantener las soluciones separadas es prevenir la precipitación entre sulfatos y nitratos de algunos compuestos si se mezclan a altas concentraciones (Resh 2002). En el Cuadro A-8 se presentan sales fertilizantes utilizadas en una solución de nutrientes para un cultivo hidropónico.

En las soluciones nutritivas se debe de tomar en cuenta los factores: relación entre iones nitrato-amonio, la temperatura y el oxígeno disuelto, el pH y la conductividad eléctrica (CE).

### 2.16.1. Relación entre iones nitrato-amonio

El nitrógeno es el cuarto elemento más abundante en el tejido vegetal. Es un componente esencial de proteínas, clorofila y otros compuestos fundamentales para el desarrollo de las plantas. En hidroponía, se incorpora a las soluciones nutritivas en forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , ya que ambas formas son asimilables. Sin embargo, su proporción es clave para evitar desequilibrios nutricionales (Mengel y Kirkby, citado por González *et al.* 2009). Se ha determinado que una relación de 90% nitrato y 10% amonio es óptimo para la asimilación del nitrógeno; si esta no se cumple, la planta puede tener dificultades en su absorción.

Por ejemplo, en plantas alimentadas con  $\text{NH}_4^+$  acumulan más iones  $\text{NH}_4^+$ , aniones inorgánicos y aminoácidos, mientras que reducen la concentración de cationes esenciales ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) y ácidos orgánicos en comparación con aquellas alimentadas con  $\text{NO}_3^-$ .

Por el contrario, el  $\text{NO}_3^-$  puede estimular la absorción de cationes e inhibir la absorción de aniones (Britto y Kronzucker, citado por Martínez 2002).

### **2.16.2. Temperatura y el oxígeno disuelto**

El sistema radicular necesita oxígeno para la respiración aeróbica, proceso fundamental para el crecimiento de las raíces. La falta de oxígeno reduce la absorción de agua y minerales, acumulando toxinas y afectando la fotosíntesis y la transferencia de carbohidratos, lo que disminuye el crecimiento de la planta, y en consecuencia su rendimiento. Raíces saludables con buen suministro de oxígeno son capaces de absorber más selectivamente los iones de la solución (Fernández 2013).

La temperatura es el principal factor que afecta a la cantidad de oxígeno disuelto. La estrecha correlación entre ella es inversa: a mayor temperatura, menor cantidad de oxígeno en la solución nutritiva. La absorción de oxígeno es óptima entre 20 y 25°C (hasta 30°C en algunos casos). Fuera de este rango, el desarrollo de las plantas en cultivos hidropónicos provoca efectos no deseados (Fernández 2013).

### **2.16.3. pH de la solución nutritiva**

Este parámetro juega un papel fundamental en la disponibilidad de los elementos para la planta, ya sea debido a la insolubilización de los nutrimentos o a su conversión en formas no asimilables por las raíces. En ocasiones, ambos procesos ocurren simultáneamente. Además, los extremos de pH pueden causar daños directos en las raíces (Santos y Ríos 2016).

El rango óptimo de pH para hortalizas en hidroponía oscila entre 5.5 y 6.5. Un pH por debajo de 5.0 puede ocasionar deficiencias, principalmente de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y boro, mientras que valores por encima de 6.5 pueden disminuir la asimilación de fósforo, hierro, manganeso, boro, zinc y cobre (Intagri 2017).

### **2.16.4. Conductividad eléctrica**

Un aspecto clave en el diseño de una solución nutritiva es la cantidad total de iones disueltos en el agua, medida por su conductividad eléctrica (CE). Esta conductividad suele expresarse en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (decisiemens por metro) o  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  (milisiemens por centímetro). Una menor conductividad facilita la absorción de agua por parte de la planta, ya que la salinidad

crea una "resistencia" al ingreso de agua debido a un mayor potencial osmótico. Sin embargo, se debe asegurar que la planta reciba la cantidad correcta de elementos (Santos y Ríos 2016).

Normalmente se establece una CE para la solución nutritiva que considere lo anterior. Esta CE es el resultado de los iones procedentes del agua de riego y de los aportes de los fertilizantes. Por tanto, en función de la salinidad del agua de riego, se puede aportar más o menos fertilizantes, para una determinada CE (Santos y Ríos 2016). Los valores de este parámetro generalmente varían entre 2.5 a 3 dS.m<sup>-1</sup>.

## **2.17. Sistema de riego**

Un sistema de riego es una infraestructura diseñada para suministrar agua a los cultivos de manera controlada y eficiente. Su objetivo principal es cubrir las necesidades hídricas de las plantas, particularmente durante períodos de sequía o en zonas con precipitaciones insuficientes para mantener un crecimiento saludable (Bascomex 2023). En la actualidad, existen diversos sistemas de riego recomendados según las condiciones de la región y tipo de cultivo. Entre los más utilizados se encuentran el riego por goteo, aspersión, microaspersión, bombeo y gravedad, entre otros.

### **2.17.1. Riego por goteo**

El riego por goteo es un sistema de riego localizado que aplica el agua de manera precisa y controlada, solo en la zona donde se desarrollan las raíces del cultivo. Este método destaca por su capacidad para reducir el consumo de agua y los costos asociados, como la mano de obra. Además, el riego por goteo permite minimizar la pérdida de agua por evaporación, ya que la zona mojada expuesta al sol es menor (Santos *et al.* 2010).

Los sistemas de riego por goteo son altamente efectivos, con eficiencias teóricas que alcanzan entre el 90% y el 95%. Sin embargo, un manejo inadecuado del riego puede reducir significativamente su rendimiento, provocando pérdidas de agua de distinta índole y disminuyendo la eficiencia práctica del sistema (Antunez *et al.* 2009). Debido a esto, es necesario realizar inspecciones frecuentes para asegurar el correcto funcionamiento de los goteros (Santos *et al.* 2010).

### **3. Materiales y Métodos**

#### **3.1. Descripción del estudio**

##### **3.1.1. Localización**

La investigación se llevó a cabo entre mayo y noviembre de 2024 en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el distrito de San Salvador, municipio de San Salvador Centro, departamento de San Salvador. El invernadero se encuentra a 685 msnm, con coordenadas geográficas latitud 13°43'10"N, longitud 89°12'00"O. La temperatura promedio fue de 28°C y la humedad relativa de 55%.

#### **3.2. Metodología de campo**

##### **3.2.1. Descripción del invernadero**

Se realizó en condiciones protegidas dentro de un invernadero con techo semicircular orientado de este a oeste, con estructura de hierro galvanizado y piso de cemento, de 5 m de ancho por 10 m de largo, dando una superficie total de 50 m<sup>2</sup>. El invernadero presenta dos alturas: 3 m en los laterales y 4.30 m en la parte central. Cuenta con una ventana cenital en la parte superior del techo, y recubrimiento de plástico (EVA) ultravioleta de 180 micrones, junto con una malla sarán del 50% para reducir la incidencia de la radiación solar. En las partes laterales y frontales tiene malla anti-virus de 120 mesh.

El invernadero consta de un sistema de riego por goteo de baja presión de 3 a 5 PSI, y un hidrotérmo grafo Oakton, dispositivo para medir la temperatura en grados Celsius y la humedad relativa en porcentaje.

##### **3.2.2. Limpieza y desinfección del invernadero**

Se realizaron diversas actividades de limpieza y desinfección en el invernadero, Figura A-3. En primer lugar, se llevó a cabo una limpieza general que incluyó el barrido, lavado del piso y paredes, tanto en el interior como en el exterior. Para ello, se utilizó una solución de hipoclorito de sodio al 1% (10 ml de solución por cada litro de agua), asegurando la eliminación de suciedad y posibles plagas y enfermedades.

En el caso del pretil, se procedió a raspar las paredes con un cepillo metálico para remover el musgo y la pintura deteriorada acumulada. Una vez finalizado este proceso, las paredes fueron selladas con una capa de pintura blanca; y reemplazado el techo dañado del invernadero con el recubrimiento de plástico (EVA).

### **3.2.3. Preparación de sustrato y llenado de macetas**

Se utilizaron 96 macetas de polietileno número 8, con una capacidad de 5 litros cada una. Las macetas vacías se limpiaron para eliminar los residuos de sustrato adheridos, utilizando agua. Posteriormente, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 30 minutos.

Para el tamizado del sustrato se utilizó una malla metálica de 3x3". La cual consistió en una mezcla compuesta por un 40% de fibra de coco y un 60% de escoria volcánica. Durante el llenado de las macetas, se colocó una capa base de aproximadamente 7 cm de escoria volcánica de mayor diámetro, con el objetivo de mejorar el drenaje.

Una vez llenadas, las macetas se organizaron dentro del invernadero, y se procedió a la desinfección con la solución de hipoclorito de sodio al 1%; posteriormente se dejó reposar durante dos semanas, para garantizar que no quedaran residuos del desinfectante al momento de realizar el trasplante de las plántulas (Figura A-4).

### **3.2.4. Producción de plantines**

Para la producción de plantines se utilizaron tres bandejas de polietileno, cada una con 84 alveolos, las cuales fueron rellenas con sustrato comercial previamente humedecido. Se colocaron dos semillas de tomate de la variedad Sébaco por cada alveolo, cubriéndolas completamente con una capa de sustrato de 2 a 3 mm de espesor.

En relación, al mantenimiento de las plántulas se verificó la regulación de la radiación solar para evitar problemas de etiolación, riego, monitoreo de organismos dañinos y la nutrición respectiva (Figura A-5).

Durante la primera semana, a las bandejas se les aplicó agua mediante el método de subirrigación por 10 minutos diarios. A partir de la segunda semana, se preparó una solución nutritiva de inicio 15-30-15-1 MgO, a partir de una solución concentrada en la que se diluye 5 ml.L<sup>-1</sup>, y ajustada a una conductividad eléctrica de 1 mS.cm<sup>-1</sup> y un pH de 6.

### 3.2.5. Trasplante de plántulas

El trasplante se llevó a cabo a las dos semanas después de emergencia, durante las horas frescas de la mañana para minimizar el estrés térmico. Antes del trasplante, se humedecieron las bandejas para facilitar la extracción de los pilones sin dañar las raíces, y se colocaron dos plántulas en cada maceta. Un día después, se aplicó insecticida y fungicida de forma preventiva, tanto en las plántulas como en el piso y las paredes del invernadero, por dentro y fuera. Tres días después del trasplante, se realizó un deshije con el objetivo de seleccionar la plántula más vigorosa de cada maceta, Figura A-6.

### 3.2.6. Riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo de baja presión (3 a 5 PSI) mediante gravedad, diseñado para garantizar una distribución eficiente de la solución nutritiva. El sistema consistió en un barril con una capacidad de 220 litros, colocado a 1.75 m sobre las mangueras de riego. En cada una de las mangueras laterales, de 16 mm de diámetro, se instalaron goteros de flujo turbulento, distribuidos cada 0.45 m. Para la limpieza de los goteros y la manguera ciega, se utilizó 1.5 litros de melaza diluidos en el volumen del barril.

El flujo del sistema fue regulado mediante una válvula que permitió ajustar el paso de la solución nutritiva. Se realizaron cuatro aforos del sistema para determinar el tiempo de riego y la cantidad de agua en mililitros por maceta, adaptándose a las necesidades del cultivo según su etapa fenológica, así como deficiencias presentadas y condiciones de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero, Figura A-7. La frecuencia y duración del riego según la etapa fenológica del cultivo se especifica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Frecuencia y duración del riego.

<b>Etapa fenológica</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Horario</b>	<b>Duración</b>
Desde establecimiento a desarrollo de planta	3 riegos	8:00 am, 11:00 am, 2:00 pm	3 minutos
Desde inicio de floración a formación de fruto	3 riegos	8:00 am, 11:00 am, 2:00 pm	5 minutos
Desde formación de fruto a inicio de cosecha	3 riegos	8:00 am, 11:00 am, 2:00 pm	7 minutos
Desde inicio a término de cosecha	9 riegos	Cada hora desde las 7:00 am hasta las 3:00 pm	3 minutos

Desde el inicio hasta la cosecha, se presentó podredumbre apical en algunos frutos, relacionada con deficiencia en la absorción de calcio. Para reducir su incidencia, se aumentó la frecuencia de riego a cada hora, manteniendo el sustrato húmedo y favoreciendo el transporte de nutrientes. Los daños se muestran en la Figura A-2.

### 3.2.7. Nutrición

El programa de nutrición se diseñó con base en los requerimientos de macroelementos (Cuadro 2) y microelementos (Cuadro 3) del cultivo de tomate, ajustados según sus etapas fenológicas. Para satisfacer estas necesidades, se consideró tanto la composición de los fertilizantes comerciales en términos de porcentaje de pureza como la contribución iónica del agua de riego.

Cuadro 2. Requerimiento de macroelementos.

Etapa fenológica	DDT	Macronutrientes (ppm)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Desde establecimiento a desarrollo de planta	1-28	220	35	200	140	45	70
Desde inicio de floración a formación de fruto	29-49	190	60	220	160	45	70
Desde formación de fruto a inicio de cosecha	50-91	175	50	250	150	35	70
Desde inicio a término de cosecha	92-120	90	25	125	75	18	35

Cuadro 3. Requerimiento de microelementos.

Etapa fenológica	DDT	Micronutrientes (ppm)					
		Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
Desde establecimiento del cultivo a término de cosecha	1-120	1	0.5	0.5	0.15	0.1	0.05

La preparación de las soluciones nutritivas se llevó a cabo utilizando cuatro tanques principales, denominados A, B, C y D que contenían las cantidades necesarias de cada fertilizante para generar una solución madre concentrada 200 veces, Cuadro A-10. Estas soluciones concentradas se diluyeron posteriormente en un tanque de 220 litros para obtener la solución nutritiva, mediante el método físico-químico, Figura A-8. La concentración de nutrientes se verificó utilizando un conductímetro, asegurando que la conductividad eléctrica (CE) no superara los  $2.5 \text{ mS.cm}^{-1}$  y manteniendo un pH alrededor de 6.0. Las cantidades específicas de cada fertilizante utilizadas para la solución nutritiva se detallan en el Cuadro A-11.

Adicionalmente, se realizaron siete aplicaciones de fertilizante foliar calcio-boro, ajustadas a los tratamientos evaluados, Figura A-9. Estas aplicaciones se distribuyeron en las etapas de brotación, floración, cuajado, llenado de frutos y cosecha.

### **3.2.8. Tutoreo**

El tutoreo se llevó a cabo dos semanas después del trasplante con el objetivo de proporcionar mayor estabilidad a las plantas, soportar el peso de los frutos y prevenir daños físicos, como la quebradura de tallos y racimos, Figura A-10. Además, esta práctica permitió mantener un orden adecuado en las filas, facilitando el manejo agronómico, toma de datos y cosecha.

Para realizar el tutoreo, se utilizó un alambre galvanizado de calibre 16, previamente instalado a una altura de 2 metros, al cual se fijaron las pitas. A medida que las plantas crecieron, las ramas se sujetaron y se enrollaron manualmente alrededor de las pitas, asegurando un soporte adecuado durante todo su desarrollo.

### **3.2.9. Control de plagas y enfermedades**

Se llevó a cabo un monitoreo continuo durante todo el ciclo del cultivo para identificar y prevenir la aparición de plagas y enfermedades. Los productos utilizados para el control de plagas y enfermedades están detallados en el Cuadro A-12.

### **3.2.10. Inspección**

Se realizaron inspecciones regulares a lo largo de todas las etapas fenológicas del cultivo con el objetivo de identificar y eliminar plantas fuera de tipo, comparándolas con los estándares establecidos para la variedad Sébaco. En total, se eliminaron 20 plantas atípicas durante la etapa de desarrollo vegetativo, Figura A-11. Estas plantas presentaban una interrupción en su crecimiento apical, caracterizada por la detención del desarrollo de los meristemas, lo que provocaba una estructura vegetativa anormal.

Antes de la floración se observó el hábito de crecimiento y las hojas, y durante la etapa reproductiva se inspeccionaron las flores y frutos para detectar desviaciones, descartando en la cosecha frutos que no cumplieran con los estándares de calidad. Este proceso garantizó que los tomates producidos cumplieran con los requisitos necesarios para la producción de semilla artesanal, asegurando la pureza y uniformidad genética de la variedad.

### **3.2.11. Podas**

Se llevó a cabo una poda de formación de dos ejes, la cual consistió en la eliminación de brotes y tallos axilares a partir de los dos ejes principales (Figura A-12). Adicionalmente, se llevó a cabo una poda fitosanitaria enfocada en reducir el número de hojas por debajo de los dos ejes principales. Esto buscaba mejorar la aireación, disminuir el desgaste energético innecesario de la planta y limitar la propagación de hongos presentes. La poda fitosanitaria se efectuó en dos etapas: la primera durante el desarrollo vegetativo y la segunda entre el inicio de la floración y la formación de frutos, Figura A-13. Dividir el proceso permitió minimizar el estrés en las plantas y reducir el riesgo de propagación de patógenos en las áreas expuestas tras la poda.

### **3.2.12. Monitoreo del microclima**

Se registraron datos de temperatura y humedad relativa en el invernadero para evaluar las condiciones ambientales durante el cultivo, Figura A-14. Las mediciones se realizaron tres veces a la semana de 8:00 a.m. a 4:00 p.m., desde el establecimiento del cultivo hasta el final de la cosecha. Este monitoreo permitió ajustar la frecuencia de riego según las necesidades del cultivo y las condiciones climáticas observadas. Los datos registrados se muestran en el Cuadro A-13.

### **3.2.13. Cosecha**

La cosecha de los frutos se realizó de forma manual, recolectándolos al alcanzar la madurez fisiológica, identificada por un color rojizo correspondiente a los estados 5 y 6, según lo descrito en el Cuadro A-2. Esta práctica se llevó a cabo con el propósito de garantizar que el embrión de la semilla este completamente maduro. Los datos obtenidos durante este proceso fueron registrados en hojas de cálculo de Excel para facilitar su análisis y seguimiento posterior.

## **3.3. Metodología estadística**

### **3.3.1. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con seis repeticiones y cuatro tratamientos, distribuidos como se detalla en el Cuadro 4. Cada unidad experimental constó

de cuatro plantas, sumando un total de 96 plantas. Los bloques se orientaron en dirección norte-sur para garantizar una distribución uniforme de las horas luz entre todas las plantas.

Cuadro 4. Plano de arreglo espacial.

Bloque VI	Bloque V	Bloque IV	Bloque III	Bloque II	Bloque I
T3	T2	T4	T3	T2	T1
T1	T1	T2	T4	T4	T2
T2	T4	T1	T1	T3	T3
T4	T3	T3	T2	T1	T4

En esta investigación se utilizó el software estadístico InfoStat versión 18 para realizar análisis descriptivos, incluidas medidas de tendencia central y representaciones gráficas de variables cuantitativas que facilitaron la visualización de los datos. Además, se aplicó un análisis de varianza (ANVA) junto con transformaciones de datos, verificando los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Para identificar el tratamiento con mejores efectos, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey. También se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre variables. La investigación se llevó a cabo con un nivel de significancia del 95% y una probabilidad de error del 5%. A continuación, se describen los tratamientos evaluados, Cuadro 5.

Cuadro 5. Distribución de tratamientos.

Tratamiento	Dosis fertilizante foliar calcio-boro
T1	0 ml.L <sup>-1</sup>
T2	5 ml.L <sup>-1</sup>
T3	7.5 ml.L <sup>-1</sup>
T4	10 ml.L <sup>-1</sup>

### 3.3.2. Variables

En la investigación se evaluaron variables de crecimiento, rendimiento y características organolépticas, como se ilustra en la Figura A-15. La metodología empleada para la medición de estas variables se detalla en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Procedimiento para la toma de variables.

<b>Variable</b>	<b>Procedimiento</b>
Altura de la planta	Se utilizó cinta métrica para medir la altura desde el suelo hasta el ápice, al inicio de cada etapa fenológica.
Diámetro del tallo	Se midió con pie de rey a las tres semanas después del trasplante y a la primera cosecha.
Número de frutos por planta	Se contaron todos los tomates producidos por cada planta.
Peso del fruto (g)	Se midió con una balanza semianalítica para determinar el peso promedio de los frutos.
Diámetro del fruto (cm)	Se midió con pie de rey.
Espesor de la pulpa (mm)	Se cortaron los frutos en partes iguales de forma transversal y se midió el espesor de la pulpa con regla.
Número de lóculos por fruto	Se registró el número de lóculos, que son los compartimentos internos del fruto que contienen las semillas.
Número de semillas por lóculo	Se separaron las semillas del mucílago enjuagándolas mínimo cinco veces con agua y con un colador para hacer el conteo.
Total de semillas por fruto	Se calculó sumando el número de semillas de cada lóculo.
Número de semillas por gramo	Se contó las semillas que conformaron 1 gramo en la balanza semianalítica.
Sólidos solubles en fruto maduro (°Brix)	Se midió con un refractómetro en grados Brix, colocando jugo de tomate en el lente.
Firmeza (kg.cm <sup>2</sup> )	Se midió con un penetrómetro para evaluar la textura del fruto y su resistencia al daño mecánico.
Porcentaje de germinación	Las semillas se expusieron al sol directo durante 4 horas, luego se terminaron de secar a la sombra a temperatura ambiente por 3 días. Posteriormente, se colocaron 100 semillas sobre papel diario humedecido, manteniéndolo hidratado hasta que más del 50% germinó después de 5 días. Finalmente, se calculó el porcentaje de germinación utilizando la fórmula correspondiente.
Rendimiento de semillas	Se calculó mediante la fórmula = (PF) * 0.01.

#### 4. Resultados y Discusión

La temperatura tiene un gran efecto en todos los aspectos del desarrollo. Las tasas de iniciación de hojas y racimos disminuyen linealmente con la disminución de la temperatura. Por el contrario, una temperatura más alta conlleva un aumento en el rendimiento temprano, a costa del crecimiento vegetativo, pero también puede causar un retraso en los racimos posteriores (Van der Ploeg y Heuvelink 2005).

Durante el desarrollo de la investigación, se registraron temperaturas mínimas promedio entre 22 y 25 °C y máximas entre 30 y 33 °C, con un promedio general de 28.4 °C. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo para el desarrollo fisiológico del tomate, favoreciendo la absorción de nutrimentos y la fotosíntesis (Figura 1).

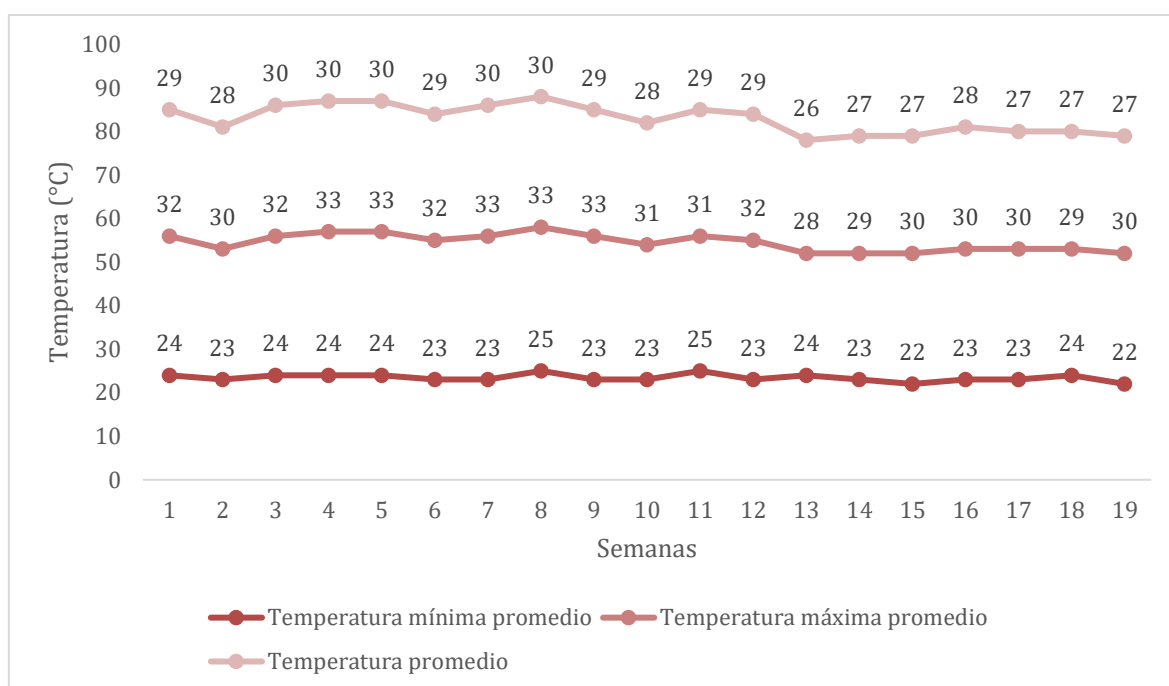


Figura 1. Temperatura durante el ciclo del cultivo.

Por su parte, la humedad relativa presentó variaciones, con valores mínimos entre 38% y 48%, máximos entre 70% y 82%, y un promedio general de 55% (Figura 2). Esta amplitud en la humedad relativa es característica de ambientes bajo invernadero, donde la evapotranspiración puede modificarse sustancialmente a lo largo del día. En conjunto, las condiciones registradas fueron adecuadas para el cultivo.

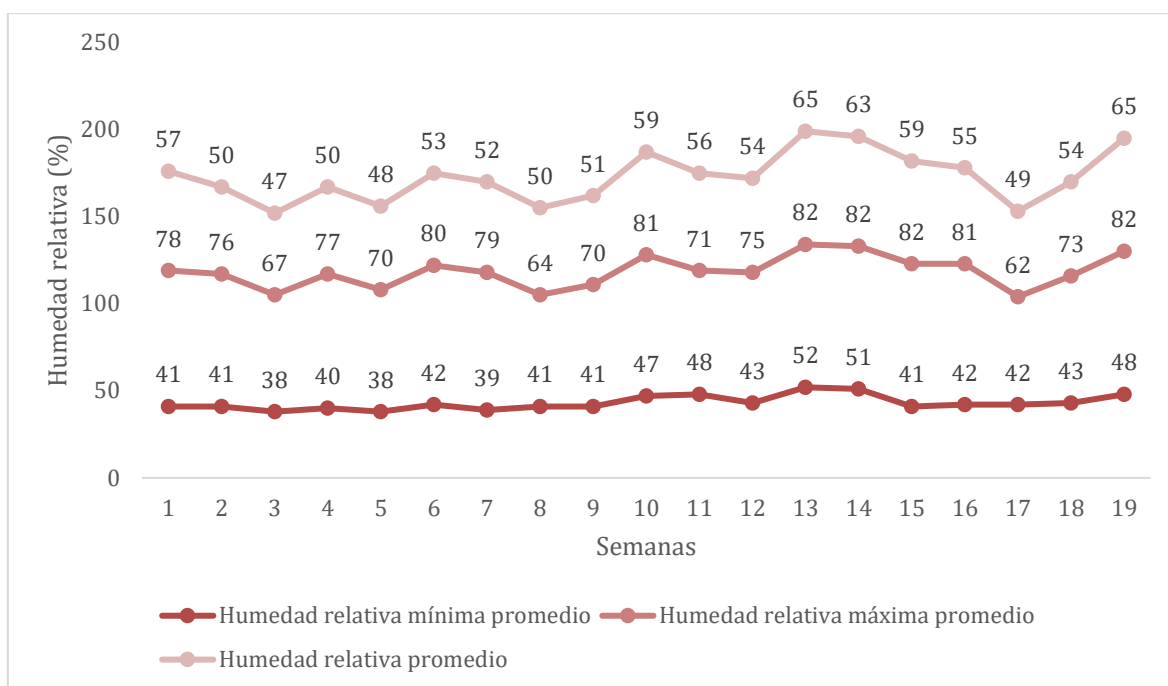


Figura 2. Humedad relativa durante el ciclo del cultivo.

El análisis de los datos permitió evaluar el efecto de cuatro tratamientos, tres de ellos con fertilizante foliar calcio-boro y uno como testigo, sobre la producción de semilla artesanal de tomate variedad Sébaco, cultivada en un sistema hidropónico. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 5, 7.5 y 10 ml.L<sup>-1</sup> de fertilizante foliar, incluyendo un tratamiento testigo sin aplicación (0 ml.L<sup>-1</sup>).

Se analizaron las medias de las variables de crecimiento, rendimiento y características organolépticas (Cuadro A-35). Sin embargo, no se encontró una correlación entre las dosis de fertilizante foliar aplicadas y el comportamiento de las variables evaluadas, considerando que un p-valor menor a 0.05 indicó una evaluación significativa. En las siguientes secciones se presentan los resultados obtenidos y su discusión, destacando los hallazgos más relevantes en función de las dosis de fertilizante foliar aplicadas.

#### 4.1. Variables de crecimiento

##### 4.1.1. Altura de la planta de tomate

El análisis de la altura de la planta durante el ciclo agrícola, desde la etapa de plántula hasta el inicio de la cosecha, mostró variaciones significativas en la tasa de crecimiento diaria, las cuales están influenciadas por los requerimientos fisiológicos de cada etapa fenológica (Cuadro 7).

Según la curva de crecimiento (Figura 3), la mayor tasa de crecimiento promedio se registró durante la etapa de inicio de floración, con  $3.26 \text{ cm.día}^{-1}$ . Este resultado refleja el incremento en la demanda de recursos como nutrientes y agua, así como una mayor actividad metabólica para soportar la formación de estructuras reproductivas.

Luego de esa etapa, la curva de crecimiento comienza a disminuir. Durante la etapa de formación de frutos, correspondiente a la sexta semana, se registró el segundo mayor crecimiento, con un promedio de  $2.25 \text{ cm.día}^{-1}$ . En esta fase, la planta redirige gran parte de sus recursos hacia el desarrollo de los frutos, esto coincide con lo reportado por Alfonso (2015), quien señala que la altura promedio de las plantas tiende a estabilizarse durante la sexta semana, cuando la planta se encuentra en plena fructificación. Este fenómeno ocurre porque la mayor parte de los fotosintetizados se translocan hacia los frutos.

En la etapa vegetativa, el crecimiento promedio fue de  $0.74 \text{ cm.día}^{-1}$ , un valor menor en comparación con las fases posteriores, ya que la planta se concentra en el establecimiento de raíces y hojas, asegurando una base sólida para el desarrollo posterior (Figura 3).

Durante el inicio de la cosecha, el crecimiento promedio fue de  $0.92 \text{ cm.día}^{-1}$ , lo que sugiere una disminución notable, ya que en esta fase los recursos de la planta están principalmente destinados a completar la maduración de los frutos. Finalmente, en la etapa de plántula, se observó el menor crecimiento promedio con  $0.55 \text{ cm.día}^{-1}$ .

En general, los resultados estadísticos evidencian que la altura de la planta de tomate varía significativamente a lo largo de su ciclo de desarrollo, reflejando las demandas fisiológicas propias de cada etapa. Este comportamiento, respaldado por Juárez *et al.* (2015), es esencial para optimizar el manejo agronómico, incluyendo la aplicación de riego y nutrimentos según la fase fenológica.

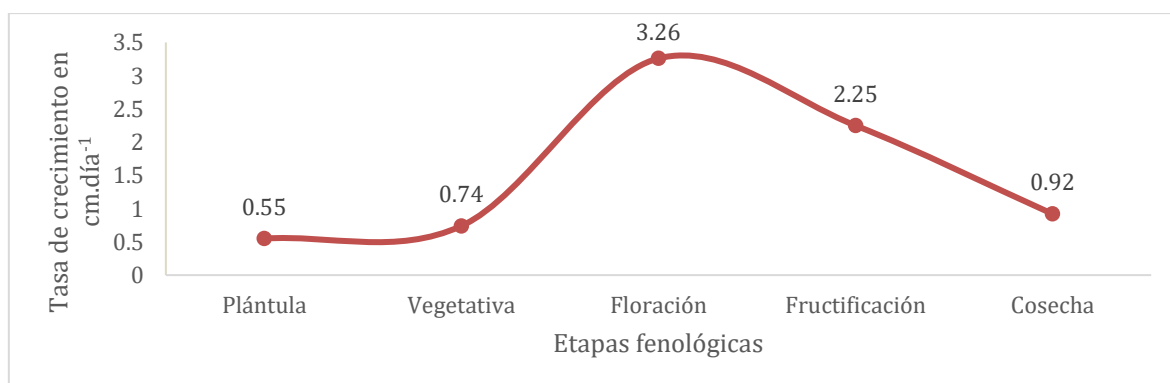


Figura 3. Tasa de crecimiento en  $\text{cm.día}^{-1}$ .

Cuadro 7. Tasa de crecimiento del cultivo de tomate.

Etapa fenológica	Tasa de crecimiento (cm.día <sup>-1</sup> )			
	Días después de trasplante	Acumulado	Etapa	cm.día <sup>-1</sup>
Plántula	1	9.32	9.32	0.55
Vegetativa	14	18.89	9.57	0.74
Floración	25	54.79	35.9	3.26
Fructificación	45	99.79	45	2.25
Cosecha	85	136.66	36.87	0.92

El análisis de correlación de Pearson (Cuadro A-14) reveló una relación positiva perfecta ( $r = 1$ ) entre la altura final de las plantas y el incremento de altura a lo largo del ciclo del cultivo con un alto nivel de significancia ( $p < 0.0001$ ).

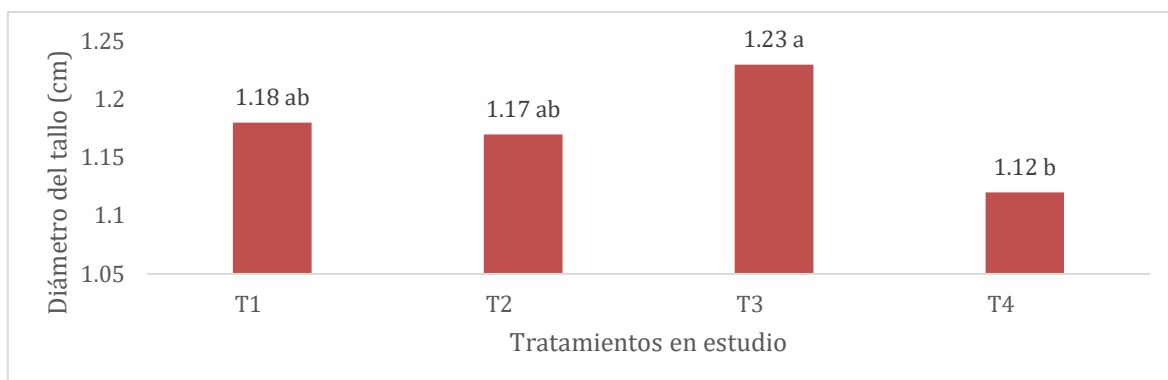
#### 4.1.2. Diámetro del tallo

Al analizar el diámetro del tallo durante la fase vegetativa (Cuadro A-15), correspondiente a tres semanas después del trasplante y previo a la aplicación de los tratamientos, se observó un comportamiento similar entre los cuatro tratamientos. El análisis de varianza (ANVA) mostró que no se generaron diferencias significativas en esta variable, con un valor  $p$  de 0.95, superior al nivel de significancia estadística de 0.05 (Cuadro A-16).

Al inicio de la cosecha, el análisis de varianza (ANVA) confirmó que las dosis de fertilizantes foliares en estudio generaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, con un valor de  $p = 0.01$ , inferior al nivel de significancia estadística de 0.05 (Cuadro A-17). Según la prueba de comparación múltiple de Tukey (Cuadro A-18), el tratamiento tres, correspondiente a una dosis de 7.5 ml.L<sup>-1</sup> de fertilizante foliar, presentó el mayor diámetro del tallo con un promedio de 1.23 cm, seguido por el tratamiento uno (sin aplicación de fertilizante foliar), que registró un diámetro promedio de 1.18 cm. Por su parte, el tratamiento dos, con una dosis de 5 ml.L<sup>-1</sup>, mostró un promedio de 1.17 cm, mientras que el tratamiento cuatro, correspondiente a la dosis de 10 ml.L<sup>-1</sup>, presentó el menor diámetro del tallo con una media de 1.12 cm (Figura 4).

Resultados similares se observaron en el estudio de Castillo *et al.* (2022), quienes evaluaron el efecto de cuatro fertilizantes foliares en diferentes variables de rendimiento y calidad del tomate, incluido el grosor del tallo. En dicho estudio, los tratamientos con

fertilizantes foliares lograron incrementar significativamente el diámetro del tallo en comparación con el grupo control.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 4. Efecto de las dosis en el diámetro del tallo de cosecha.

Asimismo, se identificó una correlación positiva ( $r = 0.87$ ) entre el diámetro del tallo al final del ciclo y el incremento de esta variable durante el desarrollo del cultivo (Cuadro A-14).

## 4.2. Variables de rendimiento

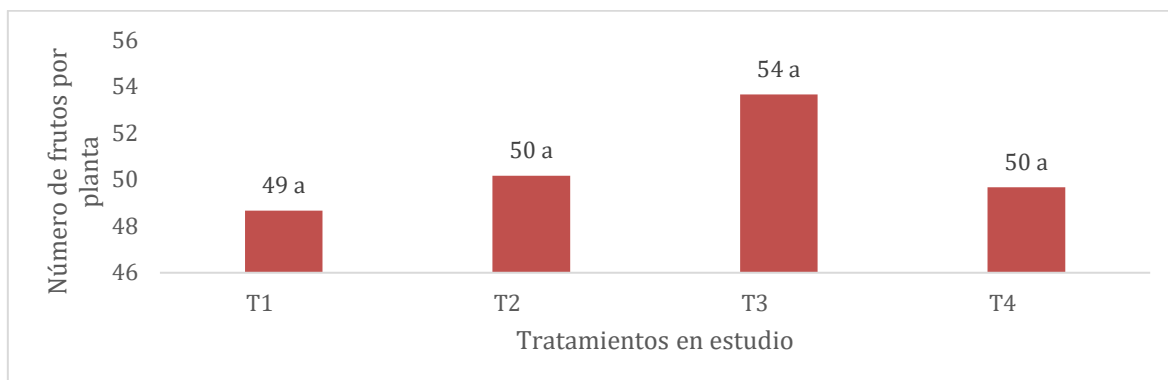
### 4.2.1. Número de frutos por planta

El análisis de varianza (ANVA) indicó que las diferencias observadas entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas, con un valor  $p$  de 0.32, superior al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-20). Esto demuestra que las dosis de fertilizantes foliares evaluadas generaron efectos similares en el número de frutos por planta.

Al analizar el número de frutos por planta (Cuadro A-19), se observó que el tratamiento tres, correspondiente a una dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, presentó el mayor promedio de frutos con 54 por planta. Este resultado fue seguido por los tratamientos dos (dosis de  $5 \text{ ml.L}^{-1}$ ) y cuatro (dosis de  $10 \text{ ml.L}^{-1}$ ), con un promedio de 50 frutos. Finalmente, el tratamiento uno, sin aplicación de fertilizante foliar, mostró el menor número de frutos por planta, con una media de 49 frutos (Figura 5).

Cabe destacar que el tratamiento tres fue el único que superó el número promedio de 50 frutos por planta indicado en la guía técnica de la variedad, mientras que los demás tratamientos se mantuvieron dentro de este rango (Larín *et al.* 2017).

Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el estudio de Zapata (2014), donde evaluó la aplicación de fertilizantes foliares a base de calcio y boro para reducir el aborto de flores y frutos en el cultivo de tomate de árbol. En su investigación, los tratamientos con calcio y boro lograron incrementar el rendimiento, mientras que el grupo testigo sin fertilización foliar obtuvo el menor rango.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 5. Efecto de las dosis en el número de frutos por planta.

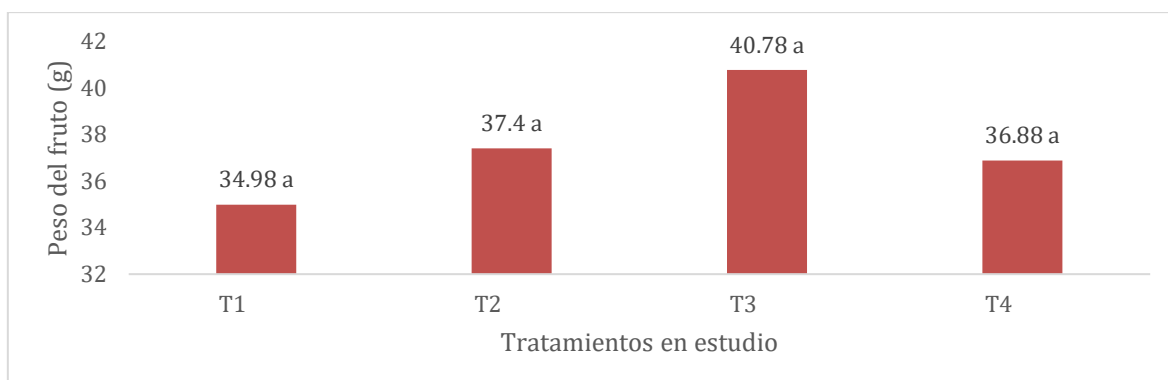
En cuanto al análisis de correlación de Pearson, en el Cuadro A-14, se identificó una correlación lineal positiva moderada entre el número de frutos por planta con las variables altura y altura diferencial ( $r=0.54$ ).

#### 4.2.2. Peso del fruto

El análisis de varianza (ANVA) demostró que las diferencias observadas entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas, con un valor  $p$  de 0.09, superior al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-22). Esto sugiere que las dosis de fertilizantes foliares en estudio no influyeron significativamente en el peso del fruto, aunque se observaron tendencias hacia un mayor peso con la aplicación de dosis moderadas (Cuadro A-21).

El tratamiento tres, correspondiente a una dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, registró el mayor peso promedio con 40.78 gramos por fruto. Le siguió el tratamiento dos (dosis de  $5 \text{ ml.L}^{-1}$ ), con un promedio de 37.4 gramos, y el tratamiento cuatro (dosis de  $10 \text{ ml.L}^{-1}$ ), con un valor promedio de 36.88 gramos. En contraste, el tratamiento uno, sin aplicación de fertilizante foliar, presentó el menor peso promedio, con 34.98 gramos por fruto (Figura 6).

En comparación, Hernández *et al.* (2021) en su estudio de caracterización morfoagronómica de cinco variedades mutantes de tomate, reportaron un peso promedio de 34.23 gramos por fruto, valor similar al obtenido en el tratamiento sin fertilización foliar en este estudio.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 6. Efecto de las dosis en el peso del fruto.

El análisis de Pearson (Cuadro A-14) reveló una correlación lineal positiva entre el peso del fruto con las variables altura de la planta ( $r = 0.60$ ), altura diferencial ( $r = 0.61$ ) y número de frutos por planta ( $r = 0.72$ ). Este último resultado coincide con los reportados por Rodríguez *et al.* (2019), quienes también observaron un mayor peso del fruto a medida que aumentaba el número de frutos. Aunque generalmente se espera una compensación entre la cantidad de frutos y su peso promedio, en su estudio ambas variedades presentaron un incremento en el peso del fruto desde el primer hasta el tercer corte.

#### 4.2.3. Diámetro del fruto

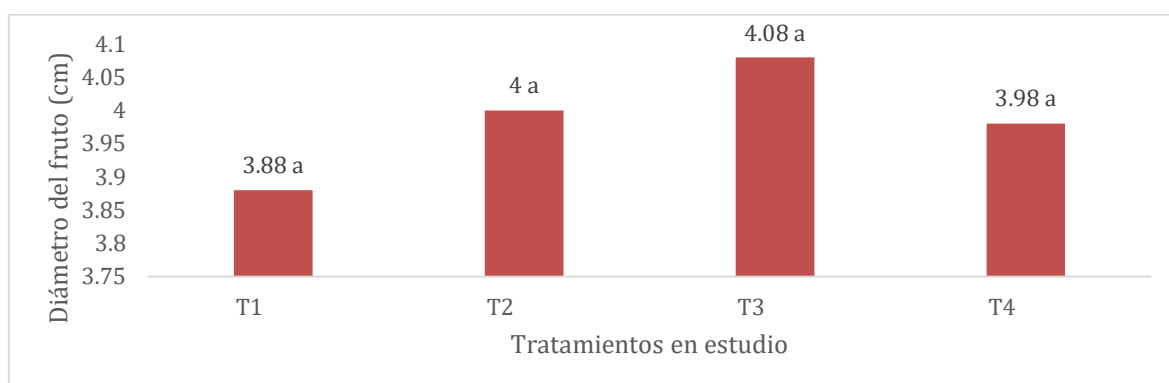
El diámetro promedio de los frutos mostró diferencias entre los tratamientos evaluados (Cuadro A-27), sin embargo, el análisis de varianza (ANVA) indicó que las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas, con un valor  $p$  de 0.06, superior al nivel de significancia establecido de 0.05 (Cuadro A-28). Esto evidencia que las dosis de fertilizantes foliares evaluadas generan efectos similares en el diámetro del fruto, aunque se observa una ligera tendencia hacia un mayor tamaño con la aplicación del fertilizante foliar.

El tratamiento tres, correspondiente a una dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, obtuvo el mayor promedio, alcanzando un valor de 4.08 cm. Este fue seguido por el tratamiento dos (dosis de  $5 \text{ ml.L}^{-1}$ ), con un promedio de 4 cm, y el tratamiento cuatro (dosis de  $10 \text{ ml.L}^{-1}$ ),

que registró un promedio de 3.98 cm. Por otro lado, el tratamiento uno, sin aplicación de fertilizante foliar, presentó el menor diámetro promedio, con 3.88 cm (Figura 7).

En el estudio de Hernández *et al.* (citado por Cortez 2023) se reportó diámetros promedio de 5.26 y 5.46 cm por fruto en variedades de crecimiento semideterminado. En contraste, los resultados obtenidos en esta investigación con la variedad Sébaco, también de crecimiento semideterminado, fueron significativamente más bajos, con un promedio de 3.88 cm a 4.08 cm.

Esta diferencia podría atribuirse a varios factores, como las condiciones específicas del cultivo, manejo agronómico, y características genéticas únicas de cada variedad. A pesar de las diferencias, el uso de fertilizante foliar demostró ser más eficaz en mejorar el diámetro del fruto en las condiciones específicas de esta investigación.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 7. Efecto de las dosis en el diámetro del fruto.

El análisis de Pearson (Cuadro A-14) reveló que el diámetro del fruto presentó una correlación positiva significativa con las variables peso del fruto ( $r = 0.96$ ), altura de la planta ( $r = 0.58$ ), altura diferencial ( $r = 0.59$ ) y número de frutos por planta ( $r = 0.63$ ).

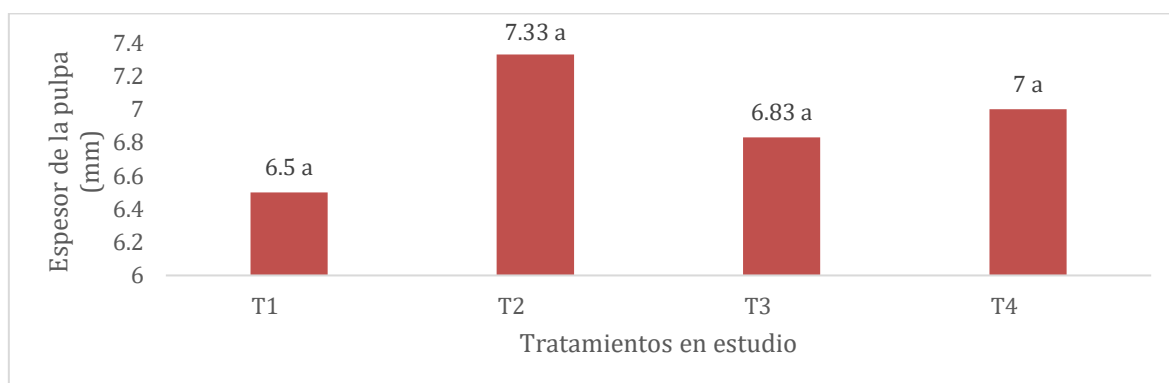
#### 4.2.4. Espesor de la pulpa

Al aplicar el análisis de varianza (ANVA) se demostró que las diferencias observadas entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas, con un valor  $p$  de 0.42, superior al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-30). Esto indica que las dosis de fertilizantes foliares en estudio no generaron un efecto significativo sobre el espesor de la pulpa.

El comportamiento del espesor de la pulpa varió ligeramente entre los tratamientos evaluados (Cuadro A-29). El mayor promedio se registró en el tratamiento dos, correspondiente a una dosis de 5 ml.L<sup>-1</sup> de fertilizante foliar, con un valor de 7.33 mm. Le siguió el tratamiento cuatro (dosis de 10 ml.L<sup>-1</sup>), con un promedio de 7 mm, y el tratamiento tres (dosis de 7.5 ml.L<sup>-1</sup>), que alcanzó 6.83 mm. Por su parte, el tratamiento uno, sin aplicación de fertilizante foliar, presentó el menor espesor, con un promedio de 6.5 mm (Figura 8).

Rodríguez *et al.* (2009) evaluaron el espesor del pericarpio del fruto en cultivares de tomate Romina y Granitio, no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización aplicados. La media general reportada fue de 0.8 cm de espesor, lo cual sugiere que la fertilización no tuvo un impacto relevante en esta variable para dichos cultivares.

En otro estudio realizado por Álvarez (2021) con tomate variedad Rio Grande, el espesor de la pulpa mostró diferencias altamente significativas en función del riego, fertilidad y genotipo, reportando una media de 0.62 cm de espesor.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 8. Efecto de las dosis en el espesor de la pulpa.

#### 4.2.5. Número de lóculos por fruto

En el análisis de la variable número de lóculos por fruto, se observó que todos los tratamientos evaluados presentaron un valor constante de tres lóculos por fruto. Este resultado es atribuible a las características morfológicas propias de la variedad Sébaco, que tiende a mantener una estructura estable en cuanto al número de lóculos, independientemente de las dosis de fertilizante foliar calcio-boro aplicadas.

De manera similar, Hernández *et al.* (2021) reportaron un promedio de 3.2 lóculos por fruto en la misma variedad, lo que evidencia la consistencia de esta característica.

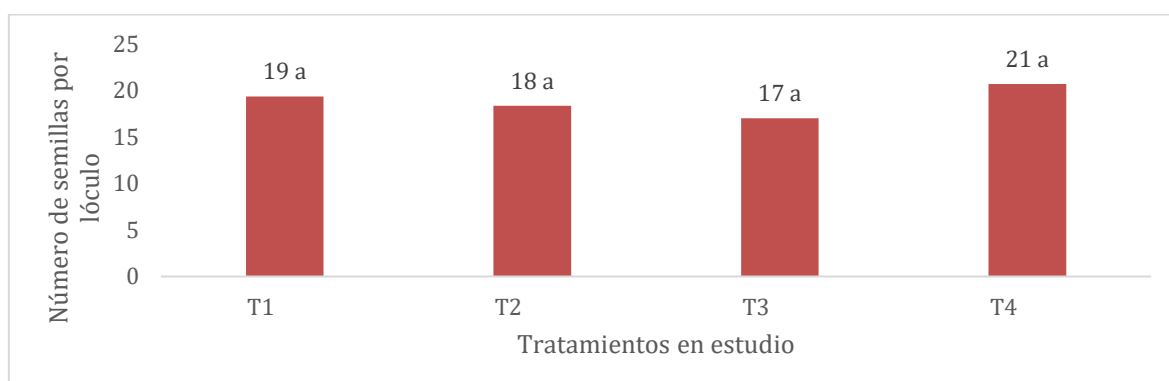
#### 4.2.6. Número de semillas por lóculo

El análisis de varianza (ANVA) indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, ya que el valor  $p$  fue de 0.77, superior al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-24). Esto sugiere que las dosis de fertilizantes foliares evaluadas tuvieron efectos similares en el número de semillas por lóculo.

Al evaluar el número de semillas por lóculo (Cuadro A-23), se encontró que el tratamiento cuatro, correspondiente a una dosis de  $10 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, presentó el mayor promedio, con 21 semillas por lóculo. Este fue seguido por el tratamiento uno, sin dosis de fertilizante foliar, con un promedio de 19 semillas. El tratamiento dos (dosis de  $5 \text{ ml.L}^{-1}$ ) tuvo un promedio de 18 semillas por lóculo, mientras que el tratamiento tres (dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$ ) mostró el menor promedio, con 17 semillas por lóculo (Figura 9).

En el estudio de Hernández *et al.* citado por Cortez (2023), se obtuvieron en promedio 36 y 37 semillas por lóculo en las variedades Carucha y Domi. Estos valores son significativamente mayores que los obtenidos en esta investigación con la variedad Sébaco, que varió entre 17 y 21 semillas por lóculo.

Esta discrepancia podría atribuirse a diferencias en las condiciones de cultivo, prácticas agronómicas y las características genéticas únicas de cada variedad. A pesar de las diferencias en los valores, el uso de fertilizante foliar mostró un impacto positivo, teniendo el mayor promedio en el número de semillas por lóculo.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 9. Efecto de las dosis en el número de semillas por lóculo.

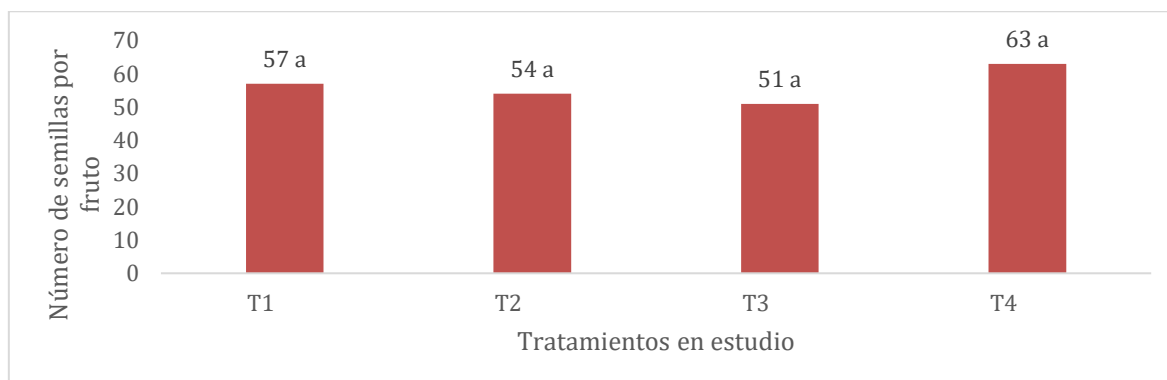
Además, en el análisis de Pearson (Cuadro A-14) se detectó una relación lineal negativa con las variables diámetro del tallo ( $r = -0.42$ ) y diámetro diferencial del tallo ( $r = -0.45$ ).

#### 4.2.7. Total de semillas por fruto

El análisis de varianza (ANVA) mostró que las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas, con un valor  $p$  de 0.48, superior al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-26). Esto sugiere que las dosis de fertilizantes foliares evaluadas no producen efectos significativamente diferentes en el total de semillas por fruto, indicando una respuesta similar entre los tratamientos.

Al evaluar el total de semillas por fruto (Cuadro A-25), se obtuvo que el tratamiento cuatro (dosis de  $10 \text{ ml.L}^{-1}$ ) presentó el mayor número de semillas por fruto con un valor promedio de 63 semillas. Le siguió el tratamiento uno, sin aplicación de fertilizante foliar, con un valor promedio de 57 semillas, y el tratamiento dos (dosis de  $5 \text{ ml.L}^{-1}$ ) con un promedio de 54 semillas. Por último, el tratamiento tres (dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$ ) presentó el menor promedio, con 51 semillas por fruto (Figura 10).

En comparación con el estudio de Hernández *et al.*, citado por Cortez (2023), donde se reportaron promedios de 140 y 115 semillas por fruto en dos variedades de tomate de crecimiento semideterminado, los resultados obtenidos en esta investigación fueron considerablemente más bajos. Este contraste podría atribuirse a diferencias en las condiciones experimentales, como el tipo de fertilización utilizada y la variedad de tomate empleada.



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 10. Efecto de las dosis en el total de semillas por fruto.

El análisis de Pearson (Cuadro A-14) mostró que el número total de semillas por fruto presentó una relación positiva alta con el número de semillas por lóculo ( $r = 0.83$ ). Por el contrario, se correlacionó negativamente con las variables diámetro del tallo ( $r = -0.42$ ), diámetro diferencial del tallo ( $r = -0.41$ ) y sólidos solubles en el fruto maduro ( $r = -0.52$ ).

#### 4.2.8. Número de semillas por gramo

El tratamiento tres, correspondiente a una dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, presentó el mayor total, con 387 semillas por gramo. Este fue seguido por el tratamiento dos ( $5 \text{ ml.L}^{-1}$ ), con 380 semillas, y el tratamiento uno, sin aplicación de fertilizante foliar, que mostró un valor de 376 semillas por gramo. El tratamiento cuatro, con dosis de  $10 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, presentó el menor número de semillas por gramo, con 371 semillas (Figura 11).

Estos valores superaron al reportado por Hernández *et al.* (2021) para la variedad Sébaco, que fue de 366 semillas. Este incremento sugiere que la aplicación de fertilizante foliar pudo haber influido positivamente en el número de semillas por gramo.

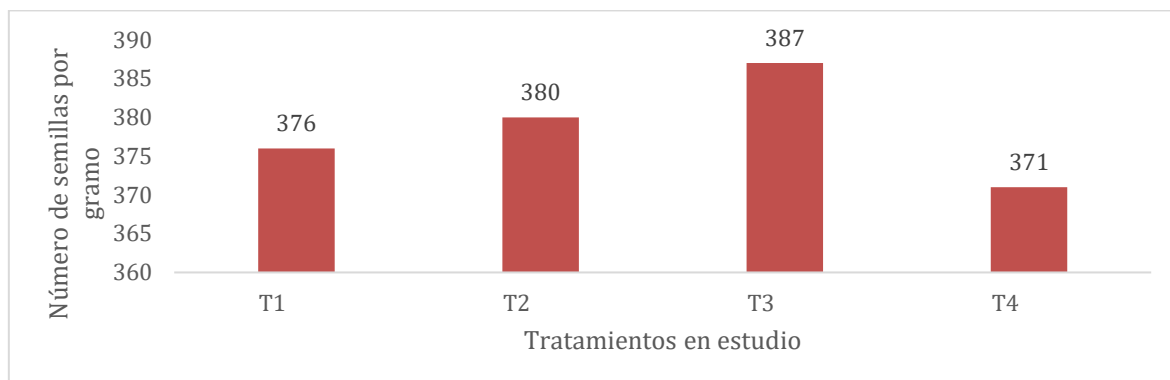


Figura 11. Efecto de las dosis en el número de semillas por gramo.

#### 4.2.9. Rendimiento de semillas

El rendimiento de semillas en el cultivo de tomate está directamente relacionado con el peso del fruto y el peso de las semillas (Cuadro 8).

En el cálculo del rendimiento de semillas, el tratamiento tres obtuvo el mayor promedio con 158 semillas y 0.41 gramos de semillas por fruto. Le siguió el tratamiento dos con 142 semillas y 0.37 gramos de semillas por fruto. En tercer lugar, se ubicó el tratamiento cuatro con 137 semillas y 0.37 gramos de semillas por fruto. Finalmente, el tratamiento uno mostró el menor rendimiento, con 132 semillas y 0.35 gramos por fruto.

Los valores obtenidos fueron menores a los reportados por Rodríguez *et al.* (2019), quienes registraron una producción de semillas de 0.60 y 0.62 gramos por fruto en variedades de cáscara. Esta diferencia puede atribuirse al tipo de uso de tomates, cuyos frutos son más pequeños en comparación con variedades de cocina como el Sébaco. Además, según Rashid y Singh, citado por Vásquez (2021), el rendimiento de semillas está relacionado con el número de frutos por planta, el rendimiento y el número de semillas por fruto, lo que indica que no depende de un solo carácter, sino de la combinación de varios factores.

Cuadro 8. Rendimiento de semillas.

Tratamiento	Peso del fruto	x0.01	Semillas por gramo	Semillas por fruto	
				Unidad	Gramos
T1	34.98	0.3498	376	132	0.35
T2	37.4	0.374	380	142	0.37
T3	40.78	0.4078	387	158	0.41
T4	36.88	0.3688	371	137	0.37

#### 4.2.10. Porcentaje de germinación

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{Total de semillas germinadas}}{\text{Total de semillas puestas a germinar}} \times 100$$

$$\% \text{ de germinación} = \frac{94}{100} \times 100$$

$$\% \text{ de germinación} = 94\%$$

El porcentaje general de germinación alcanzó el 94%, considerado excelente según los criterios de Pérez (2022) establecidos en la guía para la valoración de pruebas de germinación (Cuadro A-3). Este alto porcentaje puede atribuirse, en parte, a la eliminación del mucílago durante la preparación de las semillas, lo cual reduce la concentración de ácido abscísico (ABA), una hormona inhibidora de la germinación presente en esa capa externa. Al disminuir los niveles de ABA, se favorece el inicio del proceso germinativo.

Resultados similares fueron reportados por Hernández *et al.* (2021), quienes obtuvieron un 92% de germinación en la variedad Sébaco, superando el 90% mínimo para clasificarla como semilla de calidad.

### 4.3. Características organolépticas

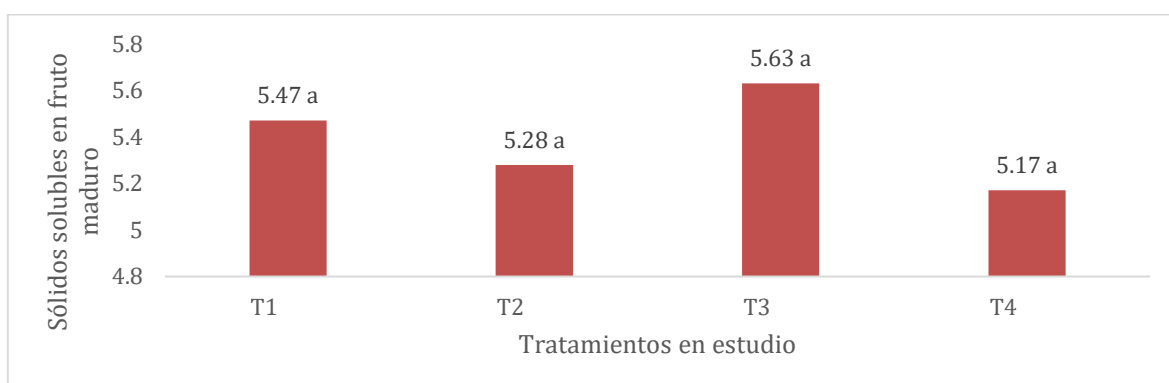
#### 4.3.1. Sólidos solubles en fruto maduro

El análisis de varianza (ANVA) indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con un valor  $p$  de 0.58, mayor al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-32). Esto sugiere que, aunque las dosis de fertilizante foliar mostraron ciertas variaciones en los valores de grados Brix, los efectos no fueron lo suficientemente marcados como para ser considerados significativamente diferentes.

Al evaluar los sólidos solubles en fruto maduro (Cuadro A-31), se observó que el tratamiento tres, con una dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar, presentó el mayor valor de grados Brix, con  $5.63^\circ$ . Este tratamiento fue seguido por el tratamiento uno, que alcanzó  $5.47^\circ$  Brix, y el tratamiento dos, con  $5.28^\circ$  Brix. Por último, el tratamiento cuatro presentó el menor valor de sólidos solubles, con  $5.17^\circ$  Brix (Figura 12). Estos resultados superan los  $4^\circ$  Brix reportados en la guía técnica de la variedad (Larín *et al.* 2017).

El papel del boro en el transporte de azúcares dentro de las plantas podría explicar el incremento de sólidos solubles observado en este estudio, especialmente en el tratamiento con  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar. De manera consistente, Roca (2024) también reportó un mayor contenido de sólidos solubles en frutos de tomate cherry al aplicar dosis foliares máximas de biosílice, boro y zinc.

El efecto positivo del boro en el contenido de sólidos solubles también fue observado por De Paz (2016), quien destacó que la introducción de este micronutriente en la fórmula nutricional del cultivo de tomate contribuye a un mayor contenido de sólidos totales.



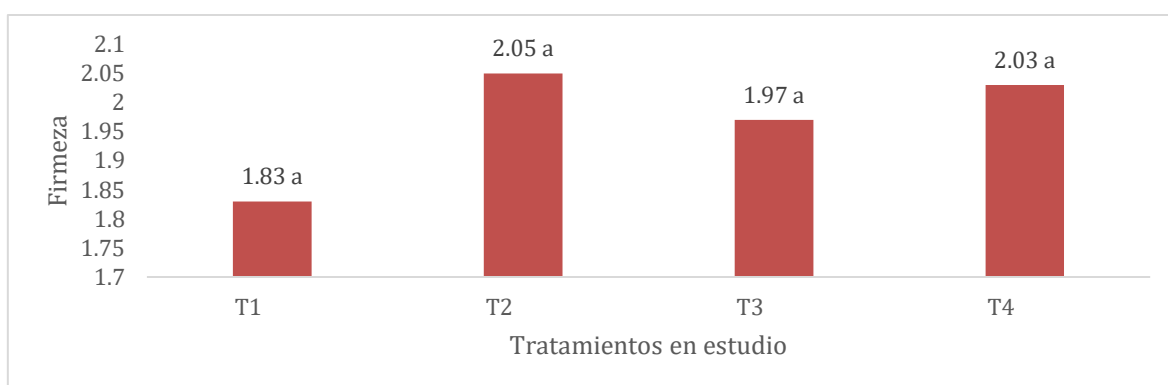
Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 12. Efecto de las dosis en los sólidos solubles.

### 4.3.2. Firmeza

El análisis de varianza (ANVA) reveló que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con un valor p de 0.67, superior al nivel de significancia de 0.05 (Cuadro A-34). Esto indica que las dosis de fertilizantes foliares no producen efectos significativamente distintos en la firmeza de los frutos.

Al evaluar la firmeza (Cuadro A-33), se observó que el tratamiento dos, con una dosis de 5 ml.L<sup>-1</sup> de fertilizante foliar, presentó el mayor valor de firmeza, con 2.05 kg.cm<sup>2</sup>. Este fue seguido por el tratamiento cuatro (dosis de 10 ml.L<sup>-1</sup>), con un valor de 2.03 kg.cm<sup>2</sup>. El tratamiento tres (dosis de 7.5 ml.L<sup>-1</sup>) mostró una firmeza de 1.97 kg.cm<sup>2</sup>, mientras que el tratamiento testigo, presentó la menor firmeza, con 1.83 kg.cm<sup>2</sup> (Figura 13).



Barras con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Figura 13. Efecto de las dosis en la firmeza.

Además, se asignó una escala cualitativa de firmeza para describir los valores, basada en los rangos propuestos por Domene y Rodríguez (2014) (Cuadro 9). En general, los frutos evaluados presentaron firmeza adecuada, con el tratamiento dos destacando como el más firme, clasificado como muy firme. Aunque no hubo diferencias significativas, el tratamiento testigo mostró el menor valor. Esta ligera variación puede influir en la resistencia del fruto al deterioro postcosecha. En términos prácticos, una mayor firmeza puede asociarse con una vida de anaquel más prolongada.

Cuadro 9. Clasificación de la firmeza del fruto según tratamiento.

Tratamiento	Firmeza (kgf)	Firmeza (N)	Escala de firmeza
T1	1.83	17.93	Firme
T2	2.05	20.09	Muy firme

T3	1.97	19.31	Firme
T4	2.03	19.89	Firme

En comparación, Hernández *et al.* (2021) reportaron una firmeza de 2.18 kg.cm<sup>2</sup> en la variedad Sébaco, un valor superior a los obtenidos en este estudio.

Por otro lado, en el estudio de Villarreal *et al.* (2002) tampoco encontraron una relación directa entre la dosis de calcio y la firmeza del fruto, a pesar de que este nutriente es clave para mejorar la calidad postcosecha al proporcionar mayor rigidez a la pared celular. Su estudio señala que una alta concentración de N-NH<sup>4</sup> afectó negativamente la firmeza, debido al antagonismo del ion NH<sup>4+</sup> sobre la absorción de Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>. Sin embargo, condiciones inadecuadas de riego durante la floración pudieron haber influido en la respuesta de la firmeza del fruto.

## 5. Conclusiones

La formulación del programa nutricional en función de cada etapa fenológica permitió un manejo óptimo del cultivo. Al considerar los requerimientos del tomate y su curva de absorción de nutrientes, se logró una nutrición que cubrió las necesidades fisiológicas durante las etapas de desarrollo vegetativo, floración, fructificación y cosecha.

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, se identificó una tendencia en la que la dosis de  $7.5 \text{ ml.L}^{-1}$  de fertilizante foliar calcio-boro favoreció un mayor número de semillas por gramo y un mayor rendimiento total de semillas.

Bajo condiciones ambientales protegidas, se determinó que el crecimiento más acelerado en el cultivo se obtuvo en la etapa de floración con valor de 3.26 cm por día.

La prueba de germinación de la semilla obtenida en la investigación reflejó un 94% de germinación bajo condiciones ambientales, lo que indica su alta viabilidad y calidad. Este resultado sugiere que el manejo nutricional favoreció el desarrollo adecuado de las semillas, asegurando su potencial para la producción.

## **6. Recomendaciones**

Formular soluciones nutritivas de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo, ajustando las concentraciones de nutrientes según las necesidades fisiológicas.

La gestión del riego debe ajustarse según las necesidades de cada etapa fenológica, regulando el caudal, duración y frecuencia de las aplicaciones. De este modo, se asegura una mayor disponibilidad de calcio y otros nutrimentos esenciales.

Se deja a criterio del productor o investigador la aplicación foliar de calcio-boro para la producción de semilla artesanal de tomate, considerando que en este estudio no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

## 7. Bibliografía

Agroesa. 2021. Calcio boro (en línea, sitio web). Consultado 16 may. 2024. Disponible en <https://agroesa.com/soluciones/calcio-boro/>.

Alegría Muñoz, W. 2016. Texto básico para profesional en Ingeniería Forestal: en el área de fisiología vegetal. Loreto, Perú, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 211 p.

Alfonzo, M. 2015. Evaluación del comportamiento ecofisiológico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. Alba) en un ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub> (en línea). Tesis Ing. Maracay, Venezuela, Universidad Central de Venezuela. Consultado 12 dic. 2024. Disponible en <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20891/1/TESIS%20MIGUEL%20ALFONZO%20COMPLETA.pdf>.

Allende, M. 2017. Manual de cultivo del tomate al aire libre (en línea). Santiago, Chile, INIA. 93 p. Consultado 4 abr. 2024. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6707/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20376?sequence=1&isAllowed=y>.

Álvarez Avilés, H. 2021. Evaluar el rendimiento y calidad de tomate orgánico con dos sistemas de riego en campo (en línea). Tesis Ing. Coahuila, México, Universidad Autónoma Agraria. 39 p. Consultado 16 feb. 2025. Disponible en [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/48196/HUBER%20ALVAREZ%20AVILES\\_locked%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/48196/HUBER%20ALVAREZ%20AVILES_locked%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Andalhuerto. 2024. Guía para extracción y conservación de semillas de tomate (en línea, sitio web). Sevilla, España. Consultado 18 jun. 2025. Disponible en <https://www.andalhuerto.es/guia-para-extraccion-y-conservacion-de-semillas-de-tomate/#:~:text=Las%20semillas%20de%20tomate%20est%C3%A1n%20rodeadas%20por,gelatinosa%20que%20tiene%20varias%20funciones%20y%20caracter%C3%ADsticas.>

Antunez, A; Felmer, S; Mora, D. 2009. Eficiencia de riego en sistemas localizados (en línea). Boletín INIA. Santiago, Chile. N° 190. Consultado 14 oct. 2024. Disponible en

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/09ded7c4-962e-4bfe-b9e4-7b396acb964b/content>.

Baixauli Soria, C; Aguilar Olivert, JM. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencia (en línea). Valencia, España, Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación. p. 25-26. Consultado 30 abr. 2024. Disponible en <https://ivia.gva.es/documents/161862582/161863558/Cultivo+sin+suelo+de+hortalizas>

Bascomex. 2023. ¿Cómo funciona un sistema de riego? (en línea). Consultado 16 oct. 2024. Disponible en <https://bascomex.com/blogs/news/como-funciona-un-sistema-de-riego>.

Basterrechea, M. 2017. Cómo hacer nutrientes hidropónicos II: cálculos (en línea). Consultado 14 oct. 2024. Disponible en <https://www.hidroponiacasera.net/nutrientes-hidroponicos-calculos/>.

Beltrano, J; Giménez, DO; Ruscitti, MF; Carbone, AV; Andreau, R; Vasicek, AL; Ronco, BL; Martínez, SB; Garbi, M. 2015. Cultivo en hidroponía. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de La Plata. 181 p.

Calderón Sáenz, F; Cevallos, F. 2001. Los sustratos (en línea). Consultado 20 abr. 2024. Bogotá, Colombia. Disponible en [http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Curso\\_Hidroponia/Sustratos/Los\\_Sustratos.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Curso_Hidroponia/Sustratos/Los_Sustratos.htm).

Castañares, JL. 2020. ABC de la hidroponía (en línea). Buenos Aires, Argentina, INTA. p. 1-5. Consultado 22 mar. 2024. Disponible en [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8023/INTA\\_DireccionNacional\\_EEAAMBA\\_Casta%C3%B1ares\\_JL\\_ABC\\_de\\_la\\_hidroponia.pdf?sequence=1](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8023/INTA_DireccionNacional_EEAAMBA_Casta%C3%B1ares_JL_ABC_de_la_hidroponia.pdf?sequence=1).

Castillo Ferrer, J; Fornaris Sánchez, AA; Echevarría Hurtado, J. 2022. Efecto de cuatro fertilizantes foliares sobre el rendimiento y calidad del tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) (en línea). Songo La Maya, Cuba, Centro Universitario Municipal. Consultado 15 dic. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/1813/181373019009/html/>.

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate (en línea). Turrialba, Costa Rica. p. 14. Consultado 30 abr. 2024. Disponible en [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2264/Guia\\_para\\_el\\_manejo\\_tomate.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2264/Guia_para_el_manejo_tomate.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Cortez Alvarado, SA. 2023. Efecto de dos tipos de podas de formación en el rendimiento y calidad de los frutos en cinco variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en hidroponía bajo condiciones de invernadero (en línea). Tesis Ing. San Salvador, El Salvador, UES. 108 p.
- Costa, P. 2009. Problemas fisiológicos frecuentes en tomates (en línea). Consultado 10 nov. 2024. Disponible en <https://www.hortalizas.com/miscelaneos/problemas-fisiologicos-frecuentes-en-tomates/?amp>.
- De Paz Zarza, LA. 2016. Evaluación del boro añadido a dos fórmulas Comerciales en el cultivo de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa*), en Santa María Pipioltepec (en línea). Tesis Ing. Temascaltepec, México, UAEM. p. 74. Consultado 14 feb. 2025. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65183/TESIS.%20LUIS%20ALBERTO-split-merge.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Domene Ruíz, MA; Rodríguez, MS. 2014. Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria (en línea). Consultado 18 jun. 2025. Disponible en <https://www.cajamar.es/storage/documents/1059/003-calidad-externa-1401191044.pdf>.
- Escobar, H; Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero (en línea). 2 ed. Bogotá, Colombia, Universidad de Bogotá. p. 14. Consultado 5 abr. 2024. Disponible en [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/wysiwyg/pub\\_29\\_-\\_manual\\_produccion\\_de\\_tomate.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/wysiwyg/pub_29_-_manual_produccion_de_tomate.pdf).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2023. Estadísticas de producción agrícola 2000–2022 (en línea). Consultado 20 oct. 2024. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fba4ef43-422c-4d73-886e-3016ff47df52/content>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2014. Semillas (en línea). Consultado 27 jun. 2024. Disponible en <https://www.fao.org/seeds/es/>.

Fernández Navarro, MA. 2013. Efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes (en línea). Cartagena, Colombia, Universidad Politécnica de Cartagena. p. 10-12. Consultado 15 may. 2024. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/60425674.pdf>

FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, El Salvador). 2009. Cultivo de tomate: guía técnica (en línea). San Salvador, El Salvador. 44 p. Consultado 8 mar. 2024. Disponible en [https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2020/02/guia\\_tomate\\_organico.pdf](https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2020/02/guia_tomate_organico.pdf).

Gaviola, JC. 2020. Producción de semillas hortícolas (en línea). Buenos Aires, Argentina, INTA. 98 p. Consultado 8 mar. 2024. Disponible en <https://www.uv.mx/hab/files/2021/12/produccion-de-semillas-horticolas.pdf>.

González García, JL; Rodríguez Mendoza, M; Sánchez García, P; Gaytán Acuña, EA. 2009. Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía (en línea). Montecillo, México, INIFAP. p. 6. Consultado 29 abr. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/608/60835101.pdf>.

Haifa. 2014. Recomendaciones nutricionales para tomate (en línea). p. 2. Consultado 30 abr. 2024. Disponible en [https://www.haifa-group.com/files/Languages/Spanish/Tomate\\_2014.pdf](https://www.haifa-group.com/files/Languages/Spanish/Tomate_2014.pdf).

Hernández León, CE; Rodríguez Salguero, PO; Rodríguez Sibrián, FM. 2021. Caracterización morfoagronómica de cinco variedades mutantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivadas mediante la técnica de hidroponía bajo condiciones de invernadero (en línea). Tesis Ing. San Salvador, El Salvador, UES. 102 p. Consultado 7 feb. 2025. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/23015/1/13101734.pdf>.

Hirzel, J. 2009. Principios básicos de fertirrigación (en línea). Boletín INIA. Santiago, Chile. N° 190. Consultado 14 oct. 2024. Disponible en

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1f4a642d-81b2-4451-b7ba-d8ec8a1b9478/content>.

Infoagro Systems S.L. 2016. El cultivo de tomate: Parte I. (en línea, sitio web). Madrid, España. s.p. Consultado 2 abr. 2024. Disponible en [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_tomate\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp).

Intagri. 2017. La Hidroponía: cultivos sin suelo (en línea). México. 5 p. Consultado 18 abr. 2024. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>.

Jaramillo Noreña, JE; Rodríguez, VP; Aguilar Aguilar, PA. 2012. Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas (en línea). Bogotá, Colombia, CORPOICA. p. 142, 153. Consultado 5 abr. 2024. Disponible en [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13320/Ver\\_Documento\\_13320.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13320/Ver_Documento_13320.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

Jaramillo, J; Rodríguez, VP; Guzmán, M; Zapata, M; Rengifo Martínez, T. 2007. Manual técnico: buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas (en línea). Medellín, Colombia, FAO. 331 p. Consultado 4 abr. 2024. Disponible en <https://www.fao.org/3/a1374s/a1374s.pdf>.

Juárez Maldonado, A; Alba Romenus, K; Zermeño González, A; Ramírez, H; Benavides Mendoza, A. 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(5):943-954. Consultado 11 dic. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263139893003.pdf>.

Kermode, AR. 2005. Papel del ácido abscísico en la latencia de las semillas (en línea). Revista de regulación del crecimiento vegetal 24:319-344. Consultado 18 jun. 2025. Disponible en [https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-005-0110-2#:~:text=El%20%C3%A1cido%20absc%C3%ADsico%20\(ABA\)%2C,desarrollos%20recientes%20en%20estas%20%C3%A1reas](https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-005-0110-2#:~:text=El%20%C3%A1cido%20absc%C3%ADsico%20(ABA)%2C,desarrollos%20recientes%20en%20estas%20%C3%A1reas).

Koppert. 2019. Una mirada a las cuatro plagas más importantes en el tomate (en línea, sitio web). Consultado 22 oct. 2024. Disponible en <https://www.koppert.mx/noticias-item/una-mirada-a-las-cuatro-plagas-mas-importantes-en-el-tomate/>.

- Korob, S. 2018. Resumen nutricional del tomate (en línea, sitio web). Florida, Estados Unidos de América. Consultado 7 feb. 2025. Disponible en <https://www.yara.us/crop-nutrition/tomato/nutritional-summary/>.
- Larín, MA; Díaz Arévalo, LA; Rivas Rivera, FE. 2017. CENTA Cuscatlán CC: variedad de tomate de polinización libre con tolerancia al complejo de *Begomovirus* (en línea). La Libertad, El Salvador, CENTA. p. 3-5. Consultado 12 mar. 2024. Disponible en <https://centa.gob.sv/download/boletin-tecnico-cultivo-de-tomate-centa-cuscatlan/>.
- Larín, MA; Díaz, LA; Flor de Serrano, R. 2018. Cultivo de tomate (en línea). La Libertad, El Salvador, CENTA. 47 p. Consultado 3 abr. 2024. Disponible en <https://centa.gob.sv/download/guia-tecnica-del-cultivo-de-tomate/>.
- López Marín, LM. 2017. Manual técnico del cultivo de tomate (en línea). San José, Costa Rica, INTA. p. 20. Consultado 4 abr. 2024. Disponible en <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 2007. Agrocadena de tomate (en línea). Alajuela, Costa Rica. p. 5. Consultado 4 abr. 2024. Disponible en <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9892.pdf>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2023. Anuario de estadísticas agropecuarias (en línea). Santa Tecla, El Salvador. 76 p. Consultado 14 mar. 2024. Disponible en <https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2024/02/1-Anuario-de-Estadi%CC%81sticas-Agropecuarias-2022-2023-final-1.pdf>.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España). 2011. Tomate (en línea). Consultado 29 mar. 2024. p. 212. Disponible en [https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/tomate\\_tcm30-102712.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/tomate_tcm30-102712.pdf).
- Martínez Martínez, A. 2002. Efecto de la relación amonio/nitrato en el desarrollo del aguacate (*Persea americana* Mill.) Hass en hidroponía (en línea). Tesis MSc. Texcoco, México, Colpos. p. 22. Consultado 30 abr. 2024. Disponible en [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4925/Martinez\\_Martinez\\_A\\_MC\\_Edafologia\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4925/Martinez_Martinez_A_MC_Edafologia_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- Molina, E. 2016. Fertilización de tomate (en línea). San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 51 p. Consultado 1 abr. 2024. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/sites/default/files/2021-09/07%20FERTILIZACION%20TOMATE%202016.pdf>.
- Mordor Intelligence. 2022. Tamaño del mercado de semillas vegetales y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos 2024-2030 (en línea, sitio web). Consultado 27 jun. 2024. Disponible en <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/vegetable-seed-market>.
- Novagric. 2019. Riego hidropónico (en línea, sitio web). Consultado 12 abr. 2024. Disponible en <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-hidroponico#:~:text=Sistemas%20hidrop%C3%B3nicos%20en%20sustrato,de%20coco%20y%20la%20turba>.
- Oddone, N; Salido Marcos, J; Santamaría González, J; Reynoso, MM. 2016. Fortalecimiento de la cadena de valor de tomate y chile verde dulce en El Salvador (en línea). México, CEPAL. p. 19. Consultado 17 abr. 2024. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/7e834eab-c828-487b-8608-01d57ec9681a/content>.
- Pérez Ascencio, MA. 2018. Principios básicos de olericultura. San Salvador, El Salvador, UES. 363 p.
- Pérez Ascencio, MA. 2022. Extracción de semilla de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. San Salvador, El Salvador, UES. 3 p.
- Resh, HM. 2002. Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción (en línea). 5 ed. California, Estados Unidos de América, Mundi-Prensa. Consultado 1 abr. 2024. Disponible en <https://www.scribd.com/document/427473674/Cultivos-Hidroponicos-Resh-HM-Libro-en-espanol-pdf>.
- Roca Molina, GA. 2024. Niveles de biosíllice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. Cerasiforme (en línea). Tesis Ing. Ayacucho, Perú, Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga. p. 43. Consultado 13 feb. 2025. Disponible en

<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9d57ab08-9596-4c53-8a75-c58841b9aeae/content>.

Rodríguez Dimas, N; Cano Ríos, P; Figueroa Viramontes, U; Favela Chávez, E; Moreno Reséndez, A; Márquez Hernández, C; Ochoa Martínez, E; Preciado Rangel, P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero (en línea). *Terra Latinoamericana* 27(4). Consultado 16 feb. 2025. Disponible en [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000400006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000400006&script=sci_arttext).

Rodríguez Guzmán, E; Arellano Rodríguez, LJ; De Luna Vega, A; Arriaga Ruíz, MC. 2019. Producción de semilla de tomate de cáscara en hidroponía (en línea). *Revista de Ingeniería Tecnológica*. p. 19-24. Consultado 8 feb. 2025. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/343912223\\_Produccion\\_de\\_semilla\\_de\\_tomate\\_de\\_cascara\\_en\\_hidroponia](https://www.researchgate.net/publication/343912223_Produccion_de_semilla_de_tomate_de_cascara_en_hidroponia).

Santos Pereira, L; Valero, JA; Picornell Buendía, MR; Tarjuelo, JM. 2010. El riego y sus tecnologías (en línea). Albacete, España, Centro Regional de Estudios del Agua. p 231. Consultado 19 oct. 2024. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/272171215\\_El\\_riego\\_y\\_sus\\_tecnologias](https://www.researchgate.net/publication/272171215_El_riego_y_sus_tecnologias).

Santos Coello, B; Ríos Mesa, D. 2016. Cálculo de soluciones nutritivas: en suelo y sin suelo (en línea). Santa Cruz de Tenerife, España, Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. p 20, 23. Consultado 19 abr. 2024. Disponible en [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro\\_622\\_soluciones\\_nutritivas.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf).

SMEAP (Sociedad Mexicana de Especialistas en Agricultura Protegida). 2024. Fenología Aplicada en el Cultivo de Tomate (en línea, sitio web). Consultado 19 abr. 2024. Disponible en <https://smeapmexico.org/fenologia-aplicada-en-el-cultivo-de-tomate/>.

SQM (Sociedad Química y Minera de Chile). 2010. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad: tomate (en línea). Santiago de Chile, Chile. 15 p. Consultado 7 feb. 2025. Disponible en <https://agridevenezuela.com.ve/site/wp-content/uploads/2016/06/REQUERIMIENTO-NUTRICIONAL-DEL-TOMATE-SQM.pdf>.

- Syngenta. 2020. Principales enfermedades en tomate (en línea, sitio web). Consultado 19 abr. 2024. Disponible en <https://www.syngenta.es/blog/principales-enfermedades-en-tomate>.
- Tavares de Melo, PC; Ribeiro, A. 1990. Produção de sementes de tomate: cultivares de polinização libre e híbridos. Sao Pablo, Brasil, UNESP. p. 193-223.
- Valencia, M. 2024. Tipos y ejemplos de sustratos para hidroponía en México (en línea, sitio web). Tlalnepantla, México. Consultado 30 abr. 2024. Disponible en [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=32](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=32).
- Van der Ploeg, A; Heuvelink, E. 2005. Influencia de la temperatura subóptima en el crecimiento y rendimiento del tomate: una revisión (en línea). Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 80(6):652-659. Consultado 5 may. 2025. Disponible en <https://research.wur.nl/en/publications/influence-of-sub-optimal-temperature-on-tomato-growth-and-yield-a>.
- Vásquez López, D. 2021. Rendimiento y calidad de semilla de tomates nativos (en línea). Texcoco, México, Colegio de Postgraduados. Consultado 8 feb. 2025. Disponible en [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4672/Vazquez\\_Lopez\\_D\\_MC\\_Fisiologia\\_Vegetal\\_2021.pdf;jsessionid=98BBECD6D4A725E41C57E88980538A3B?sequence=1](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4672/Vazquez_Lopez_D_MC_Fisiologia_Vegetal_2021.pdf;jsessionid=98BBECD6D4A725E41C57E88980538A3B?sequence=1).
- Villarreal Romero, M; García Estrada, RS; Osuna Enciso, T; Armenta Bojorquez, AD. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego (en línea). Chapingo, México. Terra Latinoamericana 20(3):311-320. Consultado 10 feb. 2025. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320310.pdf>.
- Zapata Chicaiza, AC. 2014. Evaluación de tres sistemas de tutorado con la aplicación de dos fertilizantes foliares a base de Ca y B, para disminuir el aborto de flores y frutos en el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en Isinche-pujili, Cotopaxi (en línea). Tesis Ing. Latacunga, Ecuador, Universidad Técnica de Cotopaxi. Consultado 25 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2559/1/T-UTC-00096.pdf>.

## 8. Anexos

Cuadro A-1. Composición nutricional del tomate por 100 gramos de porción.

Elemento	Cantidad	Elemento	Cantidad
Energía	22 kcal	Fósforo	27 mg
Proteínas	1 g	Tiamina	0.06 mg
Lípidos totales	0,11 g	Niacina	0.6 mg
Hidratos de carbono	3,5 g	Vitamina A	1.100 UI
Fibra	1,4 g	Vitamina B1	0.05 mg
Agua	94 g	Vitamina B2	0.02 mg
Calcio	11 mg	Vitamina B6	0.11 mg
Hierro	0,6 mg	Vitamina C	20 mg
Potasio	290 mg	Vitamina E	1.2 mg

Fuente: Elaborado con base en Jaramillo *et al.* 2007 y MAPA 2011.

Cuadro A-2. Clasificación del fruto del tomate con base en el color.

Categoría	Color	Características
Estado 1	Verde	La superficie total del fruto es verde, variando el tono de verde según el cultivar.
Estado 2	Verde claro	Aparición de otro color, además del verde de fondo en no más del 10% de la superficie del fruto.
Estado 3	Pintón	Entre 10 a 30% de la superficie del fruto presenta color amarillo pálido, rosado, rojo o una combinación de ambos.
Estado 4	Rosado	Entre 30 a 60% de la superficie mostrando color rosado o rojo.
Estado 5	Rojo claro	Entre 60 a 90% de la superficie de color rojo.
Estado 6	Rojo	Más del 90% de color rojo.

Fuente: Tomado de Portillo, citado por Pérez 2018.

Cuadro A-3. Guía para valoración de resultados de la prueba de germinación.

% de germinación	Valoración de germinación	Sugerencias para el uso de la semilla evaluada
100 – 90	Excelente	Usarla con toda confianza en su viabilidad
89 – 70	Muy buena	Usarla, agregar un 10% más de la cantidad requerida
69 – 50	Regular	Usar doble densidad de semilla
40 – 0	Mala	No usar la semilla, descartarla para su establecimiento

Fuente: Tomado de Pérez 2022.

Cuadro A-4. Principales funciones de los nutrientes esenciales.

Nutriente	Función
Nitrógeno (N)	Es esencial para el incremento de la masa seca, ya que favorece el crecimiento del tallo, follaje, y contribuye en la formación de frutos y granos. Además, es componente clave de proteínas, organoides, membranas plasmáticas, pigmentos, hormonas y ácidos nucleicos.
Fósforo (P)	Juega un papel importante en el metabolismo energético de la planta, porque hace parte de las moléculas AMP, ADP y ATP. Forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN y, además, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón. El fósforo también forma parte de otros compuestos como el ácido fítico, importante en la germinación de semillas y en el desarrollo de la raíz.
Potasio (K)	Es esencial en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. Contribuye a la economía del agua al regular la apertura estomática, importante para la absorción de CO <sub>2</sub> y el control de la transpiración. Así mismo, aumenta la velocidad de reacción en más de 50 enzimas.
Calcio (Ca)	Es esencial para la estabilidad de la membrana plasmática y la integridad de la célula. Le confiere consistencia y rigidez a la pared celular. Preserva la estructura de las membranas celulares al regular su permeabilidad y protege los tejidos contra el ataque de hongos. Por otra parte, es importante en el crecimiento del tubo polínico.
Magnesio (Mg)	Es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos en las plantas.
Azufre (S)	El azufre es esencial en proteínas, vitaminas y enzimas. Además, ayuda a estabilizar las membranas y regulan el transporte de iones.
Cloro (Cl)	Es esencial en la fotosíntesis, participando en la fotólisis del agua. Regula la apertura estomática, mantiene el balance de cargas y el ajuste osmótico. Además, influye en la división celular.
Hierro (Fe)	Es clave en sistemas redox y forma parte de enzimas. Además, alrededor del 75% del hierro celular está en los cloroplastos, destacando su importancia en la fotosíntesis.
Manganeso (Mn)	Es importante en el proceso fotosintético, participando en la fotólisis del agua junto con el cloro. Contribuye a la estructura de ribosomas.
Boro (B)	Es esencial para la germinación de granos de polen y el crecimiento del tubo polínico. Además, ejerce un rol importante en la síntesis de

	ácido giberélico, ácidos nucleicos, en las respuestas hormonales, funcionalidad de las membranas celulares y transporte de azúcares.
Zinc (Zn)	Juega un rol fundamental en la síntesis de las auxinas. Por otra parte, se requiere para el mantenimiento de las biomembranas, protegiendo los lípidos y proteínas frente a daños oxidativos.
Cobre (Cu)	Participa en reacciones redox. Es esencial en la transferencia de electrones en la fotosíntesis y hace parte en numerosas enzimas.
Molibdeno (Mo)	Participa en reacciones de transferencia de electrones. Además, es un constituyente esencial de las enzimas que tienen que ver con la fijación biológica de nitrógeno y con la reducción de nitrato a amonio.

Fuente: Elaborado con base en Alegría 2016 y Beltrano *et al.* 2015.

Cuadro A-5. Características agronómicas de la variedad Sébaco.

Característica	Resultado
Hábito de crecimiento:	Semideterminado
Distanciamiento de siembra:	1.50 m entre surco y 0.50 m entre planta
Altura promedio de la planta:	1.45 metros
Días a flor:	45-50 días después de la siembra en bandeja
Días a inicio de cosecha:	85-90 días después de siembra en bandeja
Reacción al complejo de begomovirus:	Tolerante
Tamaño de fruto:	6 cm de largo x 5 cm de ancho
Peso promedio de fruto:	90-100 gramos
Forma y color de fruto:	Acorazonado color rojo claro brillante
Grados brix:	4.0
pH de fruto:	4.23
Número promedio de frutos por planta:	50 frutos
Rendimiento promedio:	19.26 ton.ha (300 qq.mz)
Adaptación:	50 - 1000 msnm

Fuente: Tomado de Larín *et al.* 2017.

Cuadro A-6. Caracterización de la escoria volcánica.

Propiedad	Intervalo
Densidad aparente (g.cm <sup>3</sup> )	0.7-0.8
Porosidad total (%)	50-60
Porosidad ocluida (%)	8-13
Capacidad de retención agua fácilmente disponible (%)	10-15

Agua fácilmente asimilable (%)	4-5
Agua difícilmente disponible (%)	5-7
Agua de reserva (%)	< 2
Capacidad de aireación (%)	30-40
Reacción	Alcalina
CIC (meq.100 g)	5
Poder tampón	Bajo

Fuente: Elaborado con base en Baixauli y Aguilar 2002.

Cuadro A-7. Propiedades de la fibra de coco.

Propiedad	Intervalo	Mediana
Índice de grosor (%)	11-66	34
Densidad aparente (g.cm <sup>3</sup> )	0.020-0.094	0.059
Espacio poroso total (% vol.)	93.8-98.7	96.1
Capacidad de aireación (% vol.)	22.2-90.5	44.9
Agua fácilmente disponible (% vol.)	0.7-36.8	19.9
Agua de reserva (% vol.)	0.1-7.8	3.5
Capacidad de retención de agua (ml.l sustrato)	110-797	523
Capacidad de intercambio catiónico (meq.100 g)	31-97	61

Fuente: Elaborado con base en Santos, citado por Baixauli y Aguilar 2002.

Cuadro A-8. Fertilizantes utilizados para elaborar soluciones nutritivas.

Fertilizante	Fórmula química	Pureza	Solubilidad g.100 ml	Reacción
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	90%	12.0	Ácido/Alcalino
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	98%	33.0	Ácido
Muriato de potasio	KCl	95%	34.7	Alcalino
Fosfato monoamónico	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	98%	57.5	Ácido
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	98%	71.0	Neutro
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	98%	118.3	Ácido
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	90%	121.2	Ácido
Nitrato de magnesio	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	98%	256.0	Ácido
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	-	548.0	Ácido

Fuente: Tomado de Pérez 2024.

Cuadro A-9. Compatibilidad de los fertilizantes solubles.

FERTILIZANTES	Urea	Nitrato de Amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de Calcio	Nitrato de magnesio	Fosfato monoamónico	Fosfato monopotásico	Nitrato de potasio	Sulfato de potasio	Cloruro de potasio	Ácido fosfórico	Ácido nítrico	Ácido sulfúrico	Sulfatos Fe, Cu, Mn, Zn	Quelatos
Nitrato de Amonio	C														
Sulfato de amonio	I	C													
Nitrato de Calcio	C	C	I												
Nitrato de magnesio	C	C	C	C											
Fosfato monoamónico	C	C	C	I	I										
Fosfato monopotásico	C	C	C	I	I	C									
Nitrato de potasio	C	C	R	C	C	C	C								
Sulfato de potasio	C	C	R	I	I	C	C	C							
Cloruro de potasio	C	C	C	I	C	C	C	C	R						
Ácido fosfórico	C	C	C	I	I	C	C	C	C	C					
Ácido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
Ácido sulfúrico	C	C	C	I	I	C	C	C	R	C	C	C			
Sulfatos Fe, Cu, Mn, Zn	C	C	C	I	I	I	C	C	R	C	C	C	C		
Quelatos	C	C	C	R	R	R	C	C	C	C	R	I	C	C	
Sulfato de Magnesio	C	C	C	I	I	I	C	C	R	C	C	C	C	C	C

C: Compatible, R: Se reduce la solubilidad, I: Incompatible.

Fuente: Tomado de Hirzel 2009.

Cuadro A-10. Fertilizantes utilizados para la solución molar 200 veces concentrada.

Fertilizantes	Etapa fenológica			
	Vegetativa	Floración	Fructificación	Cosecha
Sulfato de potasio	25.37 g.L <sup>-1</sup>	25.37 g.L <sup>-1</sup>	25.37 g.L <sup>-1</sup>	0 g.L <sup>-1</sup>
Muriato de potasio	49.78 g.L <sup>-1</sup>	57.81 g.L <sup>-1</sup>	69.86 g.L <sup>-1</sup>	40.15 g.L <sup>-1</sup>
Nitrato de amonio	25.65 g.L <sup>-1</sup>	17.96 g.L <sup>-1</sup>	20.41 g.L <sup>-1</sup>	10.50 g.L <sup>-1</sup>
Nitrato de calcio	121.91 g.L <sup>-1</sup>	140.11 g.L <sup>-1</sup>	131.01 g.L <sup>-1</sup>	62.77 g.L <sup>-1</sup>
Nitrato de magnesio	94.59 g.L <sup>-1</sup>	28.19 g.L <sup>-1</sup>	122.41 g.L <sup>-1</sup>	55.64 g.L <sup>-1</sup>
Microelementos	5 g.L <sup>-1</sup>	5 g.L <sup>-1</sup>	5 g.L <sup>-1</sup>	5 g.L <sup>-1</sup>

Cuadro A-11. Fertilizantes utilizados para la solución nutritiva.

Fertilizantes	Etapa fenológica			
	Vegetativa	Floración	Fructificación	Cosecha

Sulfato de potasio	25,374 g.m <sup>3</sup>	25,374 g.m <sup>3</sup>	25,374 g.m <sup>3</sup>	0 g.m <sup>3</sup>
Muriato de potasio	49,782 g.m <sup>3</sup>	57,812 g.m <sup>3</sup>	69,856 g.m <sup>3</sup>	40,148 g.m <sup>3</sup>
Nitrato de amonio	25,654 g.m <sup>3</sup>	17,958 g.m <sup>3</sup>	20,408 g.m <sup>3</sup>	10,496 g.m <sup>3</sup>
Nitrato de calcio	121,910 g.m <sup>3</sup>	140,106 g.m <sup>3</sup>	131,008 g.m <sup>3</sup>	62,774 g.m <sup>3</sup>
Nitrato de magnesio	94,590 g.m <sup>3</sup>	28,192 g.m <sup>3</sup>	122,410 g.m <sup>3</sup>	55,640 g.m <sup>3</sup>

Cuadro A-12. Productos utilizados para control de plagas y enfermedades.

Tipo de producto	Uso	Tipo	Dosis	Tiempo de aplicación
Insecticida	Preventivo	Neonicotinoide, piretroide, thiacloprid, beta-cyfluthrin	5 ml.gal	Plantín y desarrollo
Insecticida	Preventivo	Piretroide, cypermethrin	5 ml.gal	Desarrollo
Insecticida, acaricida	Preventivo	Piretroide, bifenthrin	10 ml.gal	Desarrollo
Fungicida	Preventivo y curativo	Carbamato, organofosfonate, propamocarb HCl	5 ml.gal	Plantín, desarrollo, floración y fructificación
Fungicida	Curativo	Carbamato, benzamide, propamocarb, fluopicolide	5 ml.gal	Desarrollo, floración y fructificación
Fungicida	Curativo	Ditiocarbamato, mancozeb	5 ml.gal	Fructificación

Cuadro A-13. Registro de variables climáticas.

Semana	Temperatura mínima	Temperatura promedio	Temperatura máxima	Temperatura promedio	Humedad relativa mínima	Humedad relativa promedio	Humedad relativa máxima	Humedad relativa promedio
1	24°C	32°C	29°C	41%	78%	57%		
2	23°C	30°C	28°C	41%	76%	50%		
3	24°C	32°C	30°C	38%	67%	47%		
4	24°C	33°C	30°C	40%	77%	50%		
5	24°C	33°C	30°C	38%	70%	48%		
6	23°C	32°C	29°C	42%	80%	53%		
7	23°C	33°C	30°C	39%	79%	52%		
8	25°C	33°C	30°C	41%	64%	50%		

9	23°C	33°C	29°C	41%	70%	51%
10	23°C	31°C	28°C	47%	81%	59%
11	25°C	31°C	29°C	48%	71%	56%
12	23°C	32°C	29°C	43%	75%	54%
13	24°C	28°C	26°C	52%	82%	65%
14	23°C	29°C	27°C	51%	82%	63%
15	22°C	30°C	27°C	41%	82%	59%
16	23°C	30°C	28°C	42%	81%	55%
17	23°C	30°C	27°C	42%	62%	49%
18	24°C	29°C	27°C	43%	73%	54%
19	22°C	30°C	27°C	48%	82%	65%

Cuadro A-14. Correlación de Pearson.

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Altura	Número fruto	24	0.54	0.0062
Altura	Peso fruto	24	0.6	0.0018
Altura	Diámetro fruto	24	0.58	0.0027
Altura	Altura diferencial	24	1	<0.0001
Diámetro tallo	Semillas lóculo	24	-0.42	0.0391
Diámetro tallo	Semillas fruto	24	-0.42	0.0393
Diámetro tallo	Diámetro diferencial	24	0.87	<0.0001
Número fruto	Peso fruto	24	0.72	0.0001
Número fruto	Diámetro fruto	24	0.63	0.001
Número fruto	Altura diferencial	24	0.54	0.0059
Peso fruto	Diámetro fruto	24	0.96	<0.0001
Peso fruto	Altura diferencial	24	0.61	0.0015
Diámetro fruto	Altura diferencial	24	0.59	0.0022
Semillas lóculo	Semillas fruto	24	0.83	<0.0001
Semillas lóculo	Diámetro diferencial	24	-0.45	0.0256
Semillas fruto	Sólidos solubles	24	-0.52	0.009
Semillas fruto	Diámetro diferencial	24	-0.41	0.0463

Cuadro A-15. Efecto de las dosis en el diámetro del tallo en fase vegetativa.

Tratamiento	Variable	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente de variación
T1	Diámetro	0.73	0.05	0.02	7.04

T2	Diámetro	0.73	0.05	0.02	7.04
T3	Diámetro	0.73	0.05	0.02	7.04
T4	Diámetro	0.75	0.05	0.02	7.3

Cuadro A-16. Análisis de varianza del diámetro del tallo en fase vegetativa.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher	p-valor
Modelo	0.01	8	6.3E-04	0.18	0.9897
Tratamiento	1.3E-03	3	4.2E-04	0.12	0.9457
Bloque	3.8E-03	5	7.5E-04	0.22	0.9486
Error	0.05	15	3.4E-03		
Total	0.06	23			

Cuadro A-17. Análisis de varianza del diámetro del tallo en cosecha.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher	p-valor
Modelo	0.17	8	0.02	8.15	0.0003
Tratamiento	0.04	3	0.01	5.43	0.0099
Bloque	0.13	5	0.03	9.78	0.0003
Error	0.04	15	2.6E-03		
Total	0.21	23			

Cuadro A-18. Prueba de Tukey para el diámetro del tallo en cosecha.

Tratamiento	Medias	n	Error estándar	
T3	1.23	6	0.02	A
T1	1.18	6	0.02	A B
T2	1.17	6	0.02	A B
T4	1.12	6	0.02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Cuadro A-19. Efecto de las dosis en el número de frutos por planta.

Tratamiento	Variable	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente de variación
T1	Fruto	48.67	4.55	1.86	9.34
T2	Fruto	50.17	5.12	2.09	10.2
T3	Fruto	53.67	5.05	2.06	9.4

T4	Fruto	49.67	8.14	3.32	16.39
----	-------	-------	------	------	-------

Cuadro A-20. Análisis de varianza del número de frutos por planta.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher	p-valor
Modelo	441.33	8	55.17	2.46	0.0634
Tratamiento	85.13	3	28.38	1.26	0.3222
Bloque	356.21	5	71.24	3.17	0.0375
Error	336.63	15	22.44		
Total	777.96	23			

Cuadro A-21. Efecto de las dosis en el peso del fruto.

Tratamiento	Variable	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente de variación
T1	Peso	34.98	7.11	2.9	20.34
T2	Peso	37.4	6.25	2.55	16.71
T3	Peso	40.78	6.98	2.85	17.13
T4	Peso	36.88	4.58	1.87	12.43

Cuadro A-22. Análisis de varianza del peso del fruto.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher	p-valor
Modelo	697.28	8	87.16	6.38	0.0011
Tratamiento	105.02	3	35.01	2.56	0.0937
Bloque	592.25	5	118.45	8.67	0.0005
Error	204.95	15	13.66		
Total	902.23	23			

Cuadro A-23. Efecto de las dosis en el número de semillas por lóculo.

Tratamiento	Variable	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente de variación
T1	Semillas	19.33	7.47	3.05	38.66
T2	Semillas	18.33	6.8	2.78	37.1
T3	Semillas	17	10.35	4.23	60.9
T4	Semillas	20.67	6.38	2.6	30.86

Cuadro A-24. Análisis de varianza del número de semillas por lóculo.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	726.67	8	90.83	2.40	0.0681
Tratamiento	43.33	3	14.44	0.38	0.7672
Bloque	683.33	5	136.67	3.62	0.0240
Error	566.67	15	37.78		
Total	1293.33	23			

Cuadro A-25. Efecto de las dosis en el total de semillas por fruto.

<b>Tratamiento</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
T1	Semillas	65.83	36.84	15.04	55.95
T2	Semillas	63.83	31.64	12.92	49.56
T3	Semillas	43.33	31.64	12.92	73.01
T4	Semillas	60.17	20.45	8.35	33.99

Cuadro A-26. Análisis de varianza del total de semillas por fruto.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	9911.83	8	1238.98	1.71	0.1762
Tratamiento	1889.13	3	629.71	0.87	0.4786
Bloque	8022.71	5	1604.54	2.22	0.1068
Error	10863.13	15	724.21		
Total	20774.96	23			

Cuadro A-27. Efecto de las dosis en el diámetro del fruto.

<b>Tratamiento</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
T1	Diámetro	3.88	0.3	0.12	7.71
T2	Diámetro	4	0.25	0.1	6.32
T3	Diámetro	4.08	0.21	0.09	5.23
T4	Diámetro	3.98	0.13	0.05	3.34

Cuadro A-28. Análisis de varianza del diámetro del fruto.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	1.01	8	0.13	9.65	0.0001
Tratamiento	0.12	3	0.04	3.09	0.0591
Bloque	0.89	5	0.18	13.59	<0.0001
Error	0.20	15	0.01		
Total	1.21	23			

Cuadro A-29. Efecto de las dosis en el espesor de la pulpa.

<b>Tratamiento</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
T1	Espesor	6.5	0.84	0.34	12.87
T2	Espesor	7.33	0.82	0.33	11.13
T3	Espesor	6.83	0.75	0.31	11.02
T4	Espesor	7	1.1	0.45	15.65

Cuadro A-30. Análisis de varianza del espesor de la pulpa.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	7.00	8	0.88	1.21	0.3560
Tratamiento	2.17	3	0.72	1.00	0.4199
Bloque	4.83	5	0.97	1.34	0.3013
Error	10.83	15	0.72		
Total	17.83	23			

Cuadro A-31. Efecto de las dosis en los sólidos solubles.

<b>Tratamiento</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
T1	Sólidos solubles	5.47	0.71	0.29	13.02
T2	Sólidos solubles	5.28	0.57	0.23	10.87
T3	Sólidos solubles	5.63	0.43	0.17	7.59
T4	Sólidos solubles	5.17	0.71	0.29	13.72

Cuadro A-32. Análisis de varianza de los sólidos solubles.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher	p-valor
Modelo	2.79	8	0.35	0.94	0.5159
Tratamiento	0.76	3	0.25	0.68	0.5783
Bloque	2.03	5	0.41	1.09	0.4052
Error	5.58	15	0.37		
Total	8.37	23			

Cuadro A-33. Efecto de las dosis en la firmeza.

Tratamiento	Variable	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente de variación
T1	Firmeza	1.83	0.37	0.15	20.31
T2	Firmeza	2.05	0.41	0.17	19.93
T3	Firmeza	1.97	0.29	0.12	14.62
T4	Firmeza	2.03	0.41	0.17	20.08

Cuadro A-34. Análisis de varianza de la firmeza.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher	p-valor
Modelo	1.29	8	0.16	1.46	0.2508
Tratamiento	0.17	3	0.06	0.53	0.6708
Bloque	1.12	5	0.22	2.02	0.1337
Error	1.66	15	0.11		
Total	2.95	23			

Cuadro A-35. Medias generales de los tratamientos.

Tratamiento	Dosis (ml)	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de frutos	Peso de fruto (g)	Diámetro de fruto (cm)	Espesor de pulpa (mm)	Semillas por lóculo	Semillas por fruto	Semillas por gramo	Sólidos solubles	Firmeza
T1	0	131.93	1.18	49	34.98	3.88	6.5	19	57	376	5.47	1.83
T2	5	126.48	1.17	50	37.4	4	7.33	18	54	380	5.28	2.05

T3	7.5	148.03	1.23	54	40.78	4.08	6.83	17	51	387	5.63	1.97
T4	10	140.18	1.12	50	36.88	3.98	7	21	63	371	5.17	2.03

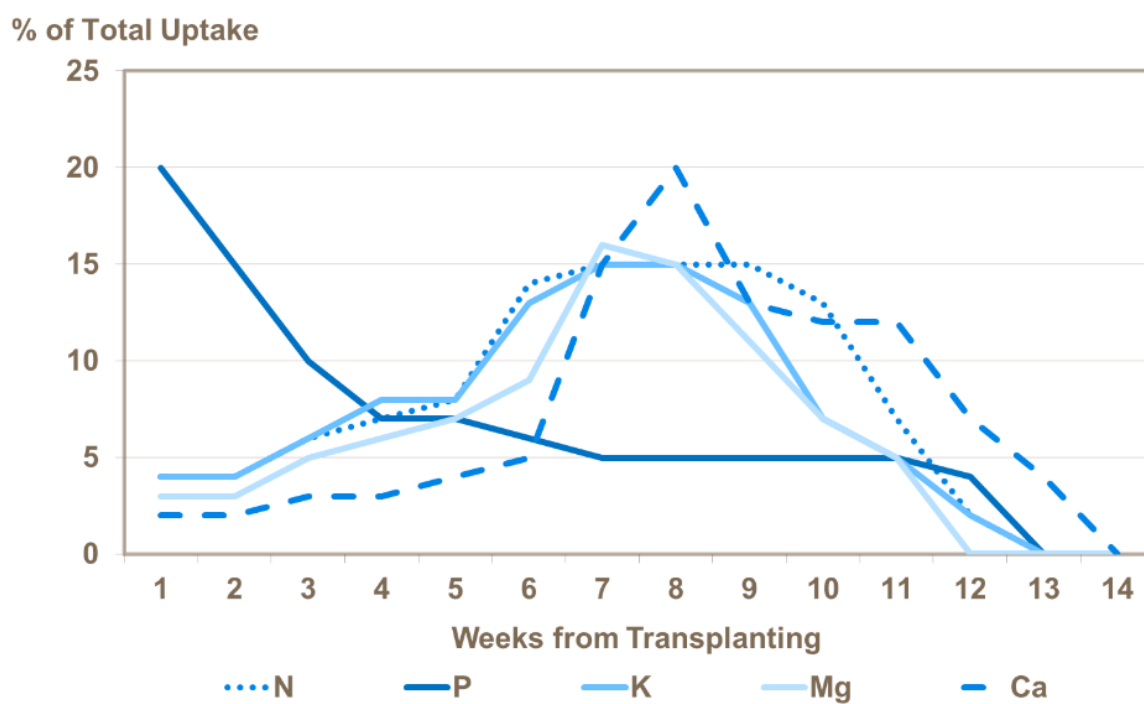


Figura A-1. Mayor absorción de nutrientes.

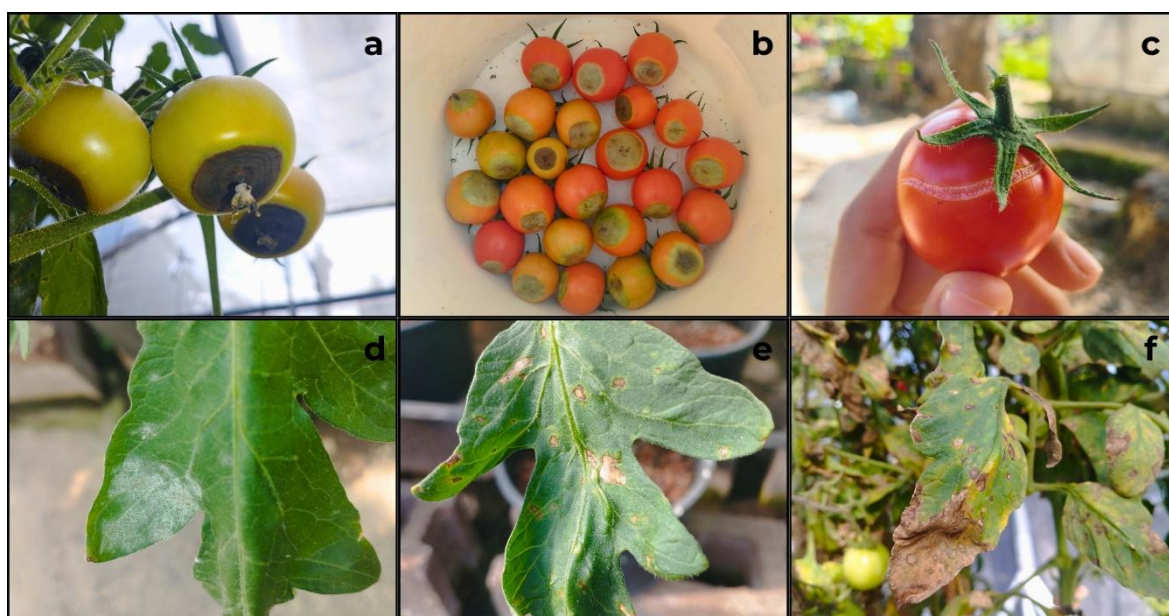


Figura A-2. Desordenes fisiológicos y enfermedades. a) Primeros casos de podredumbre apical. b) Pérdida de cosecha por podredumbre apical. c) Grietas del fruto. d) Oídio en hoja de tomate. e) Tizón temprano en hoja de tomate. f) Tizón tardío y tizón temprano en hoja de tomate.

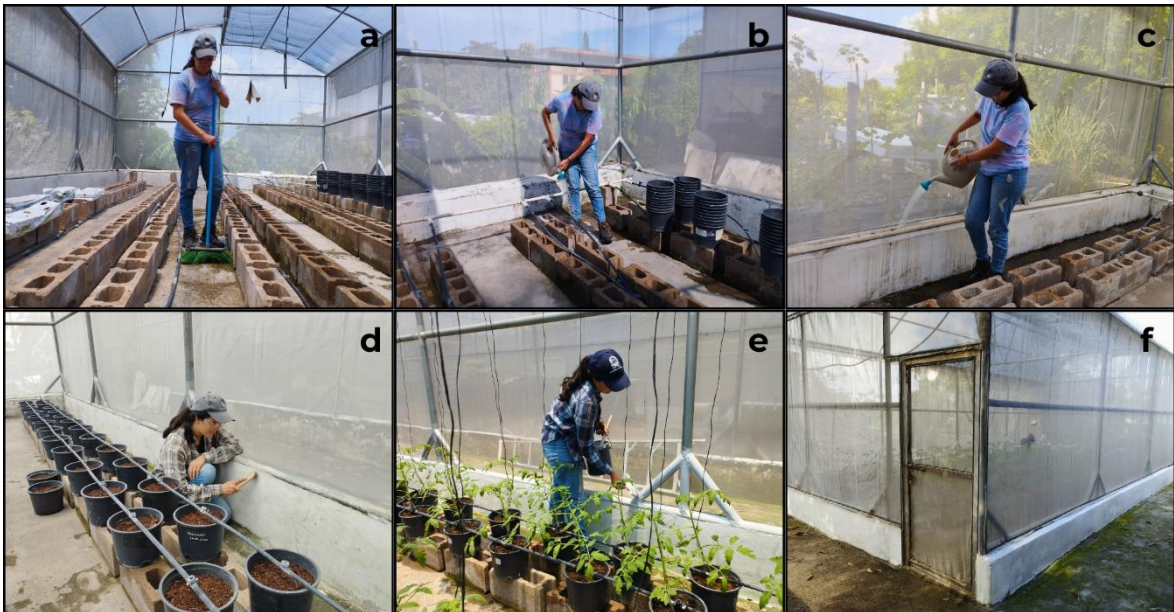


Figura A-3. Limpieza y desinfección del invernadero. a) Barrido de piso. b) Desinfección de bloques de cemento y piso. c) Desinfección de pretil. d) Raspado de pretil. e) Pintado de pretil interior. f) Pintado de pretil exterior.



Figura A-4. Preparación de sustrato y llenado de macetas. a) Limpieza de plantas arvenses. b) Limpieza de residuos con agua. c) Limpieza de macetas. d) Construcción de

tamizador. e) Tamizado de sustrato. f) Coloración de capa base. g) Mezclado de fibra de coco y escoria volcánica. h) Llenado de macetas. i) Desinfección de sustrato.

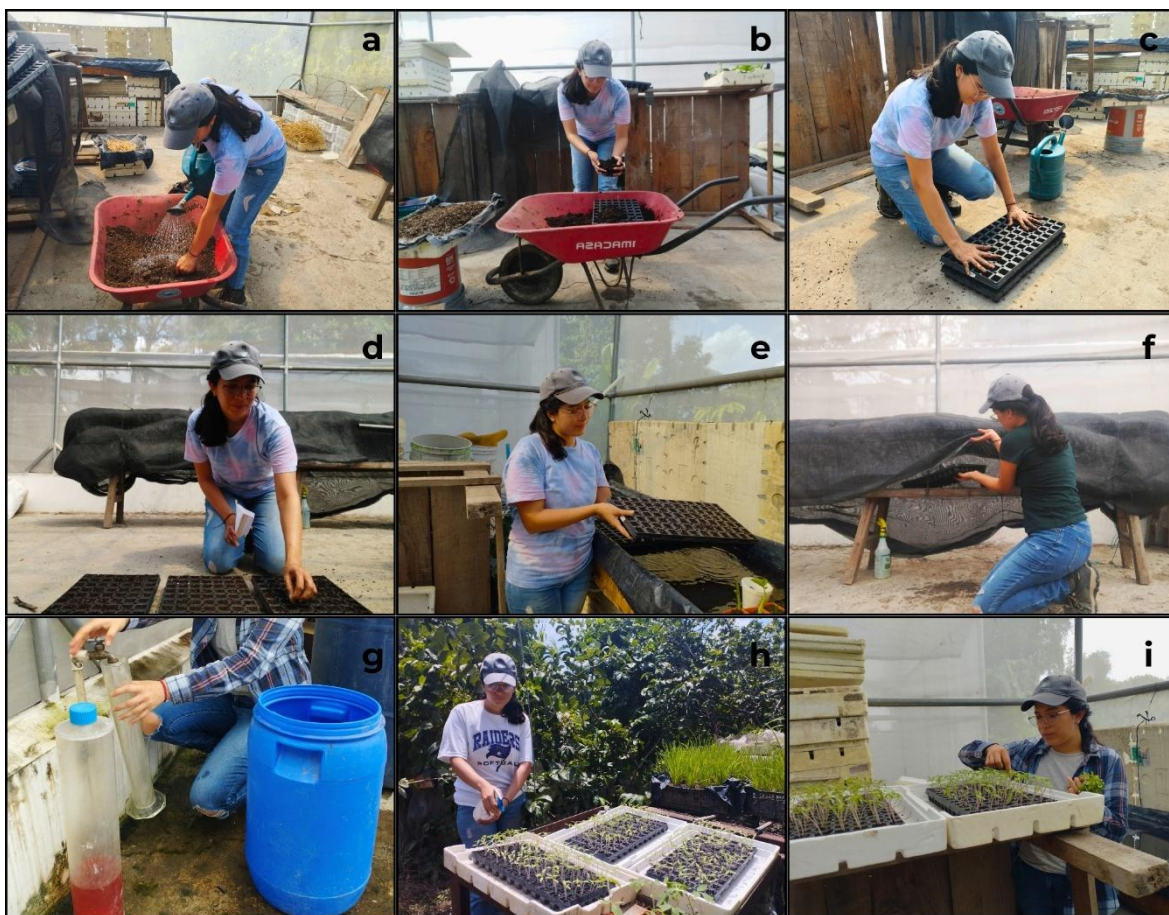


Figura A-5. Producción de plantines. a) Humedecimiento del sustrato comercial. b) Llenado de almácigo. c) Compactación de sustrato. d) Siembra de semillas. e) Riego con agua por subirrigación. f) Resguardo de almácigos en cámara de germinación. g) Preparación de barril con formula de inicio. h) Aplicación de insecticida y fungicida. i) Deshije.

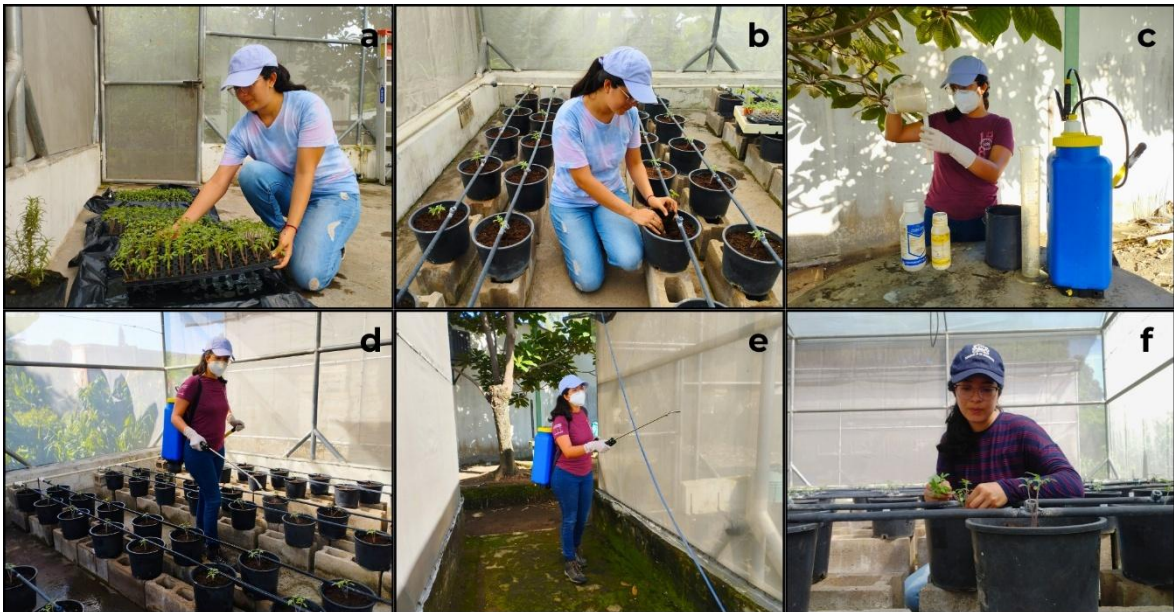


Figura A-6. Traslante de plántulas. a) Remojo de almácigos en solución de inicio. b) Traslante. c) Preparación de agroquímicos. d) Aplicación de agroquímicos en plántulas. e) Aplicación de agroquímicos en paredes. f) Deshije.



Figura A-7. Riego. a) Práctica de aforo con vasos de plástico. b) Cálculo de lámina de agua para la etapa de establecimiento a desarrollo. c) Práctica de aforo para ajustar riego por deficiencia de calcio en etapa de fructificación.



Figura A-8. Nutrición. a) Pesado de fertilizante para solución stock. b) Fertilizantes para soluciones stock. c) Preparación de solución nutritiva.



Figura A-9. Aplicación de tratamientos con fertilizante foliar calcio-boro.



Figura A-10. Amarre de pitas para tutoreo de plantas.



Figura A-11. Planta atípica.



Figura A-12. Eliminación de brote axilar.



Figura A-13. Segunda poda fitosanitaria.



Figura A-14. Registro de variables climáticas.



Figura A-15. Procedimiento para la toma de variables. a) Toma de altura. b) Toma de diámetro de tallo. c) Toma de diámetro de fruto. d) Toma de peso de fruto. e) Conteo de semillas. f) Toma de firmeza con penetrómetro. g) Toma de sólidos solubles en fruto maduro con refractómetro. h) Prueba de germinación. i) Conteo de semillas germinadas.