

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

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.

TÍTULO A OBTENER: Ingeniera Agrónomo.

AUTORA

Nombres, apellidos	Carnet	Dirección	Teléfono y correo electrónico	Firma
Br. Mónica Isabel Rivas Urías	RU19002	Residencial Santorini, San Marcos, San Salvador	Cel.: 7865 2931 ru19002@ues.edu.sv	

Datos de los Docentes Directores

Nombres, apellidos y formación académica	Lugar de trabajo	Teléfono y correo electrónico	Firma
Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio	Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES	Cel.: 7437 4013 mario.perez@ues.edu.sv	
Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra	Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES	Cel.: 7743 8091 balmore.martinez@ues.edu.sv	

Visto bueno:

Coordinador general de Procesos de Graduación del Departamento:

Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio

Firma: _____

Director General de Procesos de Graduación de la Facultad:

Lic. MVZ. Rudy Anthony Ramos Sosa

Firma: _____

Jefe del Departamento:

Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

Firma: _____

Sello

Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, San Salvador, 12 de agosto de 2025.

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

Rivas-Urías, M.I.¹, Pérez-Ascencio, M.A.², Martínez-Sierra, B²

Correspondencia:
ru19002@ues.edu.sv
mario.perez@ues.edu.sv
balmore.martinez@ues.edu.sv

Presentado:
12 de agosto de 2025
Aceptado:
12 de agosto de 2025

1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Tesista.

2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Docente Asesor.

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⁻¹) 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⁻¹ 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.

ABSTRACT

The production of artisanal tomato seeds is an important component in the production chain, ensuring the availability of quality genetic material for new planting cycles. Its efficiency depends on several factors, including nutritional management, with calcium and boron being key elements in physiological processes such as the formation of floral structures, fruit development, and seed quality. The Sébaco variety, due to its adaptability to our country's conditions, represents a viable alternative for artisanal seed production.

The objective of the research was to evaluate the effect of three doses of calcium-boron foliar fertilizer on the production of artisanal tomato seeds of the Sébaco variety in hydroponics under greenhouse conditions. A completely randomized block design was

used with four treatments (0, 5, 7.5, and 10 ml.L⁻¹) and five replicates. Growth, yield, and organoleptic characteristics were evaluated. An analysis of variance (ANOVA) was applied, followed by the Tukey test at a 5% significance level. A Pearson correlation analysis was also performed between variables.

The results showed 94% germination in the seeds obtained under ambient conditions. No significant differences were found between treatments ($p > 0.05$), so the use of calcium-boron foliar fertilizer for the production of artisanal tomato seeds is at the discretion of the producer or researcher. However, the 7.5 ml.L⁻¹ dose showed a positive trend in the number of seeds per gram and total seed yield.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., artisanal, foliar fertilizer, hydroponics, seed production, greenhouse.

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 en el cultivo de tomate, especialmente en la fructificación. Estos elementos son esenciales para el desarrollo y llenado de frutos, bulbos, semillas, entre otras funciones (Agroesa 2021).

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.

MATERIALES Y MÉTODOS

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%.

Metodología de campo

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 m². 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 tela sarán del 50% para reducir la incidencia de la radiación solar. En las partes laterales y frontales tiene malla anti-virus de 120 mesh.

Limpieza y desinfección del invernadero

Se realizaron diversas actividades de limpieza y desinfección en el invernadero. 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.

Preparación de sustrato y llenado de macetas

Se utilizaron 96 macetas de polietileno número 8, con una capacidad de cinco 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 siete cm de escoria volcánica de mayor diámetro, con el objetivo de mejorar el drenaje.

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 dos a tres 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.

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 por cada litro de agua, y ajustada a una conductividad eléctrica de 1 mS.cm⁻¹ y un pH de 6.

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 aplicaron insecticida y fungicida de forma preventiva, tanto en las plántulas como en el piso y las paredes del invernadero, tanto por dentro como por fuera. Tres días después del trasplante, se realizó un deshije con el objetivo de seleccionar la plántula más vigorosa de cada maceta.

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 una altura de 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 total 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.

Nutrición

El programa de nutrición se diseñó con base en los requerimientos de macronutrientes (Cuadro 1) y micronutrientes (Cuadro 2) 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 1. Requerimiento de macronutrientes.

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 2. Requerimiento de micronutrientes.

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. Estas soluciones concentradas se diluyeron en un tanque de 220 litros para obtener la solución nutritiva, mediante el método físico-químico. La concentración de nutrientes se verificó utilizando un conductímetro, asegurando que la conductividad eléctrica (CE) no superara los 2.5 mS.cm⁻¹ y manteniendo un pH alrededor de 6.0.

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

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. Además,

esta práctica permitió mantener un orden adecuado en las filas, facilitando el manejo agronómico, toma de datos y cosecha.

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.

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.

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.

Podas

Se llevó a cabo una poda de formación de dos ejes utilizando una navaja de injerto. Esta poda consistió en la eliminación de brotes y tallos axilares a partir de los dos ejes principales.

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. Dividir el proceso

permitted minimizar el estrés en las plantas y reducir el riesgo de propagación de patógenos en las áreas expuestas tras la poda.

Monitoreo del microclima

Se registraron datos de temperatura y humedad relativa en el invernadero para evaluar las condiciones ambientales durante el cultivo. 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.

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 cinco y seis. Esta práctica se llevó a cabo con el propósito de garantizar que el embrión de la semilla esté completamente maduro. Los datos obtenidos durante este proceso fueron registrados en hojas de cálculo de Excel para facilitar su análisis y seguimiento posterior.

Metodología estadística

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con seis repeticiones y cuatro tratamientos. 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.

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 3.

Cuadro 3. Distribución de tratamientos.

Tratamiento	Dosis fertilizante foliar calcio-boro
T1	0 ml.L ⁻¹
T2	5 ml.L ⁻¹
T3	7.5 ml.L ⁻¹
T4	10 ml.L ⁻¹

Variables

En la investigación se evaluaron variables de crecimiento, rendimiento y características organolépticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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.

Por su parte, la humedad relativa presentó variaciones, con un promedio general de 55%. 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.

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.

Para este estudio, se analizaron variables de crecimiento, rendimiento y características organolépticas. Además, se utilizó el análisis de evaluación de Pearson para evaluar la relación entre las variables, considerando que un p-valor menor a 0.05 indicó una correlación 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.

Variables de crecimiento

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 4).

Según la curva de crecimiento, la mayor tasa de crecimiento promedio se registró durante la etapa de inicio de floración, con 3.26 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 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, lo que detiene el crecimiento en altura.

En la etapa vegetativa, el crecimiento promedio fue de 0.74 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.

Durante el inicio de la cosecha, el crecimiento promedio fue de 0.92 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 cm.día⁻¹.

En general, los resultados destacan cómo el crecimiento en altura de la planta de tomate varía significativamente a lo largo de su ciclo de vida, reflejando las necesidades fisiológicas de cada etapa. Este conocimiento, respaldado por lo mencionado por Juárez *et al.* (2015), es esencial para determinar de mejor manera el manejo agronómico como la aplicación de riego y nutrientes en cada etapa específica.

Cuadro 4. Tasa de crecimiento del cultivo de tomate.

Etapa fenológica	Tasa de crecimiento	
	Acumulado	cm.día ⁻¹
Plántula	9.32 cm	0.55
Vegetativa	18.89 cm	0.74
Floración	54.79 cm	3.26
Fructificación	99.79 cm	2.25
Cosecha	136.66 cm	0.92

El análisis de correlación de Pearson 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 ($p < 0.0001$).

Diámetro del tallo

Al analizar el diámetro del tallo durante la fase vegetativa, correspondiente a tres semanas después del trasplante, 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.

Al inicio de la cosecha, el análisis de varianza (ANVA) confirmó que las dosis de fertilizantes foliares en estudio generaron diferencias significativas en el diámetro del tallo al inicio de la cosecha (Figura 1), con un valor p de 0.01, inferior al nivel de significancia estadística de 0.05.

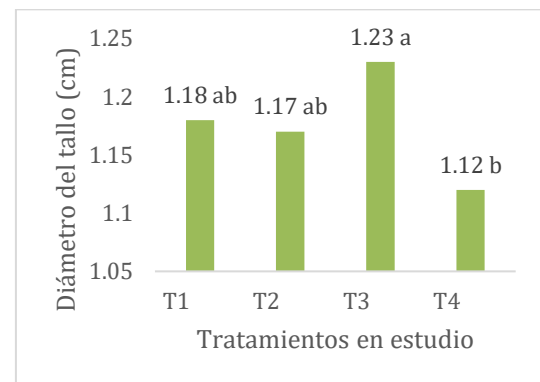


Figura 1. Efecto de las dosis en el diámetro del tallo de cosecha.

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.

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

Variables de rendimiento

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. Esto demuestra que las dosis de fertilizantes foliares evaluadas generaron efectos similares en el número de frutos por planta (Figura 2).

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.

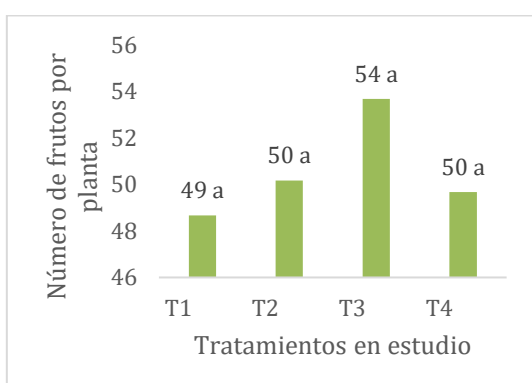


Figura 2. Efecto de las dosis en el número de frutos por planta.

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

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. 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 (Figura 3).

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.

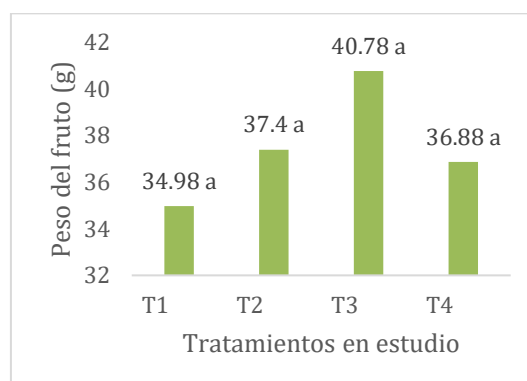


Figura 3. Efecto de las dosis en el peso del fruto.

El análisis de Pearson 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.

Diámetro del fruto

El diámetro promedio de los frutos mostró diferencias entre los tratamientos evaluados, 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. 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 (Figura 4).

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 con la variedad Sébaco 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.

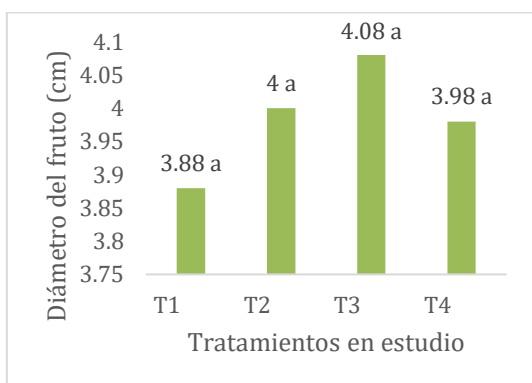


Figura 4. Efecto de las dosis en el diámetro del fruto.

El análisis de Pearson reveló que el diámetro del fruto presentó una

correlación positiva 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 ($r = 0.63$).

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. Esto indica que las dosis de fertilizantes foliares en estudio no generaron un efecto significativo sobre el espesor de la pulpa (Figura 5).

Rodríguez *et al.* (2009) evaluaron el espesor del pericarpio del fruto en cultivares de tomate Romina y Granito, 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 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.

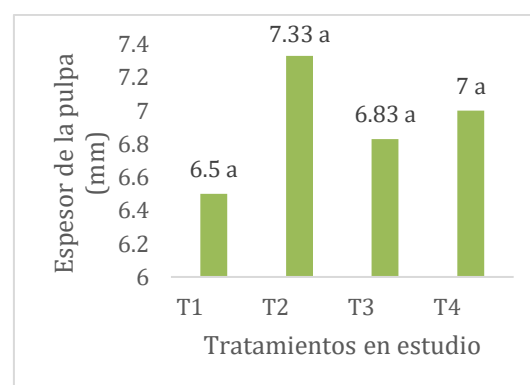


Figura 5. Efecto de las dosis en el espesor de la pulpa.

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 3.20 lóculos por fruto en la misma variedad, lo que evidencia la consistencia de esta característica en el tomate Sébaco.

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. Esto sugiere que las dosis de fertilizantes foliares evaluadas tuvieron efectos similares en el número de semillas por lóculo (Figura 6).

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 características genéticas únicas de cada variedad.

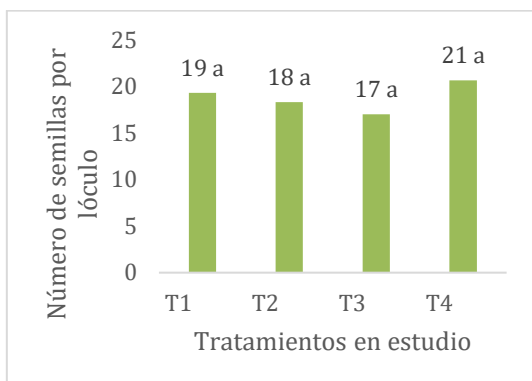


Figura 6. Efecto de las dosis en el número de semillas por lóculo.

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

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. 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 (Figura 7).

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.

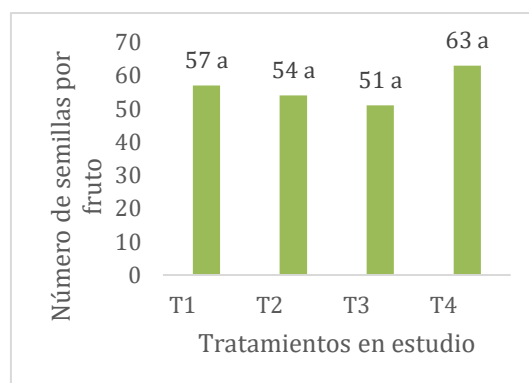


Figura 7. Efecto de las dosis en el total de semillas por fruto.

El análisis de Pearson 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 ($r = -0.52$).

Número de semillas por gramo

El número de semillas por gramo en este estudio superó el valor reportado por Hernández *et al.* (2021) para la variedad Sébaco, que fue de 366 semillas por gramo. Este incremento sugiere que la aplicación de fertilizante foliar pudo haber influido positivamente en el número de semillas por gramo (Figura 8).

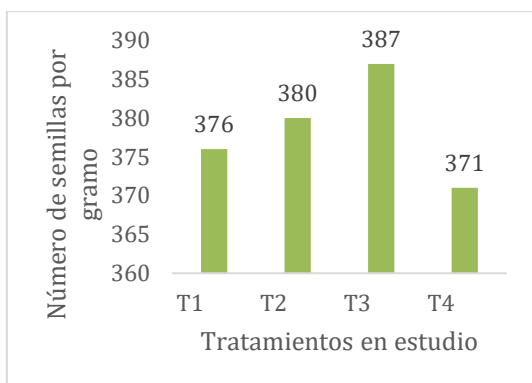


Figura 8. Efecto de las dosis en el número de semillas por gramo.

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 5).

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 de frutos 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 5. Rendimiento de semillas.

Tratamiento	Semillas por fruto	
	Unidad	Gramos
T1	132	0.35
T2	142	0.37
T3	158	0.41
T4	137	0.37

Porcentaje de germinación

$$\% = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Semillas puestas a germinar}} \times 100$$
$$\% \text{ germinación} = \frac{94}{100} \times 100$$
$$\% \text{ germinación} = 94\%$$

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. 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.

Características organolépticas

Sólidos solubles en fruto maduro

El análisis de varianza (ANVA) indicó que no hubo diferencias estadísticamente entre los tratamientos, con un valor p de 0.58, mayor al nivel de significancia de 0.05. 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 (Figura 9).

Estos resultados superan los 4° 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 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 biosilíce, 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.

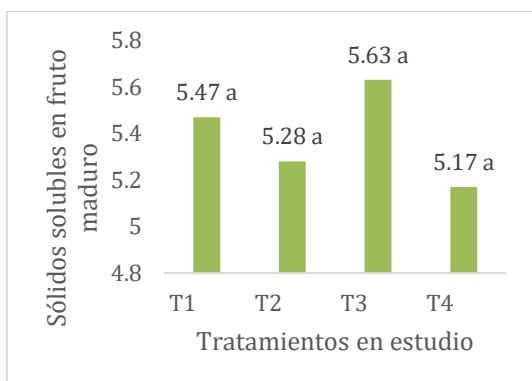


Figura 9. Efecto de las dosis en los sólidos solubles.

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. Esto indica que las dosis de fertilizantes foliares no producen efectos significativamente distintos en la firmeza de los frutos (Figura 10).

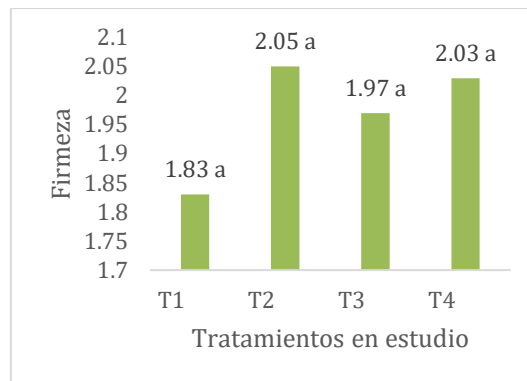


Figura 10. Efecto de las dosis en la firmeza.

Además, se asignó una escala cualitativa de firmeza para describir los valores, basada en los rangos propuestos por Domene y Rodríguez (2014). En general, los frutos evaluados presentaron firmeza adecuada, con el tratamiento dos destacando como el más firme (2.05 kgf / 20.09 N), clasificado como muy firme. Aunque no hubo diferencias significativas, el tratamiento testigo mostró el menor valor (1.83 kgf / 17.93 N). 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. En comparación, Hernández *et al.* (2021) reportaron una firmeza de 2.18 kg.cm² 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-NH⁴ afectó negativamente la firmeza, debido al antagonismo del ion NH⁴⁺ sobre la absorción de Ca²⁺ y K⁺. Sin embargo, condiciones inadecuadas de riego durante la floración pudieron haber influido en la respuesta de la firmeza del fruto.

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 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.

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 nutrientes 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.

BIBLIOGRAFÍA

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

Alfonzo, M. 2015. Evaluación del comportamiento ecofisiológico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. Alba) en un ambiente enriquecido con CO₂ (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>.

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/xmli/bitstream/handle/123456789/48196/HUBER%20ALVAREZ%20AVILES_locked%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

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.

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/>.
- 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.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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/bolet-in-tecnico-cultivo-de-tomate-centa-cuscatlan/>.
- 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>.
- 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. 2022. Prueba de germinación sin suelo. San Salvador, El Salvador, UES. 3 p.
- Roca Molina, GA. 2024. Niveles de biosílice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicon 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.

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.

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/>.

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=98B BECD6D4A725E41C57E88980538 A3B?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>.