

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

Código:

**NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN**

Evaluación de la adaptabilidad de variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sembradas a campo abierto en la zona costera.

**TITULO A OBTENER: MAESTRO EN CIENCIAS EN AGRICULTURA**

**SOSTENIBLE DATOS DEL ESTUDIANTE**

<b>Nombres, apellidos</b>	<b>Institución y dirección</b>	<b>Teléfono y E-mail</b>	<b>Firma</b>
Ing. Agr. Marcelino Arturo Zepeda Campos	Departamento de Fitotecnia, UES	7143-6805 <a href="mailto:marcelino.zepeda@ues.edu.sv">marcelino.zepeda@ues.edu.sv</a>	

**DATOS DE LOS ASESORES**

<b>Nombres, apellidos</b>	<b>Institución y dirección</b>	<b>Teléfono y E-mail</b>	<b>Firma</b>
Ing. Agr. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Departamento de Desarrollo Rural, UES	7318-0554 <a href="mailto:efrain.rodriguez@ues.edu.sv">efrain.rodriguez@ues.edu.sv</a>	

**Visto bueno:**

<b>Coordinador General de Procesos de Graduación de la Escuela de Posgrado y Educación Continua</b>	
Ph.D Joaquín Castro Montoya	Firma _____
<b>Director General de Procesos de Graduación de la Facultad de Ciencias Agronómicas</b>	
MVZ. Rudy Anthony Ramos	Firma _____
<b>Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua</b>	
Dr. Abel Alexei Argueta Platero	Firma _____
Sello:	
<b>Lugar y fecha:</b> Ciudad Universitaria, 04 de julio de 2025	

Evaluación de la adaptabilidad de variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sembradas a campo abierto en la zona costera.

Zepeda-Campos, M. A<sup>1</sup>; Rodríguez-Urrutia, E. A<sup>2</sup>

### RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el lote “La Bomba”, durante el período de abril a agosto de 2024.

El objetivo principal fue evaluar el comportamiento agronómico y productivo de cinco variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de fertirriego en campo abierto. El ensayo se realizó en un área de 315 m<sup>2</sup>, donde se cultivaron las variedades Dodel, Magine, Carrucha, Decia y Domi, distribuidas en siete surcos de 30 m.

El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar, con cinco tratamientos, siete repeticiones y un total de 35 unidades experimentales. Se evaluaron variables morfológicas como fenología, altura de planta, pubescencia, tipo de inflorescencia, diámetro del tallo y número de hojas; variables de rendimiento como número de racimos de flores, frutos, diámetro de frutos, clasificación y número de semillas; características organolépticas como sólidos solubles totales y firmeza del fruto. El análisis estadístico incluyó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5% y análisis de varianza.

Los resultados mostraron que 46% de las plantas sobrevivieron a las condiciones ambientales adversas. La variedad Dodel alcanzó un rendimiento de 19 qq/mz, que representa 3.8% del rendimiento del promedio nacional, el cual se considera bajo; su fruto es firme, lo que sugiere buena vida de anaquel. Las variedades Dodel y Magine producen tomates muy firmes.

**Palabras clave:** Zona costera, fertirriego, tomate, *Solanum lycopersicum*, adaptabilidad, campo abierto.

---

<sup>1</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiante tesista.  
[marcelino.zepeda@ues.edu.sv](mailto:marcelino.zepeda@ues.edu.sv)

<sup>2</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente director.  
[efrain.rodriguez@ues.edu](mailto:efrain.rodriguez@ues.edu)

# Evaluation of the Adaptability of Tomato Varieties (*Solanum lycopersicum* L.) Grown in Open Field Conditions in the Coastal Zone

Zepeda-Campos, M.A<sup>1</sup>; Rodríguez-Urrutia, E.A<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The research was conducted at the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agricultural Sciences of the University of El Salvador, in the "La Bomba" plot, from April to August 2024.

The main objective was to evaluate the agronomic and productive performance of five tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) under fertigation conditions in open fields. The trial was conducted in a 315 m<sup>2</sup> area, where the varieties Dodel, Magine, Carrucha, Decia, and Domi were grown, distributed in seven 30 m rows.

The experimental design was a Randomized Complete Block, with five treatments, seven replicates, and a total of 35 experimental units. Morphological variables such as phenology, plant height, pubescence, inflorescence type, stem diameter, and number of leaves were evaluated; yield variables such as number of flower clusters, fruits, fruit diameter, classification, and number of seeds; Organoleptic characteristics such as total soluble solids and fruit firmness were analyzed. Statistical analysis included Tukey's comparison of means test with a significance level of 5% and analysis of variance.

The results showed that 46% of the plants survived the adverse environmental conditions. The Dodel variety achieved a yield of 19 t/m<sup>2</sup>, which represents 3.8% of the national average yield, which is considered low; its fruit is firm, suggesting a good shelf life. The Dodel and Magine varieties produce very firm tomatoes.

**Key words:** Coastal zone, fertigation, tomato, *Solanum lycopersicum*, adaptability, open field.

---

<sup>1</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiante tesista.  
[oscar.gracias@ues.edu.sv](mailto:oscar.gracias@ues.edu.sv)

<sup>2</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente director.  
[efrain.rodriquez@ues.edu](mailto:efrain.rodriquez@ues.edu)

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas con mayor consumo a nivel mundial por la cantidad de subproductos que se pueden procesar en la gastronomía, por ejemplo, consumo fresco, salsas, conservas, entre otros (FAO, citado por Fernández 2017).

En El Salvador la producción de tomate no alcanza a suplir la demanda interna, según datos del Anuario de Estadísticas Agropecuarias (MAG 2021-2022), reporta que se cultivaron 603 manzanas (422.10 hectáreas) de tomate y produjeron 23,031,859.09 kilogramos con un rendimiento de 38,195.45 kilogramos/manzana, lo que aún no cubre la demanda nacional, por lo que fue necesario importar 125,522,975 kilogramos con un valor de US\$18,563,456.00 dólares, lo cual demuestra que las importaciones son considerables año con año (MAG 2022).

Durante los últimos años el Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG) ha impulsado el uso de invernaderos y casas malla con sistema de riego por goteo, al mismo tiempo que ha transferido la técnica del fertirriego con el objetivo de asegurar una producción estable durante todo el año; sin embargo, este tipo de producción presenta algunas barreras para los agricultores como elevados costos de inversión para acceder a un mayor grado de tecnificación, requiere de una fuerza laboral capacitada, entre otras (Linares et al. 2014). Implementar tecnologías para los productores de tomate como el desarrollo de nuevas variedades debe ser una alternativa sustentable, para tratar de satisfacer las necesidades de los diversos agentes que intervienen en la cadena como los industriales, agricultores, productores de semilla, comerciantes, minoristas y consumidores, cada uno de ellos tiene necesidades que condicionan su permanencia en el mercado, el agricultor por ejemplo necesita alta producción en campo, bajos costos de producción, alto retorno monetario y la productividad predecible estable (Linares et al. 2014).

A raíz de estas valoraciones se requiere generar estrategias de adaptabilidad de cinco materiales genéticos de tomate en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, aplicando la técnica de fertirriego, con el fin de brindarle al productor un nuevo material de tomate que logre disminuir sus costos de producción, obtener su propia semilla y a la vez tratar de implementar la diversificación al manejar diferentes materiales genéticos que puedan ser de usos múltiples, y estos a su vez sean aceptados por empresas y el consumidor final.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Ubicación de la investigación**

La investigación se realizó en el período de abril a agosto de 2024 en el lote La Bomba de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar (msnm), con coordenadas geográficas latitud 13°28'30.21" N y longitud 89°5'43.39" W.

### **2.2. Metodología de campo**

El establecimiento del ensayo se realizó en un área de 315 m<sup>2</sup>, con fertirriego. El 6 de septiembre de 2023 se realizó el muestreo de suelos en el lote La Bomba, con un área total de 315 m<sup>2</sup>. Durante el proceso, se tomaron 11 submuestras distribuidas por todo el terreno, siguiendo un patrón en zigzag y a una profundidad de 20 cm para evitar el efecto borda. Las submuestras fueron colocadas en una bolsa de plástico limpia, donde se desmenuzaron los terrones y se retiraron piedras y raíces. Posteriormente, se mezclaron bien hasta obtener una muestra de aproximadamente una libra de suelo, la cual se colocó en una bolsa plástica con su correspondiente viñeta de identificación. La muestra fue entregada el mismo día al laboratorio de Suelos del CENTA, donde se realizó un análisis físico-químico para determinar los siguientes parámetros: textura al tacto, pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, materia orgánica, hierro, cobre, manganeso, zinc, sodio, acidez intercambiable (H<sup>++</sup>Al<sup>3+</sup>) y capacidad de intercambio catiónico efectiva, conforme a los métodos establecidos por Mendoza y Espinoza (2017).

Para el muestreo de agua, se realizó limpieza del área y de los dos pozos que tiene la Estación Experimental y de Prácticas, la bomba se encendió durante 20 minutos para que la tubería esté libre de impurezas al momento de tomar la muestra. El recipiente que se usó estaba limpio, fue de polietileno con capacidad de un galón. Antes de tomar la muestra se ambienta el recipiente con el agua para el muestreo realizándose un triple lavado, posteriormente se procede a su llenado, luego se rotula con información como: fecha, lugar de procedencia, lugar de captación, propietario; posteriormente se almacena en una hielera con hielo y se trasladó al laboratorio de Química Agrícola del CENTA en donde se realiza el llenado de la ficha para dejar las muestras.

Los análisis realizados se centraron en determinar si las aguas eran aptas para el riego, evaluando su composición físico-química. Los parámetros analizados incluyeron aniones como sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y cloruros; cationes como calcio, magnesio, potasio y sodio; microelementos como hierro, cobre, manganeso y zinc; además de pH, conductividad eléctrica y dureza total, siguiendo los métodos descritos por Reyes (2020).

#### **Elaboración y mantenimiento de plantines**

Para la producción de plantines de tomate se utilizaron bandejas de polietileno de 200 alveolos, que se llenaron con sustrato comercial humedecido, luego se colocaron dos semillas por alveolo y se cubrió con el sustrato.

Para la nutrición de los plantines, se utilizó la técnica de subirrigación, que consiste en colocar las bandejas sobre una solución nutritiva durante 10 minutos al día. La solución se preparó con una dosis de 1 gramo de Raizal 400® por litro de agua. Este fertilizante hidrosoluble tiene una composición química que incluye: 9% de nitrógeno, 45% de fósforo, 11% de potasio, 0.99% de magnesio, 0.80% de azufre, y 0.04% de fitohormonas, lo cual favorece un buen desarrollo de las plantas, especialmente por su alto contenido de fósforo, que promueve el crecimiento radicular.

Adicionalmente, se aplicó un fungicida Benzimidazol-Carbendazim 50 SC (Carbendazim 50 SC) en una dosis de 1 ml por litro de agua. Este fungicida tiene un modo de acción sistémico, residual, protectante y curativo, que actúa por contacto y se absorbe a través de las raíces y tejidos verdes. En los hongos, inhibe la mitosis y afecta el desarrollo del tubo germinativo. También se aplicó un insecticida beta-cyfluthrin-thiacloprid SE 11.25 (Monarca 11.25), con acción sistémica y por contacto-ingestión, en una dosis de 1 ml por litro de agua (Figura 1).



Figura 1. Aplicación de productos fitosanitarios y nutrición de plantines por subirrigación

### **Establecimiento y manejo agronómico el cultivo**

Preparación del suelo: Un mes antes del trasplante del cultivo de tomate se incorporó abono orgánico de origen porcino con la finalidad de que interactúe con el suelo para la liberación de los nutrientes de forma lenta. Se realizó un paso de arado, dos de rastra, un pre encamado y un encamado. Se construyeron camas de siembra con maquinaria agrícola teniendo las dimensiones de 0.60 metros de ancho, una longitud de 30 m y una altura de 0.70 metros, en total fueron 7 camas de siembra.

Instalación del sistema de riego: A cada cama se le colocó una cinta de riego de 31 metros de largo, con goteros ubicados cada 0.20 metros, con una descarga de 2 litros/hora por gotero. El control de las plantas arvenses se realizó de manera manual utilizando cuma.

El trasplante se realizó a los 21 días de edad de las plantas. Se humedecieron las bandejas para facilitar la separación de los pilones. Para evitar el estrés en las plantas, se aplicó la técnica de la solución arrancadora con Raizal 400® a una dosis de 50 ml por planta. El distanciamiento de siembra fue de 0.50 metros entre plantas y 1.50 metros entre camas.

La instalación del microtúnel (figura 2) se realizó durante tres semanas como una barrera física para proteger el cultivo contra insectos vectores que transmiten virus en su etapa más crítica o susceptible. Para ello, se utilizaron varas de bambú verde con un grosor de media pulgada, que se emplearon para formar los arcos de 1.80 metros de largo. Además, se usaron estacas de madera de 0.40 metros de largo, y el ancho de los arcos fue de 0.40 metros, con una altura de 0.60 metros. Cada arco fue colocado a 2.50 metros de distancia, resultando en un total de 12 arcos de bambú para una cama de siembra de 30 metros de longitud. Se utilizó pita de nylon para ubicar tres hileras con una separación de 0.40 metros entre ellas, lo que permitió darle rigidez y sostener la tela agril de 1.80 metros de ancho, cubriendo completamente las plantas.



Figura 2. Microtuneles instalados

### **Calculo de solución nutritiva**

Para calcular la solución nutritiva del cultivo de tomate, se tomaron en cuenta los resultados del análisis de suelo y del agua de riego, así como los requerimientos nutricionales específicos del cultivo. Se formuló un programa de nutrición utilizando sales inorgánicas hidrosolubles, considerando las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Para realizar este cálculo, se empleó la metodología de disponibilidad de nutrientes, basada en los niveles críticos establecidos en el laboratorio de análisis de CENTA (CENTA 2015), junto con los requerimientos nutricionales del cultivo de tomate. A partir de esta información, se procedió a realizar un ajuste para determinar el nuevo requerimiento nutricional del cultivo.

Para la distribución del fertirriego, se utilizó un tanque de fertilización mediante el método cuantitativo, el cual pasó por tres fases: llenado y presurización, inyección del fertilizante y el tiempo de avance. Para calcular las concentraciones de los fertilizantes, se determinó la cantidad de agua necesaria para el riego del cultivo, teniendo en cuenta la concentración máxima de fertilizantes a aplicar en cada riego, según el estado

fenológico del cultivo. En general, Hirzel (2009) sugiere las siguientes concentraciones de fertilizantes para cada fase de crecimiento del cultivo: para el crecimiento inicial, una concentración menor a 0.3 g/L; para el desarrollo intermedio, una concentración inferior a 0.5 g/L; y para la fase de producción, una concentración que varía entre 1 y 2 g/L.

Sin embargo, basándose en la experiencia obtenida y las condiciones específicas de la región, se ajustaron las concentraciones de fertilizantes para cada fase de crecimiento del cultivo de la siguiente manera: para el crecimiento inicial, se utilizó una concentración entre 0.5 y 1 g/L; para el desarrollo intermedio, una concentración entre 1.25 y 1.50 g/L; y para la fase de producción, una concentración entre 1.75 y 2 g/L.

### **2.3. Metodología estadística**

El material experimental consistió en cinco materiales de tomate, los cuales fueron producidos por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. En cuanto al diseño estadístico, se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con un nivel de significancia del 5%. Este diseño se estructuró con siete bloques y cinco tratamientos; las diferencias entre tratamientos se determinaron utilizando la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, haciendo uso de Infostat® 2020.

La población de la investigación estuvo compuesta por 35 unidades experimentales, cada una integrada por 12 plantas de tomate por variedad en cada bloque, lo que sumó un total de 525 plantas. De estas, se seleccionaron aleatoriamente 5 plantas por unidad experimental para su muestreo, lo que resultó en un total de 40 plantas muestreadas, con un nivel de confianza del 95%.

Tratamientos evaluados: consistieron en las combinaciones de cinco variedades mutantes de tomate, que fueron evaluadas en campo abierto. Los tratamientos fueron los siguientes: Tratamiento 1: CENTA Cuscatlán (testigo), Tratamiento 2: Magine, Tratamiento 3: Carrucha, Tratamiento 4: Domi, Tratamiento 5: Dodel y Tratamiento 6: Decía.

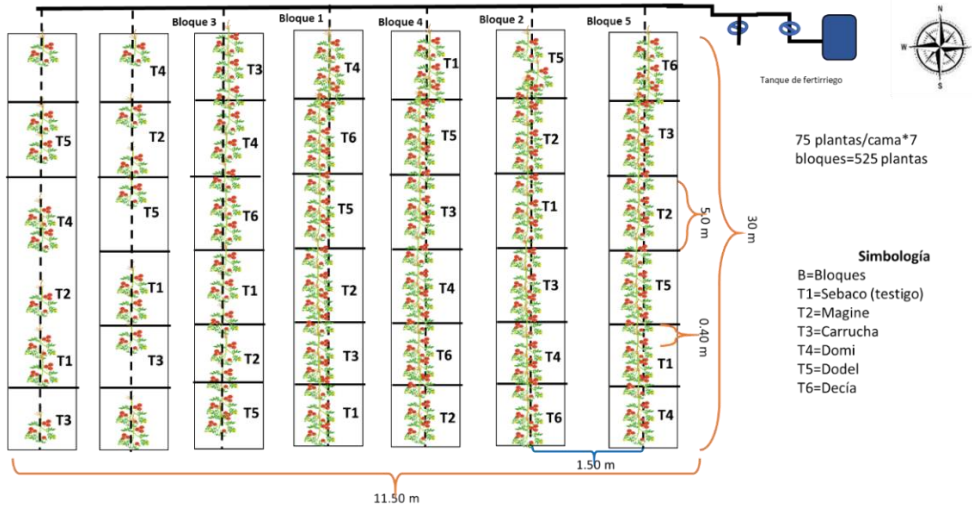


Figura 3. Distribución en campo de los tratamientos a evaluar en la investigación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación se analizaron en diferentes etapas. En la primera, se interpretaron los análisis de suelo y agua. En la segunda fase, se realizaron los cálculos para la nutrición del cultivo a través del sistema de fertirriego. Luego, en la tercera fase, se registraron datos sobre la temperatura, humedad relativa y el comportamiento general de la planta, así como las fases fenológicas, como los días a germinación, floración y cosecha. En la quinta etapa, se evaluaron varias variables morfológicas, como la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas y los racimos florales. En la fase productiva, se midieron aspectos como el número de frutos por planta, su peso, el diámetro y color de los mismos, además de clasificarlos según su peso en las categorías de primera, segunda o tercera. Finalmente, en la última fase, se analizaron las propiedades organolépticas, como los sólidos solubles en el fruto maduro y su dureza.

#### 3.1. Análisis de suelo

Los resultados del análisis de suelo muestran que, en su mayoría, los elementos nutritivos se encuentran en niveles elevados, con la excepción del magnesio y el cobre. El pH del suelo es de 6.38, lo que indica una buena disponibilidad de nutrientes. La capacidad de intercambio catiónico es de 9.10 centimoles, lo que sugiere una fertilidad media del suelo. No se observaron signos de fijación de nutrientes. En el lote La Bomba, los suelos son de tipo Regosoles aluviales. El fósforo presenta un valor muy alto de 84 mg/Kg, mientras que el potasio se encuentra en niveles altos, con 162 ppm.

La concentración de elementos menores, como el cobre, es baja debido a la herencia mineralógica del suelo, ya que no se han realizado reposiciones, solo extracciones. Esto contribuye a su baja disponibilidad. La textura del suelo es franco arenoso, lo que significa que es de textura gruesa y tiene una rápida infiltración. Es importante añadir magnesio para mejorar su contenido. El porcentaje de materia orgánica es bajo (1.90%), por lo que es

necesario incorporar más materia orgánica para alcanzar el rango deseable del 5%

Cuadro 1. Resultado del análisis de suelo del lote La Bomba.

Elemento	Valor	Unidad	Clasificación	Nivel crítico	Unidad
P	84	mg/Kg-1	Muy alto	13	ppm o mg/L
K	162	mg/Kg-1	Alto	60	ppm o mg/L
Ca	6.5	Cmol/Kg-1	Alto	2.2	ppm o mg/L
Mg	1.45	Cmol/Kg-1	Bajo	2	ppm o mg/L
Fe	11.33	mg/Kg-1	Alto	18	ppm o mg/L
Mn	31.17	mg/Kg-1	Muy alto	18	ppm o mg/L
Zn	4.42	mg/Kg-1	Alto	6	ppm o mg/L
Cu	0.74	mg/Kg-1	Bajo	1	ppm o mg/L
Suma de bases	9.1	Cmol/Kg-1			

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio de CENTA.

### 3.2. Análisis de agua

Para el análisis del agua, se tomaron muestras de ambos pozos de la Estación Experimental y de Prácticas, sin embargo, se consideró solo el análisis del pozo #2, ya que es el que se utiliza para el riego, y los resultados se detallan en el cuadro 17. La conductividad eléctrica es de 0.318 dS/m, lo cual es adecuado, ya que según la información del cuadro 4, no presenta ninguna restricción para su uso, es decir, no afecta los cultivos; no obstante, se debe seguir monitoreando. El pH del agua es 6.59, ligeramente ácido, pero dentro del rango normal y óptimo, lo que no afecta el pH del suelo ni la disponibilidad de nutrientes. La dureza total, que es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio en el agua, se reporta en 93.1 mg/l según el análisis de laboratorio.

Con respecto a los cationes, los niveles de magnesio, sodio y potasio son satisfactorios; sin embargo, el calcio se encuentra en niveles regulares, lo que indica que el agua no presenta problemas significativos. En cuanto a los aniones, los cloruros y sulfatos están en niveles satisfactorios, y el agua no presenta carbonatos. Los bicarbonatos se consideran adecuados, ya que la alcalinidad del agua (capacidad de resistir cambios de pH) es buena, debido a la presencia de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), que ayudan a neutralizar los ácidos. En conclusión, la calidad del agua del pozo 2 de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador es apta para su uso en el riego de cultivos mediante fertirriego.

Cuadro 2. Análisis del agua del pozo 2 de la Estación Experimental y de Prácticas.

Elemento	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Clasificación
Bicarbonato	135	mg/L	2.21	meq/l*	Buena
Cloruros	27.69	mg/L	0.78	meq/l	Satisfactorio
Sulfatos	31.88	mg/L	0.66	meq/l	Satisfactorio
Calcio	26.82	mg/L	1.34	meq/l	Regular
Potasio**	10.85	mg/L	0.27	meq/l	Satisfactorio
Magnesio	6.4	mg/L	0.53	meq/l	Satisfactorio
Conductividad			0.318	----	-----
Eléctrica	0.318	mS/cm			
Sodio	27.75	mg/L		meq/l	Satisfactorio
Boro, Manganeseo, Cobre, hierro	<1	mg/L	----	----	
pH	6.59	----			Ligeramente ácido
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	93.1	mg/L			Moderadamente dura

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio de CENTA.

\*Para pasar de mg/litro a miliequivalentes/litro dividir los miligramos/litro por el peso equivalente del elemento que se quiere pasar. Si es al contrario se debe multiplicar.

\*\*Su presencia en el agua debe valorarse positivamente.

En cuanto a la dureza total del agua, el análisis de laboratorio reportó un valor de 93.1 mg/l, lo que la clasifica dentro de la categoría de "agua moderadamente dura" según la clasificación de Guy (2021), que establece que el rango de dureza moderada se encuentra entre 60 y 120 mg/l. Este valor sugiere que el agua utilizada para el riego no presentará problemas significativos en cuanto a corrosión, depósitos o incrustaciones en los sistemas de distribución de agua. La dureza moderada es generalmente favorable para los cultivos, ya que no interfiere de manera negativa en la absorción de nutrientes ni en el funcionamiento de los sistemas de riego, lo cual es una ventaja importante en la gestión del riego en las prácticas agrícolas. Sin embargo, es recomendable mantener un monitoreo constante de los niveles de dureza, ya que variaciones en la calidad del agua podrían afectar su eficiencia a largo plazo.

Para evaluar la calidad del agua utilizada en las actividades agrícolas de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, se tomaron muestras de ambos pozos disponibles en el sitio. No obstante, el análisis se centró únicamente en el pozo número 2, por ser la fuente principal utilizada para el sistema de riego. Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 2.

La conductividad eléctrica del agua fue de 0.318 dS/m, valor que se encuentra dentro del rango considerado como sin restricciones para el uso en riego, de acuerdo con los parámetros establecidos en el Cuadro 4 de referencia. Este nivel de conductividad indica que el agua no representa riesgos de salinidad para los cultivos, aunque se recomienda un seguimiento periódico para detectar posibles variaciones.

El pH registrado fue de 6.59, lo que clasifica al agua como ligeramente ácida. Sin embargo, este valor se considera dentro del rango óptimo para el riego, ya que no afecta

significativamente el pH del suelo ni la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas.

Respecto a la dureza total del agua, el valor obtenido fue de 93.1 mg/L, lo que la ubica dentro de la categoría de agua moderadamente dura, según la clasificación propuesta por Guy (2021), cuyo rango para esta categoría abarca de 60 a 120 mg/L. Esta condición es generalmente favorable para el riego agrícola, ya que evita problemas graves de incrustaciones o corrosión en los sistemas de distribución de agua, y no interfiere de manera significativa con la absorción de nutrientes por las plantas.

En cuanto a los cationes presentes, los niveles de magnesio (6.4 mg/L), sodio (27.75 mg/L) y potasio (10.85 mg/L) fueron clasificados como satisfactorios. Sin embargo, el calcio (26.82 mg/L) se encontró en niveles considerados regulares. A pesar de ello, en conjunto, los valores observados no indican la presencia de riesgos relevantes para el uso del agua en el riego.

Con relación a los aniones, los cloruros (27.69 mg/L) y sulfatos (31.88 mg/L) también mostraron concentraciones dentro de rangos satisfactorios. No se detectó la presencia de carbonatos, mientras que los bicarbonatos alcanzaron los 135 mg/L (2.21 meq/L), lo cual contribuye a una buena capacidad de amortiguamiento del pH, es decir, una adecuada alcalinidad del agua.

Elementos traza como boro, manganeso, cobre y hierro se reportaron en concentraciones menores a 1 mg/L, lo que sugiere que no representan un riesgo toxicológico para los cultivos bajo las condiciones actuales de uso.

En resumen, la calidad del agua del pozo 2 es apta para su aplicación en sistemas de riego agrícola mediante fertirriego. No se evidencian limitantes significativas en los parámetros analizados, aunque se enfatiza la importancia de mantener un monitoreo regular para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

### **3.3. Temperatura, humedad relativa y comportamiento de la planta**

Durante la investigación, en el periodo del 24 de junio al 25 de julio de 2024 se tuvieron temperaturas que variaron entre 31.57° C a 36.5° C. La humedad relativa en el ensayo osciló entre 43% a 64.29% para el mismo periodo, registrándose en la etapa de floración y fructificación (figura 4).

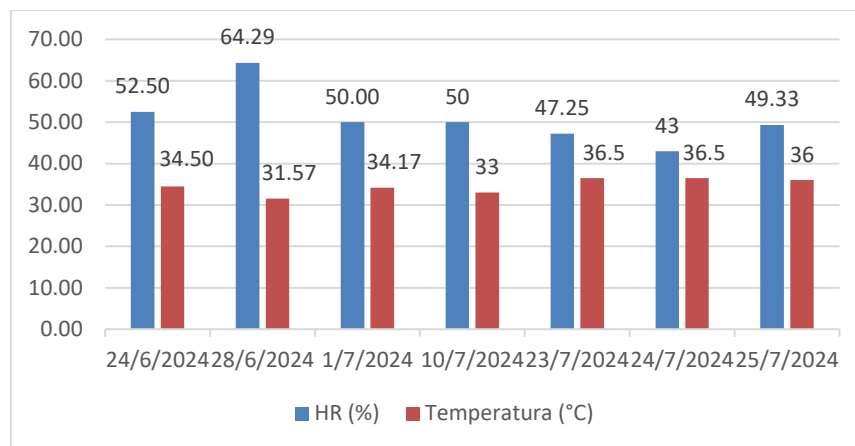


Figura 4. Comportamiento promedio de la temperatura y humedad relativa en el lote La Bomba en la fase reproductiva del cultivo de tomate durante el día.

Es de mencionar que en los meses donde se estableció el cultivo de tomate fue un periodo en donde se tuvo la mayor cantidad de lluvia en El Salvador y se declara emergencia por lluvias, según el informe de situación N° 2 del 26 de junio de 2024, emitido por la Oficina del Coordinador Residente de las Naciones Unidas, con información al 25 de junio de 2024. Las lluvias intensas y continuas registradas del 14 al 22 de junio de 2024 en el territorio salvadoreño superaron el límite de precipitaciones recibidas en los últimos años, alcanzando una acumulación de 800 mm en el país. El 23 de junio de 2024 la Dirección General de Protección Civil emitió una alerta verde a nivel nacional por las lluvias.

Para la medición de esta variable se fue sacando los promedios de los días que se fueron tomando ya que algunas veces no coincidía el día que se estaba en campo con la tormenta o lluvia durante la noche.

### 3.3.1 Desordenes fisiológicos

En la figura 5 se muestra un trastorno conocido como edema o intumescencia, que se observó en todas las variedades de tomate produciendo agallas que acumulan liquido en todo el tronco de la planta provocando un mal aspecto como que fuera una enfermedad.

En la figura 6 se observa otro de los desórdenes fisiológicos que es el alargamiento del pistilo, los granos de polen al estigma dependen de la longitud del estilo y para que produzca la autopolinización el estigma debe estar situado a la altura del cono de las anteras o por debajo de él, la longitud del estilo se denomina exerto (figura 6). Y puede resultar afectada por las condiciones del clima lo que repercute en el cuajado, caídas de flores.



Figura 5. Hojas enrolladas por cambios de temperaturas en la variedad Carrucha.



Figura 6. Alargamiento del pistilo (Exerto) en la variedad Dodel.

### 3.4. Etapas fenológicas de los cinco materiales del cultivo de tomate

Una fase fenológica se define como el período en el cual los órganos de las plantas aparecen, se transforman o desaparecen, o el tiempo en que se manifiesta un proceso biológico específico (Martínez, 2001). La fenología del cultivo es útil para determinar, por ejemplo, el momento en que una planta inicia la formación de frutos y alcanza su madurez fisiológica. En el caso de los cinco materiales de tomate evaluados en esta investigación, debido a las lluvias, solo se logró obtener un solo corte de los tomates. En cuanto a los días a floración, las variedades evaluadas (Decia, Magine, Domi, Dodel y Carrucha) presentaron una variación entre 50 y 77 días. La fructificación de estas variedades ocurrió entre los 78 y 105 días, mientras que los días a cosecha se registraron entre los 105 y 112 días. La figura 7 muestra las etapas fenológicas de las cinco variedades de tomate evaluadas en esta investigación.

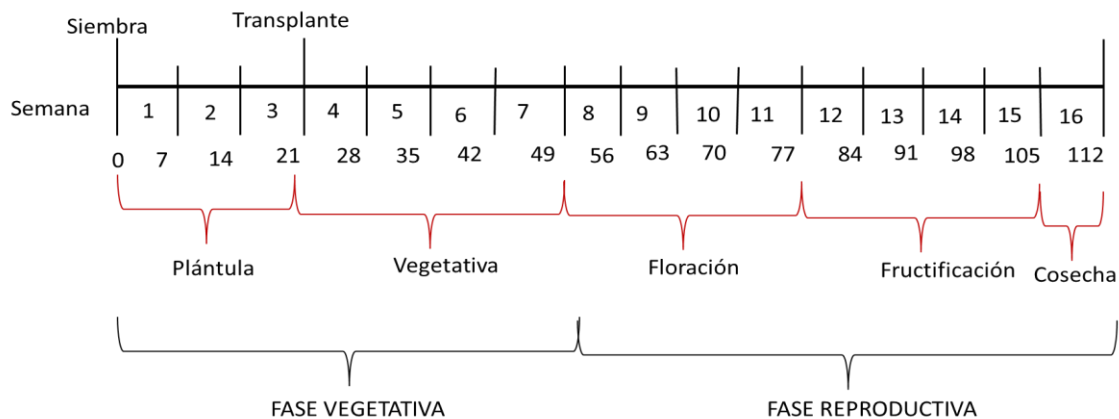


Figura 7. Fenología de los materiales genéticos de tomate en la investigación (EEP,2024)

Los resultados obtenidos para los días a floración, que oscilaron entre 50 y 77 días para las variedades evaluadas (Decia, Magine, Domi, Dodel y Carrucha), se encuentran dentro de los rangos reportados en estudios previos de Hernández *et al.* (2012), Hernández *et al.* (2021) y Cortez Alvarado (2023). Estos valores son consistentes con los rangos establecidos para el

cultivo de tomate en estas investigaciones, lo que sugiere que las condiciones de cultivo en este estudio favorecieron un tiempo de floración similar al observado en otros contextos.

En cuanto a la fructificación, los resultados indicaron que las variedades evaluadas tuvieron un rango de 78 a 105 días, y los días a cosecha variaron entre 105 y 112 días, coincidiendo también con los reportes de Hernández *et al.* (2021) y Cortez Alvarado (2023). Este comportamiento fenológico dentro de los rangos típicos refuerza la validez de los resultados obtenidos, indicando que las condiciones en las que se desarrollaron los cultivos fueron adecuadas para el ciclo productivo de las variedades evaluadas.

En conclusión, los valores obtenidos para los parámetros de floración, fructificación y cosecha en las variedades de tomate analizadas son consistentes con los resultados de estudios previos, lo que sugiere que las condiciones ambientales y de manejo utilizadas en esta investigación se alinearon con los datos reportados por otros autores, como Hernández *et al.* (2021) y Cortez Alvarado (2023).

### 3.5. Variables morfológicas

**Altura de la planta:** Para medir esta variable, se registró la altura acumulada de las plantas en cada una de las etapas fenológicas, lo que permitió determinar el crecimiento en centímetros por día. Se observó que las variedades CENTA Cuscatlán, Dodel y Magine mostraron un mayor crecimiento durante la etapa de crecimiento vegetativo, con valores de 1.39, 1.34 y 1.24 cm/día, respectivamente (cuadro 3).

Cuadro 3. Altura de planta y crecimiento de las variedades de tomate (cm/día).

Etapas	DDT*	CENTA Cuscatlan		Magine		Carrucha		Domi		Dodel		Decía	
		Altura (cm)	cm/día	Altura (cm)	cm/día	Altura (cm)	cm/día	Altura (cm)	cm/día	Altura (cm)	cm/día	Altura (cm)	cm/día
Plántula	1	15	0.68	15	0.68	15	0.68	15	0.68	15	0.68	15	0.68
Crecimiento vegetativo	21	44.29	1.39	41.09	1.24	36.69	1.03	38.72	1.13	43.11	1.34	37.22	1.06
Floración	49	59.6	0.55	54.53	0.48	45.2	0.30	56.58	0.64	61.69	0.66	51.46	0.51
Fructificación	85	93.74	0.95	81.79	0.76	79.29	0.95	83.52	0.75	88.84	0.75	80.97	0.82
Cosecha	108	102.29	0.37	93.78	0.52	93.22	0.61	97.5	0.61	101.64	0.56	94.87	0.60

\*DDT: Días después del trasplante.

En relación a la variable altura de la planta, los resultados obtenidos en la presente investigación muestran un comportamiento diferente al reportado por Cortez Alvarado (2023) en su estudio sobre la poda de tomate en ambiente controlado. En ese trabajo, la variedad Dodel presentó un crecimiento de 2.64 cm/día durante la etapa de floración, mientras que la variedad Domi registró un crecimiento de 2.35 cm/día, ambos valores superiores a los encontrados en este estudio. Es importante considerar que las condiciones de ambiente controlado utilizadas en la investigación de Cortez Alvarado (2023) podrían haber influido en un crecimiento más rápido de las plantas, ya que en estos ambientes se optimizan factores como la temperatura, humedad y nutrición, lo que favorece un desarrollo vegetativo más robusto. En cambio, en este estudio, las condiciones del campo, que incluyen variaciones en el clima, la disponibilidad de agua y los nutrientes,

probablemente limitaron el crecimiento de las plantas, resultando en valores inferiores a los reportados en el ambiente controlado.

Asimismo, la diferencia en los resultados puede estar relacionada con otros factores como el tipo de poda aplicada, el manejo agronómico y la variedad de tomate utilizada, ya que cada variedad tiene un comportamiento fenológico y de crecimiento propio. En general, estos hallazgos subrayan la importancia de las condiciones de cultivo, tanto en ambientes controlados como en condiciones de campo, para el desarrollo y crecimiento de las plantas, y sugiere que los resultados obtenidos en este estudio son representativos de un sistema de cultivo más cercano a la realidad agrícola. En conclusión, aunque los valores obtenidos en este estudio para el crecimiento en altura de las variedades de tomate evaluadas fueron inferiores a los reportados por Cortez Alvarado (2023), las diferencias pueden explicarse por las condiciones de cultivo y manejo agronómico, lo que resalta la importancia de adaptaciones específicas al contexto ambiental en el que se desarrollan las plantas.

**Diámetro del tallo de la planta:** El diámetro del tallo de las plantas de tomate se midió una semana después del trasplante (28 días) y al final del ciclo, en el momento de la cosecha (112 días). El mayor diámetro final del tallo se obtuvo en la variedad CENTA Cuscatlan, con 9.43 mm, seguida por las variedades Carrucha y Dodel, con 9.31 mm (figura 8).

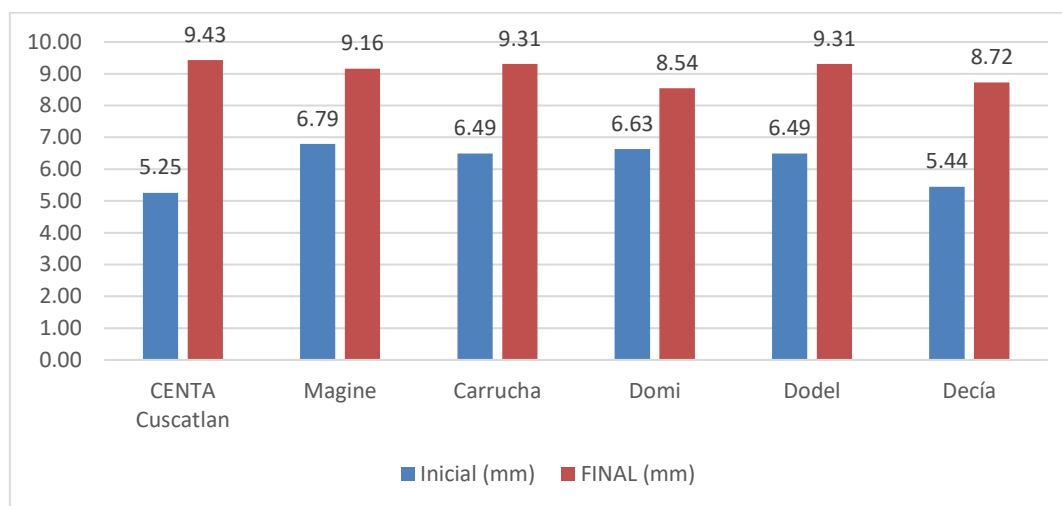


Figura 8. Diámetro del tallo de las cinco variedades de tomate evaluadas.

Este parámetro mide la fuerza de crecimiento de la planta. Según el análisis de varianza ( $p > 0.05$ ), las variedades de tomate evaluadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas, por lo que no fue necesario realizar la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.

En relación al diámetro del tallo de las plantas de tomate evaluadas, se observó que la variedad CENTA Cuscatlán presentó el mayor diámetro con 9.43 mm, seguida de las variedades Carrucha y Dodel con 9.31 mm. Estos valores, aunque relativamente cercanos, se encuentran dentro del rango descrito por INTAGRI (2022), que establece que un punto de equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo del diámetro del tallo oscila entre 10 y 12 mm. Cuando el diámetro del tallo supera los 13 mm, se considera que la planta está en un estado vegetativo

dominante, mientras que cuando es inferior a 10 mm, la planta dedica más energía a la producción de estructuras reproductivas, como flores, frutos y semillas.

Los resultados obtenidos en esta investigación, donde las variedades evaluadas presentan diámetros de tallo cercanos, pero no superiores a los 10 mm, podrían indicar que las plantas están equilibrando su desarrollo vegetativo y reproductivo, lo que favorece tanto la formación de estructuras vegetativas como la producción de flores y frutos. Esto es consistente con lo reportado por Hernández *et al.* (2021), quienes también observaron diámetros de tallo superiores a los 10 mm en diversas variedades de tomate, lo que sugiere que las plantas estaban en un estado vegetativo suficientemente fuerte para soportar una buena producción reproductiva, bajo condiciones de cultivo controladas en hidroponía.

Estos resultados coinciden con la teoría de INTAGRI (2022), que establece que cuando el diámetro del tallo es menor a 10 mm, la planta tiende a dirigir su energía hacia la formación de flores, frutos y semillas. Sin embargo, el hecho de que las variedades evaluadas no hayan alcanzado el umbral de 10 mm de diámetro sugiere que aún se está logrando un balance adecuado entre la vegetación y la reproducción. Este aspecto podría tener un impacto positivo en el rendimiento y la calidad de la cosecha si se logran condiciones de manejo adecuadas para maximizar la eficiencia de la planta en ambas etapas de desarrollo.

En conclusión, los resultados obtenidos para el diámetro del tallo en las variedades evaluadas indican que las plantas están en una fase adecuada de su desarrollo, donde el crecimiento vegetativo y reproductivo están equilibrados, lo que puede contribuir positivamente a la formación de frutos y semillas, siempre y cuando se continúen manejando las condiciones ambientales de manera óptima.

### **3.6. Variables de rendimiento**

La mayor cantidad promedio de frutos por planta se obtuvo con la variedad Dodel, con 8.86 frutos, seguida por Magine con 7 frutos. En contraste, la variedad CENTA Cuscatlán presentó el menor valor, con apenas 0.29 frutos por planta (Figura 9).

Este comportamiento puede estar relacionado con las altas temperaturas registradas durante el ensayo (mayores a 30 °C), que favorecieron la formación de polen estéril. Asimismo, la baja humedad relativa (inferior al 50 %) pudo haber reducido la retención del polen en el estigma, mientras que una humedad relativa elevada (superior al 90 %) dificultó la dehiscencia de las anteras, afectando negativamente la polinización y el cuajado de frutos. Cabe mencionar que este fenómeno coincidió con un período de lluvias intensas, lo cual agravó las condiciones adversas para la floración y fructificación.

Según el análisis de varianza (ANOVA), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades evaluadas en cuanto al número de frutos por planta (P-valor = 0.1687;  $p > 0.05$ ). Por esta razón, no fue necesario aplicar la prueba de Tukey, ya que las diferencias observadas no fueron suficientes para establecer una separación estadística entre tratamientos.

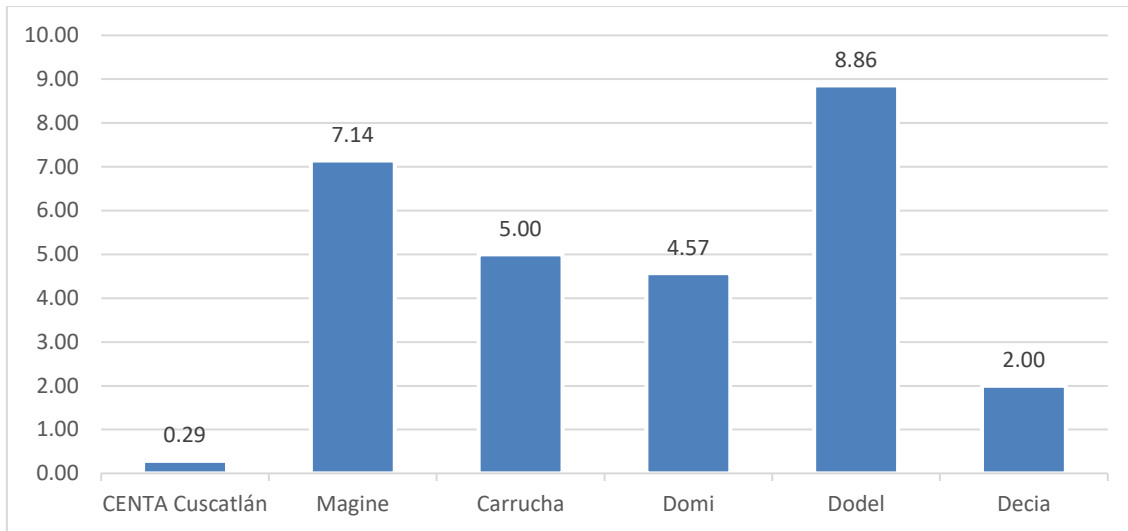


Figura 9. Número de frutos por variedad de tomate evaluada.

La mayor cantidad total de frutos de tomate se obtuvo con la variedad Dodel, con un promedio de 62 frutos por planta, seguida por Magine, que alcanzó 50 frutos. En contraste, la variedad CENTA Cuscatlán presentó el menor número de frutos, con apenas 2 unidades producidas (Figura 10).

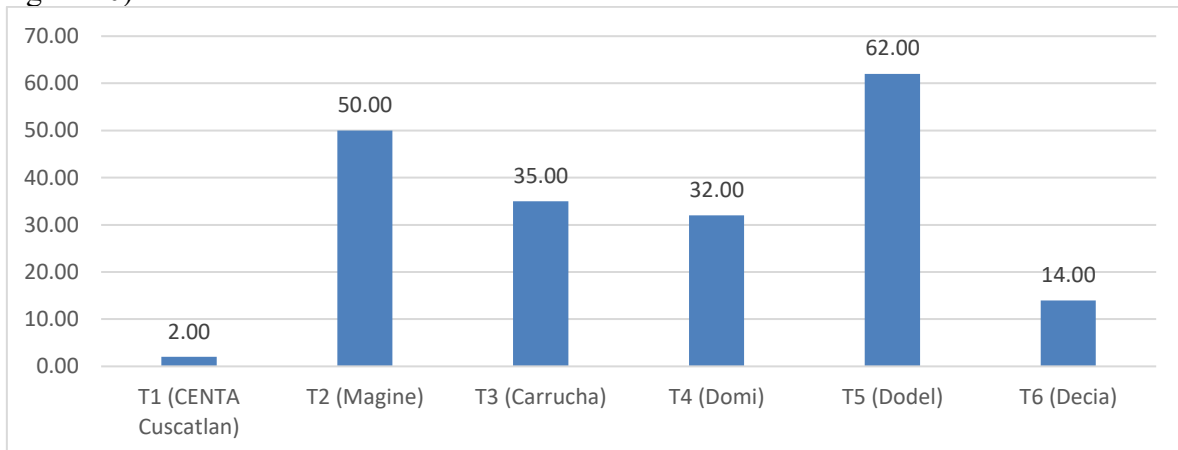


Figura 10. Cantidad total de frutos producidos por variedad de tomate.

Los resultados obtenidos en esta investigación, en cuanto al número de frutos por planta, fueron inferiores a los reportados por Hernández et al. (2021), quienes, en su estudio de caracterización morfoagronómica de cinco variedades de tomate cultivadas bajo condiciones de hidroponía en invernadero, registraron promedios entre 12 y 22 frutos por planta en las variedades Carrucha, Decia, Magine, Dodel, Domi y CENTA Cuscatlán. Estos valores superan considerablemente los observados en el presente estudio. No obstante, es importante destacar que las diferencias en el sistema de producción, condiciones ambientales y altitud entre ambos ensayos representan variables que pueden afectar significativamente la productividad.

En este estudio, las plantas fueron cultivadas a campo abierto, lo que implicó una mayor exposición a fluctuaciones climáticas, incluyendo altas temperaturas, variabilidad en la humedad relativa y excesos de precipitación, factores que probablemente afectaron

negativamente el proceso de cuajado. Según Alarcón Vera (2014), dicho proceso que implica la transición del ovario floral al fruto depende de tres condiciones clave: presencia de yemas florales maduras, condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa para la polinización, y un suministro óptimo de fotoasimilados para el desarrollo del ovario. La alteración de cualquiera de estos factores puede resultar en caída de flores o frutos no cuajados, lo que podría explicar en parte los bajos rendimientos obtenidos.

El cuajado es esencial para el desarrollo del fruto y, como también lo señala Alarcón Vera (2014), durante la fase de expansión celular, el estrés o la deficiencia nutricional puede reducir el crecimiento, generando frutos más pequeños y en menor cantidad. Este desarrollo sigue tres etapas fisiológicas: división celular, elongación celular y cese del crecimiento; condiciones inadecuadas durante cualquiera de estas fases pueden limitar el número y tamaño de los frutos.

Por su parte, Cortez Alvarado (2023) reportó un mayor número de frutos por planta, con promedios entre 24 y 39 frutos, bajo condiciones protegidas y con la implementación de podas de formación, lo que probablemente optimizó la distribución de recursos y energía hacia los órganos reproductivos, incrementando el rendimiento.

En resumen, aunque el número de frutos por planta obtenido en esta investigación fue inferior al reportado por estudios anteriores como los de Hernández *et al.* (2021) y Cortez Alvarado (2023), estas diferencias pueden atribuirse a factores como el manejo agronómico, el clima, el estrés hídrico, y la posible incidencia de plagas o enfermedades. Todos estos elementos influyen directamente en el cuajado y desarrollo de los frutos, afectando la cantidad final producida.

Respecto a la clasificación comercial, los frutos obtenidos en este ensayo fueron, en su totalidad, catalogados como de tercera categoría, con un rango de peso entre 40 y 79 gramos, según los criterios establecidos. Este resultado coincide con lo reportado por Cortez Alvarado (2023), quien también clasificó la mayoría de los frutos de las variedades evaluadas como de tercera categoría, al presentar pesos inferiores a 120 gramos.

En cuanto al peso promedio por variedad, los frutos más pesados correspondieron a Dodel con 61.96 g, seguida por Magine con 56.22 g y Carrucha con 55.68 g. La variedad con menor peso fue CENTA Cuscatlán, con 38.90 g (Figura 11).

Cabe señalar que, según el análisis estadístico realizado, no se detectaron diferencias significativas (P-valor 0.6727;  $p > 0.05$ ) entre las variedades en cuanto al peso de los frutos, motivo por el cual no fue necesario aplicar la prueba de Tukey para comparación de medias.

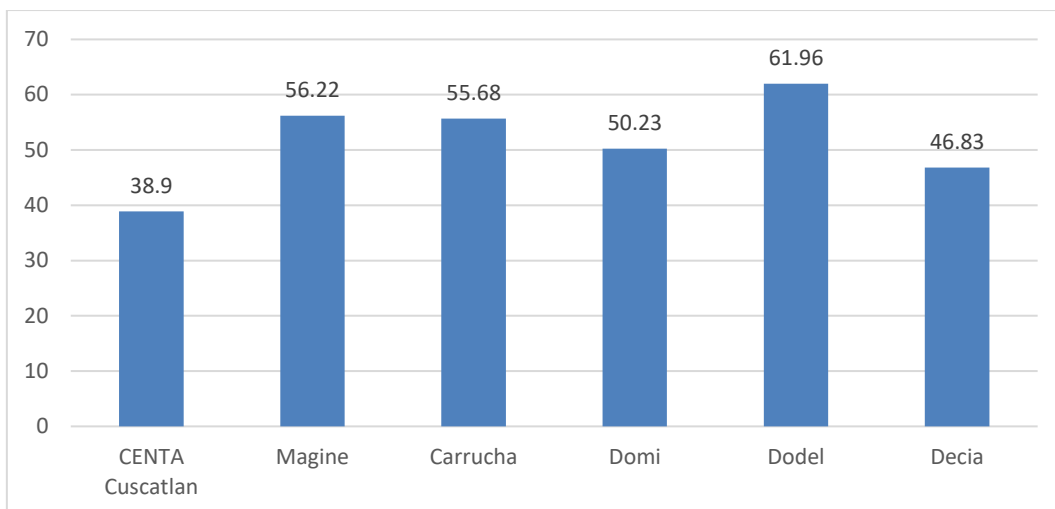


Figura 11. Peso promedio de los frutos de tomate de las variedades evaluadas.

La mayor producción de fruto se registró en la variedad Dodel, con un total de 7.45 libras, seguida por Magine, que alcanzó 6 libras. En contraste, la variedad CANTA Cuscatlán mostró la menor producción, con apenas 0.5 libras. Es importante señalar que estos valores corresponden únicamente a un único corte, ya que, debido a los efectos adversos de los temporales intensos y las inundaciones en el terreno, la totalidad de las plantas murieron antes de completar su ciclo productivo (Figura 12).

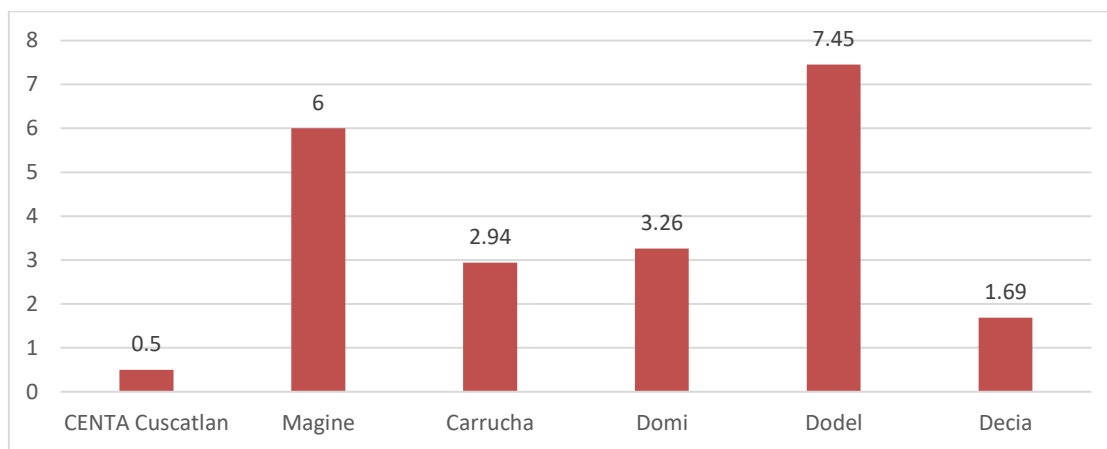


Figura 12. Libras producidas de fruto de tomate por variedad.

En la investigación realizada por Cortés Alvarado (2023) en la Facultad de Ciencias Agronómicas, las variedades evaluadas (Dodel, Decía, Domi, Magine y Carrucha) presentaron pesos de frutos que oscilaron entre 61 g y 102 g. Con excepción de la variedad Dodel, todas fueron clasificadas en tercera categoría, ya que sus frutos no superaron el umbral de 120 gramos, establecido como criterio mínimo para categorías superiores. Al comparar estos resultados con los obtenidos en la presente investigación, se observa que los pesos promedio de los frutos fueron más bajos, lo cual podría atribuirse a diferencias en las condiciones climáticas, manejo agronómico y el sistema de producción empleado (campo abierto frente a ambiente protegido).

De acuerdo con Alarcón Vera (2014), nutrientes móviles dentro de la planta como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio son fundamentales para el desarrollo del cultivo, siendo el potasio particularmente importante en la formación y calidad del fruto. Un manejo adecuado de la relación nitrógeno/potasio (N/K) es esencial para equilibrar el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta, favoreciendo la formación de botones florales, la consistencia del tallo y la calidad del fruto. Por el contrario, un exceso de nitrógeno puede inducir un crecimiento vegetativo desproporcionado, en detrimento del llenado de los frutos, mientras que el potasio promueve su desarrollo y calidad final.

En este contexto, la deficiencia de un equilibrio nutricional adecuado, como se evidenció en los frutos de tercera categoría obtenidos, probablemente limitó su potencial de crecimiento y peso. Esto sugiere que el manejo nutricional, particularmente el balance entre nitrógeno y potasio, pudo haber tenido un impacto significativo en el rendimiento y la calidad de los frutos.

En resumen, los frutos de tomate producidos en esta investigación se ubicaron dentro de los parámetros establecidos para la categoría comercial más baja. Para futuras investigaciones, resulta clave optimizar el manejo de nutrientes durante las etapas críticas del desarrollo del cultivo, con el fin de mejorar el llenado y peso de los frutos, y así elevar su calidad comercial y agronómica.

### **3.7. Variables organolépticas**

**Sólidos solubles del fruto:** los sólidos solubles totales, expresados en grados Brix ( $^{\circ}$ Brix), corresponden a las sustancias solubles en agua que constituyen un indicador directo de la calidad de los frutos. Valores superiores a 4.0  $^{\circ}$ Brix son considerados indicativos de una calidad óptima (Santiago et al., 1998).

En el sexto estadio de madurez de los frutos de tomate, la variedad Domi presentó el mayor contenido promedio de sólidos solubles, con 3.25  $^{\circ}$ Brix, seguida por Decía con 3.23  $^{\circ}$ Brix. La variedad Magine mostró el menor contenido, con 2.0  $^{\circ}$ Brix (Figura 13).

Los resultados revelan que la mayoría de las variedades evaluadas se encuentran dentro de los rangos aceptables para esta variable, excepto Magine, que presentó valores inferiores. Este análisis es fundamental para determinar el contenido relativo de azúcares en los frutos y evaluar el comportamiento de esta característica bajo las condiciones agroclimáticas de la zona costera. El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas ( $P$ -valor=0.0001;  $p < 0.01$ ) en la concentración de sólidos solubles totales entre las variedades evaluadas.

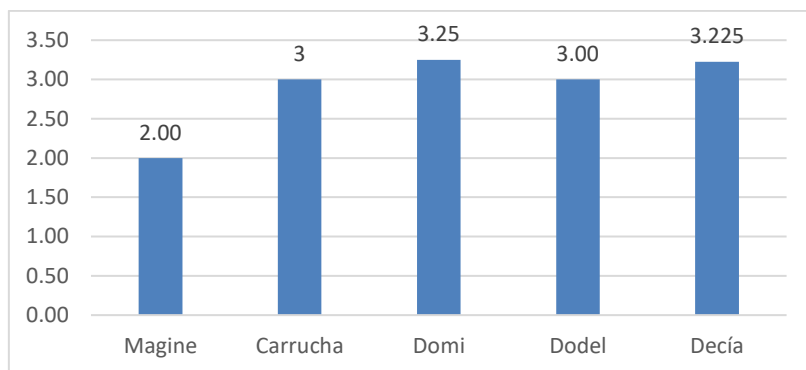


Figura 13. Grados Brix en los frutos de tomate en las variedades evaluadas.

La cuantificación de sólidos solubles en frutos de tomate, expresada en grados Brix, constituye un parámetro fundamental para evaluar la calidad del fruto, dado que se relaciona directamente con la cantidad de materia prima disponible para la industria, especialmente en la elaboración de jugos y conservas (Aleman y Pedroza, 1991). De acuerdo con el CODEX (2007), los tomates redondos presentan un contenido de sólidos solubles que oscila entre 3% y 5%, variación atribuible tanto al estadio de madurez en el momento de la cosecha como al cultivar analizado. Este rango coincide con los valores obtenidos en la presente investigación, donde los frutos evaluados se encontraron dentro de los límites establecidos.

Los resultados son consistentes con los reportados por Hernández et al. (2020), quienes observaron sólidos solubles inferiores al 5% en frutos en el quinto estadio de madurez. En este estudio, las variedades Decia y Dodel exhibieron valores cercanos a 4 °Brix, mientras que Magine registró el valor más bajo, con 2 °Brix, reflejando una menor concentración de azúcares en sus frutos. A excepción de la variedad Magine, todas las demás variedades se ajustaron al rango estipulado por el CODEX (2007), lo que sugiere que son adecuadas para su uso en la producción de jugos o ensaladas, dada su moderada concentración de sólidos solubles.

Este comportamiento en la concentración de sólidos solubles puede explicarse por los procesos fisiológicos involucrados en el desarrollo y maduración del fruto. Según Reina (1998), los ácidos orgánicos contribuyen a la acidez del tomate hasta la cosecha, pero su contenido disminuye durante la maduración como resultado de la respiración del fruto. Asimismo, la concentración de azúcares, principal componente de los sólidos solubles, está influenciada por factores genéticos y ambientales, tales como radiación solar, temperatura, disponibilidad hídrica y nutrientes del suelo, entre otros (Hartl, 2011; Dorais, 2011).

Es relevante destacar que algunas variedades poseen una predisposición genética para alcanzar elevados contenidos de sólidos solubles; sin embargo, la expresión de este potencial depende en gran medida de las condiciones ambientales pre y postcosecha. Prácticas agronómicas, manejo del riego, fertilización y la exposición a condiciones climáticas favorables o adversas inciden decisivamente en la acumulación de azúcares en el fruto (Beckles, 2011).

En conclusión, los resultados obtenidos reflejan un comportamiento esperado de los sólidos solubles en tomate, con la mayoría de las variedades evaluadas dentro del rango recomendado

por el CODEX (2007). No obstante, la variedad Magine, con un bajo contenido de sólidos solubles, podría requerir ajustes en su manejo agronómico y condiciones de cultivo para optimizar sus características de calidad, especialmente si se pretende su utilización en la industria de jugos o productos procesados.

**Firmeza del fruto de tomate maduro:** la variedad Magine presentó la mayor firmeza en frutos maduros, alcanzando un valor de 2.89 kilogramos fuerza (kgf), equivalente a 28.30 newton (N). En contraste, la variedad Carrucha registró la menor firmeza, con 1.50 kgf (14.70 N) (Cuadro 4).

La firmeza se determinó mediante un penetrómetro, que mide la presión requerida para insertar un puntal de 8 mm de diámetro (área de 0.5 cm<sup>2</sup>). Este método es adecuado para evaluar frutos con consistencia firme, como el tomate, ya que permite cuantificar la resistencia del tejido frente a la penetración.

Cuadro 4. Firmeza de los frutos de tomate de las variedades evaluadas.

Variedad	Kgf	Newton (N)
Magine	2.89	28.30
Carrucha	1.50	14.70
Domi	1.85	18.13
Dodel	2.29	22.40
Decía	2.00	19.60

Según el análisis de varianza, se encontraron diferencias altamente significativas en la firmeza del fruto de tomate ( $p = 0.0001$ ), lo que motivó la realización de la prueba de comparación de medias de Tukey. Conforme a la escala de firmeza para frutos de tomate, las variedades Magine y Dodel se clasifican como muy firmes, al superar los 20 newton (N). Las variedades Decía y Domi se consideran firmes, mientras que la variedad Carrucha fue catalogada como moderadamente blanda (Figura 14).

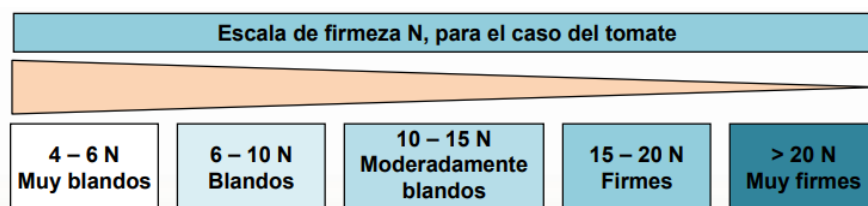


Figura 14. Escala de firmeza de los frutos de tomate (Domene y Segura 2014).

### Firmeza de los frutos de tomate

La firmeza de los frutos de tomate es un parámetro fundamental para evaluar su calidad, tanto para consumo fresco como para la industria de procesamiento. Este atributo está estrechamente vinculado a la estructura de la pared celular, el estado de madurez del fruto y factores ambientales que afectan el crecimiento y desarrollo del tomate. Según Domene y Segura (2014), la firmeza depende de la turgencia, cohesión y morfología celular, así como de la presencia de tejidos de soporte y la composición en hemicelulosa y pectina del fruto. Esta relación resulta crucial para determinar la aceptabilidad del fruto, ya que una mayor firmeza se asocia

generalmente con una mejor calidad, al ser menos susceptible a daños y deterioro durante el manejo y almacenamiento.

Nuez (1999) señala que el desarrollo de la firmeza, al igual que parámetros como tamaño y contenido de sólidos solubles, depende de los fotoasimilados que las hojas proveen al fruto. La velocidad de desarrollo del tomate está influenciada principalmente por la temperatura, que afecta tanto la tasa respiratoria del fruto como la síntesis de almidón. Temperaturas elevadas pueden acelerar la maduración, pero también comprometer la consistencia y firmeza debido a la intensificación de procesos metabólicos. Por el contrario, temperaturas más bajas tienden a ralentizar estos procesos, ocasionando frutos menos firmes debido a una menor síntesis de compuestos estructurales de la pared celular.

El estudio de Walker y Ho (1977) sobre la exportación de fotoasimilados destaca la importancia de este proceso para la firmeza del fruto, ya que la translocación de carbohidratos desde las hojas hacia el fruto es esencial para el desarrollo de la pared celular y la turgencia. Durante las primeras horas y días posteriores a la fotosíntesis, una gran proporción del carbono fijado se transfiere al fruto, contribuyendo a su crecimiento y firmeza. Sin embargo, la eficiencia de esta exportación puede verse afectada por las condiciones de temperatura, repercutiendo directamente en la firmeza final.

Además, la respuesta de los órganos vegetales a variaciones térmicas es diferencial. Khan y Sagar (1969) reportaron que a temperaturas diurnas y nocturnas elevadas (30°C/24°C), los fotoasimilados se dirigen preferentemente a los racimos en fructificación, favoreciendo el desarrollo del fruto, pero con posible detrimento en calidad y firmeza si la maduración se acelera en exceso. En contraste, a temperaturas bajas (17°C/12°C), la translocación se orienta más hacia las raíces, limitando el desarrollo del fruto y generando una firmeza reducida por un proceso de maduración más lento y menos eficiente.

En conclusión, la firmeza del fruto de tomate está determinada por una interacción compleja de factores genéticos, fisiológicos y ambientales. La temperatura, la eficiencia en la exportación de fotoasimilados y el estado de madurez son factores clave que modulan este atributo. Para optimizar la firmeza, es fundamental gestionar adecuadamente las condiciones de cultivo, incluyendo temperatura, nutrición y manejo durante las etapas críticas de fructificación y maduración.

#### **4. Conclusiones**

De los materiales genéticos en estudio, la variedad Dodel presentó los mejores resultados en términos de interacción ambiental, destacándose especialmente en los aspectos morfológicos de la planta.

En cuanto a la producción de frutos, la variedad Dodel fue la más productiva, con un rendimiento de 8 libras, seguida por Magine con 6 libras. Las variedades Domi y Carrucha produjeron 3 libras cada una, mientras que la variedad Decia fue la de menor rendimiento, con 1.69 libras.

A pesar de las variaciones en rendimiento y producción, todas las variedades estudiadas mostraron similitudes en las etapas fenológicas, lo que se debe a su hábito de crecimiento.

Del total de la plantación establecida, el 46% logró sobrevivir a las condiciones ambientales adversas a las que fueron sometidas, tales como cambios de temperatura, exceso de lluvia, inundaciones ocasionales, y variaciones en la humedad relativa.

Según la escala de firmeza, las variedades Dodel y Magine se clasificaron como "muy firmes" (con valores superiores a 20 Newtons). Estos atributos son esenciales para los compradores y consumidores, ya que la firmeza de la pulpa y la resistencia de la piel influyen directamente en la textura y el color de la fruta, características que estos tomates cumplen de manera destacada.

## **5. Recomendaciones**

La variedad Dodel se recomienda seguir evaluando, debido a su potencial para producir bajo las condiciones ambientales de la Estación Experimental y de Prácticas, respaldado por los resultados obtenidos en esta investigación.

Es fundamental evaluar la adaptabilidad de las variedades de tomate Dodel, Magine y Domi durante los períodos lluvioso y seco, ya que estas condiciones climáticas pueden influir significativamente en el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Antes de establecer un cultivo de tomate, es necesario realizar un análisis de suelo para determinar los nutrientes presentes y complementar aquellos que falten, de acuerdo con los requerimientos nutricionales específicos del cultivo.

Además, para asegurar un buen desarrollo del cultivo, se debe aplicar materia orgánica al menos 3 o 4 semanas antes de su establecimiento, con el fin de mejorar la nutrición del suelo y enriquecer la macro y microflora del mismo.

El monitoreo constante de plagas y enfermedades es indispensable para implementar acciones preventivas o curativas en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, lo cual ayudará a mantener la salud de las plantas y optimizar el rendimiento.

Es crucial realizar prácticas culturales oportunas, tales como la eliminación de plantas arvenses que puedan actuar como hospedadores de plagas y enfermedades, tanto dentro del cultivo como en los alrededores de la plantación.

En terrenos con pendientes menores al 2%, se debe diseñar un sistema de drenaje adecuado para evitar problemas de encharcamiento, que puedan afectar la salud de las raíces y la producción.

Para garantizar una mayor eficiencia en el sistema de riego por goteo, se recomienda utilizar redes de distribución de mayor calibre, lo que evitará fugas de agua y pérdidas de fertilización debido a posibles daños en las cintas de riego.

Finalmente, la aplicación de sales inorgánicas como fuente de fertilización en el tanque de fertirriego debe ser cuidadosamente seleccionada, asegurando que sean de alta solubilidad, compatibilidad y riqueza, para optimizar la formulación de los nutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo.

## 6. Bibliografía

- Alarcón Vera, F. (2014). Fisiología y manejo nutricional del tomate. Universidad Nacional de Colombia.
- CODEX Alimentarius. (2007). Norma para tomates en conserva: Codex Stan 13-1981. FAO/OMS.
- Cortez Alvarado, J. (2023). Evaluación agronómica de variedades de tomate bajo ambiente protegido y poda en El Salvador. Universidad de El Salvador.
- Domene, J., & Segura, L. (2014). Evaluación de la calidad de frutos hortícolas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(2), 34–40.
- Dorais, M. (2011). The use of supplemental lighting for vegetable crop production: Light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. Canadian Greenhouse Conference.
- FAO (citado por Fernández, 2017). Estadísticas de producción hortícola mundial. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Guy, D. (2021). Clasificación de la dureza del agua para uso agrícola. Instituto Internacional del Agua.
- Hartl, D. (2011). *Genética moderna*. McGraw-Hill.
- Hernández, M., Gómez, C., & Díaz, L. (2012). Evaluación fenológica y de rendimiento en tomate. *Revista Científica Agroproductividad*, 9(1), 45–52.
- Hernández, M., Pérez, A., & Martínez, R. (2020). Contenido de sólidos solubles en variedades de tomate. *Revista Ciencia y Tecnología Agraria*, 23(2), 67–74.
- Hernández, M., Gómez, C., & Díaz, L. (2021). Caracterización morfoagronómica de variedades de tomate bajo hidroponía. *Revista Latinoamericana de Agricultura*, 15(3), 89–101.
- Hirzel, J. (2009). *Fertirrigación en cultivos hortícolas: Guía técnica para su implementación*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA).
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnología en Agricultura, México). 2022. Monitoreo del Crecimiento en Tomate. Serie Horticultura Protegida, Núm. 47. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Khan, A. A., & Sagar, V. R. (1969). Effect of temperature on the translocation of photosynthates in tomato plants. *Indian Journal of Horticulture*, 26(3), 112–117.

- Linares, G., Flores, R., & Morales, E. (2014). Tecnificación agrícola y sus barreras económicas en El Salvador. *Revista Agronomía Actual*, 6(2), 22–30.
- MAG. (2021–2022). Anuario de Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.
- MAG. (2022). Informe sobre importaciones agrícolas de tomate. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.
- Martínez, A. (2001). Fenología vegetal: Conceptos y aplicaciones en agricultura. Universidad Nacional de Colombia.
- Mendoza, A., & Espinoza, L. (2017). Métodos de análisis físico-químico de suelos agrícolas. Publicación Técnica del CENTA.
- Nuez, F. (1999). El cultivo del tomate. Mundi-Prensa.
- Reina, M. (1998). Cambios fisiológicos en la maduración del tomate. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 3(1), 55–60.
- Reyes, M. (2020). Métodos de análisis de calidad de agua para riego agrícola. CENTA.
- Santiago, L., Morales, R., & Vega, C. (1998). Sólidos solubles y calidad de frutas tropicales. Centro Nacional de Tecnología Agroindustrial.
- Walker, A. J., & Ho, L. C. (1977). Carbon translocation in tomato plants. *Annals of Botany*, 41(1), 141–15.