

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Modificación de la solución nutritiva en la producción y calidad de dos variedades
de tomate en invernadero

Por:

Diana Leydi Mendoza Ríos

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México
Marzo 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Modificación de la solución nutritiva en la producción y calidad de dos variedades de tomate en invernadero

Por:

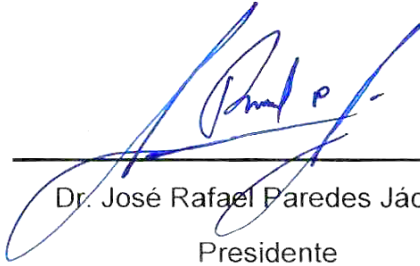
Diana Leydi Mendoza Ríos

TESIS

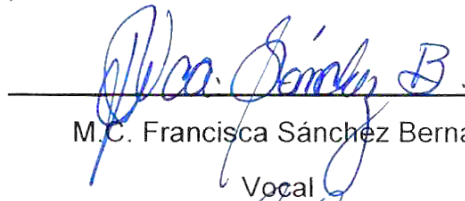
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

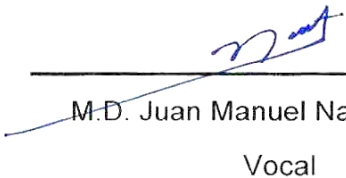
Aprobada por:



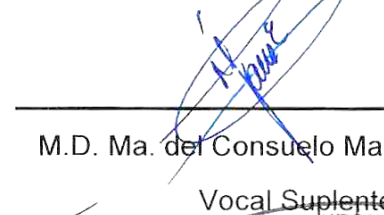
Dr. José Rafael Paredes Jácome
Presidente



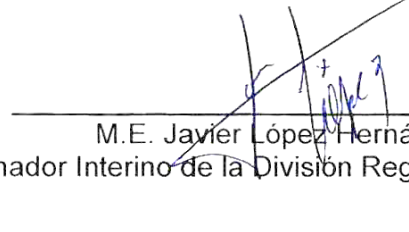
M.C. Francisca Sánchez Bernal
Vocal



M.D. Juan Manuel Nava Santos
Vocal



M.D. Ma. del Consuelo Macías Esquivel
Vocal Suplente



M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División Regional de Agronomía



Torreón, Coahuila, México
Marzo 2025

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

Modificación de la solución nutritiva en la producción y calidad de dos variedades
de tomate en invernadero

Por:

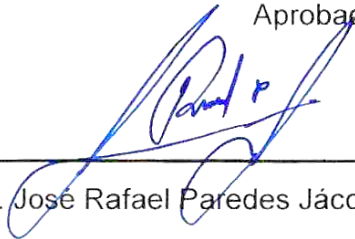
Diana Leydi Mendoza Ríos

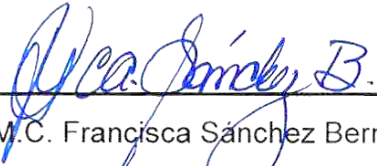
TESIS

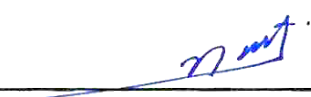
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

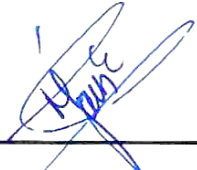
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

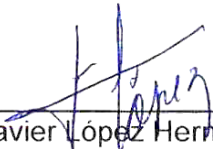
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Rafael Paredes Jácome
Asesor principal


M.C. Francisca Sánchez Bernal
Coasesor


M.D. Juan Manuel Nava Santos
Coasesor


M.D. Ma. del Consuelo Macías Esquivel
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División Regional de Agronomía



Torreón, Coahuila, México
Marzo 2025

DEDICATORIAS

A mi madre y abuelos

SRA. ANGELICA RIOS VELASCO

SRA. GUILLERMA EMMA VELASCO TOLENTINO

SR. JUAN RIOS SAN NICOLAS

Les dedico este trabajo, testimonio de mis esfuerzos y de todo lo que he logrado, pero también de la promesa de seguir adelante, de aprender y de abrazar las nuevas oportunidades que me esperan.

Madre querida y abuelos no hay palabras suficientes para agradecerte todo lo que has hecho por mí. Tu amor incondicional, tus sacrificios y tu fortaleza me han dado todo lo que necesito para ser la persona que soy. Gracias por enseñarme, por guiarme y por estar siempre a mi lado, incluso cuando cometí errores. A pesar de todo, nunca me dejaste, y siempre fuiste mi mayor apoyo. Fuiste mi refugio, mi fuente de consuelo y mi fuerza, incluso cuando decidí salir a otro estado para seguir mis sueños. Ser la única hija que dejó su hogar para perseguir lo que amaba no fue fácil, pero tú me diste el valor para hacerlo, y por eso, siempre te estaré agradecida. No solo me diste la vida, sino que me has dado el mejor de los ejemplos a seguir. Te amo profundamente y siempre te estaré agradecida por todo lo que haces. ¡Eres la mejor madre del mundo!

A pesar de que mi querido abuelo ya no está con nosotros, su legado, sabiduría y amor siguen vivos en mi corazón. Este trabajo es también un homenaje a su influencia en mi vida, un recordatorio de lo que me enseñó y del ejemplo que me dio.

Padre

Juan Mendoza Manrique

A ti, papá, aunque estuviste ausente en esta etapa de mi vida, quiero agradecerte profundamente por darme la vida y por todo lo que has hecho por mí. Tu presencia,

aunque distante, ha dejado huella en mi ser y, aunque nuestros caminos no siempre hayan coincidido, siempre llevaré contigo lo que me has enseñado. Gracias por ser parte de quien soy hoy. Te aprecio y te llevo en mi corazón.

A mis hermanos y tíos

Saira Mendoza Rios, Aris Nohemí Mendoza Rios, Yahir Mendoza Rios,

Martin Rios Velasco y Marcial Rios Velasco

Agradezco profundamente todo el apoyo incondicional que me han brindado, tanto económico como emocional, y por siempre animarme a no rendirme en este recorrido. Gracias por estar ahí cuando más lo necesitaba; su amor y su presencia han sido la base para formarme como una persona de bien. Los amo.

A mi sobrino

Ian Zaid Romero Mendoza

Para mi pequeño sobrino, quien con su sonrisa ilumina mis días y llena mi corazón de alegría. A ti, que con tu inocencia y amor me recuerdas la importancia de disfrutar cada momento, te dedico este trabajo. Te quiero mucho y siempre estaré aquí para apoyarte en todo lo que necesites.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de Guadalupe

Por regalarme la vida, sabiduría y paciencia, cuya luz y guía han sido fundamentales a lo largo de este arduo proceso en mi carrera profesional, su presencia me ha dado la fuerza para enfrentar los desafíos y alcanzar este logro con gratitud y humildad.

Mi más sincero agradecimiento a mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de formarme en un entorno académico tan enriquecedor. Gracias por su compromiso con la excelencia y por ofrecerme las herramientas necesarias para crecer tanto personal como profesionalmente. Cada clase, cada desafío y cada enseñanza han sido fundamentales para llegar hasta aquí. Estoy profundamente agradecido por el apoyo recibido durante todo mi proceso académico y por haber tenido el privilegio de formar parte de esta maravillosa comunidad.

A mi asesor el Dr. José Rafael Paredes Jácome, le expreso mi más sincero agradecimiento por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante durante todo el proceso de investigación. Sus consejos han sido cruciales para el desarrollo de mi trabajo, Gracias por creer en mí, por impulsarme a dar lo mejor de mí mismo y por siempre estar dispuesto a orientarme con dedicación.

A mis queridas amigas de generación, la universidad nos unió y, gracias a esa conexión, he tenido el privilegio de contar con su amistad, apoyo y compañía en cada paso de este recorrido. Gracias por compartir conmigo no solo los momentos de estudio, sino también los de risas, desafíos y aprendizajes. Cada uno de ustedes ha sido una fuente de motivación y fortaleza, y juntos hemos superado desafíos y celebramos logros.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	<i>i</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iii</i>
RESUMEN	<i>viii</i>
ABSTRACT.....	<i>ix</i>
1. INTRODUCCIÓN.....	<i>1</i>
OBJETIVO GENERAL.....	<i>2</i>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	<i>2</i>
HIPÓTESIS	<i>2</i>
2. REVISIÓN DE LITERATURA	<i>3</i>
2.1 Origen, domesticación y distribución geográfica del tomate	<i>3</i>
2.2 Importancia del cultivo de tomate	<i>4</i>
2.3 Producción nacional	<i>4</i>
2.4 Producción mundial	<i>5</i>
2.5 Características botánicas	<i>6</i>
2.5.1 Sistema radical	<i>6</i>
2.5.2 Tallo	<i>6</i>
2.5.3 Hoja.....	<i>7</i>
2.5.4 Flor.....	<i>7</i>
2.5.5 Fruto.....	<i>8</i>
2.5.6 Semilla	<i>8</i>
2.6 Clasificación taxonómica del tomate	<i>8</i>
2.7 Requerimientos edafoclimáticos.....	<i>9</i>
2.7.1 Temperatura.....	<i>9</i>
2.7.2 Humedad relativa	<i>9</i>
2.7.3 Riego.....	<i>10</i>
2.7.4 Suelo.....	<i>11</i>
2.7.5 pH	<i>11</i>
2.7.6 Conductividad eléctrica (CE).....	<i>11</i>
2.8 Requerimientos nutricionales de tomate.....	<i>12</i>
2.9 Plagas y enfermedades en el cultivo del tomate	<i>14</i>
2.10 Composición química	<i>16</i>
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	<i>17</i>
3.1 Ubicación del experimento	<i>17</i>
3.2 Acondicionamiento del terreno	<i>17</i>
3.3 Material vegetal	<i>17</i>
3.4 Siembra.....	<i>17</i>

3.5 Trasplante	17
3.6 Sistema de riego y fertilización	18
3.7 Solución nutritiva	18
3.8 Manejo del cultivo	19
3.9 Tutorio.....	19
3.10 Poda	20
3.10.1 Poda de brotes axilares	20
3.10.2 Poda de hojas.....	20
3.10.3 Poda apical.....	20
3.11 Control fitosanitario	20
3.12 Cosecha	21
3.13 Descripción de los tratamientos	21
3.14 Variables de crecimiento	22
3.14.1 Número de frutos.	22
3.14.2 Rendimiento (g).	22
3.14.3 Altura de planta (cm).....	22
3.14.4 Diámetro de tallo (mm).	22
3.14.5 Longitud de raíz (cm).	22
3.14.6 Peso fresco de parte aérea y raíz (g).	23
3.14.7 Peso seco de parte aérea y raíz (g).	23
3.15 Variables de calidad evaluadas	23
3.15.1 Firmeza de fruto	23
3.15.2 Sólidos solubles totales	23
3.15.3 Peso de fruto (g).....	23
3.16 Análisis estadístico	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Número de frutos.....	24
4.2 Rendimiento.....	25
4.3 Altura de planta	26
4.4 Diámetro de tallo	27
4.5 Longitud de raíz.....	28
4.6 Peso fresco de la planta.....	29
4.7 Peso seco de la planta	30
4.8 Peso fresco de la raíz.....	31
4.9 Peso seco de la raíz	32
4.10 Variables de calidad	33
5. CONCLUSIONES.....	35
6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales estados productores de tomate (saladette, bola, cherry, uva) en México.	5
Tabla 2. Taxonomía del tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	9
Tabla 3. Principales nutrientes que requiere el cultivo de tomate.	13
Tabla 4. Impacto de las plagas en la productividad del tomate.....	14
Tabla 5. Las enfermedades más comunes que afectan a las plantas de tomate..	15
Tabla 6. Composición nutrimental de tomate rojo por cada 100g.	16
Tabla 7. Clasificación de fertilización foliar en el cultivo de tomate.....	18
Tabla 8. Concentración de la solución nutritiva y su relación, con la producción y calidad de tomate.	19
Tabla 9. Fertilizante químico, para combatir la mosquita blanca y gusano minador.	20
Tabla 10. Grados de índice de madurez <i>Solanum lycopersicum</i>	21
Tabla 11. Estudio comparativo de cuatro tratamientos en relación con dos variedades de tomate.	22
Tabla 12. Vida de anaquel basado en variables de calidad (peso de fruto, firmeza y sólidos solubles totales) en las variedades Canelo y Mago de tomate.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Número de frutos obtenidos con la modificación de la solución nutritiva	24
Fig. 2 Rendimiento obtenidos en respuesta a las diferentes aplicaciones de soluciones nutritivas (Steiner).	25
Fig. 3 Análisis de la altura de planta, en respuesta a la modificación de la solución nutritiva.....	26
Fig. 4 Resultados obtenidos sobre el diámetro de tallo (DT), en respuesta a las diferentes aplicaciones de soluciones nutritivas.	27
Fig. 5 Resultados obtenidos del crecimiento radicular frente a las modificaciones en la solución nutritiva.	28
Fig. 6 Variación en el peso fresco de planta tras la modificación de la solución nutritiva.....	29
Fig. 7 Resultados obtenidos del peso seco de las plantas en respuesta a la aplicación de diferentes concentraciones de solución nutritiva.	30
Fig. 8 Datos obtenidos del peso fresco de la raíz tras la modificación de la solución nutritiva.....	31
Fig. 9 Resultados obtenidos del peso seco de la raíz en respuesta a la modificación de la solución nutritiva.	32

RESUMEN

El desarrollo y productividad que tiene el cultivo (*Solanum lycopersicum* L.) está directamente relacionado con el suministro nutricional, además de la correcta selección del material genético. Actualmente, la producción de tomate en México representa el 70% de los cultivos que se producen bajo condiciones protegidas, debido a su aporte benéfico para la salud, y por su buen posicionamiento en la gastronomía mexicana tanto para el consumo en fresco como para productos enlatados. El presente trabajo se realizó en un invernadero tipo túnel, con cubierta plástica y sistema de enfriamiento, durante el periodo agosto 2023 y febrero de 2024, se emplearon plántulas de tomate de 15 a 20 cm de altura, tipo saladette, las cuáles fueron trasplantadas en bolsas plásticas con una capacidad de 20 L. El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar la respuesta agronómica y bioquímica del tomate, en respuesta a la modificación de la solución Steiner (25 %; 50%; 75% y 100%), las cuales fueron suministradas de acuerdo con la fase fenológica del cultivo. El diseño utilizado fue completamente al azar, donde factor a, corresponde a las dos variedades (canelo y mago) y factor b, las cuatro concentraciones. Para determinar su efectividad, se evaluaron las siguientes variables agronómicas tales como: número de frutos, rendimiento, altura, diámetro de tallo, longitud de la raíz, peso fresco y seco de la planta, peso fresco y seco de la raíz.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, Productividad, Solución Steiner

ABSTRACT

The development and productivity of the crop (*Solanum lycopersicum* L.) is directly related to the nutritional supply, in addition to the correct selection of genetic material. Currently, tomato production in Mexico represents 70% of the crops produced under protected conditions, due to its beneficial contribution to health, and its good positioning in Mexican gastronomy for both fresh consumption and canned products. The present work was carried out in a tunnel-type greenhouse, with a plastic cover and a cooling system, during the period August 2023 and February 2024, tomato seedlings of 15 to 20 cm in height, saladette type, were used, which were transplanted into plastic bags with a capacity of 20L. The objective of this research project was to evaluate the agronomic and biochemical response of tomato in response to the modification of the Steiner solution (25%; 50%; 75% and 100%), which were supplied according to the phenological phase of the crop. The design used was completely randomized, where factor a corresponds to the two varieties (canelo and mago) and factor b, the four concentrations. To determine its effectiveness, the following agronomic variables were evaluated such as: number of fruits, yield, height, stem diameter, root length, fresh and dry weight of the plant, fresh and dry weight of the root.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, Productivity, Steiner solution

1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas, y es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial, gracias a su gran diversidad de formas de consumo, además de su valor económico y nutricional (Contreras Magaña *et al.*, 2013; Hyman, 2019).

México no solo es considerado como el epicentro mundial de la domesticación si no también como uno de los países productores de este (Carrillo Rodríguez *et al.*, 2023). A nivel nacional, Sinaloa se distingue como el principal productor de tomate en sus variedades saladette, bola, cherry y uva (SIAP, 2024). Además, México se ha consolidado como un importante país exportador a nivel mundial principalmente hacia los Estados Unidos de América, ostentando una participación del 25.11% (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016; SAGARPA, 2017).

En los últimos años los agricultores han optado por sistemas de producción especializados en lugar del método convencional (Meraz Ruiz, 2023). Sin embargo, la implementación de esta tecnología no se ha dado de manera homogénea (García-Herrera *et al.*, 2016). La agricultura protegida se caracteriza por crear un ambiente controlado (temperatura, humedad relativa, luz, radiación, etc.), además de resguardar los cultivos de condiciones climáticas extremas como temperaturas elevadas, lluvias intensas, así como plagas y enfermedades (Meraz Ruiz, 2023).

Dado el creciente auge del cultivo, surge la necesidad de cumplir con las demandas del mercado en términos de calidad y cantidad (Frías-Ortega *et al.*, 2020). Por ello, la correcta aplicación de fertilizantes en los cultivos es esencial, ya que la productividad depende directamente del manejo nutricional y la disponibilidad de nutrientes, clave para el desarrollo de las plantas en el medio de cultivo. Sin embargo, a nivel global, el sector agrícola enfrenta desafíos como el aumento en los precios de los fertilizantes y el deterioro del suelo. (Díaz Vázquez *et al.*, 2023). La deficiencia de nutrientes no solo afecta a los cultivos, sino que los excesos también pueden dañarlos, por lo que su disponibilidad debe ser adecuada (EAT, 2019).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta agronómica y bioquímica de dos variedades de tomate *Solanum lycopersicum* L. e identificar posibles deficiencias o exceso de nutrientes bajo condiciones de invernadero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el rendimiento de dos variedades de tomate bajo condiciones de invernadero, en respuesta a la modificación de la solución Steiner.
- Comparar que variedad presenta los mejores atributos físico-químico, en función de los cuatro tratamientos aplicados.

HIPÓTESIS

Ho: La modificación de la solución nutritiva (Steiner) no tendrá efectos positivos respecto al rendimiento y calidad de fruto de tomate.

H1: La modificación de la solución nutritiva (Steiner) tendrá efectos favorables en relación con el rendimiento y calidad de fruto de tomate.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen, domesticación y distribución geográfica del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), planta herbácea originario de América del Sur (perteneciente a la familia de las Solanáceas), representa una de las especies vegetales más cultivadas a nivel global, abarcando más de 5 millones de hectáreas de terreno cultivado y generando más de 182 millones de toneladas de producción a nivel global (Caruso *et al.*, 2022).

La historia del tomate se remonta al siglo XVI, cuando los españoles y portugueses introdujeron en sus países de origen diversas plantas exóticas provenientes de Sudamérica, entre las cuales se encontraba el tomate. Todas las variedades silvestres asociadas al tomate son originarias de la región andina, abarcando territorios de Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú (González Concha , 2020).

México se considera el epicentro mundial de la domesticación del tomate, que también es conocido como tomate (xitomatl, en lengua náhuatl) (Carrillo Rodríguez *et al.*, 2023). Las diversas variedades de tomate han surgido a partir de antecedentes silvestres, específicamente del cherry *S. cerasiforme* (Singh *et al.*, 2024).

Los primeros tomates que llegaron a Europa exhibían una variedad de colores, formas y tamaños, con flores blancas y amarillas, tanto simples como fasciadas, frutos redondos y segmentados en diferentes tonalidades. En sus inicios, se consideró una curiosidad botánica (Van Andel & Stefanaki, 2024). No fue hasta el siglo XVII que se reconoció el fruto como un alimento comestible, lo que propició su cultivo en la zona mediterránea. Algunas otras eran cultivadas por curiosidad, conocidas como “reliquias” o “variedades de jardín”. En varios países, el proceso de mejoramiento intensivo se inició en el siglo XX, lo que dio lugar a una amplia gama de cultivares morfológicamente diversos, principalmente híbridos (Ricini, 2019).

Las representaciones más antiguas de tomates datan de principios de la década de 1550 en Alemania, realizadas por (Leonhard Fuchs) y (Georg Oellinger), así como

en Suiza por (Conrad Gessner). Sin embargo, (Rembert Dodoens) fue quien publicó la primera imagen en 1553 (Van Andel & Stefanaki, 2024).

2.2 Importancia del cultivo de tomate

El tomate es una planta herbácea, perene y dicotiledónea, aunque se cultiva generalmente como anual. Se considera una de las frutas (baya) más apreciadas a nivel mundial, cultivada en múltiples áreas tanto tropicales como templadas (Ahmed *et al.*, 2020). Es una valiosa fuente de fibra, así como de vitaminas A y C, licopeno, y proporciona nutrientes beneficiosos para la salud (Saad *et al.*, 2016).

Hay un tipo de tomate perfecto para cada situación, lugar o propósito. Gracias a su variada gama de formas, colores, texturas y tamaños, que van desde las variedades más atractivas hasta las menos estéticas (Hyman, 2019).

En la cocina, desempeña un papel fundamental y se encuentra en todos los aspectos de nuestra experiencia gastronómica, especialmente en ensaladas, guisos o productos como ketchup, jugo, puré, salsas y frutas enlatadas (Alam *et al.*, 2019).

La evolución del tomate es crucial, abarcando desde sus orígenes silvestres hasta su lugar habitual en los estantes de los supermercados. Su transición de un fruto exótico a un elemento cotidiano, junto con la percepción de su toxicidad y sus supuestas propiedades afrodisíacas, ha llevado a que se convierta en un alimento nutritivo y altamente apreciado (Hyman, 2019).

2.3 Producción nacional

En México, el tomate se posiciona como una de las hortalizas más importantes para la exportación, cultivándose principalmente en amplias áreas de los estados del Noroeste y Occidente. Los rendimientos promedio superan las 40 ton/ha. Cada año, se siembran más de 52 mil hectáreas, generando una producción de aproximadamente dos millones de toneladas (Ríos-Osorio *et al.*, 2014).

La agricultura protegida (AP) en México, representa una alternativa a los problemas climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos

productivos (agua o superficie), permitiendo el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural. En la última década, ha tenido un crecimiento importante en diferentes estados de México, (Tabla 1). Sin embargo, la adopción de este tipo de tecnología no se ha dado de manera homogénea (García-Herrera *et al.*, 2016).

La Comarca Lagunera, ubicada en el norte-centro de México, desempeña un papel crucial en las exportaciones, particularmente hacia Estados Unidos. En el año 2020, el sistema agrícola más utilizado fue el de malla sombra (Orona-Castillo *et al.*, 2022).

Tabla 1. Principales estados productores de tomate (saladette, bola, cherry, uva) en México.

Producción agrícola (Invernadero, malla sombra, cielo abierto macro y micro túnel)				
Nº	Estado	2021	2022	2023
1	Sinaloa	677,612.23	638,699.19	712,013.13
2	San Luis Potosí	440,875.72	446,294.71	436,097.48
3	Michoacán	283,259.11	325,971.81	356,775.74
4	Jalisco	197,679.15	202,857.37	211,715.90
5	Baja California Sur	173,540.00	185,009.89	171,838.23
6	Zacatecas	158,999.64	179,583.22	148,309.56
7	Morelos	164,577.77	169,352.00	201,721.36
8	Puebla	139,511.60	154,082.88	150,141.27
9	México	124,073.99	133,968.62	144,123.81
10	Sonora	127,478.00	129,385.27	153,121.31
11	Coahuila	77,459.52	75,754.91	70,470.93
Total		2,565,066.73	2,640,959.87	2,756,328.72

Fuente: (SIAP , 2024)

2.4 Producción mundial

México es un país altamente competitivo en la exportación de tomate rojo en el mercado estadounidense, derivado de su ubicación geográfica, el uso de innovaciones tecnológicas, disponibilidad de tierra, mano de obra, entre otros factores que se relacionan con la ventaja comparativa (Montaño-Méndez *et al.*, 2021).

Actualmente el tomate se encuentra entre las hortalizas de mayor importancia. México se posiciona como el mayor proveedor mundial de este, ostentando una participación del 25.11% en el mercado internacional de exportaciones (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016; SAGARPA, 2017).

En 2019, China lideró el ranking mundial con una participación del 27.75%, mientras que India se situó en segundo lugar cubriendo el 8.29%, y Estados Unidos en tercer lugar con un 6.26%. En este contexto, México se posicionó en el décimo lugar, aportando un 1.63% a la producción mundial (Castillo-Mata *et al.*, 2022).

2.5 Características botánicas

2.5.1 Sistema radical

Esta constituido de una raíz principal, de la que emergen raíces secundarias y adventicias (Pianalto, 2023). Su función principal es la captación de agua y nutrientes, además de proporcionar soporte y estabilidad a la planta (López Marín, 2017).

El interior de la raíz se compone de tres secciones: La epidermis que presenta pelos radiales encargados de absorber agua y nutrientes; el córtex y el cilindro vascular se encargan de la función de transporte de estos nutrientes (López Marín, 2017).

Más del 80% de las raíces se extienden a profundidades de entre 20 y 45 cm, aunque en condiciones óptimas pueden llegar a alcanzar hasta dos metros (Martinez Estrada, 2023).

2.5.2 Tallo

El tallo, al igual que muchas otras plantas, es una continuación de la raíz, flexible, incapaz de soportar el peso y mantener un crecimiento vertical. Su sistema radicular se compone de una raíz principal corta, que se ramifica en múltiples raíces secundarias. En la parte superior, del suelo, se forman raíces adventicias que contribuyen a fortalecer el anclaje de la planta al suelo (Narváez Trujillo, 2021; Escobar, 2010).

El tallo principal presenta un diámetro que oscila entre 2 y 4 cm en su base, volviéndose más delgado hacia la parte superior, donde crecen las hojas, ramas secundarias y flores. Las estructuras que componen el tallo incluyen la epidermis, que presenta pelos glandulares, la corteza, el cilindro vascular (xilema) y el tejido medular (Carpoica *et al.*, 2013; Escobar, 2010).

2.5.3 Hoja

Las hojas del tomate presentan una estructura imparapinada, compuestas por foliolos que se disponen de manera alterna e impar, culminando en un foliolo único en la parte apical. El limbo generalmente exhibe un color verde en el haz y un tono grisáceo en el envés, con una longitud que varía entre seis y doce pulgadas. La cantidad de hojas por tallo y su frecuencia de aparición dependen en gran medida del tipo de hábito de crecimiento de la planta y de las condiciones de temperatura (Rodríguez Farfán, 2019; López Marín, 2017; Fornaris, 2007).

2.5.4 Flor

La flor presenta características perfectas, regulares e hipóginas, compuesta por 5 o más sépalos, posee un número igual de pétalos de color amarillo (Nuño Moreno *et al.*, 2007). En términos generales, las inflorescencias que se desarrollan en la parte inferior son más sencillas y generan uno o dos frutos; en cambio, las que se sitúan en la parte superior son más elaboradas y producen un mayor número de frutos. La floración de una cima no ocurre de manera simultánea, sino que se desarrolla de forma progresiva desde la base hasta la parte superior. Por lo tanto, en un mismo racimo se pueden observar simultáneamente frutos verdes, flores en plena apertura y botones florales (Fausto, 2018).

La disposición de los órganos florales ocurre de forma centripeta: en primer lugar, aparecen los sépalos, seguidos por los pétalos, luego los estambres que son filamentos de corta longitud y finalmente se desarrolla el gineceo, que incluye el ovario, óvulos, estilo y estigma (Contreras Magaña *et al.*, 2013).

2.5.5 Fruto

Es una baya bilocular o plurilocular, compuesto por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. Su composición es mayormente acuosa, con un 95% de agua, mientras que el resto es una mezcla compleja donde predominan los componentes orgánicos, responsables de su sabor distintivo y su textura (Rodríguez Farfán, 2019).

Durante su etapa inicial, exhibe un color verde, y al llegar a su madurez, cambia a rojo, alcanzando un peso que varía desde unos pocos miligramos hasta 600 g. El intervalo desde la antesis (cuajamiento) hasta la recolección se extiende entre 60 y 70 días (Escobar, 2010; López Marín, 2017).

2.5.6 Semilla

El tomate, al alcanzar su madurez fisiológica, presenta semillas que son planas y de forma lenticular, las cuales están envueltas en una sustancia gelatinosa que ocupa las células de la fruta. Cada tomate alberga una gran cantidad de semillas, que suelen ser vellosas y de tonalidades que varían entre crema y marrón claro. Cada semilla está compuesta por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal. Normalmente, las dimensiones de estas semillas son de aproximadamente 5 x 4 x 2 mm. En términos de peso, un gramo de semillas puede contener entre 250 y 350 unidades, dependiendo de la variedad (Fornaris, 2007; Escobar, 2010; López Marín, 2017).

2.6 Clasificación taxonómica del tomate

La taxonomía se define como la disciplina científica que organiza a los organismos en categorías jerárquicas, con el fin de entender sus relaciones evolutivas y la diversidad que presentan, (Tabla 2) (Ramos Tapia, 2023).

Tabla 2. Taxonomía del tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

División:	<i>Spermatophyta</i>
Subdivisión:	Magnoliophytina
Clase:	Dicotiledoneas
Especie:	<i>Solanum lycopersicum</i> Lin.
Orden:	Solanales
Familia:	<i>Solanaceae</i>
Género:	<i>Solanum</i>

Fuente: (Spooner, Peralta, & Knapp, 2005)

2.7 Requerimientos edafoclimáticos

2.7.1 Temperatura

El tomate es una hortaliza de gran adaptación climática. La temperatura ideal para el crecimiento del cultivo varía entre 20 °C y 24 °C durante el día, mientras que por la noche se sitúa entre 10 °C y 17 °C. Temperaturas extremas, pueden provocar diversos problemas, afectando la maduración, la precocidad y el color del fruto. Por otro lado, temperaturas inferiores a 10 °C impactan negativamente en la formación de flores (SAGARPA., 2017; López Marín, 2017; Allende *et al.*, 2017).

La temperatura nocturna puede representar un factor restrictivo en la producción de tomates. Cuando la temperatura desciende de los 10 °C, puede ocasionar dificultades en el crecimiento de las plantas y en el desarrollo de los frutos (Allende, 2017).

2.7.2 Humedad relativa

La humedad relativa (HR) constituye un elemento esencial en el cultivo del tomate. Se ha establecido que el rango ideal de HR, varía entre el 60 % y el 80 %, promueve un desarrollo adecuado de la polinización y asegura una producción exitosa. No

obstante, tanto un exceso como una falta de HR pueden provocar alteraciones fisiológicas y aumentar la incidencia de enfermedades (López Marín, 2017).

Las altas humedades relativas propician la aparición de enfermedades aéreas, provocan el agrietamiento de los frutos y complican el proceso de fecundación, ya que el polen se compacta, lo que resulta en el aborto floral (Infoagro Systems, S.L., s.f).

2.7.3 Riego

El agua es un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La capacidad de absorción de agua por parte de la planta está influenciada por diversos factores, tales como las propiedades fisicoquímicas del suelo, la estructura del sistema radicular y las estrategias que la planta pueda implementar para obtener agua, como el ajuste osmótico (Ruscitti *et al.*, 2015 ; Bojacá *et al.*, 2017).

La programación del riego consiste en una serie de procedimientos técnicos diseñados para establecer la cantidad de agua a aplicar y el momento adecuado para el riego (Ruelas-Islas *et al.*, 2022). Los métodos de programación del riego se clasifican según las necesidades específicas del cultivo, que incluyen:

1. Evaluación del contenido de agua en el suelo.
2. Análisis del estado hídrico de la planta.
3. Cálculo del balance hídrico del sistema suelo-planta-atmósfera (Proain tecnología agrícola, 2020).

Independientemente del método de riego empleado, las deficiencias o excesos de humedad en el suelo pueden tener un impacto negativo en la calidad y el rendimiento de los cultivos. La planificación de los riegos generalmente se lleva a cabo teniendo en cuenta los días transcurridos desde la siembra y trasplante, así como la experiencia del agricultor (Allende *et al.*, 2017 ; Ruelas-Islas *et al.*, 2022).

2.7.4 Suelo

El suelo es un factor de suma importancia en la producción, ya que es el entorno físico en el que las plantas se establecen. Además, es el sistema a través del cual las raíces de las plantas absorben el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento (Izquierdo & Granados Ortiz, 2011).

Para la siembra, es fundamental contar con suelos fértiles que presenten un buen drenaje, preferiblemente de tipo franco arenoso y con una textura media. En condiciones de suelos secos es común que se presenten problemas de podredumbre apical y un desarrollo inadecuado (Martínez, 2007 ; Work, 2023).

2.7.5 pH

Las plantas necesitan diversos elementos para llevar a cabo sus funciones vitales. La disponibilidad y absorción de los nutrientes está estrechamente ligada al pH de suelo (Paredes Zambrano, 2009).

El pH ideal para el cultivo de tomate se sitúa entre 6.0 y 6.5; sin embargo, es posible cultivar esta hortaliza en suelos cuyo pH oscile entre 5.0 y 7.5. Si el pH desciende por debajo de 5.5 la disponibilidad de magnesio y molibdeno disminuye, mientras que un pH superior a 6.5 puede causar deficiencias en zinc, manganeso y hierro (Yara, s.f).

2.7.6 Conductividad eléctrica (CE)

Los tomates presentan una tolerancia moderada a la salinidad del suelo. El límite máximo de salinidad aceptable para este cultivo es de 2,5 mS/cm. Un dS/m se traduce en aproximadamente 640 ppm de sales, sin que este afecte a la producción. Sin embargo, al superar este umbral de CE, la producción comienza a disminuir de manera gradual, siendo esta reducción variable según la variedad (Martínez, 2007;Yara, s.f).

Altos niveles de CE generan múltiples efectos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos en las plantas:

- Reducción de la fotosíntesis
- Alteraciones en la cantidad y calidad de la síntesis de proteínas
- Desajustes iónicos y toxicidad
- Dificultades en la absorción de agua (Componente osmótico)
- Disminución del tamaño planta, así como el número de hojas, flores y frutos.
- Calidad de frutos.
- Incremento en el contenido de pigmentos, mejorando la coloración y sabor (Cortés & Real, 2007).

2.8 Requerimientos nutricionales de tomate

En 1934, Arnon y Stout propusieron el concepto de elemento mineral esencial (Ortuño *et al.*, 2015), que actúa como la principal fuente de nutrición para las plantas en un medio líquido, es relevante destacar que estos elementos se encuentran en forma de iones lo cual facilita su absorción (Intagri, 2017).

Los fertilizantes se aplican mediante el sistema de riego, y cada uno de ellos debe poseer características tales como solubilidad, pureza y compatibilidad (Jasso *et al.*, 2011). Durante el ciclo del cultivo, el uso de la solución contribuye a mejorar el rendimiento en las variables de crecimiento fisiológico y la calidad comercial (Díaz Vázquez *et al.*, 2023).

Según (Zamora, 2016) las plantas requieren 17 elementos fundamentales para el crecimiento y producción. Los tres elementos con mayor requerimiento son N, P y K que se clasifican como macronutrientes primarios. Por otro lado, el Ca, Mg y S son considerados macronutrientes secundarios. En cuanto a los micronutrientes, estos incluyen (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl y Ni). Los cuales son esenciales para completar su ciclo vital y desempeñar funciones metabólicas o estructurales que no pueden ser sustituidas (Tabla 3). Cada tipo de cultivo presenta niveles de tolerancia mínimos, óptimos y máximos de tolerancia para cada nutriente, por lo que su disponibilidad debe ser adecuada. La carencia de algún nutriente puede manifestarse a través de síntomas de deficiencia en las plantas, lo que, si no se

corrige a tiempo, puede interrumpir el crecimiento e incluso causar la muerte de la planta. Además, el uso inadecuado de soluciones nutritivas puede resultar en fitotoxicidad debido a un exceso en la provisión de nutrientes (EAT, 2019).

Tabla 3. Principales nutrientes que requiere el cultivo de tomate.

Nutrientes	Símbolo	Función en las plantas
Nitrógeno	N	Síntesis de la clorofila, proteína y aminoácidos (crecimiento y rendimiento).
Fosforo	P	División de la célula y transferencia de energía (Promueve el desarrollo radical, y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades).
Potasio	K	Traslocación de carbohidratos, síntesis de proteínas transporte de iones (crecimiento y desarrollo).
Calcio	Ca	Componente de la pared celular (principal encargado de preservar los frutos y flores, así como de asegurar su calidad).
Magnesio	Mg	Componente principal de la clorofila, y por lo tanto para el proceso de la fotosíntesis (color verde).
Azufre	S	Síntesis de aminoácidos esenciales: cisteína y metionina.
Hierro	Fe	Síntesis de clorofila.
Manganeso	Mn	Actividades enzimáticas.
Zinc	Zn	Crecimiento y desarrollo temprano (auxinas).
Cobre	Cu	Influye en el metabolismo de hidratos de carbonos y del nitrógeno. Activador de la enzima para la producción de lignina y melanina.
Boro	B	Componente de la pared celular, translocación de azúcares y carbohidratos (desarrollo de frutos y semilla).
Molibdeno	Mo	Implicado en la fijación de nitrógeno, componente clave en el metabolismo (N).
Cloro	Cl	Reacciones de fotosíntesis.

Fuente: (Iglesias Carreño, 2018; Sierra *et al.*,2020; Nadeem *et al.*,2018).

2.9 Plagas y enfermedades en el cultivo del tomate

En la actualidad, se estima que el 40% de la producción agrícola mundial se pierde anualmente debido a la acción de plagas y enfermedades, (Tabla 4) y (Tabla 5) (ONU, 2020).

Tabla 4. Impacto de las plagas en la productividad del tomate.

PLAGAS DEL TOMATE		
Nombre común	Nombre científico	Daño
Araña roja de las hortícolas	<i>(Tetranychus urticae)</i>	Absorben líquidos de las células, provocando coloración amarilla que se vuelve marrón. En casos graves de infestación, detiene su crecimiento y cubre con una densa telaraña.
Minador en tomate	<i>(Liriomyza trifoli</i> Burgues)	Picaduras que producen en las hojas son para su alimentación o reproducción; estas lesiones causan una disminución en la capacidad fotosintética de la planta.
Mosca blanca	<i>Bemisia tabaci</i> y <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Daños en la planta al igual que otros cultivos hortícolas siendo este el responsable de la transmisión de enfermedades.
Nematodos en tomate	<i>(Meloidogyne incognita,</i> <i>Meloidogyne arenaria)</i>	Nódulos o engrosamiento en las raíces conocido como “batatilla”, que impide la absorción, uno de los indicios de la marchitez, clorosis y enanismo.
Trips en tomate	<i>(Frankliniella occidentalis</i> Pergande)	Portadora del virus del bronceado del tomate (TSWW). Se presenta en forma de marchas circulares que causan la muerte del tejido, tanto en las hojas, flores y frutos.

Fuente: (SYNGENTA, 2023).

Tabla 5. Las enfermedades más comunes que afectan a las plantas de tomate.

ENFERMEDADES DEL TOMATE		
Nombre común	Nombre científico	Daño
Tizón temprano del tomate	<i>Alternaria solani.</i>	Se encuentra principalmente en el tallo, las hojas y los frutos. A nivel del cuello de la planta se desarrollan lesiones de tejido muerto y en las plantas adultas se observan manchas circulares de color café.
Mancha gris del tomate	<i>Stemphylium solani.</i>	Esta patología es reconocida como la más devastadora. Los primeros indicios aparecen en las hojas jóvenes y en los tallos, afectando tanto a plántulas como a plantas adultas. Las lesiones son de tamaño reducido, presentan un color castaño oscuro y tienen bordes irregulares.
Marchitez por fusarium	<i>Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici.</i>	Enfermedad que genera un único ciclo durante el cultivo (monocíclica). Los primeros síntomas aparecen desde el comienzo de la cosecha, evidenciándose en plantas de tonalidad verde pálido o en el amarillamiento de las hojas inferiores.
Marchitez por verticillium	<i>Verticillium daliae.</i>	Enfermedad que se presenta de manera generalizada en diversas especies. Se puede notar una ligera decoloración en la planta, acompañada de un amarillamiento en las hojas inferiores y la presencia de tejido muerto (necrosis).

Fuente: (Flores *et al.*, 2012).

2.10 Composición química

La fruta está constituida en su mayoría por agua, que representa más del 90% de su composición, conteniendo muy poca cantidad de proteínas o grasas, y aproximadamente un 3% de carbohidratos, principalmente en forma de glucosa y fructosa (Tabla 6) (Collins *et al.*, 2022).

Nutritionalmente, los tomates son considerados como alimentos saludables debido a su alta concentración de carotenoides, licopeno (hasta un 80-90% de los pigmentos totales) y β -caroteno, vitamina C, vitamina E, bioactivos tales como el ácido ascórbico, tocoferol, ácidos fenólicos, flavonoides, folatos y fibra. No obstante, la contribución nutricional está determinada por el entorno y la variedad (Navarro *et al.*, 2016).

Tabla 6. Composición nutricional de tomate rojo por cada 100g.

Componentes	Cantidad
Carbohidratos	3.84 g
Proteína	0.7 g
Fibra	1 g
Energía	19 kcal
Nitrógeno	0.11 g
Calcio	10 mg
Hierro	0.1 mg
Magnesio	8.1 mg
Fosforo	19 mg
Potasio	193 mg
Sodio	<2.5 mg
Zinc	0.08 mg
Vitamina A	24 μ g
Vitamina C	17.8 mg
Tiamina (Vitamina B1)	0.056 mg
Riboflavina (Vitamina B2)	<0.1 mg
Niacina (Vitamina B3)	0.533 mg
Vitamina B6	0.079 mg
Folato (Vitamina B9)	10 μ g
Luteína + zeaxantina	56 μ g

Fuente: Adaptado (USDA, 2021)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en la sede Unidad Laguna, durante el periodo comprendido entre agosto de 2023 y febrero de 2024 en el área de invernaderos. Situada en el centro-norte de México, con coordenadas de 25° 33' 27" latitud norte y 103° 22' 30" latitud oeste, a una altitud de 1 125 msnm.

3.2 Acondicionamiento del terreno

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de tipo túnel, construido con una estructura metálica y revestido con una cubierta plástica transparente. Este invernadero cuenta con un sistema de enfriamiento (extractores y pared húmeda) abarcando una superficie total de 230 m².

3.3 Material vegetal

Como material vegetal se utilizó semilla de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo saladette, de dos variedades, las cuales son: Canelo y Mago de la casa comercial "Hazera".

3.4 Siembra

Se estableció la siembra de tomate indeterminado de las variedades comerciales canelo y mago, utilizando charolas de 200 cavidades con una mezcla de peat moss y perlita en relación 2:1 v/v.

3.5 Trasplante

Una vez que las plantas alcanzaron una altura entre 15 y 20 cm y desarrollaron de 4 a 5 hojas verdaderas, se procedió a trasplantarlas en bolsas plásticas de 20 L. Estas bolsas contenían una mezcla de arena, perlita, y estiércol de ganado en

relación 2:2:1; en total se distribuyeron 64 bolsas en 3 hileras, manteniendo una distancia de 1 m entre hileras y 20 cm entre cada planta.

3.6 Sistema de riego y fertilización

El número de riegos, así como tiempo de aplicación se determinaron según la etapa fenológica del cultivo, teniendo en cuenta las características y requerimientos climáticos, con un suministro de agua de 1 a 2 litros por día, con un intervalo de dos días de aplicación.

Mientras tanto en la fertilización foliar se emplearon tres productos químicos como se describe en la (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de fertilización foliar en el cultivo de tomate.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis ml/L
ENERBION	Nitrógeno 20%, Fosforo 20%, Potasio 20%, Magnesio 1.50%, Hierro 0.146%, Zinc 0.073%, Cobre 0.073%, Manganeseo 0.073%, Boro 0.029%, Molibdeno 0.0012%, Cobalto 0.0012%, Acondicionadores y diluyentes 38.10%.	3 ml/L
KARATE	Lambda cialotrina 6.5%	2 ml/L
MULTIAGRO	Materia orgánica activa 6.5%, Nitrógeno 1%, Fósforo 0.5%, Potasio 1.5%, Calcio 0.1%, Magnesio 0.05% y Azufre 0.3%	50 ml/L

Fuente: Elaboración propia

3.7 Solución nutritiva

La fertilización radicular se realizó de acuerdo con la fase fenológica del cultivo. Durante la etapa de desarrollo y crecimiento vegetativo, se aplicó al 50%, en la fase de floración y crecimiento de frutos se incrementó al 75%, y finalmente durante el llenado de frutos y cosecha se administró el 100%. La (Tabla 8) presenta la dosis de concentración.

Tabla 8. Concentración de la solución nutritiva y su relación, con la producción y calidad de tomate.

Elementos Químicos	Formula	T.1	T.2	T.3	T.4 (testigo)
		SN (100%)			
		g / L			
Nitrato de calcio	CaNO ₃	0.712	0.476	0.948	0.595
Nitrato de magnesio	MgNO ₃	0.128	0.128	0.128	0.128
Nitrato de Potasio	KNO ₃	0.716	0.817	0.615	0.413
Sulfato de Magnesio	MgSO ₄	0.146	0.146	0.146	0.270
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	0.157	0.070	0.245	0.245
		mL/ L	mL/ L	mL/ L	mL/ L
Ácido nítrico	HNO ₃	0.046	0.127	0.046	0.127
Ácido fosfórico	H ₂ PO ₄	0.142	0.071	0.142	0.071
		g/ L	g/ L	g/ L	g/ L
Micronutrientes		0.125	0.125	0.125	0.125

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Manejo del cultivo

3.9 Tutoreo

La utilización de tutores se llevó a cabo a los 15 días tras el trasplante, una práctica esencial que proporciona soporte y permite que la planta se mantenga en posición vertical. La sujeción se realizó con rafia agrícola, anclando un extremo en la zona basal de la planta (anillos) y, en la parte superior, se aseguró a una columna de alambre utilizado un gancho en forma de S, alcanzando una altura de 2.50 m.

3.10 Poda

3.10.1 Poda de brotes axilares

La práctica consiste en la eliminación de los brotes axilares (chupones), con el fin de promover el desarrollo del tallo principal y mejorar el rendimiento de la planta. Este procedimiento se realiza cada 10 a 15 días; los brotes más pequeños se retiran manualmente, mientras que los brotes de mayor tamaño se cortan con tijera o cuchillas.

3.10.2 Poda de hojas

Técnica que consiste en retirar las dos hojas situadas por encima del primer racimo de frutos, comúnmente conocidas como hojas viejas o bajas.

3.10.3 Poda apical

Esta poda se basa en eliminar la parte apical con el objetivo de detener el crecimiento de la planta.

3.11 Control fitosanitario

Durante el experimento se tuvo incidencia de mosca blanca (*Bemisia tabaci*), y gusano minador de la hoja (*Liriomyza bryoniae*), ocasionando daños considerables al cultivo (Tabla 9), para el manejo de control fitosanitario se aplicaron los siguientes productos químicos, junto con la dosis correspondiente.

Tabla 9. Fertilizante químico, para combatir la mosca blanca y gusano minador.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis ml/L
DELTAPYR	DIMETOATO: 0,0-Dimetil-S-(N-metilcarbamoilometilo)- fosforo-ditioato. 38.50%	2 ml/L
CUPRAVIT	OXICLORURO DE COBRE 85%	1.5 g/L
CURACRON	Profenofós 73.56%	2 ml/L

Fuente: Elaboración propia.

3.12 Cosecha

En el momento de la cosecha, es fundamental tener en cuenta el grado o índice de madurez del fruto (Tabla 10). Existen dos tipos de madurez: la fisiológica y la comercial. La madurez fisiológica se refiere al estado en el que el fruto ha alcanzado su máximo desarrollo y maduración. Por otro lado, la madurez comercial se relaciona con las condiciones exigidas por el mercado. La recolección debe llevarse a cabo entre los 85 y 90 días después de la siembra, esta actividad debe realizarse con gran precaución para evitar daños en los frutos que, aunque no sean evidentes a simple vista, pueden causar un gran porcentaje de pérdidas (Larín *et al.*, 2018).

Para garantizar una comercialización exitosa y un precio competitivo del producto, es esencial utilizar técnicas adecuadas de selección, clasificación, limpieza, empaque y almacenamiento (Baudoin, 2017).

Tabla 10. Grados de índice de madurez *Solanum lycopersicum*.

Valor	Estado	Descripción
Etapa 1	Verde	Totalmente verde (claro a oscuro) pero maduro
Etapa 2	Breaker	Primera aparición externa de color; no más de 10%
Etapa 3	Cambiando	Sobre 10% pero menos de 30% rojo, rosa o amarillo
Etapa 4	Rosa	Sobre 30% pero menos de 60% rosado o rojo
Etapa 5	Rojo (Claro)	Sobre 60% pero menos de 90% rojo
Etapa 6	Rojo	Sobre 90% rojo; deseable para consumo

Fuente: Adaptado (Padrón Pereira *et al.*, 2012).

3.13 Descripción de los tratamientos

El experimento se formuló bajo un diseño factorial completamente al azar, donde el factor a, son las dos variedades de tomate (canelo y mago), y el factor b, las cuatro concentraciones de la solución nutritiva, distribuidas en ocho repeticiones de cada tratamiento, lo que resultó en un total de 64 plantas que fueron sometidas a una aplicación continua mediante fertirriego (Tabla 11).

Tabla 11. Estudio comparativo de cuatro tratamientos en relación con dos variedades de tomate.

Tratamiento:	Descripción:	pH promedio	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) promedio
T1	Solución ideal para tomate 10 mEq Ca	6.08	1514
T2	Solución < a la ideal 8 mEq Ca	6.55	1376
T3	Solución > a la ideal 12 mEq Ca	6.20	1526
T4	Solución Steiner (Testigo) 9 mEq Ca	6.15	1320

Fuente: Elaboración propia.

3.14 Variables de crecimiento

3.14.1 Número de frutos. Se obtuvo al seleccionar 6 racimos por planta, contabilizando la cantidad de frutos por racimo.

3.14.2 Rendimiento (g). Se calculo el peso del fruto basándose al rendimiento por planta.

3.14.3 Altura de planta (cm). Determinada mediante el uso de un flexómetro, desde el nivel del sustrato hasta la parte superior de la planta.

3.14.4 Diámetro de tallo (mm). Se midió con un vernier tomando como referencia un punto medio de la longitud de la planta.

3.14.5 Longitud de raíz (cm). El procedimiento implicó la extracción de la raíz. A continuación, se eliminó el sustrato restante hasta dejar únicamente la raíz. Se realizó una medición desde el cuello del tallo, que es la intersección entre el tallo, que es la intersección del tallo y la raíz, hasta la última zona de crecimiento de las raíces, conocida como cofia.

3.14.6 Peso fresco de parte aérea y raíz (g). La parte aérea (tallos, hojas) se dividieron en partes pequeñas, al igual que la raíz. Para determinar el peso se utilizó una báscula digital y cada muestra fue guardada en bolsas de papel.

3.14.7 Peso seco de parte aérea y raíz (g). La planta completa (parte aérea) y raíz. Se sometió a un proceso de secado en una estufa durante 6 días, hasta obtener el peso constante. Posteriormente se realizó el pesaje con una balanza digital.

3.15 Variables de calidad evaluadas

3.15.1 Firmeza de fruto

Se empleó un penetrómetro (marca EXTEC modelo FHT200 con una punta de calibre 6mm) para medir la firmeza por punción, realizando la medición en la parte central de cada fruto, variable que consistió en la evaluación de seis frutos por tratamiento realizándose en el día 0, 4, 8 y 12 después de haber sido cosechado.

3.15.2 Sólidos solubles totales

Se determinó la concentración de sólidos solubles totales a través de la extracción del jugo del fruto, el cual fue analizado utilizando un refractómetro portátil, observando la lectura a contraluz expresada (° Brix), en los días 0, 4, 8 y 12 después de haber sido cosechado.

3.15.3 Peso de fruto (g)

Se empleó una balanza digital para la medición del peso individual, en el día 0, 4, 8 y 12 después de haber sido cosechado.

3.16 Análisis estadístico

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Número de frutos

De acuerdo con los resultados obtenidos con el análisis de varianza (Anexo 1), podemos observar que hubo diferencias entre tratamientos, y de acuerdo con la comparación de medias (Fig. 1), observamos que el mayor número de frutos se obtuvo con el tratamiento (12 Meq/L Ca) para la variedad Mago, superando en 11.08% en número de frutos con el tratamiento (8 Meq/L Ca).

Estos resultados coinciden con Espinosa-Palomeque *et al.*, (2019) quienes modifican la solución nutritiva en tomate y encontraron que el aumento de cationes tiene influencia en el número de frutos.

Al igual que Díaz-Vázquez *et al.*, (2023), quienes reportan incrementos positivos en los tratamientos aplicados, destacando principalmente el T3 y T4 con una aplicación del 100% y 125%.

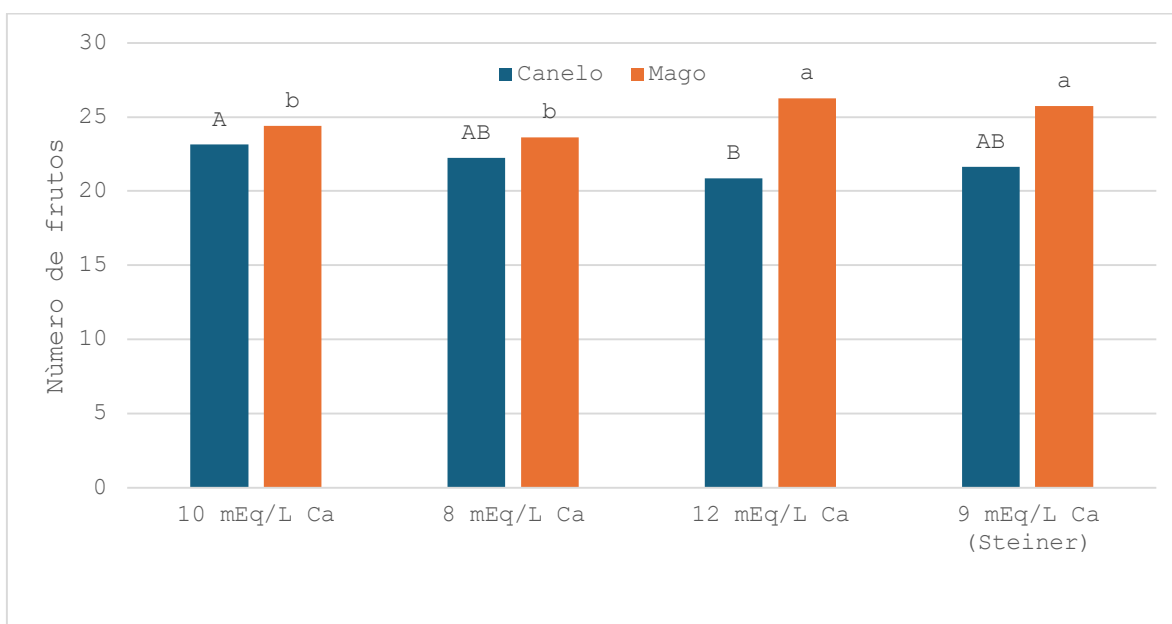


Fig. 1 Número de frutos obtenidos con la modificación de la solución nutritiva

4.2 Rendimiento

En base a los resultados obtenidos, se muestra diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Fig. 2), con una diferencia del 33.70%, superando así el tratamiento (8 mEq/L Ca). De acuerdo con los resultados se concluye que el aumento en los niveles de calcio aumenta la tasa de crecimiento en los frutos, especialmente en los componentes de la pared celular, que son clave para preservar los frutos y flores, asegurando su calidad y durabilidad.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Díaz-Vázquez *et al.*, (2023) quienes modifican la solución nutritiva y determina que el aumento de cationes tiene influencia positiva en el rendimiento, al igual que Valenzuela López *et al.*, (2014) quien determina que la modificación de la solución nutritiva tiene un impacto significativo.

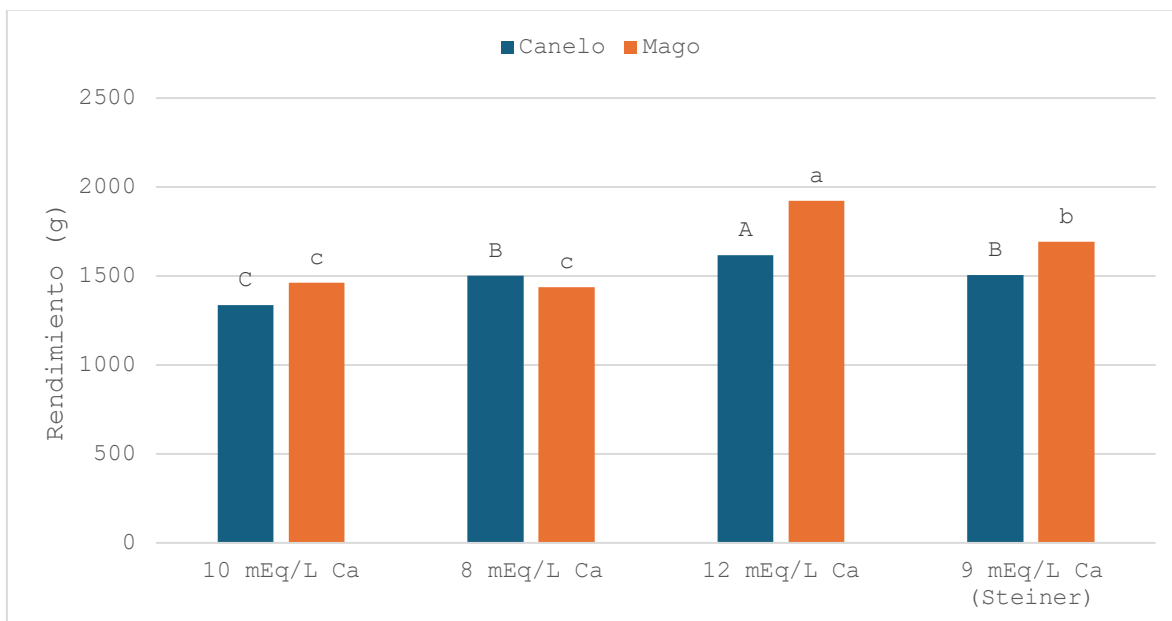


Fig. 2 Rendimiento obtenidos en respuesta a las diferentes aplicaciones de soluciones nutritivas (Steiner).

4.3 Altura de planta

A partir de los resultados obtenidos con el análisis de varianza (Anexo 1), sobre la variable altura de planta, podemos observar que no hubo diferencias entre tratamientos aplicados, de acuerdo con la comparación de medias (Fig. 3), El tratamiento (9 Meq/L Ca) Testigo, se posicionó como el mejor tratamiento en comparación con el T3 (12 Meq/L Ca) superando en un 11%.

Arcos *et al.*, (2025), indican que la modificación de la solución nutritiva, en el cultivo de (*Cannabis sativa L.*), se obtuvo diferencias significativas entre la aplicación óptima del 125% de la SN.

Estos resultados coinciden con la investigación de Gálvez-Muñoz (2012), donde demuestra que una mayor concentración de cationes, en el cultivo de crisantemo se obtiene respuestas significativas en crecimiento de la planta.

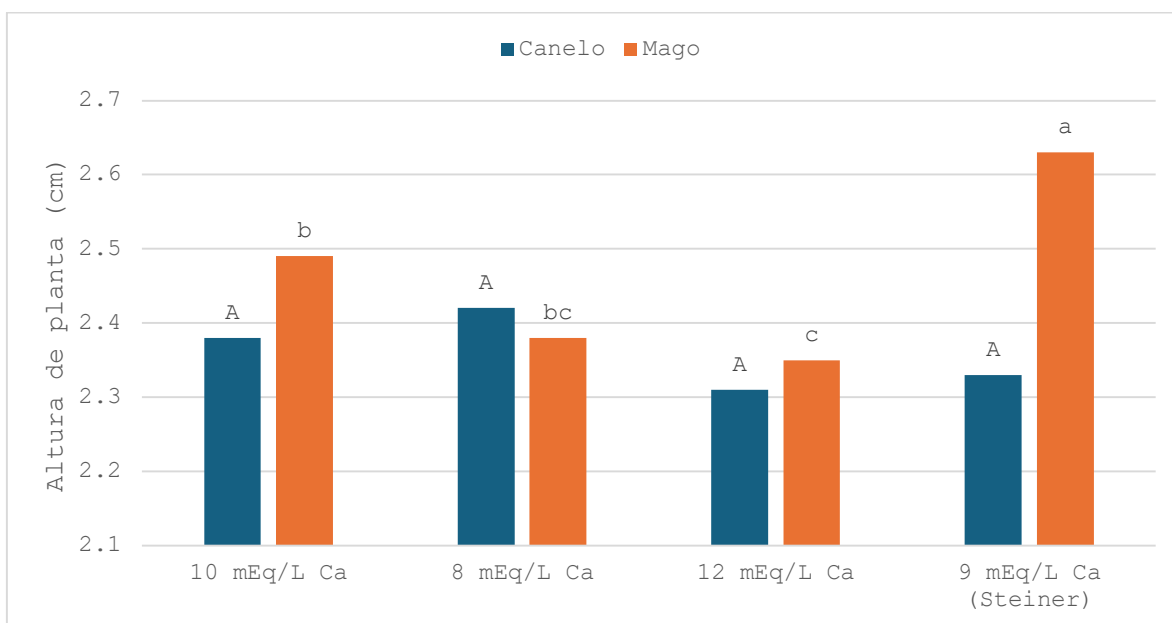


Fig. 3 Análisis de la altura de planta, en respuesta a la modificación de la solución nutritiva.

4.4 Diámetro de tallo

Dentro de los resultados obtenidos sobre la variable de diámetro de tallo, se muestran diferencias importantes entre los tratamientos (Fig. 4), la aplicación de 12 mEq/L Ca, se posicionó como el mejor tratamiento (variedad Canelo), mostrando una variación del 15.12 % en comparación con la aplicación de 10 mEq/L Ca.

Parra-Terraza (2016), quien modifica la solución nutritiva, menciona que un incremento de K^+ /cationes, en el cultivo de tomate se obtienen respuestas significativas en diámetro de tallo.

Al igual que Espinosa-Palomeque *et al.*, (2019), indican que la modificación de la solución nutritiva, en relación con el diámetro de tallo genera una respuesta significativa del 75%.

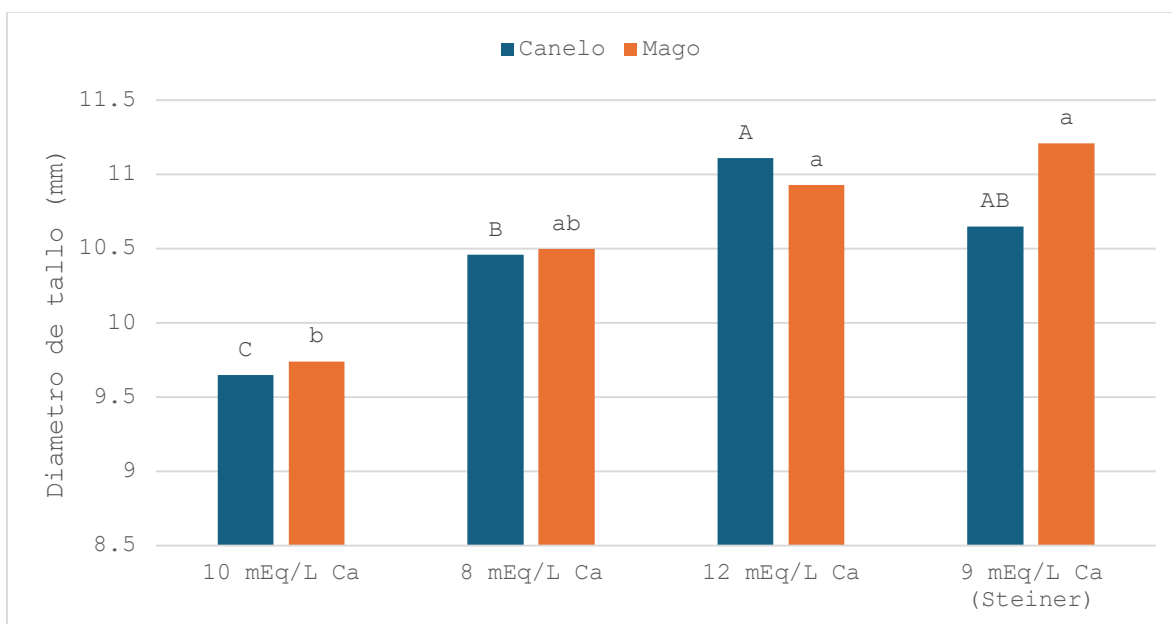


Fig. 4 Resultados obtenidos sobre el diámetro de tallo (DT), en respuesta a las diferentes aplicaciones de soluciones nutritivas.

4.5 Longitud de raíz

A partir de los datos obtenidos, de la variable longitud de raíz, no se aprecia mucha diferencia entre los tratamientos aplicados para la variedad Mago (Fig. 5), mientras que para la variedad Canelo se posiciona como el mejor tratamiento siendo superior el T3 (12 mEq/L Ca), en un 80% respecto al T4 (Testigo).

Nava-Martínez *et al.*, (2009), quienes comentan que la aplicación de cationes, con cantidades altas no muestran un efecto significativo en el crecimiento de la raíz.

Los resultados obtenidos por Palacios-Quispe (2023), quien reporta que la modificación de solución nutritiva Steiner, para el cultivo de fresa no se encontraron grandes diferencias en los tratamientos evaluados.

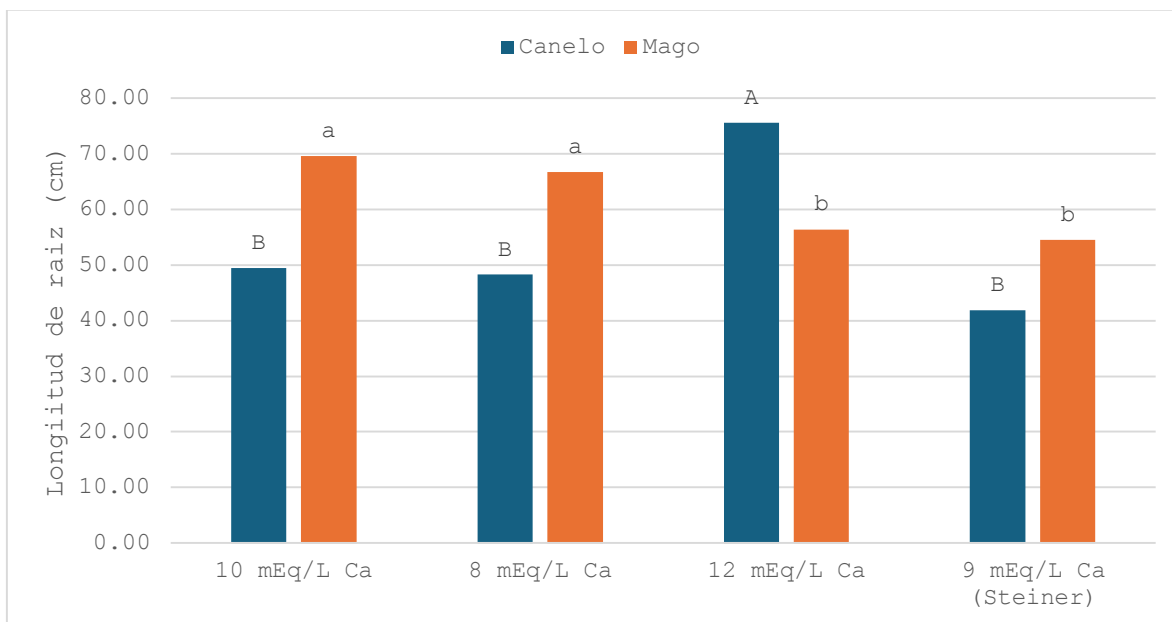


Fig. 5 Resultados obtenidos del crecimiento radicular frente a las modificaciones en la solución nutritiva.

4.6 Peso fresco de la planta

Respecto a los resultados obtenidos sobre el peso fresco de la planta en la variedad Mago, no hay mucha diferencia entre los tratamientos aplicados, sin embargo, podemos observar que para la variedad canelo si existe diferencia significativa entre los tratamientos (Fig. 6), siendo superior el T3 en un 33% con respecto al T4 (testigo).

Jiménez-Peña *et al.*, (2020), señalaron que los efectos de las concentraciones nutritivas en el cultivo de orquídeas, se obtuvo un incremento favorable en respuesta al peso fresco total.

Lara-Herrera *et al.*, (2023), reportan una relación positiva con la modificación de la solución nutritiva, lo que resulto en un incremento de más del 100% en el peso fresco de la lechuga.

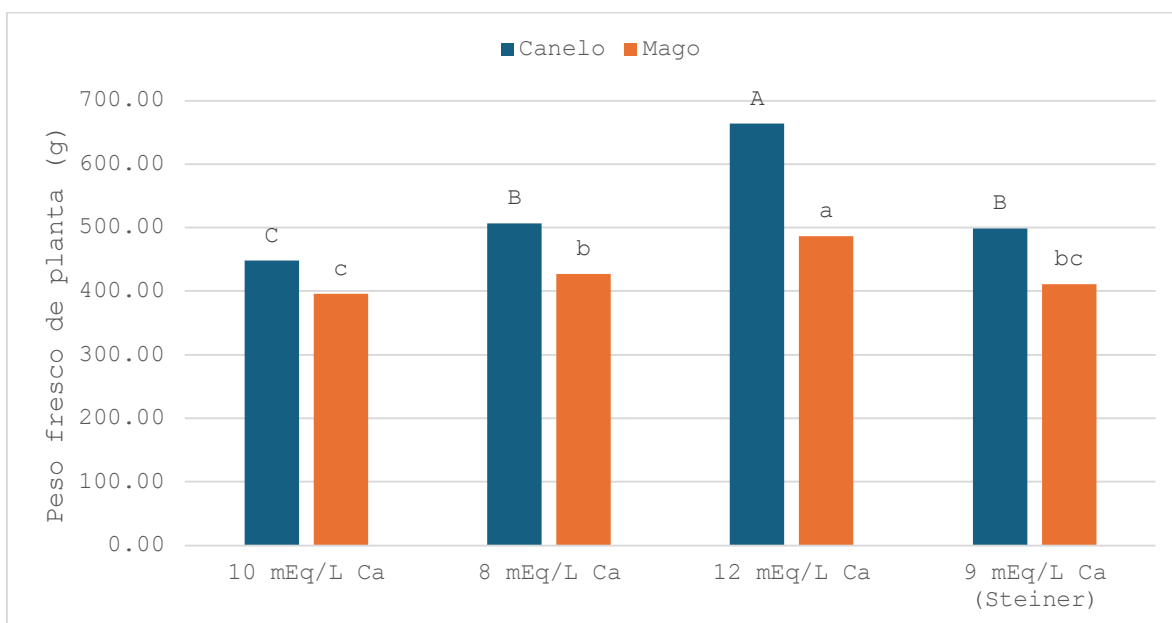


Fig. 6 Variación en el peso fresco de planta tras la modificación de la solución nutritiva.

4.7 Peso seco de la planta

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que para la variedad Mago no se presentaron muchas diferencias, entre el T2 Y T3, mientras que en la variedad Canelo si se evidenciaron variaciones entre los tratamientos (Fig. 7), observamos que el T3 adquirió un 72.5% en comparación con el tratamiento (10 mEq/L Ca).

Parra-Terraza *et al.*, (2009), menciona que la modificación de la solución nutritiva en el cultivo de pepino se obtiene un incremento del 17.7%, en respuesta al peso seco de la planta.

En su trabajo de investigación Jiménez-Peña *et al.*, (2020), determina que la concentración de solución nutritiva Steiner, en el cultivo de las orquídeas genera un incremento significativo del 125%, en comparación con las plantas Testigo.

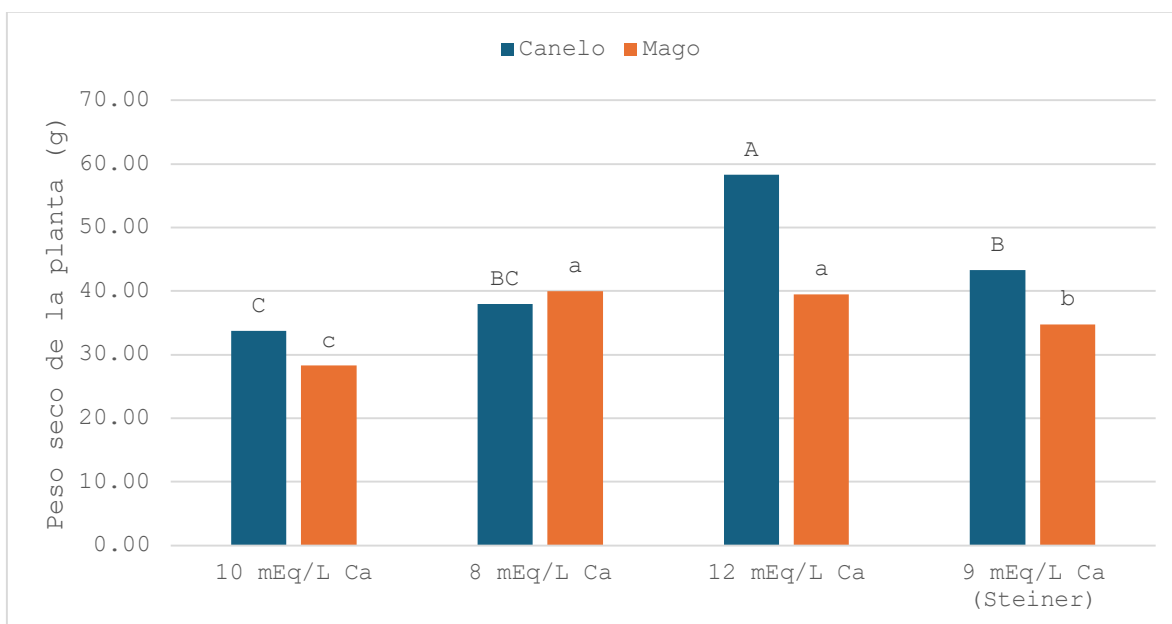


Fig. 7 Resultados obtenidos del peso seco de las plantas en respuesta a la aplicación de diferentes concentraciones de solución nutritiva.

4.8 Peso fresco de la raíz

En base a los resultados obtenidos (Fig. 8), se determina que, si hubo diferencias en relación con los tratamientos aplicados, destacando el T3 (12 mEq/L Ca) como el tratamiento más efectivo, superando al T1 en un 39.07%.

Pacheco-Farfán (2023), indica que al modificar la concentración de la solución nutritiva para el cultivo de la lechuga, se obtiene respuestas significativas en el peso fresco de la raíz.

Estos resultados coinciden con Valenzuela-Coba (2023), quien reporta que un aumento de cationes en la solución nutritiva, genera efectos positivos en el cultivo de la espinaca.

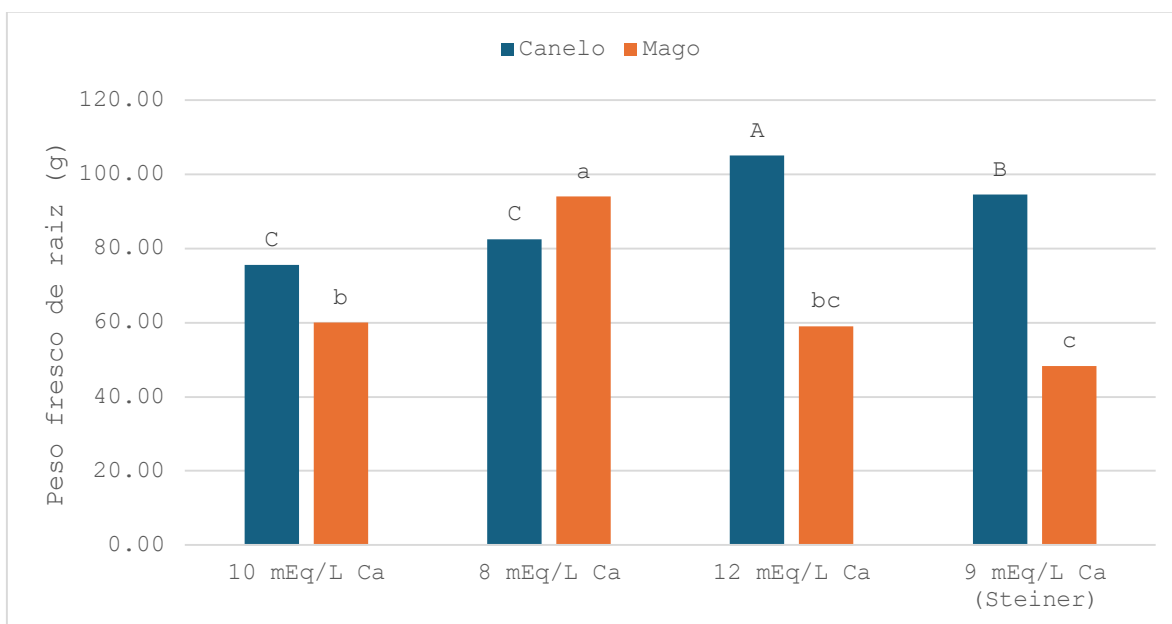


Fig. 8 Datos obtenidos del peso fresco de la raíz tras la modificación de la solución nutritiva.

4.9 Peso seco de la raíz

Respecto a los resultados obtenidos para la variedad Mago si existe diferencias entre los tratamientos aplicados, destacando el T2 (8 mEq/L Ca), en comparación al T4 (testigo) superando en un 69.7% (Fig. 9). Por el contrario, podemos observar que para la variedad Canelo no hubo mucha diferencia entre los tratamientos 3 y 4 en contraste con el T1 y T2.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas como Villegas-Torres *et al.*, (2005), quienes reportaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, con un incremento de 41.3% respecto al peso seco de la raíz.

Torres-Olivar *et al.*, (2015), menciona que la modificación del cationes, para el cultivo de la nochebuena no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

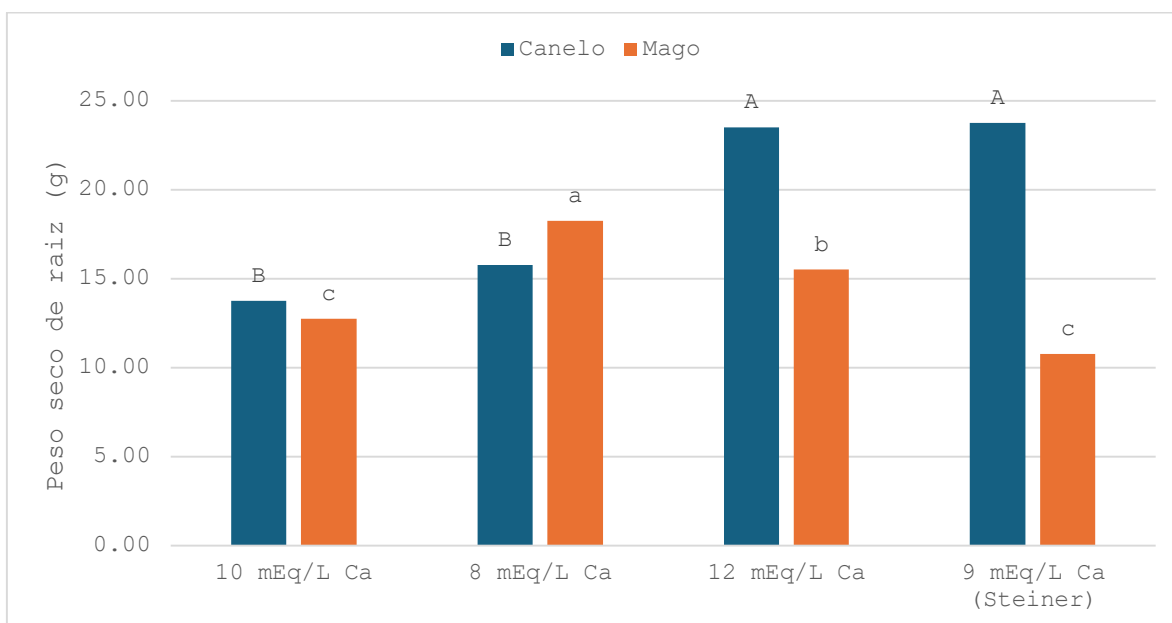


Fig. 9 Resultados obtenidos del peso seco de la raíz en respuesta a la modificación de la solución nutritiva.

4.10 Variables de calidad

De acuerdo a los resultados obtenidos en vida de anaquel en base a las variables peso de fruto, firmeza y sólidos solubles totales evaluados en las dos variedades de tomate (Tabla 12), podemos observar que el peso del fruto a partir del día 4 y hasta el día 12 comienza a disminuir en ambas variedades, siendo la variedad Canelo con el tratamiento de 8 mEq/L Ca, quien sufre mayor pérdida de peso (30.72%), mientras que el tratamiento de 9 mEq/L Ca, en la variedad Canelo solo se pierde 1.98% del peso inicial en el fruto.

Caso similar ocurre con la firmeza de fruto, donde la variedad Canelo sufre hasta una pérdida de 47.42% en comparación con el día 0; sin embargo, para la variedad Mago con el tratamiento de 8 mEq/L Ca fue donde se obtuvo una menor pérdida de firmeza (hasta 17.10%) de la inicial. Para la variable de sólidos solubles totales, la mayor pérdida de (°Brix) se dio en la variedad Mago con un 9.91% en comparación con el contenido inicial en el tratamiento de 9 mEq/L Ca; a su vez con el mismo tratamiento, pero en la variedad Canelo, se obtuvo el mayor incremento de sólidos solubles hasta en 7.42% en contraste con lo obtenido al momento de cosecha.

Los resultados obtenidos son muy parecidos a lo obtenido por Luna-Fletes *et al.*, (2018), quienes muestran pérdidas de peso que van de 1.71 a 7.51% utilizando diferentes soluciones nutritivas en tomate cherry Sweet.

En el caso de la firmeza y sólidos solubles totales, estos resultados coinciden con lo reportado con Díaz-Vázquez *et al.*, (2023), quienes al incrementar la concentración de nutrientes en la solución de 75% a 100% se incrementan los valores promedios en frutos de tomate.

Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Hernández-Pérez *et al.*, (2019), quienes indican que el aumento de nutrientes en la solución está directamente relacionado con una mayor firmeza del fruto, además de mejorar sus características, como el color y los niveles óptimos de licopeno y azúcar.

Tabla 12. Vida de anaquel basado en variables de calidad (peso de fruto, firmeza y sólidos solubles totales) en las variedades Canelo y Mago de tomate.

Variedad Tiempo Trat.	Canelo				Mago			
	Día 0	Día 4	Día 8	Día 12	Día 0	Día 4	Día 8	Día 12
	Peso (g)	% perdida			Peso (g)	% perdida		
10 mEq/L Ca	73.17	5.69	6.61	9.34	84.17	2.38	4.48	10.42
8 mEq/L Ca	117.33	27.81	29.30	30.72	88.83	3.19	4.54	18.05
12 mEq/L Ca	115.33	3.97	4.91	7.23	126.50	2.64	16.56	26.80
9 mEq/L Ca	84.33	1.28	1.48	1.98	77.33	3.66	5.09	10.00
	Firmeza (Kg)	% perdida			Firmeza (Kg)	% perdida		
10 mEq/L Ca	2.41	2.10	41.11	43.20	2.22	18.88	22.02	30.34
8 mEq/L Ca	2.95	42.80	44.52	47.42	1.72	2.32	16.23	17.10
12 mEq/L Ca	2.86	32.30	37.60	38.81	1.94	17.53	21.39	22.47
9 mEq/L Ca	3.14	17.21	24.72	28.40	2.01	14.14	20.60	20.84
	SST (°Brix)	% perdida o incremento			SST (°Brix)	% perdida o incremento		
10 mEq/L Ca	5.33	+3.83	4.71	10.42	5.45	0.93	7.41	0.93
8 mEq/L Ca	4.95	+3.01	5.15	8.11	5.40	+3.70	+3.70	+0.93
12 mEq/L Ca	4.35	0.00	2.33	5.77	5.10	+6.01	+4.00	1.21
9 mEq/L Ca	4.75	+3.21	+7.42	+5.31	5.55	9.91	7.21	9.91

5. CONCLUSIONES

La concentración de 12 mEq/L de calcio (Ca) resultó ser la que favoreció de manera óptima tanto el rendimiento como la calidad de los frutos en la variedad Canelo. Este nivel de calcio contribuyó a mejorar la resistencia de las plantas a factores de estrés, promoviendo un desarrollo más vigoroso y saludable, lo que se tradujo en un aumento de la producción y en frutas de mejor calidad.

Los beneficios observados sugieren que la aplicación de calcio en esta concentración específica puede ser clave para maximizar los resultados en términos de cosecha y calidad del producto final, siendo una recomendación valiosa para los productores que buscan mejorar sus cultivos.

6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Ahmed, M. J., Iya, I. R., & Dogara, M. F. (2020). *Proximate, mineral and vitamin content of flesh, blanched and dried tomatoes (Lycopersicon esculentum)*. *Asian Food Sci. J*, 18, 11-18.
- Alam, M. S., Huda, M. N., Rahman, M. S., Azad, A.K.M, Rahman, M. M., & Molla, M. M. (2019). *Character association and path analysis of tomato (Solanum lycopersicum L.)*. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 22(01), 1815-1822.
- Allende, M., Salinas, L., & Torres, A. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*.
- Arcos, M., Cartagena, Y., Merino, J., Pérez Guerrero, P., Parra, R., & Moreno, J. (2025). *Evaluación de la solución nutritiva Steiner aplicada al cultivo de cáñamo medicinal (Cannabis sativa L.) var. Cherry Oregon, bajo invernadero*. *Siembra*, 12(1), e6777-e6777.
- Baudoin, A. (2017). *Manual técnico de producción de tomate con enfoque de buenas prácticas agrícolas*. BIVICA: VDRA.
- Bojacá, C. R., Villagrán, E. A., Gil, R., & Franco, H. (2017). *El riego y la fertilización del cultivo del tomate*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Carpoica, Jaramillo Noreña, J. E., Patricia Rodríguez, V., Gil Vallejo, L. F., García Muñoz, M. C., Clímaco Hío, J., . . . Guzmán Arroyave, M. (2013). *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. Produmedios.
- Carrillo Rodríguez, J. C., Sosa Hernández, N., Vera Guzmán, A. M., & Chávez Servia, J. L. (2023). *Diversidad biocultural de tomate nativo en Oaxaca, México. Desde El Herbario CICY*, 15, 18–23, 2023.
- Caruso, A. G., Bertacca, S., Parrella, G., Rizzo, R., Davino, S., & Panno, S. (2022). *Tomato brown rugose fruit virus: A pathogen that is changing the tomato production worldwide*. *Annals of Applied Biology*, 181(3), 258-274.
- Castellanos, J. z. (2009). *Manual de producción de tomate en invernadero*. No. 635.64283 M3.
- Castillo-Mata, L. R., Alaniz-Villanueva, O. G., & Cisneros-González, M. (2022). *RELACIÓN DEL OZONO COMO BIOESTIMULANTE EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO*. In *Congreso (Vol. 2, No. 1, pp. 130-133)*.
- Collins, E. J., Bowyer, C., Tsouza, A., & Chopra, M. (2022). *Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation*. *Biology*, 11(2), 239.
- Contreras Magaña , E., Arroyo Pozos, H., Ayala Arreola, J., Sánchez Del Castillo, F., & Moreno Pérez, E. (2013). *Caracterización morfológica de la diferenciación floral en*

- tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(4), 59-70. Recuperado en 20 de octubre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2.
- Cortés, V. G., & Real, G. S. (2007). *ALGUNOS EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL CULTIVO DEL TOMATE Y PRÁCTICAS AGRONÓMICAS DE SU MANEJO*. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47-58. . Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- Díaz Vázquez, F. A., Cabrera De la Fuente, M., Benavides Mendoza, A., Robledo Torres, V., Juárez Maldonado, A., García León, Á., & Sandoval Rangel, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 41.
- EAT, E. (2019). *MANUALES PRÁCTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BIOINSUMOS. Elaboración de Extractos Vegetales*.
- Escobar, H. (2010). *Manual de producción de tomate bajo invernadero*. Editorial Tadeo Lozano.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., García-Hernández, J. L., Preciado-Rangel, P., Sáenz-Mata, J., & Reyes-Carrillo, J. L. (2019). *Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate*. *Biotechnia*, 21(3), 100–107. Obtenido de <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v21i3.1038>
- Fausto, G. (2018). *Guía completa del cultivo del tomate*. Parkstone International.
- Flores, C., Buono, S., Giorgini, S., & Flores, C. (2012). *Enfermedades de tomate: guía de consulta*. INTA ediciones.
- Fornaris, G. J. (2007). *Características de la planta2. Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate de Ensalada*. (Publicación 166). Estación experimental agrícola Universidad de Puerto Rico.
- Frías-Ortega, C. E., Alejo-Santiago, G., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., Juárez-Rosete, C. R., Urbina-Sánchez, E., & Sánchez-Hernández, E. (31 de Agosto de 2020). *Concentración de la solución nutritiva y su relación con la producción y calidad de arándano azul*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), e1296. Obtenido de https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1296
- Gálvez Muñoz, Y. A. (2012). *Concentración de calcio y presión osmótica de la solución nutritiva en el crecimiento vegetativo y floral de crisantemo*. Obtenido de <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-uaaan-mx-123456789-7456/Description>
- García-Herrera, E. J., Gómez-González, A., & Hernández-Ríos, I. (2016). *Caracterización de la agricultura protegida en la región del altiplano, de San Luis Potosí, México*. *Agro Productividad*, 9(10).
- González Concha , L. F. (2020). *DETECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIO–TEMPORAL DEL Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) EN INVERNADEROS COMERCIALES DE TOMATE (Solanum Lycopersicum)*.

- Hernández-Pérez, O. I., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., Cartmill, A. D., & Cartmill, D. L. (2019). *Tomato Fruit Yield, Quality, and Nutrient Status in Response to Potassium: Calcium Balance and Electrical Conductivity in the Nutrient Solution*.
- Hyman, C. (2019). *Tomato: a global history*. Reaktion Books.
- Iglesias Carreño. (2018). *Modelo de producción de Jitomate en invernadero en la empresa Vivero Agroforestal Rubí, Chilpancingo, Guerrero (Master's thesis, Universidad Autónoma de Guerrero (México))*.
- Infoagro Systems, S.L. (s.f). *El cultivo del tomate (Parte I)*. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp
- Intagri. (2017). *La Calidad e Inocuidad en el Cultivo de Tomate. Serie Hortalizas. Núm. 11. Artículos Técnicos de INTAGRI*.
- Intagri. (2017). *Solución Nutritiva y su Monitoreo Mediante Análisis Químico Completo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México*.
- Izquierdo, J., & Granados Ortiz, S. (2011). *Manual técnico*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Jasso, C. C., Martínez, G.M.A, Alpuche, S.A.G, & Garza, U. (2011). *Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero en San Luis Potosí. Folleto técnico, (41)*.
- Jiménez-Peña, N., Sandoval-Villa, M., Volke-Haller, V. H., Pedraza-Santos, M., & Colinas-León, M. T. (2020). *LA SOLUCIÓN NUTRITIVA MODIFICA EL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES DE ORQUÍDEAS*. *Rev. fitotec. mex [revista en la Internet]*. 42(4): 419-427. . Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000400419&lng=es.
- Lara-Herrera, A., de la Rosa-Rodriguez, R., & Trejo-Téllez, L. I. (2023). *Producción de lechuga (Lactuca sativa L.) con cinco proporciones de macronutrientes en solución nutritiva*.
- Larín, M. A., Díaz, L. A., & Serrano, R. F. (2018). *Cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum)*. *Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova"*.
- López Marín, L. M. (2017). *Manual técnico del cultivo del tomate Solanum lycopersicum*.
- Luna-Fletes, J. A., Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., Bugarín-Montoya, R., & Valdivia-Reynoso, M. G. (2018). *INTENSIDAD DE RALEO Y SOLUCIONES NUTRITIVAS EN LA CALIDAD DE TOMATE CHERRY*. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(1), 59-66.
- Martinez Estrada, V. (2023). *Pruebas de efectividad de Neem (Azadirachta indica JUSS) contra el gusano del fruto (Heliothis virescens FAB; 1777),(Lepidoptera nortuidae) en jitomate (Lycopersicum esculentum Mill.)*.

- Martínez, S. (2007). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate: Suelo y Preparación Del Terreno*. Universidad de Puerto Rico. Obtenido de <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Suelo-y-Preparaci%C3%B3n-del-Terreno-v2007.pdf>
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L., & Rueda-Puente, E. O. (2016). *Hongos fitopatógenos asociados al tomate (Solanum Lycopersicum L.) en la zona árida del noroeste de México: La importancia de su diagnóstico*. *European Scientific Journal*, 12(18).
- Meraz Ruiz, L. (15 de Septiembre de 2023). *Costo-beneficio de un sistema de cultivo protegido de tomate en San Quintín*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(5), 109-119. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342023000500109
- Mondragón, S. L. (2007). *Producción de jitomate en invernadero*. Gobierno del Estado de México. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México ICAMEX. Metepec. Estado de México.
- Montaño-Méndez, I. E., Valenzuela-Patrón, I. N., & Villavicencio-López, K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(7), 1185-1197.
- Nadeem, F., Hanif, M. A., Majeed, M. I., & Mushtaq, Z. (2018). *Role of macronutrients and micronutrients in the growth and development of plants and prevention of deleterious plant diseases-a comprehensive review*. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 13, 31-52.
- Narváez Trujillo, A. A. (2021). *UNT (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO)*.
- Nava-Martínez, E., Villegas-Torres, O., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Acosta-Durán, C., Andrade-Rodríguez, M., & Guillén-Sánchez, D. (2009). *Crecimiento de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio*. *Investigación Agropecuaria*, 6(2), 195-204.
- Navarro-González, Inmaculada, & Periago, M. J. (2016). *El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional?*. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 323-335. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208>
- Nuño Moreno, R., Ponce Medina, J. F., Hernández Zavalza, C., & Machain Servin, G. M. (2007). *Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California*. México, Produce Fundación, 13.
- Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2020). *El Año Internacional de la Sanidad Vegetal: la oportunidad de combatir las plagas del cambio climático*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2020/02/1469441>
- Orona-Castillo, I., Del-Toro-Sánchez, C. L., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Espinoza-Arellano, J. J., Rueda-Puente, E., . . . Cano-Ríos, P. (2022). *Indicadores*

técnico-económicos de la producción del cultivo de tomate bajo agricultura protegida en la Comarca Lagunera, México. Biotecnia, 24(3), 70-76.

Ortuño Tomás, A. M., Díaz Expósito, L., & Del Río Conesa, J. A. (2015). *Evolución de la Fisiología Vegetal en los últimos 100 años, Euvacteria, n°34, 2015.*

Pacheco Farfán, D. F. (2023). *EFFECTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y BIOESTIMULANTES EN PRODUCCION VERTICAL DE LECHUGA (Lactuca sativa L. Variedad White Boston) EN CONDICIONES DE FITOTOLDO SAN JERÓNIMO – CUSCO.* Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7240/253T20230018_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Padrón Pereira, C. A., Padrón León, G. M., Montes Hernández, A. I., & Oropeza González, A. R. (2012). *Determinación del color en epicarpio de tomates (Lycopersicum esculentum Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. Agronomía Costarricense, 36(1), 97-111.*

Palacios-Quispe, E. (2023). *EFFECTO DE CUATRO DOSIS DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN LA PRODUCCION DE DOS VARIEDADES DE FRESA (Fragaria ananassa Duch) MEDIANTE FERTIRRIEGO POR GOTEO EN INVERNADERO K'AYRA – CUSCO.* Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/8244/253T20230717_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Paredes Zambrano, A. (2009). Obtenido de Manual del cultivo de tomate en invernadero. Corpoica. Cundinamarca, Colombia. ANEXOS.: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2196/43989_55756.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parra Terraza, S., Baca Castillo, G., Tirado Torres, J., Villarreal Romero, M., Sánchez Peña, P., & Hernández Verdugo, S. (2009). *Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. Terra Latinoamericana, 27(2), 123-131.* Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S0187-57792009000200005&lng=es&tlng=es

Parra-Terraza, S. (2016). *Relaciones NO₃ - /aniones y K⁺ /cationes en la solución nutritiva para el crecimiento de plántulas de tomate.* . Obtenido de Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(7), 1527-1538. : http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000701527&lng=es&tlng=es.

Pianalto, S. (2023). *Características anatómicas y bioquímicas de raíces adventicias de tomate (Solanum lycopersicum L.) formadas en condiciones de alta humedad relativa.*

Proain tecnología agrícola. (2020). *Frecuencia y tiempos de riego para los cultivos agrícolas* . Obtenido de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/frecuencia-y-tiempos-de-riego-para-los-cultivos-agricolas?srsltid>

- Ramos Tapia, W. D. (2023). *Métodos para el control del Trips. en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum) (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023).*
- Riccini, A. (2019). *Phenotypic and genotypic characterization of European tomato (Solanum lycopersicum L.) landraces for the study of traits related to the reproductive process.*
- Ríos-Orsorio, Oliva, Chávez-Servia, José, L., & Carrillo-Rodríguez José, C. (2014). *Producción tradicional y diversidad de tomate (Solanum lycopersicum L.) nativo: un estudio de caso en Tehuantepec-Juchitán, México. Agricultura, sociedad y desarrollo, 11(1), 35-51.* Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722014000100003&script=sci_arttext
- Rodríguez Farfán, M. A. (2019). *Evaluación de vermicomposta como componente de sustrato en la producción de jitomate.* Obtenido de <https://www.riudg.udg.mx/visor/pdfjs/viewer.jsp?in=j&pdf=20.500.12104/81810/1/MCUCBA10103FT.pdf>
- Ruelas-Islas, J. d., Rubiños-Panta, J. E., Peinado-Fuentes, L. A., Mendoza-Pérez, C., & Martínez-Ruiz, A. E.-G. (2022). *Consumo de agua de tomate en invernadero en función del número de tallos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13(spe28), 137-147.* Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342022001000137#B9
- Ruscitti, M. F., Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *El agua en la planta. Libros de Cátedra.*
- Saad, A., Ibrahim, A., & El-Biale, N. (2016). *Internal quality assessment of tomato fruits using image color analysis. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 18(1), 339-352.*
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. (2017). *Planeación agrícola nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.*
- SIAP. (2024). *Servicio de información agroalimentaria y pesquera.* Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sierra, A., Sanchez, T., Simonne, E., & Treadwell, D. (2020). *Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas: HS1102/HS356, rev. 10/2020. EDIS, 2020(6).*
- Singh, R. K., Solankey, S. S., Dwivedi, N., Upadhyay, D. K., Singh, P. K., Singh, V. K., & Rai, N. (2024). *Interpretation for genetic nature of morphological traits and phyto-physio-chemical properties in tomato: An overview. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 13(2), 114-127.*
- Spooner, D. M., Peralta, I. E., & Knapp, S. (2005). *Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes [Solanum L. section Lycopersicon (Mill.) Wettst.]. Taxon, 54(1), 43-61.*

- SYNGENTA. (2023). *Plagas, Enfermedades y Malas hierbas*. Obtenido de <https://www.syngenta.es/search/target/crop/tomate-10976>
- Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O. G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., & Trejo-Téllez, L. I. (2015). *Respuesta de la nochebuena (Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch) a la relación nitrato:calcio en tres etapas fenológicas*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(spe12), 2345-2357. . Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015001002345&lng=es&tlng=es.
- United States Department of Agriculture. (USDA) . (2021). *Nutrient Lists from Standard Reference Legacy 2018. Food and Nutrition Information Center*. Obtenido de <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/1999634/nutrients>
- Valenzuela Coba, K. G. (2023). *"Evaluación del efecto de fertilización con dos fuentes de calcio en el rendimiento de la papa (Solanum tuberosum)"*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bc67a360-0417-45d3-8fad-35688c2a63e4/content>
- Valenzuela López, M., Partida Ruvalcaba, L., Díaz Valdés, T., Velázquez Alcaraz, T. d., Bojórquez Bojórquez, G., & Enciso Osuna, T. (2014). *Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco*. Obtenido de *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(5), 807-818.: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500007&lng=es&tlng=es
- Van Andel, T. R., & Stefanaki, A. (2024). *What did 16th-century tomatoes look like?*. *Bauhinia*, 29, 139-140.
- Villegas-Torres, O. G., Sánchez-García, P., Baca-Castillo, G. A., Rodríguez-Mendoza, M. N., Trejo, C., Sandoval-Villa, M., & Cárdenas-Soriano, E. (2005). *Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico*. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 49-56.
- Work, P. (2023). *The tomato*. Good Press.
- Yara. (s.f). *Principios agronómicos en tomate*. Obtenido de <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/tomate/principios-agronomicos-en-tomate/#:~:text>
- Yara. (s.f). *Salinidad*. Obtenido de <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/tomate/salinidad/>
- Zamora, E. (2016). *Algunas deficiencias nutricionales en cultivos protegidos*. *Universidad de Sonora*, 1-9.