

**Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Escuela de Posgrado y Educación Continua**



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

**Por:**

**Marcelino Arturo Zepeda Campos**

**Requisito para optar al título de:  
Maestro en Ciencias en Agricultura Sostenible**

**Ciudad Universitaria, julio de 2025**

**Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Escuela de Posgrado y Educación Continua**



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

**Por:**

**Marcelino Arturo Zepeda Campos**

**Requisito para optar al título de:  
Maestro en Ciencias en Agricultura Sostenible**

**Ciudad Universitaria, julio de 2025**

# **Universidad de El Salvador**

## **Rector:**

Ing. M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

## **Secretario General:**

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

## **Facultad de Ciencias Agronómicas**

## **Decano:**

Ing. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

## **Secretario:**

Ing. M. Sc. Edgar Geovany Reyes Melara

**Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua**

---

Dr. Abel Alexei Argueta Platero

**Asesor principal**

---

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

## 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.

## **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.

## **Agradecimientos**

A Dios por guiarme y permitirme realizar esta tesis, después de tantos contratiempos que surgieron.

A mi familia como es mi tía-mamá Edith Navarro Núñez, por estar siempre insistiéndome en terminar mi tesis y el apoyo incondicional, así como también de mi prima-hermana Yajaira Navarro Núñez.

A mis amigos y mentores como el Ing. Mario Alfredo Pérez Ascencio por el apoyo brindado en la parte técnica, económica, revisión de ideas al momento de redactar y darme ánimos durante todo este proceso; al Ing. Carlos Alberto Aguirre, quien brindó su apoyo técnico y revisión en la parte de suelos y siempre estar pendiente durante el proceso; y al Ing. Agr. Manuel Hernández Juárez, Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Nuñez, y al Lic. Luis Rivera por brindar ánimos a que finalizará la tesis.

Por parte de la Estación Experimental y de Prácticas al Ing. Marvin Orlando Molina Escalante, por apoyarme en actividades de campo, así como también a los trabajadores del área agrícola como Carlos Geovani Contreras Contreras y Natanael Martínez Santamaria.

Al Dr. Francisco Lara Ascencio, cuando fue decano por apoyarme con la movilidad de las muestras de suelo y agua al CENTA; y en un principio sería parte de mis asesores, quien me oriento en la parte estadística.

A los estudiantes de Ingeniería Agroindustrial de la asignatura de Sistemas de Producción Agrícola I, ciclo I-2024, que apoyaron en el establecimiento del cultivo; así mismo a Kathy Solorzano y Karina Hernández ambas egresadas de Ingeniería Agroindustrial que apoyaban al momento de tomar datos u alguna labor; y al Ing. Humberto Ruiz Mejía.

A la Dra. Marcia Lizeth Barrera de Calderón, quien siempre estuvo apoyando y preguntando de la tesis y brindarme consejos.

A Dora Imelda Campos Pacheco, secretaria de la Escuela de Posgrado y Educación Continua por el apoyo en los diferentes trámites y estar pendiente.

Al Ing. Julio Cesar Pavón, por el apoyo en las diferentes solicitudes para avanzar en la tesis.

A Roxana Guadalupe Gutiérrez, secretaria del Departamento de Fitotecnia por el apoyo en los diferentes trámites y estar pendiente.

Al Ing. M. Sc. Efraín Rodríguez Urrutia por ser asesor y apoyarme con la revisión del documento.

Al Ing. M. Sc. Modesto Antonio Juárez Vásquez por estar pendiente y apoyarme en los procesos de la Maestría y solventar dudas durante todo el proceso.

Al Lic. Santos Wilmar Morales Arévalo por la disposición de solventarme dudas para el recordatorio en el programa estadístico.

Al Ing. M. Sc. Juan Francisco Alvarado Panameño por el apoyo brindado en hacer sugerencias al documento de la presentación.

Al tribunal evaluador por sus aportes para la mejora en dicha investigación al Ph. D. Mario Ernesto Parada Jaco y al M. Sc. Oscar Alonso Rodríguez Gracias.

## **Dedicatoria**

A Dios, mi roca eterna, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme paciencia, la fuerza para perseverar. Gracias por ser mi fuente de fortaleza y entendimiento en este logro académico.

A mi tia-mamá Edith Navarro Nuñez y mi prima-hermana Yajaira Navarro Nuñez

A mi mentor y amigo el Ingeniero Mario Alfredo Pérez Ascencio, por estar siempre dándome ánimo y por todo el apoyo brindado desde que fue mi asesor en tesis de pre-grado.

## Tabla de contenido

	Página
<b>Resumen</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Objetivos</b> .....	2
2.1. <i>Objetivo General</i> .....	2
2.2. <i>Objetivo Específicos</i> .....	2
<b>3. Estado del arte</b> .....	3
3.1. <i>Antecedentes de mejoramiento genético de tomate en El Salvador</i> .....	3
3.2. <i>Estabilidad y adaptabilidad de sistemas de producción</i> .....	4
3.3. <i>Origen de las variedades mutantes de tomate evaluadas en esta investigación</i> .....	6
3.4. <i>El cultivo de tomate en El Salvador</i> .....	8
3.5. <i>Descripción morfológica del cultivo de tomate</i> .....	8
3.6. <i>Fenología del cultivo de tomate</i> .....	10
3.7. <i>Hábitos de crecimiento de las plantas de tomate</i> .....	11
3.8. <i>Características morfológicas de los cultivares mutantes de tomate</i> .....	12
3.9. <i>Ciclo del cultivo de tomate</i> .....	13
3.10. <i>Requerimientos climáticos del cultivo de tomate</i> .....	13
3.11. <i>Requerimientos edáficos del cultivo de tomate</i> .....	17
3.12. <i>Parámetros de calidad en tomate fresco</i> .....	20
3.13. <i>Calidad del agua de riego</i> .....	22
3.14. <i>Nutrientes esenciales</i> .....	24
3.15. <i>Solubilidad y compatibilidad de los fertilizantes</i> .....	26
3.16. <i>Fertirrigación</i> .....	28
3.17. <i>Manejo y control nutricional en fertirriego</i> .....	33
3.18. <i>Comercialización del tomate</i> .....	36
<b>4. Metodología</b> .....	38
4.1. <i>Ubicación del estudio</i> .....	38

4.2. Metodología de campo.....	38
4.3. Establecimiento y manejo agronómico del cultivo .....	40
4.4. Metodología estadística .....	46
<b>5. Resultados .....</b>	<b>49</b>
5.1. Análisis de suelo.....	50
5.3. Concentración de fertilizante en el agua de riego.....	51
5.4. Temperatura, humedad relativa y comportamiento de la planta.....	52
5.5. Desordenes fisiológicos .....	53
5.6. Etapas fenológicas de los cinco materiales del cultivo de tomate.....	55
5.7. Variables morfológicas .....	56
5.6. Variables de rendimiento .....	59
5.7. Variables organolépticas .....	64
<b>6. Discusión.....</b>	<b>66</b>
6.1. Análisis de agua.....	66
6.2. Temperatura, humedad relativa y comportamiento de la planta.....	66
6.3. Desordenes fisiológicos .....	67
6.4. Etapas fenológicas de los cinco materiales del cultivo de tomate.....	69
6.6. Variables morfológicas .....	70
6.7. Variables de rendimiento .....	73
7.8. Variables organolépticas .....	78
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>81</b>
<b>8. Recomendaciones.....</b>	<b>82</b>
<b>9. Bibliografía.....</b>	<b>83</b>
<b>10. Anexos.....</b>	<b>91</b>
10.1. Cálculos de nutrientes con relación al análisis de suelo. ....	114
10.2. Cálculos de fertilizantes con relación a requerimientos nutricionales .....	117
10.3. Cálculo de la fase de crecimiento del cultivo de tomate (4 semanas) .....	120
10.4. Cálculo de la fase de producción del cultivo de tomate (10 semanas).....	123
10.5. Cálculo del gasto de agua a utilizar en el ciclo del cultivo .....	126

10.6. Resultados estadísticos del programa.....	126
---	-----

### Listado de figuras

	Página
Figura 1. Fenología del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado (Inia Ururi 2018)....	11
Figura 2 . Elongación del pistilo de la flor .....	15
Figura 3. Precipitado formado por exceder el límite de solubilidad o del efecto del ion común (Guy 2021).....	28
Figura 4. Características de los patrones de dosificación en fertirriego (Lutenber s.f.).....	33
Figura 5. Elaboración de plantines de tomate. ....	39
Figura 6. Aplicación de productos fitosanitarios y nutrición de plantines por subirrigación....	40
Figura 7. Incorporación de materia orgánica en las camas de siembra. ....	41
Figura 8. Control de plantas arvenses con apoyo de estudiantes de Ingeniería Agroindustrial.	41
Figura 9. Elaboración de solución arrancadora y plantín de tomate. ....	42
Figura 10. Microtuneles instalados.....	42
Figura 11. Aplicación del fertilizante al tanque de fertirriego. ....	44
Figura 12. Colocación de tutores verticales múltiples.....	45
Figura 13. Control de plantas arvenses.....	45
Figura 14. Cosecha de tomate.....	46
Figura 15. Distribución en campo de los tratamientos a evaluar en la investigación.....	47
Figura 16. Comportamiento promedio de la temperatura y humedad relativa en el lote La Bomba en la fase reproductiva del cultivo de tomate durante el día. ....	52
Figura 17. Fruto de tomate rajado y dañado por quemaduras en la variedad Magine.....	53
Figura 18. Hojas enrolladas por cambios de temperaturas en la variedad Carrucha.....	54
Figura 19. Edema o intumescencia en tallo de tomate de la variedad Decia. ....	54
Figura 20. Alargamiento del pistilo (Exerto) en la variedad Dodel. ....	55
Figura 21. Fenología de los materiales genéticos de tomate en la investigación (EEP,2024) ..	55
Figura 22. Crecimiento de cada variedad de tomate evaluada (cm/día).....	56
Figura 23. Pubescencia en el tallo de tomate de la variedad Domi. ....	57
Figura 24. Inflorescencia del tomate en la variedad Dodel. ....	57
Figura 25. Diámetro del tallo de las cinco variedades de tomate evaluadas. ....	58
Figura 26. Número de hojas de las variedades de tomate por etapa fenológica. ....	59
Figura 27. Cantidad promedio de racimos florales de las variedades de tomate.....	60
Figura 28. Número de frutos por variedad de tomate evaluada.....	61
Figura 29. Cantidad total de frutos producidos por variedad de tomate.....	61
Figura 30. Peso promedio de los frutos de tomate de las variedades evaluadas. ....	62

Figura 31. Libras producidas de fruto de tomate por variedad.....	62
Figura 32. Diámetro promedio de los frutos de tomate por variedad evaluadas.....	63
Figura 33. Número promedio de semillas por fruto de tomate en las variedades evaluadas.....	63
Figura 34. Grados Brix en los frutos de tomate en las variedades evaluadas.....	65
Figura 35. Escala de firmeza de los frutos de tomate (Domene y Segura 2014). ....	66

### **Listado de cuadros**

	Página
Cuadro 1. Características morfológicas de los cultivares mutantes de tomate.....	12
Cuadro 2. Efecto de la temperatura en el tomate.....	15
Cuadro 3. Características físicas y químicas del suelo para el cultivo de tomate. ....	20
Cuadro 4. Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola. ....	23
Cuadro 5 Parámetros de calidad de iones en las aguas de riego.....	24
Cuadro 6. Solubilidad gramos de fertilizante por litro de agua.....	27
Cuadro 7. Composición y solubilidad de fertilizantes.....	30
Cuadro 8. Ventajas y desventajas del uso de tanques de fertilización .....	32
Cuadro 9. Factores influyentes en el balance vegetativo/generativo de una planta. ....	34
Cuadro 10. Ficha técnica de tomate: parámetros organolépticos y físico-químico.....	37
Cuadro 11. Sales inorgánicas utilizadas para la nutrición del cultivo de tomate. ....	43
Cuadro 12. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate (lb/mz). ....	44
Cuadro 13. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate ajustado (lb/mz).....	44
Cuadro 14. Análisis de varianza de un diseño de bloques completos al azar. ....	47
Cuadro 15. Parámetros de clasificación por categoría de peso del fruto.....	49
Cuadro 16. Resultado del análisis de suelo del lote La Bomba.....	50
Cuadro 17. Análisis del agua del pozo 2 de la Estación Experimental y de Prácticas. ....	51
Cuadro 18. Altura de planta y crecimiento de las variedades de tomate (cm/día). ....	56
Cuadro 19. Cantidad de semillas total de tomate por variedad y su peso. ....	64
Cuadro 20. Firmeza de los frutos de tomate de las variedades evaluadas.....	65

### **Listado de anexos de figuras**

	Página
Figura A- 1. Resultado del análisis de laboratorio del suelo del lote La Bomba. ....	92
Figura A- 2. Resultado del análisis de agua del pozo #2.....	111
Figura A- 3. Resultado del análisis de agua del pozo #1.....	112
Figura A- 4 Recolección de submuestra de suelo.....	113
Figura A- 5. Mezclado de las submuestras.....	113

Figura A- 6. Limpieza de tubería y del área .....	113
Figura A- 7. Entrega de muestras de suelo al laboratorio para su análisis. ....	113
Figura A- 8. Ambientado o lavado del recipiente con la misma agua.....	114
Figura A- 9. LLenado de ficha y entrega de muestra de agua al laboratorio. ....	114

### **Listado de anexos de cuadros**

	Página
Cuadro A-1. Compatibilidad de las mezclas de fertilizantes para fertirriego. ....	91
Cuadro A- 2. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate.....	115
Cuadro A- 3. Resumen de requerimiento y disponibilidad de nutrientes en suelo. ....	116
Cuadro A- 4. Libras por manzana obtenido de los requerimientos del cultivo de tomate. ....	117
Cuadro A- 5 Libras por manzanas ajustado .....	117
Cuadro A- 6. Distribución de nutrientes en libras por manzana en % según fenología*.....	117
Cuadro A- 7. Distribución de nutrientes en libras por manzana según fenología. ....	118
Cuadro A- 8. Listado de Fertilizantes hidrosolubles utilizados.....	118
Cuadro A- 9. Luego se realiza la conversión de acuerdo al área que en esta investigación es de 345 m <sup>2</sup> .....	120
Cuadro A- 10. Distribución de nutrientes en libras por manzana según fenología. ....	120
Cuadro A- 11. Luego se realiza la conversión de acuerdo al área que en esta investigación es de 345 m <sup>2</sup> .....	122
Cuadro A- 12. Distribución de nutrientes en libras por manzana según fenología. ....	123
Cuadro A- 13. Conversión de acuerdo al área de la investigación es de 345 m <sup>2</sup> .....	125
Cuadro A-14. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.....	126
Cuadro A-15. Análisis de varianza para la variable número de hojas.....	127
Cuadro A-16 Análisis de varianza para la variable número de racimos florales. ....	128
Cuadro A-17. Análisis de varianza de la variable número de frutos.....	129
Cuadro A-18. Análisis de varianza de la variable peso de fruto. ....	129
Cuadro A- 19. Análisis de varianza para la variable diámetro de fruto. ....	130
Cuadro A- 20. Análisis de varianza de la variable número de semillas por fruto de tomate. .	131
Cuadro A- 21 Análisis de varianza para la variable número de lóculos por fruto de tomate. .	131
Cuadro A- 22. Análisis de varianza para la variable solidos solubles totales (°brix). ....	132
Cuadro A- 23. Análisis de varianza para la variable firmeza del fruto. ....	132

## Lista de Abreviaturas

IGA	Interacción Genotipo Ambiente
RAS	Relación de Adsorción de Sodio
CE	Conductividad eléctrica de un cultivo expresada
ppm	Partes por millón
Cmol/Kg-1	Centimol carga por kilogramo
mg/Kg-1	Miligramos por kilogramo
meq/l	Miliequivalente por litro
mS/cm	milisiemens por centímetro
dS/m	Decisiemens por metro
IPGRRRI	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos
N/K	Relación Nitrógeno/Potasio
Gy	Gray: Unidad de radiación absorbida equivalente a la dosis de un joule de energía absorbida por Kilogramo de materia
CEADEN	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear

## 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. Objetivos**

### *2.1. Objetivo General*

Evaluar el comportamiento agronómico y productivo de cinco materiales genéticos de tomate utilizando la técnica de fertirriego en condiciones de campo.

### *2.2. Objetivo Específicos*

Evaluar el comportamiento de cinco materiales genéticos de tomate mediante mediciones de crecimiento en las distintas etapas fenológicas del cultivo, con el fin de identificar sus características agronómicas.

Cuantificar el rendimiento de las variedades de tomate evaluadas en condiciones de campo.

Medir los parámetros de calidad del fruto de tomate fresco.

### **3. Estado del arte**

#### *3.1. Antecedentes de mejoramiento genético de tomate en El Salvador*

Seballos (s.f.) evaluó en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA) en El Salvador, el comportamiento de 14 cruces entre variedades de tomate de polinización abierta, utilizando el método de selección de descendencia por semilla única. En la F6, el mayor número promedio de frutos/planta (33.4 frutos) lo obtuvo con el cruzamiento CARAIBA x TSS, seguido por los cruzamientos UC-82-B x CARAIBA-BRA y UC-82-a x CARAIBA-BRA con 30.4 y 26 frutos/planta respectivamente.

En el F7, CARAIBA-BRA x TSS logró el mayor número promedio de frutos/planta (28 frutos), seguido de UC-82-A x RODADE-BRA y TSS x L665-52- BRA-O12581 (25.2 y 18.2 frutos/planta respectivamente), notándose una disminución de las selecciones F7 comparado con F6. Existe una relación directa entre el número de racimos por planta y el número de frutos. En cuanto a la altura de planta no se observó ninguna relación de ésta con el rendimiento. Además, determinó que a mayor número de generaciones por semilla única es más alto el porcentaje de líneas homocigóticas.

Seballos (s.f.) seleccionó materiales de tomate con características de buen rendimiento, calidad aceptable y resistencia a enfermedades, los cuales se manejaron en invernadero en bolsas de polietileno negras 14 x 14 pulgadas. Al momento de la floración se realizaron 14 cruces, siendo los progenitores: CARAIBABRA (T-017), L665-52-BRA, 012581 (T-019), RODADE-BRA012645 (T-016), TX-102 (CNPH) (T-014), UC-82A, UC82-B, TSS y Santa Cruz KADA. Los datos que se tomaron fueron: hábito de la planta, altura (cm), floración, número de racimos, número de frutos, días a maduración, calidad del fruto, plagas y enfermedades.

El CENTA ha entregado a los productores un nuevo material de tomate con el nombre de CENTA Cuscatlán, esta variedad es de cocina. Después de la evaluación y adaptación en los años 2015 y 2016 inicio el proceso de validación y de obtención de semilla en campos de productores a nivel nacional, donde mostró un rendimiento promedio de 19.26 tonelada/hectárea (CENTA 2017).

Del 100% de los productores que sembraron esta variedad de tomate el 82% confirmó que tiene buena calidad de fruto, es tolerante al complejo begomovirus y satisface las expectativas de los productores y consumidores. El begomovirus-Bemisia tabaci es la principal limitante para la producción de tomate (CENTA 2017).

Las variedades Dodel, Decia y Magine presentaron crecimiento indeterminado y las variedades Carrucha y Domi con crecimiento semideterminado; la variedad Decia obtuvo la cosecha a los 97 días, siendo la más precoz; y en las variedades, Domi y Magine a los 98 días, la variedad Dodel a los 105 días, es la que tardó más; en las variedades Carrucha la cosecha se obtuvo a los 104 días. La producción promedio de la variedad Carrucha fue de 15 frutos por planta, Decia y Magine 19 frutos, la variedad Dodel 12 frutos, y la variedad Domi 16 frutos por planta (Hernández *et al.* 2020).

Otros estudios que ha realizado la Facultad de Ciencias Agronómicas sobre estos materiales son el efectuado por Cortez Alvarado (2023) sobre el Efecto de dos tipos de podas de formación en el rendimiento y calidad de los frutos en cinco variedades de tomate en hidroponía bajo condiciones de invernadero; y el realizado por Solorzano Alfaro (2023) sobre Estudio del potencial industrial de cinco variedades de tomate cultivadas en condiciones de hidroponía e invernadero con aplicación de tres dosis de fertilizante foliar quelatado.

### *3.2. Estabilidad y adaptabilidad de sistemas de producción.*

En los sistemas de producción intervienen las condiciones del ambiente (clima y suelo) y el cultivo, en las cuales, las personas tienen la capacidad de modificar el entorno con prácticas de manejo agronómico, lo que determina la expresión del potencial genético del cultivo. Es función del mejorador la búsqueda permanente de genotipos de excelentes condiciones de adaptabilidad y estabilidad, sin embargo, cada vez encuentra un reto mayor, dado que, por efecto de la interacción con el ambiente, las variedades sembradas manifiestan una respuesta de desempeño relativo y puede ocurrir que ciertas condiciones ambientales y de manejo que son favorables para algunas, representen limitación para otras (Ceballo Aguirre 2012).

### 3.2.1. Definiciones en interacción genotipo ambiente

Se puede hablar de adaptación en el contexto de la variación espacial de la expresión de un genotipo y de estabilidad para la variación en un lugar dado, a través de los años o bajo distintas prácticas de cultivo, en ambos casos puede referirse a las dos dimensiones de manera conjunta, por ser expresiones del mismo fenómeno (Romagosa y Fox 1993).

Heinrich *et al.* (1983) definen la estabilidad de un carácter como la habilidad del genotipo para evitar fluctuaciones sustanciales en el rasgo sobre un rango de condiciones ambientales.

Según Baena *et al.* (1991), en la estabilidad de un material se considera el comportamiento de éste en un mismo sitio, pero probado en diferente tiempo, lo que se evalúa es el efecto de las condiciones climáticas cambiantes de una época a otra (como puede ser precipitación, vientos). Otros autores definen la estabilidad en dos sentidos (Becker 1981; Romagosa y Fox 1993): El primero, en el cual un mismo genotipo mantiene un rendimiento constante en diferentes ambientes, denominada estabilidad biológica; el segundo, en el que un genotipo rinde de manera relativa de acuerdo con el potencial de los ambientes evaluados, denominado estabilidad agronómica.

Otro concepto importante desarrollado por Yang y Kang (2003), consideran homológamente la estabilidad estática y dinámica, para estabilidad biológica y agronómica respectivamente.

La adaptabilidad de un genotipo o una población de genotipos es la propiedad o habilidad que permite la alteración de las normas de adaptación en respuesta a distintas presiones de selección (Simmonds 1979, citado por Damba 2008).

Se diferencian adaptación específica de un genotipo o de una población a un ambiente limitado y; adaptación general de un genotipo o de una población como la capacidad de adaptarse a una variedad de ambientes (Anniccharico 2002).

### 3.2.2. Interacción Genotipo x Ambiente (IGA)

La alteración en el comportamiento relativo de los genotipos, en virtud de las diferencias del ambiente, se denomina interacción genotipo por ambiente (Borém e Vieira 2005).

La interacción genotipo x ambiente ocurre cuando cultivares diferentes o genotipos responden de manera diferente a diversos ambientes (Baker 1988; Vallejo y Estrada 2002).

Según Baker (1988) y Vallejo et al. (2010), existen tres situaciones que pueden expresar la ocurrencia de Interacción Genotipo x Ambiente (IGA). La primera situación ocurre cuando el ambiente promueve la misma alteración en los genotipos, de modo que la clasificación de estos no cambia de un ambiente a otro. La segunda situación se presenta cuando el ambiente induce variación en el comportamiento de los genotipos, aunque sin modificar su clasificación. Finalmente, la tercera situación ocurre cuando la variación en el comportamiento de los genotipos, como respuesta al ambiente, conlleva un cambio en la clasificación de los mismos.

### 3.3. Origen de las variedades mutantes de tomate evaluadas en esta investigación

El mejoramiento genético por mutagénesis inducida ha sido una herramienta clave en la obtención de variedades con características agronómicas superiores, especialmente en condiciones de estrés abiótico como la sequía. En este contexto, el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), ubicado en Cuba, ha desarrollado importantes investigaciones aplicando irradiación con rayos gamma ( $^{60}\text{Co}$ ) como técnica para inducir mutaciones en el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.).

1

#### 3.3.1. Desarrollo de variedades mutantes en el CEADEN

Uno de los casos más relevantes de este proceso fue la irradiación de semillas de tomate de la variedad Amalia, sometidas a una dosis de 500 Gray (Gy) de rayos gamma en un irradiador MPX-25, con una potencia de dosis de 11.3 Gy por minuto. Como resultado de esta intervención

---

<sup>1</sup> Orellana Núñez, M.A. 12 de mayo de 2025. Recibimiento y origen de los materiales mutantes de tomate (entrevista, correo electrónico, llamada), San Salvador, El Salvador.<sup>1</sup>

se obtuvo la variedad Domi, que mostró un elevado potencial productivo, calidad adecuada para el consumo fresco e industrial, y resistencia a sequía (Hernández et al.2020).

En el mismo centro se irradiaron otras semillas de tomate bajo condiciones controladas de bajo suministro hídrico, utilizando dosis de 300 y 500 Gy. Este proceso generó un grupo de mutantes promisorios que demostraron tolerancia a la sequía, entre ellos: Magine, Carrucha, Domi, Dodel y Decia. Durante las investigaciones se cultivaron múltiples generaciones, alcanzando hasta M4, en las que se evaluaron 25 líneas genéticas. De estas, seis genotipos fueron seleccionados por su capacidad de sobrevivencia y rendimiento bajo estrés hídrico. El proceso de selección consideró prácticas agronómicas como trasplante con riego, seguido de un período sin riego antes de la floración, y riegos únicamente durante la fase de producción.

En el año 2010, parte del material genético fue trasladado desde Cuba hacia Venezuela, en sobres que contenían 20 semillas por variedad, como parte de un proyecto regional enfocado en la tolerancia a la sequía. La selección posterior de plantas incluyó características fenotípicas como plantas fuera de tipo, longitud del pecíolo y adaptación a estrés hídrico. Un principio ético central del proyecto fue que las semillas no debían caer en manos de empresas privadas ni ser comercializadas, protegiendo así su uso en manos de agricultores, universidades y centros no empresariales. En este marco, la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador<sup>1</sup> recibió semillas mutantes provenientes de estas investigaciones para continuar su evaluación y adaptación local.

### 3.3.2. Origen de la variedad Sébaco (CENTA Cuscatlán – CC)

La variedad que hoy se conoce oficialmente como CENTA Cuscatlán - CC, y que anteriormente circuló bajo el nombre de Sébaco, tiene un origen diferente pero complementario al de las variedades mutantes cubanas. Su material genético proviene del Centro Mundial de Hortalizas con sede en Taiwán, y fue introducida en Nicaragua antes de ser trasladada a El Salvador en el año 2013 (CENTA 2017).

En El Salvador, el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA), mediante su Programa de Hortalizas incluyó esta variedad dentro de una evaluación regional que abarcó 29 variedades de tomate recolectadas en países

centroamericanos y Panamá. A partir de 2014 se iniciaron procesos de selección y evaluación en campo, y para 2015 comenzó la validación nacional y multiplicación de semilla (CENTA 2017).

Entre los años 2015 y 2016 la variedad local conocida como 1098 fue evaluada en cinco municipios de El Salvador (Zapotitán, Sacacoyo (La Libertad), Rosario (Cuscatlán), Armenia (Sonsonate) y Atiquizaya (Ahuchapán)), donde superó en rendimiento a la variedad local 1098, con un promedio de 19.26 toneladas por hectárea. Estas pruebas confirmaron su adaptabilidad, tolerancia al complejo de begomovirus y aceptación por parte de los productores. Fue entonces liberada oficialmente como CENTA Cuscatlán – CC (CENTA 2017).

Esta variedad de polinización libre representa una opción para los pequeños productores, ya que permite la producción de semilla propia y reduce la dependencia de insumos externos, alineándose con los principios de soberanía alimentaria y mejoramiento participativo.

#### *3.4. El cultivo de tomate en El Salvador*

En El Salvador la producción de tomate no alcanza a suplir la demanda interna, según datos del Anuario de Estadísticas agropecuarias (MAG 2022-2023), reporta que se cultivaron 572 manzanas (400.4 hectáreas) de tomate y produjeron 23,943,230 kilogramos con un rendimiento de 41,846.20 kilogramos/manzana, lo que aún no cubre la demanda nacional, por lo que fue necesario importar 111,124,632 kilogramos con un valor de US\$16,525,093.00 dólares, lo cual demuestra que las importaciones son considerables año con año (MAG 2023).

#### *3.5 Descripción morfológica del cultivo de tomate*

Pertenece al género *Lycopersicum*, la especie es *esculentum*, se clasifica en la familia de las Solanáceas (CENTA 2018).

El origen del género *Lycopersicum* se localiza en la región andina que se extiende desde el Sur de Colombia hacia el Norte de Chile, siendo en México donde se domesticó (Aldana 2015).

El tomate se cultiva como planta anual, de porte arbustivo, se desarrolla de forma rastrera, semi erecta o erecta, dependiendo de la variedad (Larín *et al.* 2018).

El sistema radical alcanza una profundidad de hasta dos metros, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. Bajo ciertas condiciones de cultivo se daña la raíz pivotante y la planta desarrolla un sistema radical fasciculado en que dominan raíces adventicias y que se concentran en los primeros 30 cm del perfil.

Los tallos son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y con tricomas (pilosidades) simples y glandulares. Eje con un grosor que oscila entre 2 a 4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Monardes 2009).

Las hojas son compuestas e imparipinnadas, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo.

La flor del tomate es perfecta, consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas “racimos”. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo del primer alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2 a 3 hojas en las axilas (Monardes 2009).

El fruto es una baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Monardes 2009).

La semilla es plana y ovalada con dimensiones aproximadas de 3x2x1 mm. Si se almacena por periodos prolongados se recomienda hacerlo a una humedad de 5.5%. Una semilla de calidad deberá tener al menos el 95% de germinación (Larín *et al.* 2018).

La germinación del embrión dentro de la semilla es una planta miniatura, que está vivo y respira lentamente, y cuando las condiciones son favorables para la ruptura de las cubiertas de la semilla emerge una nueva planta (Estrada 2010).

La germinación comprende tres etapas: a) Rápida absorción de agua que dura 12 horas; b) Reposo durante 40 horas, el cual absorbe agua nuevamente; c) Las capas de células que rodean las semillas se disuelven en la madurez formando una masa gelatinosa rica en granos de almidón (CENTA 2018).

### *3.6. Fenología del cultivo de tomate*

Según Olmo (2012), la fenología del tomate comprende las etapas que forman su ciclo de vida. Este es un cultivo que presenta tres etapas de desarrollo: inicial, vegetativa y reproductiva. Para cada etapa los requerimientos nutricionales e hídricos son distintos:

Fase inicial: comienza con la germinación de la semilla. Se caracteriza por el rápido crecimiento vegetal, la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis (CENTA 2015).

Fase vegetativa: el crecimiento sigue ocurriendo, pero de una manera más lenta. Durante esta fase la planta requiere mayor cantidad de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento, finaliza al inicio de la floración (Olmo 2018).

Fase reproductiva: se inicia a partir de la floración y abarca la fructificación, dura entre 30 o 40 días, se caracteriza porque el crecimiento de la planta se detiene y los frutos extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración (CENTA 2015).

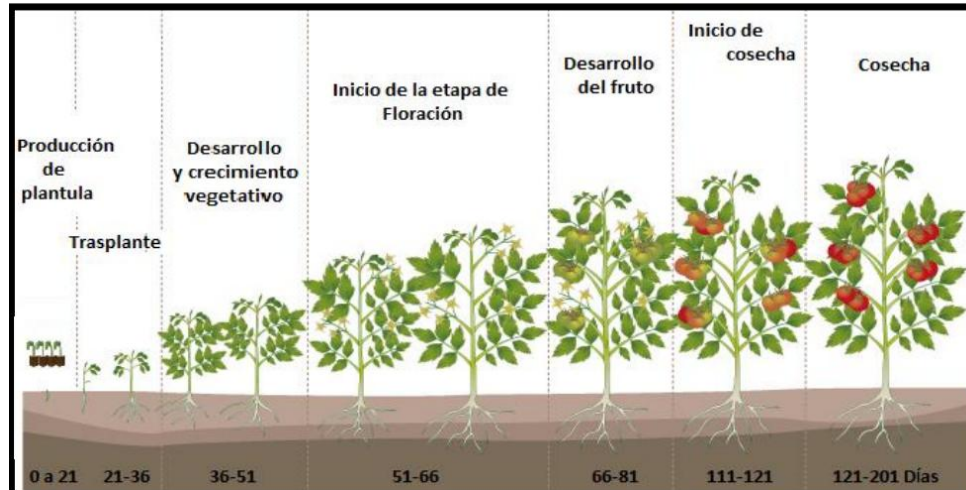


Figura 1. Fenología del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado (Inia Ururi 2018).

### 3.7. Hábitos de crecimiento de las plantas de tomate

Las variedades e híbridos de tomate se clasifican según el hábito de crecimiento de las plantas, lo cual influye en la forma de manejar los cultivos, esta clasificación comprende:

**Plantas de crecimiento determinado:** Son plantas cuyo tallo principal y lateral detiene su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias según la variedad. Son de porte bajo y compacto, producen frutos durante un periodo relativamente corto. Su crecimiento se detiene después de la aparición de varios racimos de flores con la formación de un último racimo apical. La cosecha puede realizarse de una a tres veces durante el ciclo de cultivo (López 2016).

**Plantas de crecimiento indeterminado:** Son plantas cuyos tallos principales y laterales crecen en un patrón continuo, siendo la yema terminal del tallo la que desarrolla el siguiente tallo. La floración, fructificación y la cosecha se extienden por periodos muy largos, por lo que son usualmente cultivadas en invernaderos o casas sombra con tutoreo. Poseen condiciones adecuadas para un crecimiento continuo dado que forman hojas y flores de manera ilimitada. La aparición de flores en los racimos y su grado de desarrollo son escalonados: las primeras flores del racimo pueden estar totalmente abiertas, mientras que las últimas aún no se abren. En Costa Rica son utilizadas en plantaciones a campo abierto para disponer de cosecha durante un periodo de tres a cuatro meses (López 2016).

Plantas de crecimiento semideterminado: Se caracterizan por la interrupción del crecimiento de sus tallos después de un determinado número de inflorescencias, usualmente en una etapa muy avanzada del ciclo del cultivo (López 2016).

### 3.8. Características morfológicas de los cultivares mutantes de tomate

Hernández *et al.* (2020) evaluaron varias características de cultivares mutantes de tomate. Todas las variedades, Carrucha, Decía, Dodel, Domi y Magine, germinaron en tres días, similar a los cuatro días reportados por INIA Ururi (2018). En cuanto a la germinación, Dodel y Magine tuvieron los porcentajes más altos (99% y 97%, respectivamente), mientras que Decía tuvo solo un 3%. Todas las variedades emergieron en cuatro días. En cuanto a la cosecha, Decía fue la más precoz con 98 días, mientras que Dodel tardó 105 días. Carrucha y Dodel promediaron 104 días, y Decía, Domi y Magine, 97 días.

En el cuadro 1 se presentan las características morfológicas de los cultivares mutantes de tomate que se están desarrollando en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Cuadro 1. Características morfológicas de los cultivares mutantes de tomate.

<b>Característica</b>	<b>Magine</b>	<b>Carrucha</b>	<b>Decía</b>	<b>Dodel</b>	<b>Domi</b>
Altura de planta (cm)	115.96	92.80	111.80	124.20	103.30
Tipo de crecimiento	Indeterminado	Semideterminado	Indeterminado	Indeterminado	Semideterminado
Forma del fruto	Achatado (30%) y ligeramente achatado (70%).	Achatado (60%) y ligeramente achatado (40%).	Achatado (10%) y ligeramente achatado (90%).	Achatado (10%), ligeramente achatado (80%) y redondeado (10%).	Achatado (40%), ligeramente achatado (50%) y redondeado (10%).
Frutos por planta	20	15	19	12	16
Número promedio de cortes	8	7	9	6	7

Peso del fruto (g)	34.63	29.41	33.88	67.16	35.39
Cantidad de semillas en un gramo	390	352	321	279	422
Días a cosecha	101	100	98	105	101
Vida de anaquel	13 días	13 días	13 días	13 días	14 días

Fuente: Hernández *et al.* (2020).

### 3.9. Ciclo del cultivo de tomate

La duración del cultivo del tomate está determinada por el cultivar y por las condiciones edafoclimáticas en las cuales se produce el desarrollo de la planta. El tiempo transcurrido hasta la apertura de la primera flor depende de la radiación total recibida, pero puede oscilar entre 40 y 50 días después de la siembra de la semilla. El desarrollo de la flor está determinado por la temperatura, siendo las temperaturas diurnas más importantes que las nocturnas. Cuando la flor ha alcanzado un completo desarrollo se produce la fecundación del óvulo como consecuencia de la polinización. El tiempo requerido desde el cuajamiento del fruto hasta que este se desarrolla en fruto maduro oscila entre 7 y 9 semanas, en función del cultivar, la posición en el racimo y las condiciones ambientales.

Inicialmente el crecimiento del fruto es lento durante las primeras 2 o 3 semanas y se alcanza un 10% del peso total del fruto. Posteriormente viene un período de rápido crecimiento que dura entre 3 y 5 semanas, en el cual el fruto alcanza su máximo desarrollo. Finalmente hay un período de crecimiento lento de unas dos semanas en el que el aumento en el peso del fruto es pequeño, pero se producen cambios metabólicos característicos de la maduración (Escobar 2015).

### 3.10. Requerimientos climáticos del cultivo de tomate

El tomate es una planta que exige buenas condiciones de temperatura, luminosidad y humedad relativa para un buen desarrollo y producir satisfactoriamente, es una hortaliza de clima cálido que no tolera heladas. Las condiciones climáticas influyen en el cuajado de los frutos y la calidad de los frutos (Estrada 2010).

Temperatura: El cultivo de tomate es una planta termoperiódica, que crece mejor con temperatura variable que constante siendo las óptimas para el desarrollo del cultivo entre 20° y 30° C durante el día y entre 14° y 17° C durante la noche; temperaturas superiores a 30-35° C afectan la fructificación por mal desarrollo de óvulos; el desarrollo de la planta y el sistema radical también se afecta. Temperaturas superiores a 30° C e inferiores a 12° C ocasionan que la fecundación sea defectuosa o nula (Chaverría *et al* 2011).

El crecimiento de los tomates reduce la tasa de crecimiento a partir de 26° C. La tasa de crecimiento del cultivo muestra mínima respuesta a la radiación fotosintética activa a altas radiaciones (Vallejo 1999).

Temperaturas superiores a 30° C ocasionan que el polen no madure, por lo tanto, no hay fecundación, observándose aborto floral o caída de flor (CENTA 2015).

La maduración del fruto está muy influenciada por la temperatura en lo que se refiere a precocidad y color del fruto, valores cercanos a 10° C y superiores a 30° C originan tonalidades amarillentas (Chaverría *et al* 2011).

El estrés causado por altas temperaturas provoca importantes cambios en la planta a nivel fisiológico, bioquímico y molecular (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto 2017).

El estrés térmico suele ir asociado a déficit hídrico y cierre estomático (Wahid y Col 2007), lo que reduce la cantidad de CO<sub>2</sub> disponible para la planta y disminuye la relación CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> en los cloroplastos (Foyer y Noctor 2005).

Estos cambios afectan en gran medida a la eficiencia de la fotosíntesis, siendo ésta un proceso muy sensible a la alta temperatura (Wise y Col 2004).

Durante la floración la temperatura óptima para un buen cuajado es de 22° C (Rylski, 1979). Temperaturas por encima de 26/20° C (día/noche) durante la fructificación provocan aborto floral y limitan el cuajado (cuadro 2) (Stevens y Rudich 1978; El-Ahmadi y Stevens 1979).

Cuadro 2. Efecto de la temperatura en el tomate.

<b>Temperatura</b>	<b>Efecto que produce en la planta</b>
<b>Mínima de 8 a 12° C</b>	Los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen; si la temperatura mínima se prolonga por varios días la planta se debilita, y si ocurren temperaturas por debajo de este nivel la planta sufre una progresiva decadencia o muerte.
<b>Óptima de 21-27° C</b>	Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente; el crecimiento vegetativo, floración y fructificación son adecuados.
<b>Máxima de 32-36° C</b>	Los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, se presentan desórdenes fisiológicos y se detiene la floración; cuando estas temperaturas se prolongan ocurre muerte de la planta.

Fuente: Noreña Jaramillo *et al.* (2012).

Las consecuencias de un cultivo expuesto a altas temperaturas son las siguientes: Reducción de la cantidad y la viabilidad del polen, polen estéril, reducción de la cantidad de flores y frutos por inflorescencia, distorsión de las anteras, lo que impide una adecuada polinización. Elongación del estilo por encima de las anteras (figura 2). Asimetría en la forma de la inflorescencia, cambios morfológicos dados principalmente por la elongación y escasez de los entrenudos, apariencia de debilidad en las inflorescencias, retraso en la aparición de la primera inflorescencia sobre el tallo principal, mala fecundación de frutos y mal llenado de frutos (Flores 1986; Martínez 2001; Zeidan 2005; Jaramillo *et al.* 2007).

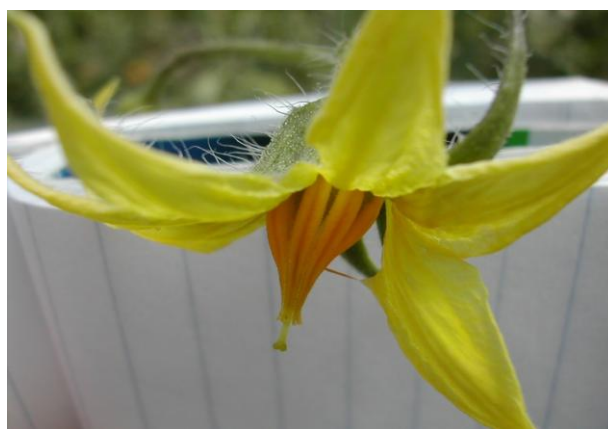


Figura 2 . Elongación del pistilo de la flor

Radiación: El tomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, sin embargo, requiere de buena iluminación, la cual se modifica por la densidad de siembra, sistema de poda, tutorado y prácticas culturales que optimizan la recepción de los rayos solares, especialmente en época lluviosa cuando la radiación es más limitada. Valores de radiación total diaria de 0.85 MJ m<sup>-2</sup>

son los umbrales mínimos para la floración y formación de fruto (CENTA 2015; FUNDESYRAM 2009).

Altitud: El tomate puede cultivarse desde los 20 a los 2,000 metros sobre el nivel del mar (msnm), tomando en cuenta la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido (CENTA 2018).

Humedad relativa: La humedad relativa óptima para el cultivo del tomate oscila entre 70% y 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas en el follaje, agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación debido a que el polen se apelmaza, abortando parte de las flores (FUNDESYRAM 2009; Chaverría 2011).

Cuando la humedad relativa es alta favorece el desarrollo de enfermedades como *Phytophthora infestans* (Mont, DeBary), *Botrytis cinerea* Pers.:Fr y *Erwinia carotovora*, presentándose una serie de desórdenes que afectan la calidad de los frutos, como: el manchado, produciéndose una maduración por parches asociada también a una deficiencia de potasio; grietas o rajaduras radiales o concéntricas en el fruto; cara de gato o malformación del fruto y frutos huecos; dificultades en la fecundación por la compactación del polen; y además las flores pueden caerse (Jaramillo *et al.* 2007).

Cuando la humedad relativa es baja y la temperatura es alta se debe ventilar para facilitar la circulación del aire, pues se produce una mayor tasa de transpiración pudiendo causar estrés hídrico, mayor actividad radicular y cierre estomático reduciendo la actividad fotosintética de la planta y disminuyendo la absorción de agua y nutrientes; bajo estas condiciones se ve favorecida la aparición del desorden fisiológico conocido como ‘podredumbre apical’ o ‘culillo’, causado por la deficiencia de calcio. La humedad relativa baja también deshidrata el polen, produciéndose anomalías en la fecundación, producción de frutos pequeños, deformados y huecos. En el caso contrario, cuando se produce una excesiva humedad se reduce la transpiración de las hojas, lo que lleva a la planta a desplazar el agua absorbida hacia los frutos; esto se produce con tanta presión que puede originarse un rajamiento de frutos (Jaramillo *et al.* 2007).

Luminosidad: Chavarría *et al.* (2011) menciona que las horas luz necesarias para el óptimo desarrollo del cultivo oscilan entre 8 a 16 horas. Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de floración y fecundación, así como en el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos, durante el período vegetativo, resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna, y la luminosidad. El tomate es sensible a condiciones de baja luminosidad ya que el cultivo requiere como mínimo seis horas diarias de luz directa del sol para florecer. La cantidad de radiación determina la cantidad de azúcares producidos en las hojas durante la fotosíntesis, y mientras más alta es la cantidad de azúcares producidos la planta puede soportar más frutos, mejorando el rendimiento del cultivo (CENTA 2015).

El tomate requiere de días soleados para un buen desarrollo de la planta y lograr una coloración uniforme en el fruto. La baja luminosidad afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta, reduciendo la absorción de agua y nutrientes. A mayor cantidad de luz, mayor producción de materia seca y azúcares en el fruto; a menor cantidad de luz, menor cantidad de materia seca y menor madurez del fruto, menor cantidad de azúcares (desmejorando el sabor), menor cantidad de cloroplastos en el fruto y, por ende, alteraciones del color (Martínez 2001; Zeidan 2005).

Existe una correlación positiva entre temperatura, intensidad de la luz y duración del día (Flores 1986).

### *3.11. Requerimientos edáficos del cultivo de tomate*

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre en la que crecen las plantas y se lleva a cabo la actividad biológica. Se compone de tres fases. La fase sólida está formada por minerales y materia orgánica; la mayoría de los suelos contienen entre un 1 y un 6% de materia orgánica y entre un 94 y un 99% de minerales. Los nutrientes se retienen en la superficie de las partículas minerales y en la materia orgánica, que también puede liberar nutrientes a medida que se descompone. La fase líquida corresponde al agua que se encuentra retenida en el suelo, llenando los espacios entre las partículas, formando la solución del suelo, que contiene minerales disueltos. Finalmente, la fase gaseosa está compuesta por los mismos componentes que el aire,

como oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono, aunque con mayor concentración de dióxido de carbono que el aire atmosférico, manteniendo un equilibrio con él (Guy, 2021).

El autor menciona que la fertilidad del suelo, se refiere a su capacidad para retener y proporcionar nutrientes esenciales a los cultivos, y la composición mineral del suelo es el principal factor que determina esta fertilidad. Los minerales en el suelo se dividen en dos grupos: los minerales primarios, que se forman durante la cristalización del magma y no han sufrido alteraciones químicas desde su formación, y que constituyen principalmente las fracciones de arena y limo del suelo; y los minerales secundarios, que se originan a temperaturas y presiones más bajas debido a la meteorización de los minerales primarios, y que forman la fracción arcillosa del suelo.

El suelo se forma por la meteorización del material parental como los sedimentos minerales del lecho rocoso, los sedimentos marinos, las cenizas volcánicas y los depósitos orgánicos. Los tipos de materiales parentales y las condiciones bajo las cuales se meteorizan determinan las propiedades del suelo que se forma, por ejemplo, los suelos formados a partir de granito suelen ser arenosos y no fértiles, mientras que el basalto bajo condiciones húmedas se descompone para formar suelos arcillosos fértiles (Guy 2021).

La textura del suelo se refiere a la distribución del tamaño de las partículas del mismo, que se clasifican en tres tipos: arena, con un diámetro de partícula entre 0,05 y 2,0 mm; limo, con un diámetro de partícula entre 0,002 y 0,05 mm; y arcilla, cuyas partículas tienen un diámetro inferior a 0,002 mm. Debido a su pequeño tamaño, las partículas de arcilla tienen una mayor superficie en comparación con las de arena y limo. Esto genera un área de superficie mayor, donde pueden ocurrir reacciones químicas y biológicas (Guy, 2021).

La capacidad de intercambio catiónico se refiere a la capacidad de los minerales del suelo para intercambiar cationes. Los minerales arcillosos tienen carga negativa debido a sustituciones isomórficas y grupos de hidroxilo (OH<sup>-</sup>) presentes en los bordes y superficies externas de las partículas de arcilla, así como en la materia orgánica. La sustitución isomórfica implica el reemplazo de un ion por otro de tamaño similar, y si el ion sustituyente tiene una carga positiva menor que el ion que reemplaza, la carga neta de la partícula será negativa. En las arcillas, el

$\text{Si}^{4+}$  puede ser reemplazado por  $\text{Al}^{3+}$ , que a su vez puede ser sustituido por  $\text{Mg}^{2+}$  (Guy, 2021). Estas cargas negativas son sitios de adsorción que pueden adsorber y liberar cationes (iones cargados positivamente) y, por tanto, nutrientes importantes como potasio ( $\text{K}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), pero también elementos indeseables como el sodio. El número total de sitios negativos disponibles en el suelo se conoce como capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Los cationes adsorbidos a las partículas del suelo se pueden intercambiar con otros cationes presentes en la solución del suelo. Un suelo con una CIC alta es más fértil que un suelo con una CIC baja, ya que puede retener más nutrientes (Guy 2021). El pH del suelo tiene un impacto directo en su fertilidad, ya que regula la disponibilidad de nutrientes. Además, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo también se ve influenciada por el pH. Cuando el pH del suelo es alto, la CIC tiende a aumentar, mientras que un pH bajo la reduce (Guy, 2021).

La fertilidad del suelo, según Guy (2021), está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica. Esta materia es una fuente clave de nutrientes para las plantas, ya que a medida que se descompone, libera nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales. Además, la materia orgánica contribuye tanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) como a la capacidad de intercambio aniónico (CIA) del suelo, aunque la CIA suele ser más baja que la CIC en la mayoría de los suelos. También posee propiedades quelantes, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y mejora la estructura del suelo.

El autor también menciona la salinidad del suelo, que se refiere a la cantidad de sales presentes en el mismo. La salinización del suelo es un problema grave que afecta la agricultura a nivel mundial, ya que alrededor del 20% de los suelos regados están contaminados por sales, lo que reduce los rendimientos de los cultivos entre un 20% y un 50% de su rendimiento potencial. Existen dos tipos de salinidad: la salinidad primaria, que es un proceso natural causado por la acumulación de sales durante un largo período de tiempo, como la deposición de sal por lluvia, la degradación de rocas, el aumento capilar de aguas subterráneas y la intrusión salina del mar; y la salinidad secundaria, que es provocada por actividades humanas, como el manejo del riego, la aplicación de fertilizantes y las malas condiciones de drenaje del suelo.

Cuadro 3. Características físicas y químicas del suelo para el cultivo de tomate.

<b>Características físicas</b>	<b>Rango</b>	<b>Características Químicas</b>	<b>Rango</b>
Textura	Franco a franco arcilloso	pH	5.5 a 6.0
Profundidad efectiva	Mayor a 80 cm	Nitrógeno	Según tipo de suelo
Densidad aparente	1.20 gramos/ cm <sup>3</sup>	Fósforo	13 a 40 ppm
Materia orgánica	Mayor de 3.5%	Potasio	5%
Drenaje	Bueno	Calcio	15%
Retención de humedad	Bueno	Magnesio	18%
Topografía	Plano a semiplano	Acides total	Menor al 10%
Estructura	Granular		

Fuente: FUNDESYRAM (2009).

### 3.12. *Parámetros de calidad en tomate fresco*

Según el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de España, los aspectos externos (presentación, apariencia, uniformidad, madurez, frescura) son los componentes principales de la decisión de compra del tomate para consumo en fresco. La calidad interna (sabor, aroma, textura, valor nutritivo, ausencia de contaminantes bióticos y abióticos) está vinculada a aspectos generalmente no perceptibles, pero no por ello menos importantes para los consumidores. Generalmente el consumidor demanda calidad en la apariencia, frescura, presentación, así como en el valor nutritivo e inocuidad del producto alimenticio (IFAPA 2012).

El Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (2012) de España define la calidad físico-química de los frutos, destacando la firmeza como un parámetro importante. Aunque la firmeza puede evaluarse manualmente aplicando presión con los dedos, lo más común es medirla de manera instrumental. Esta medición se realiza a través de dos métodos:

1. Fuerza de penetración: es la fuerza máxima necesaria para penetrar el fruto, después de retirar la piel, utilizando una sonda en su interior. Para obtener una medida precisa, se realizan dos punciones por fruto, en posiciones opuestas de la zona ecuatorial, con una sonda de un diámetro de entre 4 y 8 mm.
2. Fuerza de deformación: corresponde a la fuerza máxima necesaria para provocar una deformación de 5 mm en el fruto, en el caso del tomate. También puede medirse como la deformación que ocurre al aplicar una fuerza determinada, como 10 N (Newton).

Para determinar la firmeza de los frutos, se deben usar al menos 15 muestras. Este parámetro puede verse afectado por la temperatura, por lo que es importante analizar los frutos una vez que hayan alcanzado la temperatura ambiente. La firmeza se mide en Newtons (N). En cuanto al color, este está relacionado con el proceso de maduración del fruto y se puede determinar mediante una carta de colores o un colorímetro, evaluando la cantidad de luz reflejada o transmitida por el fruto.

Los sólidos solubles en el jugo de frutas y hortalizas, en su mayoría azúcares, permiten estimar el contenido de azúcar. También se encuentran en menor cantidad ácidos orgánicos, aminoácidos, compuestos fenólicos y pectinas solubles. El refractómetro mide el cambio de dirección de la luz al pasar de un medio a otro con distinta densidad, y el resultado se expresa en °Brix o en sólidos solubles totales (SST) como porcentaje (%). Es fundamental tener en cuenta la temperatura del jugo, ya que puede influir en la densidad y afectar los resultados.

El pH y la acidez titulable se determinan a partir del zumo obtenido al triturar las muestras de tomate. La acidez titulable se mide valorando un volumen conocido de zumo con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de 0.1 normalidad (N) hasta alcanzar un pH de 8.1. Este proceso puede realizarse usando un pH-metro o fenolftaleína como indicador. También se pueden emplear trituradores automáticos para este proceso. La acidez se expresa como el porcentaje de ácido cítrico.

El contenido de licopeno, un pigmento vegetal soluble en grasas, es responsable del color rojo característico del tomate y otras frutas y verduras. Pertenece a la familia de los carotenoides y tiene propiedades antioxidantes que protegen las células del estrés oxidativo causado por los radicales libres. El licopeno se encuentra principalmente en los tomates y sus derivados (salsas, ketchup, tomate triturado) y en la sandía. En los tomates maduros, el licopeno representa el 83% de los carotenoides, mientras que el b-caroteno constituye entre un 3% y un 7%. La cantidad de licopeno aumenta a medida que el tomate madura, pero puede variar según la variedad, las condiciones de cultivo, el tipo de suelo y clima, y las condiciones de almacenamiento. Los tomates de ensalada contienen alrededor de 3 mg de licopeno por cada 100 g, mientras que los tomates de cocina pueden tener más de 10 veces esa cantidad.

La calidad sensorial de los tomates se determina mediante un panel de 4 a 5 evaluadores que han sido previamente entrenados. Para evitar cualquier sesgo, cada muestra se etiqueta con un código de entre 3 y 6 cifras, y se utiliza una iluminación adecuada: luz roja para evaluar el aroma y sabor, y luz blanca para observar la calidad visual general. Durante la evaluación visual, se examinan aspectos como la forma, el color, la textura de la piel, la presencia de manchas, daños por plagas o enfermedades, y signos de mala conservación. Los evaluadores usan una escala del 1 al 9 para clasificar la calidad, donde 9 representa una calidad excelente, 7 es buena, 5 es aceptable, 3 es pobre, y 1 es inaceptable. El valor mínimo para que un tomate sea comercializable es 5.

Por otro lado, la evaluación del aroma y sabor requiere evaluadores con sensibilidad suficiente para distinguir diferencias sutiles entre los productos. Para esto, se emplea una escala del 1 al 5, siendo el valor mínimo 3 para que el tomate sea considerado apto para la comercialización. Un puntaje de 5 indica un aroma o sabor muy intenso, 4 significa casi típico o severo, 3 es moderado, 2 es ligero y 1 es ninguno.

### *3.13. Calidad del agua de riego*

La calidad del agua de riego está relacionada con su composición química, específicamente con su contenido mineral, y puede influir significativamente en el desarrollo de las plantas, la estructura del suelo y el propio sistema de riego. Factores físicos y biológicos como la turbidez y la presencia de algas, bacterias o virus también afectan su idoneidad para el riego. Sin embargo, es más sencillo eliminar la turbidez mediante filtración y los patógenos por desinfección que remover los minerales del agua. Los criterios para evaluar la calidad del agua de riego difieren de los establecidos para el agua potable y pueden variar según los cultivos, ya que estos presentan diferentes niveles de tolerancia a ciertos minerales o características del agua. Los parámetros clave que determinan la calidad del agua de riego incluyen el pH, la salinidad, la dureza, la alcalinidad, la relación entre sodio, calcio y magnesio (RAS), así como la concentración de minerales específicos (Guy 2021).

Según Guy (2021), la calidad del agua subterránea puede variar significativamente de la del agua superficial. Por lo general, el agua subterránea tiene mayores concentraciones de sales disueltas (minerales), ya que las rocas minerales que la rodean se descomponen y liberan estos

minerales en el agua. En cambio, el agua superficial tiende a contener niveles más altos de turbidez e impurezas biológicas debido a su exposición al ambiente exterior y al escurrimiento. Es fundamental considerar las condiciones locales al evaluar el riesgo de salinización del suelo por el uso de agua rica en sales, tales como la cantidad de precipitación, la textura del suelo, su drenaje y la profundidad de la capa freática, entre otros factores. En áreas con más de 600 mm de lluvia, el riesgo de salinización es bajo, siempre que el agua de riego no sea de mala calidad. Además, según Richards *et al.* (1954), se clasifica el agua en función de su conductividad: se considera baja en sales cuando tiene entre 0.25 y 0.75 dS/m, alta cuando varía entre 0.75 y 2.25 dS/m, y muy alta cuando supera los 2.25 dS/m.

Cuadro 4. Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola.

Parámetro de calidad	Unidad	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo
<b>Salinidad</b>				
Afecta la disponibilidad del agua al cultivo				
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	< 0.70	0.70- 3.00	> 3.00
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	< 450	450- 2,000	> 2000
<b>Sodicidad</b>				
Afecta la tasa de infiltración del agua al cultivo	<b>CE (dS/m)</b>			
RAS = 0-3		>0.70	0.70- 0.20	<0.21
RAS = 3-6		>1.20	1.20- 0.30	<0.31
RAS = 6-12		>1.90	1.90- 0.50	<0.51
RAS = 12-20		>2.90	2.29- 1.30	<1.31
RAS = 20-40		>5.00	5.00- 2.90	<2.91
<b>Toxicidad de iones específicos</b>				
<b>Afecta la sensibilidad del cultivo</b>				
<b>Sodio (RAS)</b>				
Riego por gravedad	RAS	<3.00	3.00- 9.00	>9.01
Riego por aspersión	RAS	<3.00	>3.01	
<b>Bicarbonatos</b>				
Riego por gravedad	me/L	<1.50	1.50- 8.50	>8.51
Riego por aspersión	me/L	<0.60	0.60- 3.00	>3.01
<b>Cloruro</b>				
Riego por gravedad	me/L	<4.00	4.00- 10.00	>10.01
Riego por aspersión	me/L	<3.00	3.00- 5.00	>5.01
Boro	mg/L	<0.70	0.70- 3.00	>3.01
<b>Para fines de riego por goteo</b>				

Manganeso	me/L	<0.10	0.10- 1.50	>1.50
Hierro	mg/L	<0.10	0.10- 1.50	>1.50

Fuente: Ayers y Wescot (1985); Nakayama (1982) citado por Catellanos *et al.* (2000).

Según Amoros Castañer (2000), para el análisis del agua hay que considerar los iones en las aguas de riego como los cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio\*\* y los aniones: cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos. En el cuadro 5 se presentan los valores permitidos de estos iones en el agua de riego.

Cuadro 5 Parámetros de calidad de iones en las aguas de riego.

Cationes	Rango	Interpretación
Calcio	Menos de 10 meq/l	Satisfactorio
	Entre 10 y 20 meq/l	Alto
	Más de 20 meq/l	Muy alto
Magnesio	Menos de 10 meq/l	Satisfactorio
	Entre 10 y 20 meq/l	Alto
	Más de 20 meq/l	Muy alto
Sodio	Menos de 5 meq/l	Satisfactorio
	Entre 5 y 15 meq/l*	Alto
	Más de 20 meq/l	Muy alto
Carbonatos y bicarbonatos	0-1.25 meq/l	Buena
	1.25 – 2.50 meq/l	Regular
	Más de 2.50 meq/l	Mala (no apta para riego)
Cloruros	Menos de 0.5 meq/l	Satisfactorio
	Entre 5 y 10 meq/l	Alto
	Más de 10 meq/l***	Muy alto
Sulfatos	Menos de 20 meq/l	Satisfactorio
	Entre 20 y 30 meq/l	Alto
	Más de 30 meq/l****	Muy alto

\*Comienza a ser bastante perjudicial a partir de los 15 meq/l.

\*\*Potasio al no ser perjudicial su presencia en agua de riego, debe valorarse positivamente.

\*\*\*El límite de 20 meq/l y por debajo de él no reviste problemas.

\*\*\*\*Investigaciones aseguran no haber tenido problemas por debajo de 35 meq/l.

Fuente: Adaptado de Amoros Castañer 2000.

### 3.14. Nutrientes esenciales

Según Valverde Conejo *et al.* (2016), para que las plantas crezcan y se desarrollen adecuadamente, necesitan varios factores esenciales, como agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), luz y calor. Además, es fundamental la presencia de nutrientes en el suelo, que son cruciales para su fertilidad. Estos nutrientes son esenciales para la fertilidad del suelo y se

dividen en tres categorías principales: los macronutrientes principales, que incluyen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y potasio; los macronutrientes secundarios, como el calcio, magnesio y azufre; y los micronutrientes, que comprenden hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro. Desde un enfoque fisiológico, los nutrientes en las plantas cumplen funciones específicas y esenciales para su desarrollo. Algunos actúan en la función estructural, como el nitrógeno, carbono, calcio, azufre, hidrógeno, oxígeno, magnesio, fósforo, boro e hierro. Otros son activadores de enzimas, como el hierro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno, cloro, sodio, magnesio, cobalto y níquel. También existen nutrientes que son osmoreguladores y el equilibrio electroquímico, como el potasio, sodio y cloro. Finalmente, algunos nutrientes son clave en las reacciones de oxidación-reducción, como el azufre, hierro, molibdeno y cobre.

Según Valverde Conejo *et al.* (2016), mencionan que los nutrientes que pueden translocarse en la planta son los móviles nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y sus deficiencias se aprecian en hojas más viejas. Los inmóviles azufres (S), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B) quedan fijados después de usarse y las deficiencias se evidencian en las hojas nuevas. En el suelo el fósforo es más móvil debido a las condiciones de humedad óptima en el riego por goteo.

El nitrógeno es el responsable del crecimiento vegetal. Participa en la floración y fructificación. Su deficiencia causa clorosis, disminuye el crecimiento y el desarrollo, además de la producción. Se caracteriza por su alta movilidad, pero al aplicarse según la demanda del cultivo, disminuye la excesiva pérdida de nitratos por lixiviación.

El fósforo participa en el desarrollo de las raíces, floración, frutos y semillas. Si hay deficiencia de fósforo habrá retraso en el desarrollo de raíces y el crecimiento, una coloración purpura y una reducción en la floración y el rendimiento. Normalmente presenta poca movilidad, pero se ha demostrado que aumenta en el riego localizado, lo mismo que el potasio, y se distribuye en forma regular en el bulbo húmedo, tanto lateralmente como en profundidad.

El potasio participa en el flujo del agua y productos asimilados, en el llenado de frutos y la calidad, así como en la resistencia a enfermedades. Su deficiencia se aprecia en la clorosis y la

necrosis de las hojas viejas; además, disminuye la resistencia a enfermedades y el rendimiento productivo.

El calcio forma parte de la membrana y de las paredes celulares, y participa en la división y elongación celular. Su deficiencia produce enrollamiento, clorosis, deformación de puntas de crecimiento y raíces pequeñas.

El magnesio es un activador enzimático que forma parte de la clorofila. Su deficiencia disminuye el crecimiento y el llenado de frutos, acelera maduración y provoca caída de frutos pequeños.

El azufre es componente de ácidos esenciales, participa en la síntesis de clorofila, glucósidos y vitaminas. Su deficiencia produce clorosis en las hojas y frutos poco desarrollados.

### *3.15. Solubilidad y compatibilidad de los fertilizantes*

Según Guy (2021), el término "solubilidad" se refiere a la capacidad de los fertilizantes para disolverse en agua, especialmente cuando se aplican mediante sistemas de riego, como el fertirriego o la hidroponía. Los fertilizantes se disuelven en soluciones concentradas que se inyectan en el agua de riego o directamente en la solución nutritiva. Sin embargo, si el fertilizante no se disuelve completamente, puede formarse un precipitado sólido, lo que disminuye la disponibilidad de nutrientes y provoca obstrucciones en los emisores y otras partes del sistema de riego. Si se añade más fertilizante del que el agua puede disolver, se generará un precipitado, ya que la cantidad excedente no se disolverá.

No todos los fertilizantes son solubles. Algunos, como el superfosfato, los fertilizantes de liberación lenta, muchos fertilizantes orgánicos y enmiendas como el yeso y la cal, son insolubles. Además, algunos fertilizantes pueden contener impurezas insolubles, como partículas de arcilla, limo y arena. Si bien todos los fertilizantes minerales tienen cierta solubilidad, los que son "insolubles" o de baja solubilidad no pueden utilizarse en sistemas de fertirriego.

La temperatura del agua juega un papel importante en la solubilidad de los fertilizantes y en su tasa de disolución. Generalmente, la solubilidad de los fertilizantes aumenta con la temperatura del agua, lo que significa que se puede disolver una mayor cantidad de fertilizante en agua más caliente. Este proceso de disolución puede afectar la temperatura del agua: si el proceso es endotérmico, el agua pierde calor y su temperatura disminuye; si es exotérmico, el agua absorbe calor y su temperatura aumenta. Este cambio térmico puede influir en la solubilidad del fertilizante y su rapidez para disolverse.

Cuadro 6. Solubilidad gramos de fertilizante por litro de agua.

Fertilizante	Temperatura (° C)					
	5	10	20	25	30	40
Nitrato de amonio	1183	1510	1920	-	-	-
Sulfato de amonio	710	730	750	-	-	-
Nitrato de calcio	1020	1130	1290	-	-	-
Nitrato de magnesio	680	690	710	720	-	-
MAP (Monofosfato de amonio)	250	295	374	410	464	567
Cloruro de potasio	229	238	255	264	275	-
Sulfato de potasio	80	90	111	120	-	-
Urea	780	850	1060	1200	-	-

Fuente: Guy (2021).

La compatibilidad de los fertilizantes se refiere a su capacidad para disolverse juntos en la misma solución sin causar precipitación, siempre y cuando no se supere su solubilidad. Cuando los fertilizantes forman compuestos insolubles al mezclarse o generan reacciones químicas no deseadas, se consideran incompatibles. Un ejemplo de esto es la mezcla de sulfato de magnesio y nitrato de calcio, que suele resultar en la precipitación rápida de sulfato de calcio, como se muestra en la figura 3. Por lo tanto, estos dos fertilizantes deben mezclarse en diferentes tanques o aplicarse en ciclos de riego separados, como se detalla en el Cuadro A-1.



Figura 3. Precipitado formado por exceder el límite de solubilidad o del efecto del ion común (Guy 2021).

### 3.16. Fertirrigación

El fertirriego es la aplicación de fertilizantes a través del agua de riego, se puede aplicar en casi cualquier cultivo de regadío, tanto en campo abierto como en invernaderos, permite un uso más eficiente del agua como de los fertilizantes (Guy 2021).

Según Sánchez (2000), en la fertirrigación es fundamental considerar varios aspectos para lograr una correcta nutrición de las plantas. Uno de los factores clave es el equilibrio iónico, que involucra los aspectos físicos, químicos y fisiológicos del sistema suelo-agua-planta. La principal finalidad es mantener un balance adecuado entre los cationes y aniones en el sistema, asegurando que las relaciones iónicas estén equilibradas. En cuanto a la absorción y transporte iónico, el acceso de los nutrientes a las raíces de las plantas se lleva a cabo a través de tres mecanismos principales. El primero es la difusión, que implica el movimiento de los iones desde una zona de mayor concentración hacia una de menor concentración, siguiendo un gradiente. El segundo mecanismo es la interceptación radicular, que se refiere a cómo los iones, adsorbidos electrostáticamente por las raíces o los coloides del suelo, no se quedan retenidos con demasiada fuerza, permitiendo un contacto estrecho entre las raíces y los coloides del suelo. Finalmente, el flujo de masas describe el movimiento de iones disueltos en la solución del suelo hacia la raíz de la planta, un proceso que depende de la concentración de iones en el suelo y de la tasa de evapotranspiración de la planta, también conocida como el coeficiente de transpiración.

El transporte de iones desde la solución del suelo hacia las raíces de la planta implica dos procesos principales. El primero es la absorción pasiva, que ocurre cuando la concentración de iones en el exterior de la membrana celular es mayor que en su interior. En este caso, el

movimiento de los iones es hacia el interior de la planta sin que ésta utilice energía, ya que es impulsado por un gradiente de potencial hídrico generado por la transpiración de la planta. Durante este proceso, iones como el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ) son absorbidos.

El segundo proceso es la absorción activa, en el que el movimiento de los iones ocurre en contra de los gradientes electroquímicos, lo que requiere energía. En este caso, la absorción de iones puede verse facilitada o dificultada por la presencia de otros elementos debido a fenómenos como sinergismos y antagonismos. Por ejemplo, altas concentraciones de nitrato favorecen la absorción de potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), mientras que concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) favorecen la absorción de ácido fosfórico ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), ácido sulfúrico ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Sánchez 2000).

Según Guy (2021), existen dos métodos principales de fertirriego. El primero es el fertirriego cuantitativo, que es el más sencillo. En este método, los fertilizantes se entran al campo a través del agua, pero la inyección de los mismos no se ajusta proporcionalmente al caudal de riego, lo que a menudo resulta en una aplicación no uniforme. En este caso, el fertilizante se disuelve en un tanque y luego se inyecta en el agua de riego usando un inyector simple, como un inyector Venturi. El tanque de fertilizante, generalmente presurizado, se conecta a la línea de riego mediante un bypass, y una parte del flujo de agua se desvía hacia el tanque para disolver el fertilizante. En este proceso, la concentración de fertilizante es más alta al inicio del riego y disminuye gradualmente conforme avanza. Es fundamental tener en cuenta la solubilidad del fertilizante y asegurarse de que la cantidad disuelta no exceda su límite de solubilidad. Además, como regla general, se debe hacer pasar un volumen de agua cinco veces superior al volumen del tanque para asegurar la correcta disolución del fertilizante. Las tasas de aplicación en este método se expresan en unidades de masa o volumen, como kilogramos, litros o libras.

El segundo método es el fertirriego proporcional, en el que la cantidad de fertilizante aplicado es directamente proporcional al caudal de agua, lo que asegura una distribución uniforme de los nutrientes durante todo el proceso de riego. Este método es más eficiente, especialmente en suelos arenosos o en cultivos sin suelo, ya que permite una distribución más efectiva de los fertilizantes en la zona radicular. Para este tipo de fertirriego, se requieren inyectoras capaces de ajustar la tasa de fertilizante proporcionalmente al caudal de agua, como bombas de

desplazamiento positivo o inyectores Venturi controlados por solenoides. Las tasas de fertilizante en este método se expresan en concentraciones, tales como miligramos por litro (mg/l), partes por millón (ppm), milimoles por litro (mmol/l) o miliequivalentes por litro (meq/l). La concentración de nutrientes en el agua se puede convertir en una cantidad específica de nutrientes aplicados utilizando la ecuación: Cantidad de nutriente (kg) = ppm × m<sup>3</sup> / 1000 L.

Uno de los principales desafíos en el uso de fertirriego es la solubilidad de los fertilizantes. Para que se puedan aplicar eficientemente a través del agua de riego, los fertilizantes deben ser solubles. Sin embargo, su solubilidad varía dependiendo de factores como la temperatura del agua (cuadro 7). En general, a medida que aumenta la temperatura del agua, los fertilizantes tienden a disolverse mejor (Guy, 2021).

Cuadro 7. Composición y solubilidad de fertilizantes.

<b>Fertilizante</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Solubilidad a 20° C (g/l)</b>
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	209
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	120
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.290
Nitrato de magnesio	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,560
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	710
Sulfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	750
Fosfato monoamónico (MAP)	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	374
Fosfato monopotásico (MKP)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	230
Urea	NH <sub>2</sub>	1.200
Cloruro de potasio	KCl	264

Fuente: Guy (2021).

Otro desafío es la compatibilidad de los fertilizantes. En sistemas de fertirriego, algunos fertilizantes no son compatibles entre sí o tienen una compatibilidad limitada. Esto significa que deben disolverse en tanques separados para evitar reacciones químicas que puedan causar la precipitación de sales en los tanques. Un ejemplo de esto es que los fertilizantes que contienen fósforo o azufre no deben mezclarse con aquellos que contienen calcio.

Además, la distancia entre el punto de inyección y el campo puede ser un factor importante. En muchos sistemas de fertirriego, el punto de inyección se encuentra en el cabezal de riego, y la distancia entre este punto y el campo puede ser considerable. Esto puede causar que el agua del riego anterior, que quedó en la tubería, llegue primero al campo, mientras que el fertilizante

inyectado en el cabezal tardará en llegar. Si la tubería de riego es lo suficientemente grande en relación con el volumen de riego, puede ser difícil aplicar de manera precisa las dosis requeridas de fertilizante (Guy, 2021).

Las ventajas de la fertirrigación son las siguientes: dosificación racional de los fertilizantes; ahorro de agua; utilización de las aguas incluso de mala calidad; nutrición del cultivo optimizada; control de la contaminación; mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes. Las desventajas de la fertirrigación son: costo inicial de la infraestructura, obturación de goteros y necesidad de personal especializado para el manejo (Guy 2021).

Según Valverde Conejo et al. (2016), la fertirrigación presenta varias ventajas y desventajas. Entre las principales ventajas se destacan su alta eficiencia en el uso de fertilizantes, ya que permite una mejor distribución y uniformidad, lo que favorece la penetración del fertilizante en el suelo y reduce las pérdidas por volatilización. Además, permite aplicar los nutrientes de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo en cada etapa de su desarrollo, optimizando los recursos. También reduce la compactación del suelo, ya que requiere menos mano de obra, solo es necesario preparar la solución madre e inyectarla. Otro beneficio importante es la capacidad de corregir rápidamente cualquier deficiencia nutricional, mejorando la salud del cultivo. Asimismo, al aplicar el agua en las cantidades necesarias y aumentar la eficiencia de los fertilizantes, se disminuye la percolación y lixiviación de nutrientes, lo que ayuda a reducir la contaminación. Sin embargo, también existen desventajas. Una de las más significativas es la posible obstrucción de los sistemas de riego debido a la mezcla de algunas sales, lo que puede causar taponamientos en los emisores y afectar la distribución del agua. Además, la preparación de las soluciones nutritivas requiere personal capacitado para dosificar correctamente, calibrar el sistema de inyección y manejar las sales adecuadamente. Un mal manejo en la fertirrigación puede dar lugar a intoxicación de las plantas o incluso salinización del suelo, lo que afectaría negativamente la salud del cultivo y la calidad del suelo (adaptado de Martínez, 1998).

Según Valverde Conejo *et al.* (2016), existen diversos equipos disponibles en el mercado para aplicar soluciones nutritivas a través del agua de riego. La elección del equipo adecuado depende de varios factores, como el tamaño del área a fertirrigar, la disponibilidad de energía y el presupuesto disponible. En explotaciones pequeñas, el equipo se coloca en el cabezal de riego,

mientras que en áreas más grandes se distribuye en subsector de riego. Entre los equipos utilizados se encuentran el tanque de fertilización, el inyector Venturi, los inyectores a presión y los inyectores de succión mediante bombas.

El tanque de fertilización es un equipo cerrado herméticamente, conectado de forma paralela a la red de riego y diseñado para funcionar a la misma presión. Para garantizar su resistencia, está fabricado con materiales duraderos. Este equipo funciona utilizando el principio de presión diferencial, aprovechando la energía hidráulica de la red de riego. El tanque cuenta con dos tomas: una por donde ingresa el agua de la red de riego y otra por donde sale la mezcla del fertilizante. Ambas tomas están conectadas a la red de riego en puntos separados por una válvula, cuya función es crear una pérdida de presión en ambos puntos. Como resultado, se genera un gradiente de presión que permite que parte del agua atraviese el tanque y arrastre los nutrientes, facilitando la distribución del fertilizante.

**Cuadro 8. Ventajas y desventajas del uso de tanques de fertilización**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Bajo costo	Deben ser resistente a la presión del sistema.
Fácil de transportar	Hay pérdidas de presión.
No requiere energía externa	Presenta corrosión a ciertos tipos de fertilizantes.
No posee componentes móviles	Son sensibles a las variaciones de presión y caudal. Operación se complica si hay subinyectores de riego
	La concentración del fertilizante no es constante.

Fuente: Rodrigo 2003 citado por Valverde Conejo *et al.* (2016).

El inyector Venturi: es un tubo que cuenta con un estrechamiento por donde circula el agua. Este dispositivo se conecta a una manguera que se introduce en un recipiente abierto que contiene la solución nutritiva que se desea inyectar. El estrechamiento, conocido como venturí, provoca un aumento en la velocidad del agua, lo que genera una succión de la solución con fertilizante, permitiendo que esta se mezcle y sea introducida en la red de riego (Valverde Conejo *et al.*, 2016).

Inyectores a presión: Son bombas de pistón o de membrana que inyectan la solución a presión desde el tanque de mezcla a la red de riego, con la ventaja de que la dosis de fertilizante por aplicar es de fácil control. Se clasifican como activos, los cuales requieren energía externa que puede ser eléctrica (bomba de pistón) y pasivos, que no requieren energía externa, sino que utilizan la proveniente de la presión del agua (energía hidráulica) para efectuar la inyección. Entre sus principales características se encuentra presente un bajo caudal de inyección, altas presiones de trabajo y se construyen de materiales que no se ven afectados por la corrosión. Los depósitos donde se ubica el fertilizante no están sometidos a la presión de la red de riego. Dentro de este tipo de inyectores se encuentran: bombas eléctricas, bombas hidráulicas, bombas de inyección y bombas Dosatron (Valverde Conejo *et al.* 2016).

Inyectores mediante la succión de la bomba: Es el inyector más sencillo de instalar, consiste en la conexión del tanque de fertilización al tubo de succión del sistema de bombeo. En la succión de la bomba se produce una presión negativa la cual es aprovechada para inyectar el fertilizante. El método no es conveniente usarlo, ya que produce corrosión en todas las piezas metálicas (Valverde Conejo *et al.* 2016).

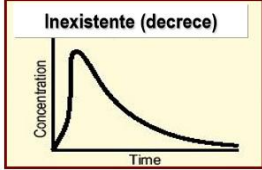
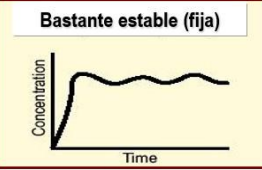
FACTOR	TANQUE BYPASS	VENTURI Y BOMBAS FERTILIZANTES
Proceso	Agua que fluye a través del tanque y disuelve el fertilizante	Impulsadas por energía toman la solución nutriente de un tanque
Estado del fertilizante	Sólido o Líquido	Líquido o solución preparada disolviendo un nutriente sólido
Inyección de Nutriente	Cuantitativa	Proporcional
Automatización	Posible	Posible
Control de concentración del nutriente	Inexistente (decrece) 	Bastante estable (fija) 

Figura 4. Características de los patrones de dosificación en fertirriego (Lutenber s.f.).

### 3.17. Manejo y control nutricional en fertirriego

En los sistemas de fertirriego, es fundamental conocer la disponibilidad actual de cada nutriente. Estos sistemas permiten reponer tanto el agua como los nutrientes en el momento que se considere necesario. Así, el suelo, que tradicionalmente actúa como almacén de nutrientes y

agua para ser liberados gradualmente a la planta, pasa a un segundo plano. Con fertirriego, se tiene la ventaja de proporcionar directamente a las raíces una solución equilibrada de nutrientes que se ajusta a las necesidades del cultivo o a los objetivos del proyecto agrícola (Alarcón, 2014).

El éxito de un cultivo tecnificado depende de un control preciso de su nutrición, además de factores como el clima, la sanidad y las labores culturales. El manejo adecuado de la relación entre los factores vegetativos y generativos, así como la relación entre nitrógeno y potasio, es clave para asegurar que el balance nutricional se mantenga de acuerdo con las necesidades del cultivo en cada fase de su desarrollo (Alarcón, 2014).

El autor define que una planta generativa es aquella en la que predominan los procesos reproductivos, como la floración, la fructificación y la maduración de los frutos, mientras que el crecimiento vegetativo se detiene. Estas plantas tienen entrenudos cortos, hojas pequeñas, quebradizas y de color verde oscuro, además de estructuras lignificadas. Los procesos reproductivos, como la floración y maduración, se aceleran, las flores suelen ser pequeñas y la raíz comienza a deteriorarse. En cambio, una planta vegetativa se distingue por tener hojas grandes y suculentas de color verde claro, pocas flores o frutos, flores grandes, entrenudos largos y una estructura flexible. Los brotes son vigorosos y los procesos reproductivos, como la floración o maduración, se ralentizan, mientras que la raíz continúa su desarrollo.

Existen diversos factores que pueden influir en que una planta se incline más hacia un estado vegetativo o generativo, como se resume en el cuadro 9.

Cuadro 9. Factores influyentes en el balance vegetativo/generativo de una planta.

<b>Parámetro</b>	<b>Generativa</b>	<b>Vegetativa</b>
Temperatura	Alta con HR baja	Suave/Alta + HR alta
Humedad relativa (HR)	Baja	Alta
Vientos	Fuertes y secos	Nulos
Radiación	Intensa	Baja
Densidad	Baja	Alta
Riego	Deficiente	Abundante
Salinidad	Elevada	Baja
Genética/portainjerto	Poco vigorosa	Vigorizante
Edad de la planta	Adulta	Juvenil
Podas de hojas	Severas	Escasas o nulas

Aclareos de frutos	Escasos o nulos	Intenso
Relación N/K	Baja	Alta
Relación $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$	Alta	Baja

Fuente: Alarcón (2014).

Según Alarcón (2014), el control del balance vegetativo/generativo en un cultivo está estrechamente relacionado con el manejo adecuado de las dosis y frecuencias de riego, así como con la gestión de la conductividad eléctrica (CE) en el entorno radicular, ya que un nivel elevado de CE puede estresar a la planta, promoviendo un crecimiento más generativo, pero a expensas de su capacidad productiva. Además, influyen factores como el manejo cultural, incluyendo la elección de las densidades de siembra, las podas y el aclareo de frutos. A nivel de fertilización, la herramienta clave para gestionar este balance es la relación nitrógeno/potasio (N/K), especialmente la proporción de nitrógeno amoniacal dentro del nitrógeno total. Un manejo adecuado de esta relación permite contrarrestar los factores ambientales y adaptar el cultivo a las necesidades de cada etapa fenológica. La razón por la que la relación N/K juega un papel fundamental en el balance vegetativo/generativo es que, bajo ciertas condiciones, una planta tiene un rendimiento fotosintético determinado, generando azúcares que sirven como sustrato en la respiración para producir energía, almacenada y transportada principalmente como adenosín trifosfato (ATP). Los azúcares no utilizados en la respiración se emplean como unidades estructurales para el crecimiento y la reserva de la planta, y el nitrógeno juega un rol crucial al convertir estos azúcares en aminoácidos y proteínas, esenciales para la formación de nuevas células y, por ende, para el crecimiento y desarrollo del vegetal.

El potasio (K) desempeña un rol clave en el transporte y acumulación de azúcares dentro de la planta, promoviendo su reserva, lo que se traduce en una mayor acumulación de azúcares en los frutos (como se evidencia en el aumento de °Brix) y su conversión en almidón. Si esta acumulación se intensifica, el crecimiento vegetativo de la planta se detiene, favoreciendo los procesos reproductivos y provocando un comportamiento generativo en la planta (Alarcón, 2014). Además, el porcentaje de nitrógeno amoniacal (N-amónico) en relación con el nitrógeno nítrico (N-nítrico) tiene una gran influencia en la definición del nitrógeno total disponible para la planta. El ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) es tóxico si se encuentra en forma libre, por lo que debe ser rápidamente asimilado y combinado con azúcares generados por la fotosíntesis para formar aminoácidos y proteínas, favoreciendo así el crecimiento vegetativo. Así, independientemente

del potasio (K) aportado, la cantidad de nitrógeno amoniacal absorbido debe integrarse al metabolismo de la planta para inducir el desarrollo vegetativo correspondiente (Alarcón, 2014).

### 3.18. Comercialización del tomate

Debido a su ciclo de vida y fragilidad los tomates son productos que requieren ser puestos en el punto de venta o consumo final de manera rápida y cuidadosa. Por lo tanto, la eficiencia en el sistema de comercialización cobra especial importancia en esta cadena ya que garantiza la disposición de productos frescos y en esas condiciones se acerca el producto al consumidor (Oddone *et al.* 2016).

En El Salvador se distinguen tres canales principales de comercialización que definen la dinámica del mercado interno: comercialización mayorista, los intermediarios que dan acceso a la distribución mayorista y la comercialización minorista. Estos canales de distribución han estado históricamente fragmentados en torno a múltiples operadores alrededor del mercado La Tiendona, mercado central de San Salvador y mercados municipales; sin embargo, en los últimos años se observa una concentración de la distribución a raíz del auge de las cadenas de hipermercados, supermercados y centros comerciales (Oddone *et al.* 2016).

Mercados mayoristas: En El Salvador el mercado de mayoreo más representativo<sup>2</sup> es La Tiendona, los vendedores mencionan que los proveedores de tomate son en 80% de Honduras y 20% de Guatemala; y el tomate producido en el país va más al Mercado Central en San Salvador. Los criterios que consideran al momento de comprarle al productor son: clase de tomate, firmeza, vida en anaquel, clasificación por categorías, coloración del tomate. Las características del tomate de mejor calidad que prefieren los vendedores del mercado La Tiendona es el híbrido Pony Express, ya que son los que se pueden encontrar en los supermercados; los vendedores mencionan que suelen comprar de 50 a 100 cajas diarias de tomate, dependiendo del precio en que se encuentre.

Supermercados: Las cadenas de supermercados que comercializan tomate fresco: Súper Selectos, Maxi Despensa, Despensa de Don Juan, Despensa Familiar, Walmart, algunos tienen programas para impulsar la producción de este cultivo como Súper Selectos con su programa

---

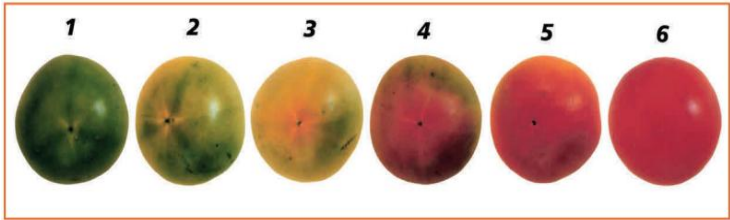
<sup>2</sup> Navarro, J. 18 de abril de 2022. Requisitos para compra de tomates (entrevista), San Salvador, El Salvador, mercado La Tiendona.

“Cultivando Oportunidades”, el cual trabaja desde hace ocho años generando desarrollo entre pequeños agricultores que proveen más del 60 % de las frutas y verduras que se comercializan en la cadena de tiendas a nivel nacional (Redacción negocios 2022).

El programa “Tierra Fértil de Walmart busca ayudar a desarrollar pequeña y mediana empresa (pymes) agrícolas. Comenzaron desde cero identificando productos que los agricultores pueden comercializar a través de 100 tiendas a nivel nacional; con el programa se van capacitando y formando para que ellos puedan llegar a un nivel de producción rentable y que sean productos de alta calidad (Redacción negocios 2022).

Cada supermercado tiene parámetros de calidad que exigen si un productor quiere ser proveedor, por ejemplo, los que se presentan en el cuadro 10:

Cuadro 10. Ficha técnica de tomate: parámetros organolépticos y físico-químico.

Parámetro	Descripción
Características del producto.	<p>Forma achatada, ovalada o redonda.</p> <p>Limpieza 100%, aspecto fresco, color de rosado a rojo oscuro total, sin humedad, sin olores extraños, bien formados, textura lisa y 100% de firmeza.</p>
Grado de desarrollo	<p>Para recibir el producto la escala de maduración del tomate puede ser de 2 a 4, para ser despachado a tiendas es de 3 a 4, en algunas ocasiones se podrá despachar en grado 5 mientras posee textura firme.</p> <p>Para producto nacional: si hubiese mezclas se aceptan por grados de coloración en donde se deben separar: Grado 3 y 4 en caja separada, Grado 4 y 5 en caja separada.</p> <p>Se puede despachar de grado 3 a 5. Se puede permitir tomate grado 2 importado y requiera guardarse y este se despachará hasta que llegue a grado 3.</p>
Calibre	<p>El Salvador: Tomate de ensalada con diámetro de 5.5 cm a 7 cm.</p> <p>Tomate de ensalada grande con diámetro mínimo de 7 cm y un máximo abierto.</p>
Tabla colorimétrica	 <p>The image shows a color scale for tomato ripeness with six stages labeled 1 through 6. Stage 1 is a dark green tomato. Stage 2 is a light green tomato with some yellowing. Stage 3 is a yellowish-green tomato. Stage 4 is a reddish-orange tomato. Stage 5 is a bright red tomato. Stage 6 is a dark red tomato.</p>
Parámetros microbiológicos	<p>Salmonella sp/25 g-Ausencia y <i>Escherichia coli</i> 0157:H7-Ausencia.</p>

Escala de color para la cosecha de tomate.

Vida útil	3 días en condiciones de almacenamiento requeridas.
Límites máximos permitidos de residuos de pesticidas (MLR).	Debe cumplir con los límites máximos de residuos (LMR) en el Índice de Productos Alimenticios de Origen Vegetal en la categoría de hortalizas.

Fuente: Elaboración propia (2023).

## 4. Metodología

### 4.1. Ubicación del estudio

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.

### 4.2. 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 345 m<sup>2</sup>. Durante el proceso, se tomaron 11 submuestras distribuidas por todo el terreno (Figura 7), 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 (Figura 8), 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 (Figura 9), 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 (Figura 10), 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 (figura 11), la bomba se encendió durante 20 minutos para que la

tubería esté libre de impurezas al momento de tomar la muestra (figura 12). 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 (figura 13), 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 (figura 14).

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 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 (figura 5).



Figura 5. Elaboración de plantines de tomate.

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 6).



Figura 6. Aplicación de productos fitosanitarios y nutrición de plantines por subirrigación

#### *4.3. Establecimiento y manejo agronómico del 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 (figura 7).



Figura 7. Incorporación de materia orgánica en las 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. Para llevar a cabo esta actividad, se contó con el apoyo de los estudiantes de la asignatura Sistemas de Producción Agrícola I de la carrera de Ingeniería Agroindustrial (Figura 8).



Figura 8. Control de plantas arvenses con apoyo de estudiantes de Ingeniería Agroindustrial.

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 (Figura 9).



Figura 9. Elaboración de solución arrancadora y plantín de tomate.

La instalación del microtúnel 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 10).



Figura 10. Microtuneles instalados.

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 (Cuadro 11), 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 (Cuadro 12). A partir de esta información, se procedió a realizar un ajuste para determinar el nuevo requerimiento nutricional del cultivo (Cuadro 13).

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.

Cuadro 11. Sales inorgánicas utilizadas para la nutrición del cultivo de tomate.

<b>Fertilizante</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Nutriente</b>
Fosfato mono potásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0-52-34
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5% N + 26% Cao
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4$	16% MgO + 12% S
Muriato de potasio (MOP)	KCl	60% $\text{K}_2\text{O}$
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	34.4% N
Fertilón Combi 2 (Microelementos)		12 g/kg magnesio (1,2% MgO) 13 g/kg azufre (1,3% S) 40 g/kg hierro (4% Fe) 40 g/kg zinc (4% Zn) 30 g/kg manganeso (3% Mn) 15 g/kg boro (1,5% B) *Cu, Fe, Mn, Zn quelado por EDTA

Fuente: Elaboración propia (2024).

Cuadro 12. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate (lb/mz).

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	Ca	Mg	Zn	B
230	115	230	52.8	231	123.2	4.62	4.62

Fuente: CENTA (2015).

Cuadro 13. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate ajustado (lb/mz).

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S <sub>0</sub> <sub>4</sub>	CaO	MgO
230	25	45	158	70	43

Fuente: Elaboración propia (2024).

Para aplicar la nutrición del cultivo a través del riego, se pesaban los fertilizantes según el cálculo de distribución en porcentaje, tomando en cuenta la etapa fenológica del cultivo. Luego, cada fertilizante se pesaba y se diluía en un volumen conocido de agua, y posteriormente se incorporaba al tanque de fertilización, uno a uno (figura 11). La fertilización se realizaba dos veces por semana, con una duración de una hora por sesión.



Figura 11. Aplicación del fertilizante al tanque de fertirriego.

El tutorado se realizó 30 días después del trasplante para proporcionar estabilidad y soporte a las plantas, evitando daños físicos como la ruptura de tallos y racimos, así como el contacto de los frutos con el suelo. Se utilizaron tutores de madera de 2.50 m de largo, los cuales se enterraron a una profundidad de 0.50 m, dejando una distancia de 3 m entre cada uno. Se colocó pita nylon de forma horizontal a 0.80 m sobre el nivel del suelo, con dos hiladas adicionales a 0.40 m de distancia. Cada planta fue sujeta con pita vertical, y conforme las plantas crecían, los tallos se enrollaban manualmente alrededor de las pitas (figura 12).



Figura 12. Colocación de tutores verticales múltiples.

El aporco se realizó 18 días después del trasplante con el fin de asegurar una mayor fijación de las plantas al suelo.

El control de malezas se realizó de manera manual utilizando cuma, con un enfoque más constante durante la época lluviosa (figura 13).



Figura 13. Control de plantas arvenses.

El monitoreo de plagas y enfermedades se llevó a cabo semanalmente a lo largo del ciclo del cultivo, con el fin de implementar las medidas preventivas necesarias, ya sean culturales, mecánicas o químicas.

La cosecha del tomate se realiza cuando los frutos están verdes, pintones o maduros. Dependiendo del ciclo agrícola de la variedad, el periodo de cosecha varía entre los 65 y 85 días después del trasplante (figura 14).



Figura 14. Cosecha de tomate.

#### 4.4. Metodología estadística

El material experimental consistió en cinco materiales mutantes 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, sumando un total de 35 unidades experimentales. Matemáticamente, este diseño se representa de la siguiente manera:

$$\text{Modelo matemático: } Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, b$ .

$Y_{ijk}$  : Es la respuesta observada en cualquier unidad experimental o celda (i,j).

$\mu$  : Es la media del experimento.

$\tau_i$  : Efecto de cualquier tratamiento  $i$  .

$\beta_j$  : Efecto de cualquier bloque  $j$ .

$\varepsilon_{ijk}$  : Error experimental en la celda (i, j).

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos estudiados. Para realizar las comparaciones entre las medias de los tratamientos, se utilizó la prueba de Tukey. Todos los análisis se realizaron utilizando el software Infostat®.

Cuadro 14. Análisis de varianza de un diseño de bloques completos al azar.

Fuente de Variación (FV)	Grados de Libertad (G.L)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Cuadrado medio (C.M.)	F calculada (Fcal)
Bloques (BLOQ)	b-1	$\sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{.j}}{a} - \frac{Y^2_{..}}{n}$	$\frac{SCBLOQ}{b-1}$	$\frac{CMBLOQ}{CME}$
Tratamiento (TRAT)	a-1	$\sum_{i=1}^a \frac{Y^2_{i.}}{b} - \frac{Y^2_{..}}{n}$	$\frac{STRAT}{a-1}$	$\frac{CMTRAT}{CME}$
EE	(a-1)	SCTOTAL-	$\frac{SCEE}{a(n-1)}$	
	(b-1)	SCBLOQ+SCTRAT		
Total	An-1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{ij}}{a} - \frac{(Y)^2_{..}}{ab}$		

Fuente: Nuila y Mejía (1990).

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

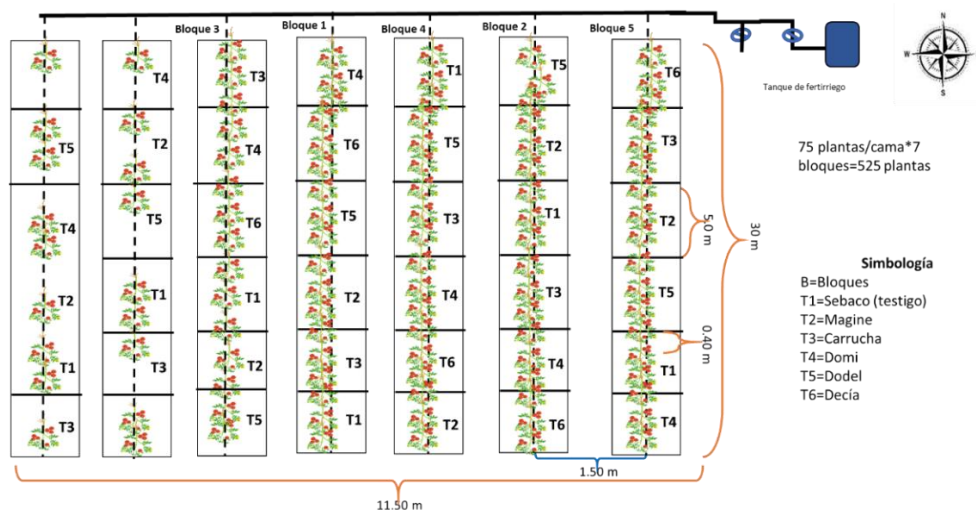


Figura 15. Distribución en campo de los tratamientos a evaluar en la investigación.

Prueba estadística: Se utilizó el software InfoStat® y la prueba de medias de Tukey para identificar las diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y para realizar el análisis de los resultados obtenidos en la investigación.

VARIABLES EVALUADAS: Para caracterizar los cinco materiales de tomate, se midieron diversas variables en la parte vegetativa, la inflorescencia y el fruto:

Las variables morfológicas son características físicas que describen la forma, tamaño y estructura de las partes de una planta. Estas variables son esenciales para evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas, y son utilizadas para caracterizar los diferentes materiales genéticos de cultivo. En este estudio, se evaluaron varias variables morfológicas para caracterizar los cinco materiales de tomate. La altura de la planta se midió con cinta métrica desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta. La densidad de pubescencia del tallo se observó y clasificó utilizando el descriptor correspondiente, según fuera escasa, intermedia o densa. Para determinar el tipo de inflorescencia, se observó el segundo o tercer racimo y se clasificó como uníparo (simple), multiparo (ramificada) o ambos (ramificada), de acuerdo con el descriptor. El diámetro del tallo, indicador de la velocidad de crecimiento semanal, la fuerza de crecimiento y el balance vegetativo/generativo del cultivo, se midió con un pie de rey a una altura de 10 cm desde el nivel del suelo. Los días a floración se calcularon desde el trasplante hasta que el 50% de las plantas presentaron floración. Finalmente, los días a cosecha se determinaron considerando el ciclo agrícola y la madurez fisiológica del cultivo.

Las variables de rendimiento son aquellas que se utilizan para medir la productividad de una planta en términos de cantidad y calidad de los productos obtenidos. Estas variables son fundamentales para evaluar el desempeño de las plantas y su capacidad de generar frutos en condiciones específicas de cultivo. En este estudio, se evaluaron varias variables de rendimiento para caracterizar los cinco materiales de tomate. El número de frutos por planta se contó sumando todos los tomates producidos por cada planta. El peso de frutos por planta se midió pesando todos los frutos de cada variedad con una balanza semianalítica. El diámetro del fruto se midió utilizando un pie de rey, registrando el diámetro de cada fruto en milímetros.

Finalmente, se realizó la clasificación de los frutos según el peso por categoría, siguiendo el estándar establecido para el mercado local (cuadro 15).

Cuadro 15. Parámetros de clasificación por categoría de peso del fruto.

<b>Calidad</b>	<b>Peso (g)</b>
Primera	Mayor de 120
Segunda	80 a 119
Tercera	40 a 79

Fuente: Culajay 2017.

Las variables organolépticas se refieren a las características sensoriales de los frutos que afectan su aceptación y calidad en términos de sabor, textura y otros atributos perceptibles por los sentidos. Estas variables son esenciales para evaluar la calidad del producto desde el punto de vista del consumidor. En este estudio, se evaluaron varias propiedades organolépticas para caracterizar los cinco materiales de tomate. Los sólidos solubles en fruto maduro se midieron utilizando un refractómetro, colocando jugo de tomate en el lente para obtener la lectura en grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ), lo cual indica el contenido de azúcares y otros sólidos solubles en el fruto. La dureza en fruto maduro se midió en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  utilizando un penetrómetro, para determinar la textura del tomate y su firmeza, lo cual es un indicativo de su frescura y aptitud para el mercado.

## **5. Resultados**

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.

### 5.1. 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 16).

Cuadro 16. 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 (Figura A-1).

### 5.2. 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 (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 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 17. Análisis del agua del pozo 2 de la Estación Experimental y de Prácticas.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Clasificación</b>
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, Manganeso, 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 (Figura A-2).

\*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.

### 5.3. Concentración de fertilizante en el agua de riego

Para la realización de estos cálculos se tomó en cuenta los resultados de los análisis de suelo, según la siguiente fórmula:

Necesidad del elemento para llevar al suelo al nivel crítico

$$AS1 = (AL - NC) * Dap * Pr * FC$$

AS1: Aplicación requerida de fósforo al suelo para llevarlo al nivel crítico.

AL: Análisis de laboratorio o cantidad disponible del elemento

NC: Nivel crítico del elemento

Dap: Densidad aparente del suelo

Pr: Profundidad efectiva de absorción radicular

FC: Factor de conversión del elemento a forma básica que presenta el fertilizante

Luego se utilizan los requerimientos del cultivo para la distribución de nutrientes en libras por manzana según la fenología; y determinar el requerimiento total de agua para el ciclo:

$$\text{Agua total} = \text{NDG} * \text{Caudal} * \text{TR} * \text{RT}$$

Agua total: Agua total aplicada en el ciclo (L).

NDG: Número de goteros por sector de riego

Caudal: caudal de los goteros (L/h)

TR: Tiempo de riego (horas)

RT: Número de riego por ciclo

Luego se determinó la concentración del fertilizante (anexo de cálculos).

#### 5.4. 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 (figura 27).

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 16).

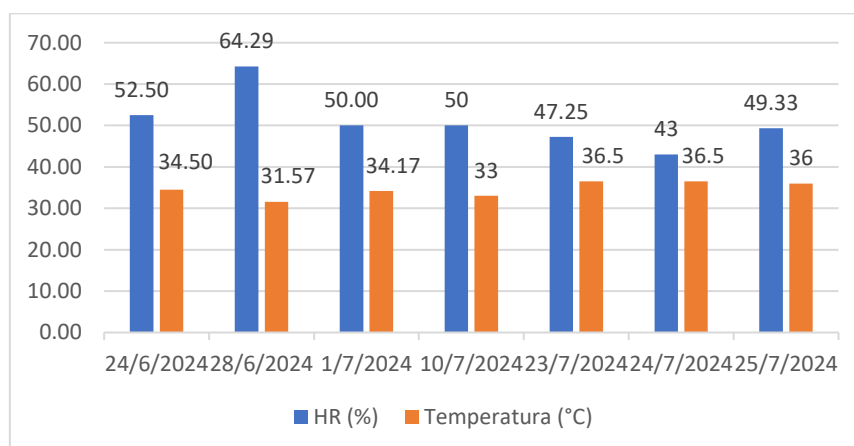


Figura 16. Comportamiento promedio de la temperatura y humedad relativa en el lote La Bomba en la fase reproductiva del cultivo de tomate durante el día.

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.

#### 5.5. *Desordenes fisiológicos*

En los materiales de tomate: Domi, Carrucha, Magine y Decia se presentaron agrietamientos como se observa en la figura 17 y el que menos presento agrietamientos fue el Dodel, esto se les atribuyen a las diferencias extremas de temperatura (figura 16), las cuales crean condiciones para la expansión y contracción de las células en el fruto; también la alta humedad del aire que limita la evaporación a través del follaje y crea estrés de agua causando rajamiento.



Figura 17. Fruto de tomate rajado y dañado por quemaduras en la variedad Magine.

Otro de los efectos encontrados fueron las hojas enrolladas por causa de estrés por temperatura, que al observarlas se pueden confundir por daño por salinidad, es decir una intoxicación, o por ataque de nematodos (figura 18).



Figura 18. Hojas enrolladas por cambios de temperaturas en la variedad Carrucha.

En la figura 19 se muestra un trastorno conocido como edema o intumescencia, que se observó en todas las variedades de tomate produciendo agallas que acumulan líquido en todo el tronco de la planta provocando un mal aspecto como que fuera una enfermedad.



Figura 19. Edema o intumescencia en tallo de tomate de la variedad Decia.

En la figura 20 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 20). Y puede resultar afectada por las condiciones del clima lo que repercute en el cuajado, caídas de flores.



Figura 20. Alargamiento del pistilo (Exerto) en la variedad Dodel.

### 5.6. 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 21 muestra las etapas fenológicas de las cinco variedades de tomate evaluadas en esta investigación.

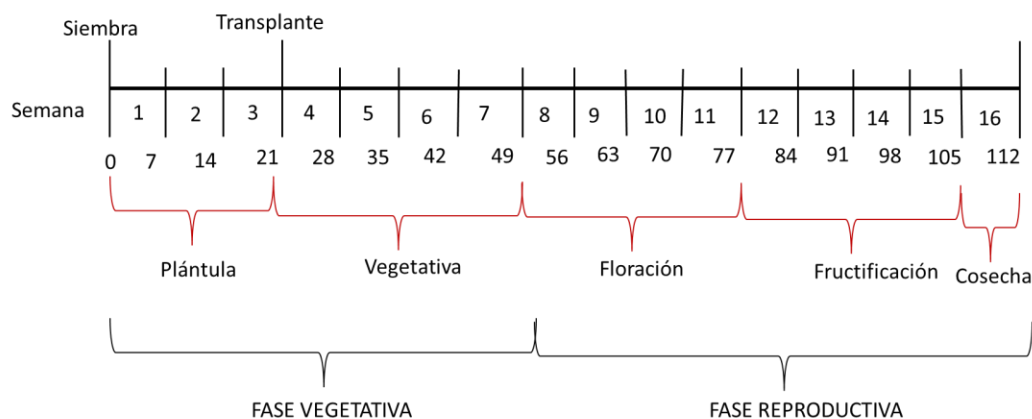


Figura 21. Fenología de los materiales genéticos de tomate en la investigación (EEP,2024)

### 5.7. 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 18 y figura 22).

Cuadro 18. Altura de planta y crecimiento de las variedades de tomate (cm/día).

Etapa	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.

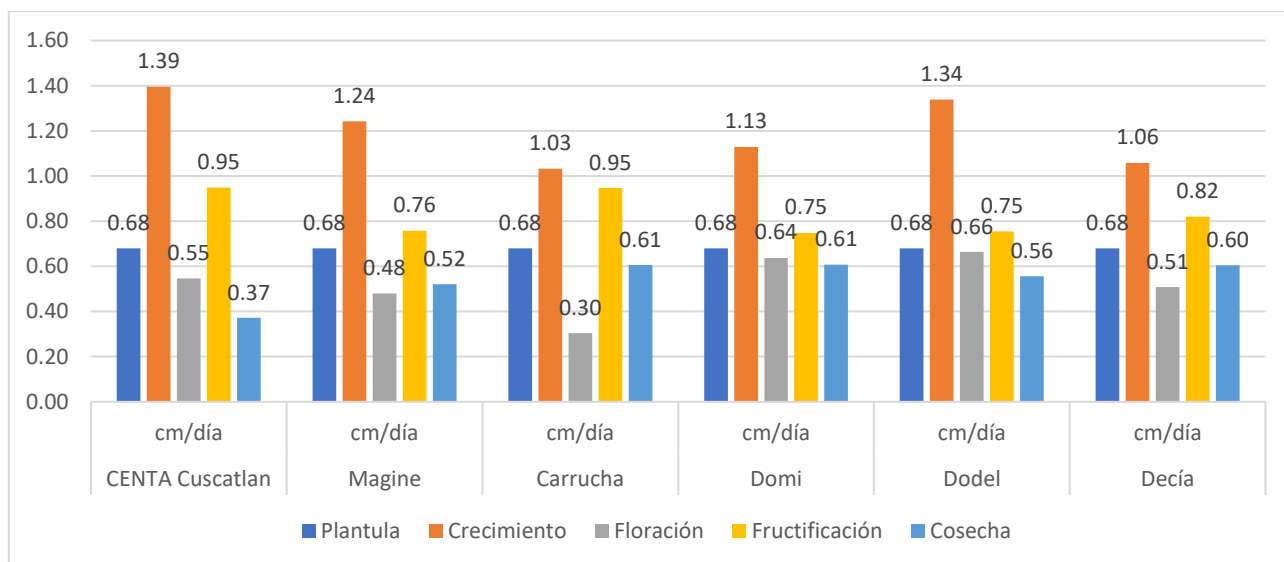


Figura 22. Crecimiento de cada variedad de tomate evaluada (cm/día).

Pubescencia de la planta de tomate: La densidad de pubescencia del tallo se evaluó mediante observación, utilizando el descriptor para tomate del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRR) de Maccarese, Roma. Según este criterio, la pubescencia se clasificó como escasa a intermedia en las cinco variedades evaluadas (figura 23).



Figura 23. Pubescencia en el tallo de tomate de la variedad Domi.

Tipo de inflorescencia: La diferenciación y el desarrollo de la flor (figura 24) son etapas cruciales previas a la fructificación, y todos los factores que afectan la floración pueden influir en la precocidad, el rendimiento y la calidad de los frutos. Para esta evaluación, se utilizó el descriptor del IPGRI, clasificando la flor del tomate como unípara.



Figura 24. Inflorescencia del tomate en la variedad Dodel.

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 25).

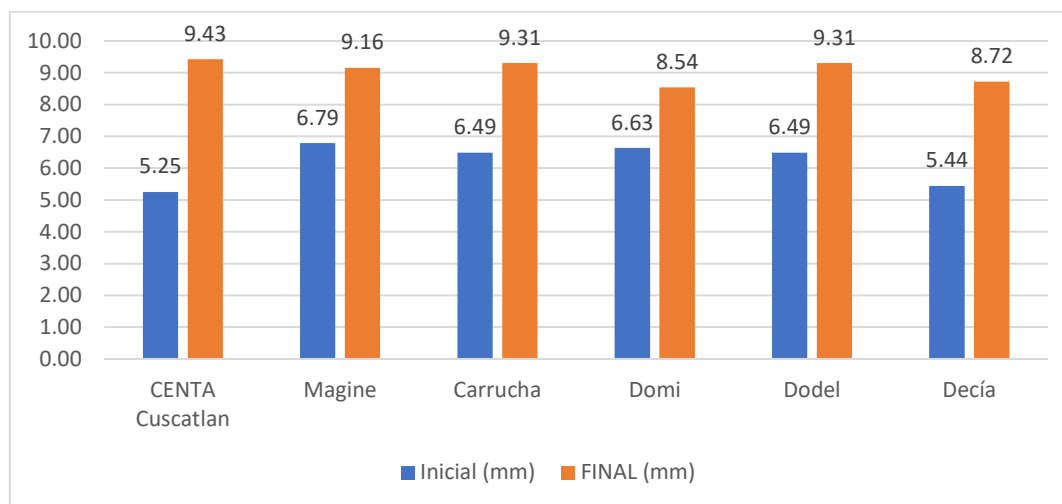


Figura 25. Diámetro del tallo de las cinco variedades de tomate evaluadas.

Este parámetro mide la fuerza de crecimiento de la planta. Según el análisis de varianza (cuadro A-14), 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.

Número de hojas de la planta: Según el análisis de varianza de la variable número de hojas por planta, se encontraron diferencias estadísticas significativas (p-valor 0.0034) (cuadro A-15). Debido a esto, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, la cual indicó que la variedad Dodel produjo la mayor cantidad de hojas, con un promedio de 54.08 hojas, mientras que la variedad Decía produjo la menor cantidad, con 33.15 hojas. Además, se observó que, en la etapa de cosecha, todas las variedades de tomate presentaron el mayor número de hojas (figura 26).

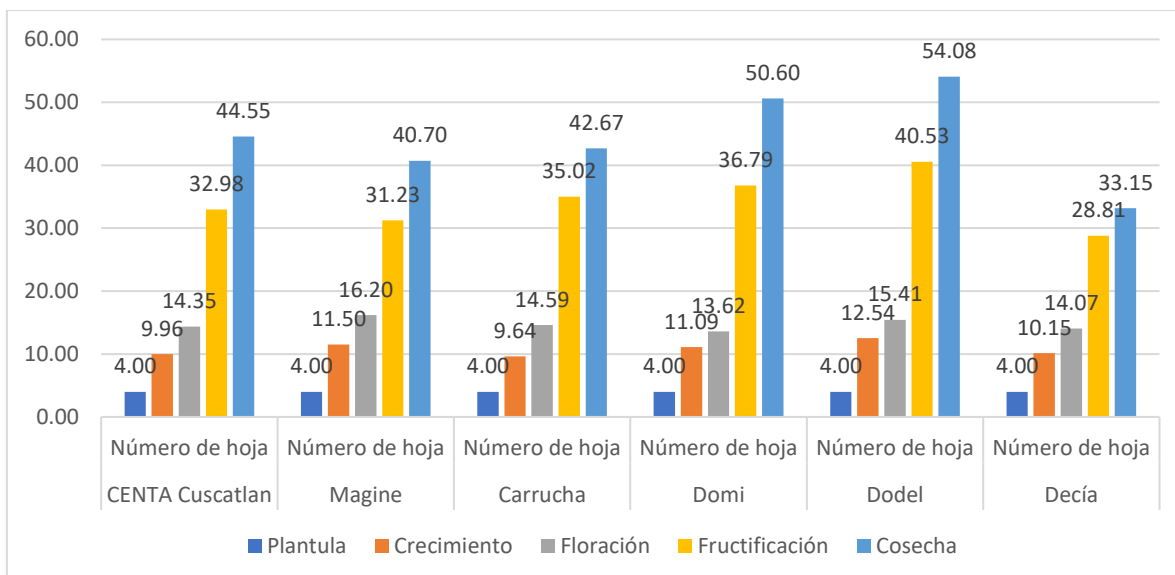


Figura 26. Número de hojas de las variedades de tomate por etapa fenológica.

### 5.6. Variables de rendimiento

Número de racimos de flores por planta: Las flores del cultivo de tomate aparecen en racimos, por lo que se contabilizó el número total de racimos en cada una de las variedades evaluadas. La mayor cantidad de racimos de flores por planta se observó en la variedad Dodel, con un promedio de 6.21 racimos, seguida por la variedad Magine con 5.94 racimos y la variedad CANTA Cuscatlán con 5.44 racimos. Por otro lado, la variedad que presentó la menor cantidad de racimos fue Carrucha, con 4.68 racimos (figura 27, cuadro A-16).

Según el análisis de varianza (ANVA), el p-valor obtenido fue de 0.6518, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas y que las variedades evaluadas son similares en cuanto al número de racimos de flores por planta.

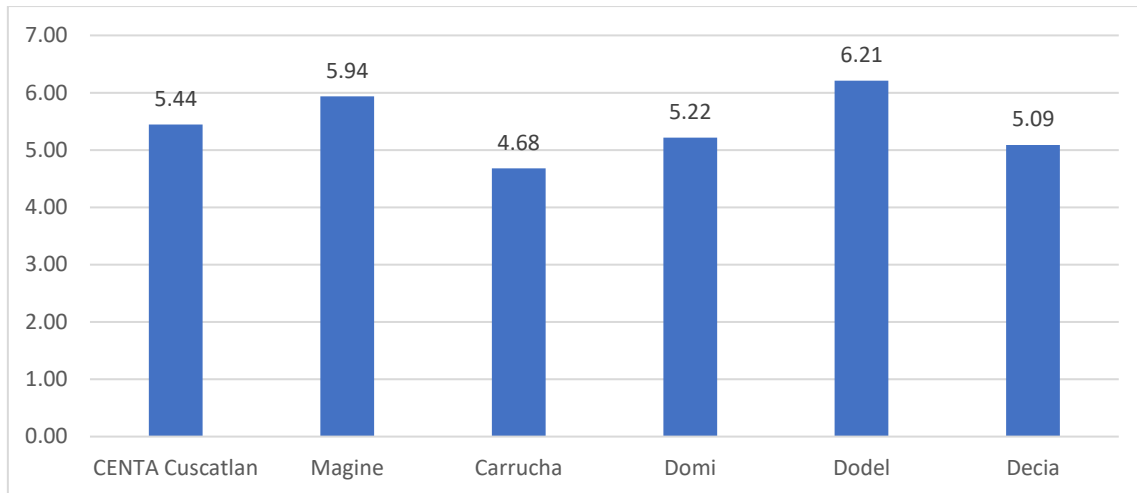


Figura 27. Cantidad promedio de racimos florales de las variedades de tomate.

Número de frutos por planta: La mayor cantidad promedio de frutos de tomate por planta se obtuvo con la variedad Dodel, con 8.86 frutos, seguida por la variedad Magine con 7 frutos. En contraste, la variedad CENTA Cuscatlán presentó la menor cantidad, con solo 1 fruto (0.29) (figura 28).

Los resultados obtenidos pueden estar relacionados con las altas temperaturas, superiores a los 30°C, que provocaron la formación de polen estéril. Además, la baja humedad relativa (menos del 50%) afectó la retención del grano de polen por el estigma, mientras que la alta humedad relativa (superior al 90%) dificultó la dehiscencia de las anteras en el tomate. Este fenómeno también coincidió con un periodo de temporal con exceso de lluvia.

Según el análisis de varianza, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las variedades de tomate en cuanto al número de frutos por planta. Por lo tanto, no fue necesario realizar la prueba de Tukey, ya que las variedades mostraron similitud en esta variable (cuadro A-17).

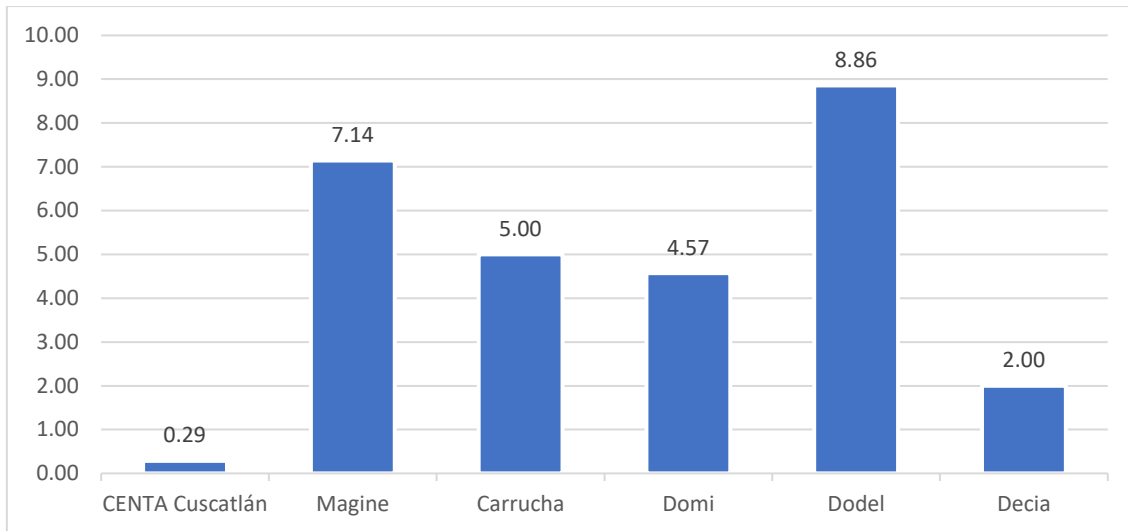


Figura 28. Número de frutos por variedad de tomate evaluada.

La mayor cantidad promedio de frutos de tomate se obtuvo con la variedad Dodel, con 62 frutos, seguida por la variedad Magine con 50 frutos. En cambio, la menor cantidad de frutos se produjo con la variedad CENTA Cuscatlán, que solo generó 2 frutos (figura 29).

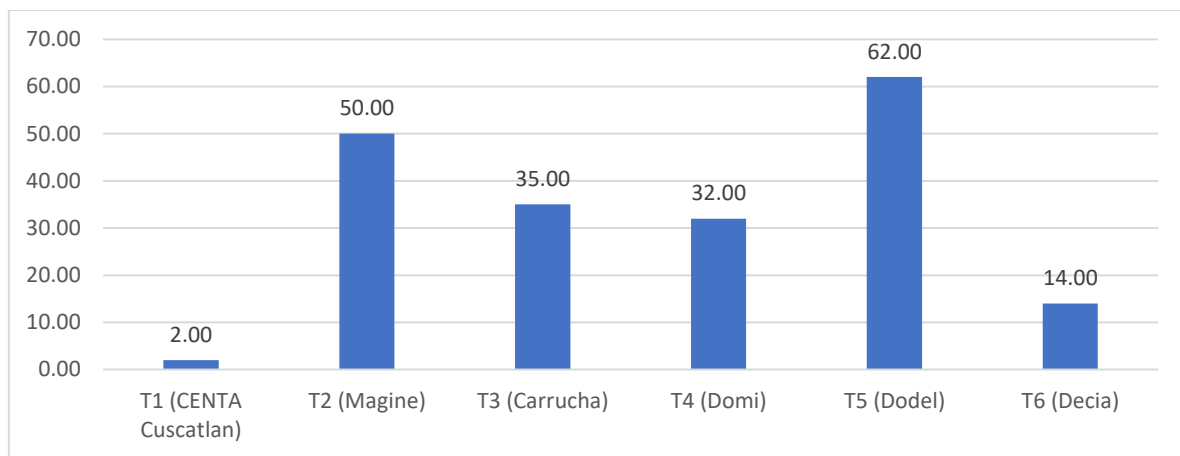


Figura 29. Cantidad total de frutos producidos por variedad de tomate.

El mayor peso promedio de los frutos de tomate se obtuvo con la variedad Dodel, con 61.96 g, seguida por la variedad Magine con 56.22 g y Carrucha con 55.68 g. En contraste, el menor peso se registró con la variedad CENTA Cuscatlán, con 38.90 g (figura 30).

Según los resultados obtenidos, el 100% de los frutos de tomate producidos en esta investigación se clasifican en la tercera categoría.

Las variedades de tomate Dodel, Magine, Carrucha, Domi, Decía y CENTA Cuscatlán no presentaron diferencias estadísticas en cuanto al peso de los frutos, por lo que no fue necesario realizar pruebas de comparación como la de Tukey (cuadro A-18).

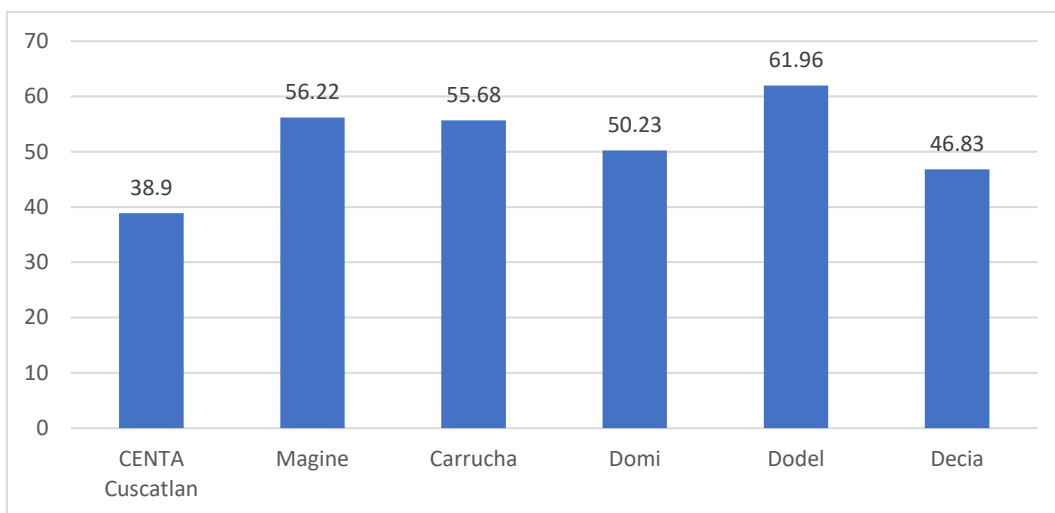


Figura 30. Peso promedio de los frutos de tomate de las variedades evaluadas.

La mayor cantidad de libras de fruto de tomate se obtuvo con la variedad Dodel, con 7.45 libras, seguida por la variedad Magine con 6 libras. En cambio, la menor cantidad se produjo con la variedad CENTA Cuscatlán, con 0.5 libras. Cabe destacar que estos datos corresponden únicamente a un corte, ya que, debido a los problemas causados por los temporales de fuertes lluvias e inundaciones en el terreno, todas las plantas terminaron muriendo (figura 31).

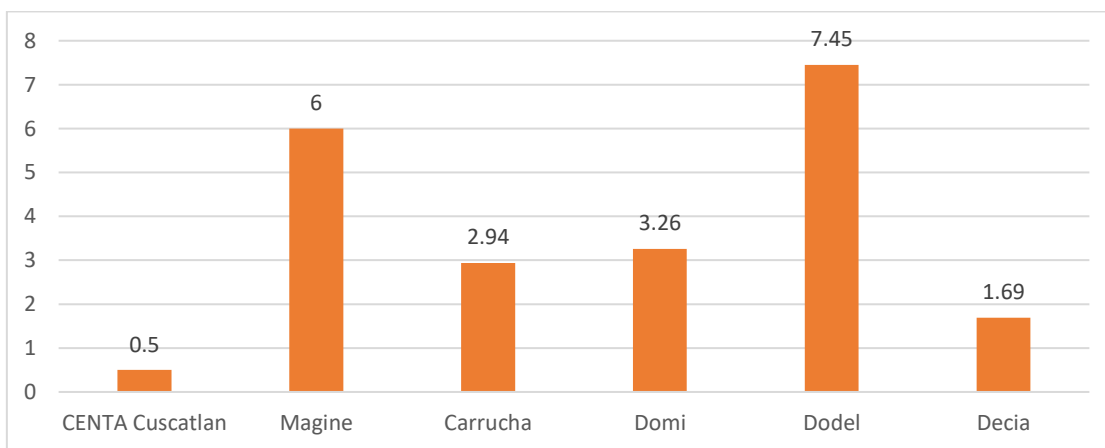


Figura 31. Libras producidas de fruto de tomate por variedad.

El mayor diámetro promedio de los frutos de tomate se obtuvo con la variedad Dodel, con 51.26 mm, seguida por Magine con 47.33 mm. El menor diámetro se registró en la variedad CENTA Cuscatlán, con 42 mm (figura 32).

Las variedades de tomate evaluadas, Dodel, Magine, Carrucha, Domi, Decía y CENTA Cuscatlán, no presentaron diferencias estadísticas en cuanto al diámetro del fruto. Por lo tanto, no fue necesario realizar pruebas de comparación como la de Tukey (cuadro A-19).

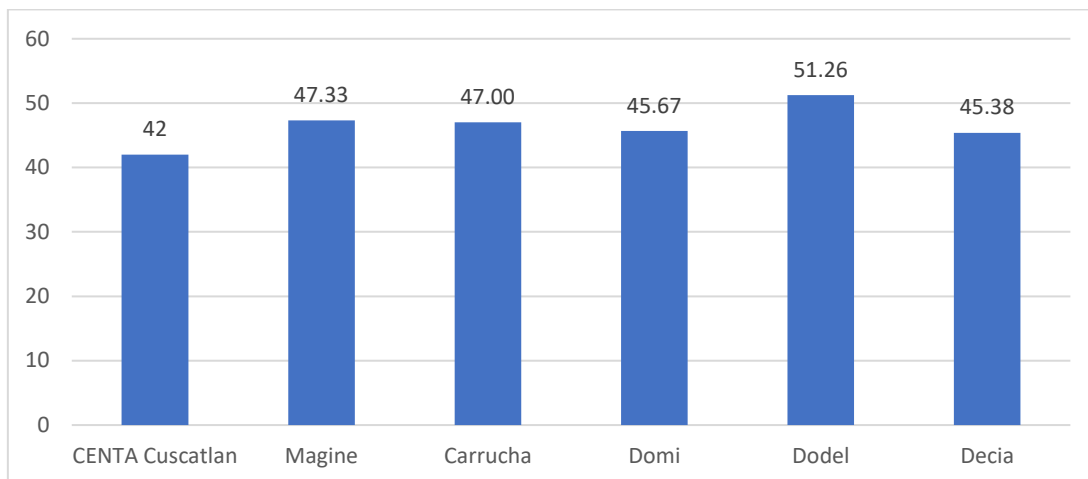


Figura 32. Diámetro promedio de los frutos de tomate por variedad evaluadas.

El mayor número promedio de semillas por fruto de tomate se registró en la variedad Dodel, con 83 semillas por fruto, seguido por la variedad Magine con 75 semillas por fruto. La variedad Domi presentó el menor número, con 47.5 semillas por fruto. La variedad CENTA Cuscatlán no produjo semillas (figura 33).

Según el análisis de varianza, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el número de semillas por fruto entre las variedades evaluadas (cuadro A-20).

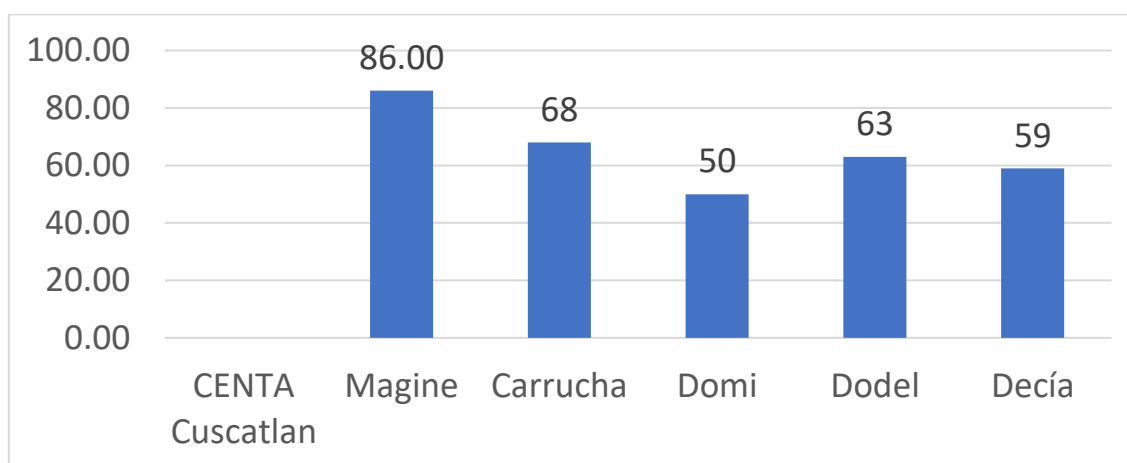


Figura 33. Número promedio de semillas por fruto de tomate en las variedades evaluadas.

En el cuadro 19 se muestra la cantidad de semillas de tomate por las variedades evaluadas, siendo la variedad Dodel la que produjo el mayor número de semillas, seguida por la variedad Magine, Carrucha, y la que menos semillas produjo fue la variedad Decía.

Cuadro 19. Cantidad de semillas total de tomate por variedad y su peso.

<b>Variedad</b>	<b>Numero de frutos</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Número de semillas</b>
Magine	50	1.3	318
Carrucha	35	0.5	305
Domi	32	0.3	243
Dodel	62	2.9	1,128
Decía	14	0.2	125

La variedad Carrucha presentó frutos con 4 lóculos, mientras que las demás variedades evaluadas presentaron frutos con 3 lóculos.

Según el análisis de varianza, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las variedades evaluadas en cuanto al número de lóculos de los frutos de tomate (cuadro A-21).

### 5.7. Variables organolépticas

**Sólidos solubles del fruto:** Los sólidos solubles, conocidos como grados Brix, son las sustancias solubles en agua que reflejan un alto porcentaje de la calidad de los sólidos totales contenidos en los frutos. A mayor valor de Brix, mayor es la calidad del fruto, siendo un valor de 4.0 °Brix o superior considerado como bueno (Santiago et al., 1998).

En el sexto estadio de madurez de los frutos de tomate, el mayor contenido promedio de sólidos solubles expresado en grados Brix (°Brix) se obtuvo con la variedad Domi con 3.25° Brix, seguida por Decía con 3.23° Brix. La variedad que presentó el menor contenido de sólidos solubles fue Magine, con 2° Brix (figura 34).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la mayoría de las variedades evaluadas se encuentran dentro de los parámetros ideales, excepto la variedad Magine que registró 2° Brix. Este análisis de la cantidad de azúcar presente en los frutos es crucial para determinar cuál cultivar presenta

el mayor contenido y para comprender el comportamiento de este factor bajo las condiciones de la zona costera.

Según el análisis de varianza, se observó una diferencia altamente significativa en la concentración de sólidos solubles totales entre las variedades evaluadas (cuadro A-22).

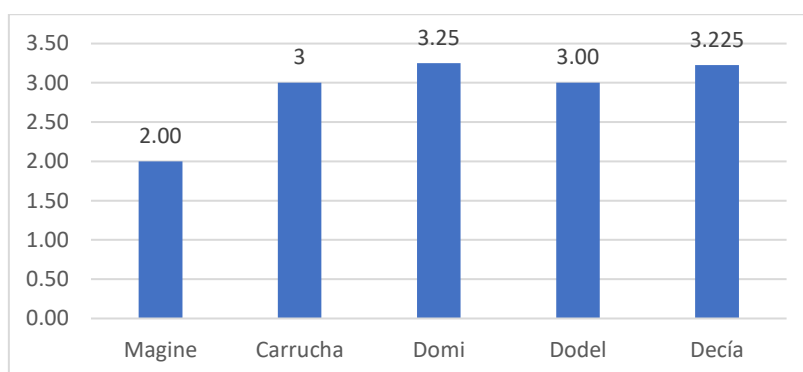


Figura 34. Grados Brix en los frutos de tomate en las variedades evaluadas.

Firmeza del fruto de tomate maduro: La mayor firmeza de los frutos de tomate se obtuvo con la variedad Magine, alcanzando 2.89 kilogramos fuerza (kgf), lo que equivale a 28.30 newton (N). Por otro lado, la menor firmeza fue registrada por la variedad Carrucha, con 1.50 kgf (14.70 N) (cuadro 21).

Para determinar esta variable se utilizó un penetrómetro, el cual mide la presión necesaria para insertar un puntal de 8 mm de diámetro (equivalente a 0.5 cm<sup>2</sup>), un método apropiado para frutos duros como el tomate.

Cuadro 20. 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, existen diferencias altamente significativas con respecto a la variable firmeza del fruto de tomate, lo que llevó a la realización de la prueba de comparación de medias de Tukey (cuadro A-23).

De acuerdo con la escala de firmeza de frutos de tomate, las variedades Magine y Dodel se clasifican como muy firmes, ya que superan los 20 Newton. Por su parte, las variedades Decía y Domi se consideran firmes, mientras que la variedad Carrucha es clasificada como moderadamente blanda (figura 35).

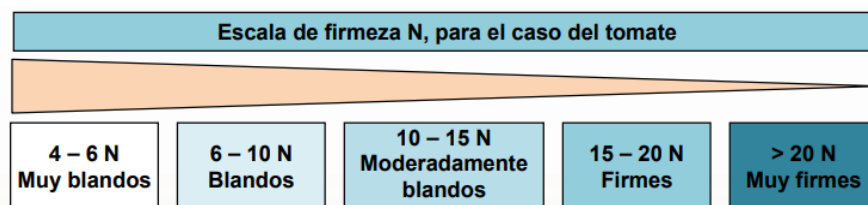


Figura 35. Escala de firmeza de los frutos de tomate (Domene y Segura 2014).

## 6. Discusión

### 6.1. Análisis de agua

En cuanto a la dureza total del agua, el análisis de laboratorio reportó un valor de 93.1 mg/l (resultado, literal 5.2), 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.

### 6.2. Temperatura, humedad relativa y comportamiento de la planta

Durante la investigación, se registraron temperaturas entre 31.57°C y 36.5°C entre el 24 de junio y el 25 de julio de 2024. Según Campos (2016), la temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del tomate oscila entre 20°C y 30°C, lo que implica que las temperaturas observadas durante este periodo estuvieron por encima del rango óptimo para el cultivo. Este aumento en la temperatura provocó varios efectos negativos en el cultivo, como la reducción en la cantidad

y viabilidad del polen, la disminución de la cantidad de flores y frutos por inflorescencia, y el consecuente aborto floral, lo que limitó el cuajado de los frutos (Campos, 2016).

Hernández Pérez (2017) señala que las altas temperaturas pueden dañar las membranas celulares, las proteínas y los ácidos nucleicos de los frutos de tomate. Además, la alta temperatura inhibe la síntesis de pigmentos y provoca su degradación, lo que genera síntomas de escaldado y quemaduras, como se observó en los resultados presentados en la figura 17.

En cuanto a la humedad relativa, esta fluctuó entre 43% y 64.29% durante las etapas de floración y fructificación. López (2016) menciona que una humedad relativa inferior al 55% dificulta la polinización, siendo el valor óptimo de 55% a 75%. Las bajas humedades aumentan la tasa de transpiración, lo que puede generar estrés hídrico, especialmente durante la fructificación del tomate, cuando la actividad radicular es menor. Este estrés hídrico puede conducir al cierre estomático y a una reducción en la fotosíntesis (Rawson y Col, 1977). Por otro lado, niveles excesivos de humedad relativa pueden reducir el cuajado de los frutos, como lo reportan Van Koot y Van Ravestjin (1963). Estos factores climáticos, tanto las altas temperaturas como las variaciones en la humedad relativa, influyeron negativamente en el desarrollo y la calidad del cultivo de tomate durante el periodo de estudio.

### *6.3. Desordenes fisiológicos*

La hoja enrollada (figura 18) se caracteriza por el enroscamiento de las hojas hacia arriba o hacia abajo. Cuando el enroscamiento ocurre hacia arriba, generalmente es un signo de que la planta está siendo sometida a condiciones de estrés, como temperaturas excesivamente altas o bajas. Por otro lado, si el enrollamiento es hacia abajo, esto se debe a la exposición directa de la planta a la radiación solar.

Las plantas que presentan esta anomalía experimentan una disminución en su tasa fotosintética y en la transpiración, lo que puede llevar a una reducción en la producción. Si el enrollamiento de las hojas es severo, los frutos quedan más expuestos a temperaturas extremas, lo que aumenta su vulnerabilidad al agrietamiento, al golpe de sol e incluso puede afectar su firmeza. En general, las hojas afectadas por este fenómeno se vuelven quebradizas y frágiles, aunque mantienen su turgencia y no se marchitan.

A pesar de estos efectos, el crecimiento de la planta en sí no se ve gravemente afectado, y la formación de frutos sigue siendo normal (Zeidan, 2005). Sin embargo, estos síntomas pueden impactar la calidad de los frutos y deben ser monitoreados para evitar que se agraven las condiciones del cultivo.

En la figura 19 se observa un trastorno conocido como edema o intumescencia, el cual ocurre cuando hay un cambio brusco en las condiciones climáticas. Este trastorno se presenta cuando la humedad relativa aumenta rápidamente y las temperaturas bajan de manera repentina en un corto período de tiempo. Este cambio hace que las plantas absorban más agua de la que pueden transpirar a través de sus hojas, lo que provoca una acumulación excesiva de líquido acuoso en los tejidos vegetales. Este fenómeno generalmente sucede cuando el suelo está tibio y húmedo, mientras que la temperatura del aire se mantiene fresca. Es la combinación de la alta humedad y la baja temperatura lo que favorece este trastorno. Además, los períodos prolongados de humedad también contribuyen a la aparición del edema (Jaramillo, 2007). Este trastorno puede afectar la salud de la planta, ya que el exceso de agua acumulada en los tejidos vegetales puede interferir con su normal funcionamiento y desarrollo.

En la figura 20 se observa otro de los desórdenes fisiológicos que afectan a las plantas de tomate: el alargamiento del pistilo. Este fenómeno ocurre cuando el estigma, que es la parte receptiva de la flor, está activo de 1 a 2 días antes de que las anteras se abran, y permanece receptivo hasta 8 días después de la apertura de las anteras. Este trastorno es causado por condiciones ambientales, especialmente cuando las temperaturas superan los 25°C o caen por debajo de los 12°C. En este rango de temperaturas, la fecundación no se produce de manera adecuada o sufre una reducción considerable, ya que las altas temperaturas afectan la calidad y cantidad de polen. Como consecuencia, se produce una caída prematura de las flores y deformaciones en los frutos (Martínez, 2001). Este desorden resalta la importancia de mantener un clima adecuado para asegurar una polinización exitosa y, por ende, un buen desarrollo de los frutos.

Según Nuez (1999), la transferencia de los granos de polen al estigma es un proceso crucial para la polinización en las plantas de tomate. Esta transferencia depende directamente de la longitud del estilo, que se refiere al exerto, el cual debe estar ubicado a la altura del cono de las anteras o incluso por debajo de ellas para que ocurra la autopolinización (figura 31). Es importante

señalar que la longitud del estilo está determinada genéticamente, pero puede verse influenciada por las condiciones ambientales del cultivo. Factores como la iluminación deficiente y las temperaturas elevadas pueden provocar una ejerción estigmática y, en consecuencia, un desarrollo deficiente del endotecio, lo cual afecta la polinización.

Para que la germinación del polen sea exitosa, los granos deben adherirse al estigma. Para favorecer este proceso, la humedad relativa debe estar por encima del 70%, y las temperaturas deben oscilar entre los 17 y los 24°C. Sin embargo, si las temperaturas no son adecuadas para el cuajado, las flores caen después de la antesis e incluso tras la polinización. Además, el crecimiento lento del tubo polínico puede provocar el envejecimiento del óvulo antes de que se logre la fecundación, lo que limita la producción de frutos (Nuez, 1999).

Las temperaturas extremas también juegan un papel importante en el desarrollo del tomate. Cuando las temperaturas caen por debajo de los 12°C, se pueden generar ramificaciones en las inflorescencias, lo que afecta la cantidad de flores que se desarrollan adecuadamente. Por otro lado, si las temperaturas superan los 30°C durante el día y caen por debajo de los 10°C durante la noche, el fruto puede cambiar de color a amarillo, lo cual indica un estrés térmico que afecta la calidad del cultivo. En general, la diferencia de temperatura entre el día y la noche no debe exceder los 10 a 12°C para asegurar un desarrollo adecuado de las plantas (Martínez, 2001).

En resumen, para que la polinización y el cuajado de los frutos de tomate ocurran con éxito, es esencial que las condiciones ambientales, particularmente la temperatura y la humedad, estén dentro de los rangos óptimos. Los desórdenes derivados de condiciones climáticas inapropiadas pueden llevar a una reducción en la producción y calidad de los frutos.

#### *6.4. Etapas fenológicas de los cinco materiales del cultivo de tomate*

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).

#### 6.6. Variables morfológicas

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.

En cuanto al tipo de inflorescencia, la floración es un proceso crucial que precede la fructificación y, por lo tanto, influye directamente en el rendimiento y la calidad de los frutos. La floración de las plantas de tomate se ve afectada por diversos factores, como la variedad, las condiciones ambientales (temperatura, iluminación), la competencia entre órganos vegetativos y reproductivos, la nutrición mineral y el uso de reguladores del crecimiento (Nuez, 1999). Esto hace que el control y manejo de la floración sea fundamental para obtener buenos rendimientos en los cultivos de tomate.

El tomate, como bien se describe en la literatura (Nuez, 1999), presenta una flor perfecta, regular e hipógina, con una estructura característica que incluye 5 o más sépalos y pétalos dispuestos helicoidalmente. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racemoso, lo que implica que el eje principal de la inflorescencia se ramifica debajo de la primera flor, formando una estructura compuesta que favorece la formación de múltiples flores y, posteriormente, frutos. Este tipo de inflorescencia es esencial para el desarrollo del cultivo, ya que la disposición y el número de flores influyen en la cantidad de frutos que se desarrollarán.

Es importante destacar que la formación de inflorescencias racemosas también tiene implicaciones en la distribución de los recursos de la planta. La competencia entre las flores y otros órganos de la planta, como las hojas y el tallo, puede afectar la cantidad de nutrientes y energía disponibles para cada flor y, por ende, el éxito de la fructificación. En este sentido, un manejo adecuado de los factores que influyen en la floración es clave para asegurar que las inflorescencias se desarrollen de manera óptima y den lugar a frutos de alta calidad. En

conclusión, la floración es un factor determinante en el ciclo de vida del tomate, y entender su comportamiento bajo distintas condiciones de cultivo y manejo es fundamental para maximizar el rendimiento y la calidad de los frutos. El tipo de inflorescencia del tomate, caracterizada por su estructura racemosa, permite una producción eficiente de flores y frutos, siempre que se gestionen adecuadamente los factores que afectan el proceso floral.

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.

#### *6.7. Variables de rendimiento*

En cuanto al número de racimos de flores por planta, los resultados obtenidos en esta investigación muestran que las variedades de tomate evaluadas produjeron un número de racimos florales inferior al registrado por Hernández *et al.* (2021) en su investigación en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. En su estudio, la variedad CENTA Cuscatlán presentó un promedio de 68 flores por planta, seguida de la variedad Magine con 54 flores y la variedad Decía con 44 flores.

Por el contrario, en la investigación, los números obtenidos fueron menores, lo cual puede ser atribuido a las diferencias en las condiciones de cultivo, manejo y ambiente entre ambas investigaciones. Es importante considerar que factores como el tipo de suelo, el clima, la cantidad de riego, la nutrición y el control de plagas pueden influir directamente en la formación de racimos florales y la cantidad de flores producidas.

Las condiciones ambientales, como la temperatura, humedad relativa y la intensidad de la luz, son factores claves que pueden afectar la floración. En la presente investigación, los registros de temperatura y humedad pudieron haber influido en la menor formación de flores, ya que condiciones de estrés ambiental pueden alterar la fisiología de la planta, reduciendo la cantidad de flores y racimos producidos. Hernández *et al.* (2021) realizaron su estudio bajo condiciones controladas, lo que pudo haber favorecido una mayor formación de racimos florales, mientras que las fluctuaciones climáticas en esta investigación pudieron haber generado estrés en las plantas, limitando la formación de flores.

Por lo tanto, aunque los resultados de la investigación actual fueron inferiores en comparación con el estudio de Hernández *et al.* (2021), esto no significa necesariamente que las variedades

evaluadas sean de menor rendimiento, sino que las diferencias pueden explicarse por la variabilidad en las condiciones de cultivo, el ambiente y los factores externos que afectan el crecimiento y la floración de las plantas de tomate.

Los resultados obtenidos en esta investigación respecto al número de frutos por planta fueron menores en comparación con los reportados por Hernández *et al.* (2021). En su estudio sobre la caracterización morfoagronómica de cinco variedades de tomate cultivadas mediante hidroponía en invernadero, las variedades Carucha, Decia, Magine, Dodel, Domi y CENTA Cuscatlán presentaron un mayor número de frutos por planta, con promedios de entre 12 y 22 frutos, siendo estos más altos que los resultados obtenidos en la investigación. Sin embargo, es importante resaltar que las condiciones ambientales, la altitud y el sistema de producción utilizados en ambas investigaciones son diferentes, lo que puede influir en la cantidad de frutos producidos. En la investigación, las condiciones de cultivo en campo abierto, junto con las fluctuaciones climáticas y las variaciones en la temperatura y la humedad, pudieron haber afectado negativamente al cuajado de los frutos. Según Alarcón Vera (2014), el cuajado, que es el proceso de transición del ovario de la flor al fruto, depende de tres factores clave: la existencia de yemas florales maduras, una temperatura y humedad relativa adecuadas para la polinización, y un aporte suficiente de fotoasimilados para el desarrollo del ovario. Cualquier alteración en estas condiciones puede resultar en la caída de flores o frutos no cuajados, lo que explica en parte los bajos rendimientos en cuanto al número de frutos por planta observados en esta investigación.

El proceso de cuajado es crucial para el desarrollo de los frutos, y como menciona Alarcón Vera (2014), durante la fase de expansión celular, si los frutos no están bien nutridos o sufren estrés, su crecimiento se ve afectado, resultando en frutos de menor tamaño o con menor cantidad. Además, el desarrollo del fruto sigue una secuencia de fases: división celular, alargamiento celular y cese de crecimiento, lo que también puede influir en la cantidad de frutos producidos si no se cumplen las condiciones necesarias durante cada fase.

En el estudio de Cortez Alvarado (2023), se observó un mayor número de frutos por planta en las variedades evaluadas, con promedios que iban de 24 a 39 frutos por planta, lo que sugiere un rendimiento superior al de la investigación. Sin embargo, es importante destacar que en dicho estudio se realizaron podas de formación en las plantas de tomate, lo que podría haber influido

en el rendimiento y en el número de frutos, al mejorar la distribución de recursos y energía hacia la producción de frutos.

En resumen, aunque los resultados de la investigación sobre el número de frutos por planta son inferiores a los obtenidos por otros estudios como el de Hernández *et al.* (2021) y Cortez Alvarado (2023), estos pueden explicarse por las diferencias en las condiciones ambientales y los métodos de cultivo utilizados. Factores como el manejo agronómico, el clima, el estrés hídrico y la presencia de plagas o enfermedades, entre otros, pueden afectar el cuajado y el desarrollo del fruto, lo que incide en la cantidad final de frutos producidos. En la investigación, los frutos de tomate producidos fueron clasificados en su mayoría como de tercera categoría, con un peso que varió entre 40 y 79 gramos, según los criterios establecidos para la clasificación de frutos. Esta clasificación se corresponde con lo que establece Cortés Alvarado (2023), quien, en su estudio, también clasificó la mayoría de los frutos en la categoría de tercera calidad debido a sus pesos inferiores a 120 gramos.

En la investigación de Cortés Alvarado (2023) en la Facultad de Ciencias Agronómicas, las variedades evaluadas (Dodel, Decía, Domi, Magine y Carrucha) mostraron pesos de frutos que variaron entre 61 g y 102 g, siendo estas, con excepción de Dodel, clasificadas en tercera categoría debido a que sus pesos eran menores a 120 gramos. Al comparar los resultados obtenidos en ambas investigaciones, se puede observar que el peso promedio de los frutos en la investigación es más bajo en comparación con los valores reportados por Cortés Alvarado (2023), lo que podría estar relacionado con factores como las condiciones climáticas, el manejo agronómico y el sistema de cultivo utilizado. Alarcón Vera (2014) menciona que los elementos móviles en el interior de la planta, como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, son cruciales para el desarrollo de la planta, especialmente para el llenado del fruto. En este sentido, el potasio es fundamental para la formación del fruto y la calidad final del mismo. El manejo adecuado de la relación N/K (nitrógeno/potasio) es vital para regular el desarrollo vegetativo de la planta, la formación de botones florales, la dureza de los tallos y, por supuesto, la calidad del fruto. Un exceso de nitrógeno puede promover un crecimiento vegetativo excesivo, lo que compite con el desarrollo de los frutos, mientras que el potasio facilita el llenado y la calidad final de los frutos.

En este sentido, el manejo adecuado de los nutrientes en las fases críticas del desarrollo del tomate, especialmente el equilibrio entre nitrógeno y potasio, podría haber tenido un impacto significativo en el peso de los frutos obtenidos en la investigación. La falta de un balance adecuado de estos nutrientes, como se observa en los frutos de tercera categoría, podría haber limitado el potencial de los frutos para alcanzar tamaños más grandes y pesos superiores, lo que podría haber incrementado la calidad de los mismos. En resumen, el peso de los frutos de tomate obtenido en la investigación se encuentra dentro de los valores esperados para la categoría de tercera calidad. La relación N/K y el manejo adecuado de los nutrientes son factores clave que deben ser considerados para mejorar el llenado de los frutos y, por ende, el peso final de los mismos, lo que podría contribuir a la producción de frutos de mayor calidad y tamaño en futuras investigaciones.

En la presente investigación, el diámetro de los frutos de tomate varió significativamente entre las diferentes variedades evaluadas, con valores que reflejan el comportamiento típico de los frutos en cuanto a su desarrollo. Los resultados obtenidos muestran una variabilidad en el diámetro de los frutos, similar a los obtenidos por Cortés Alvarado (2023) en su estudio sobre los efectos de la poda en variedades de tomate cultivadas en condiciones hidropónicas.

En la investigación de Cortés Alvarado (2023), se reportó que la variedad Dodel tuvo el mayor diámetro promedio de 54 mm, seguida por Magine con 49 mm, Domi con 48 mm, Carrucha con 47 mm, y Decía con 46 mm. Comparando estos resultados con los obtenidos en la investigación, se observa una tendencia similar en cuanto a la variabilidad del diámetro, aunque con ciertas diferencias que podrían estar influenciadas por factores como el ambiente, el sistema de cultivo, y los métodos de manejo agrícola.

El diámetro del fruto, particularmente el diámetro ecuatorial, es una variable crucial para determinar el tamaño del tomate y tiene un impacto directo en la calidad del fruto, ya que los tomates de mayor tamaño suelen tener una mejor aceptación en el mercado (Alarcón Vera, 2014). El desarrollo del tomate sigue una secuencia de fases: primero, el desarrollo del ovario, luego la división celular, y finalmente, la expansión celular. Cada una de estas fases es clave en el crecimiento del fruto, y factores como la temperatura, la humedad y el manejo adecuado de

los nutrientes pueden influir en la eficiencia de cada fase, especialmente en la expansión celular, que es la fase responsable del tamaño final del fruto.

Es importante destacar que, según Alarcón Vera (2014), la expansión celular es el proceso más crítico para determinar el diámetro final del fruto. Esta fase depende en gran medida de factores ambientales como la disponibilidad de agua y nutrientes, especialmente potasio, que juega un papel esencial en la expansión celular. En este contexto, las condiciones climáticas y el manejo agronómico de la planta podrían haber influido en los resultados obtenidos, haciendo que algunas variedades, como Dodel, alcancen un diámetro mayor en comparación con otras.

Aunque en la investigación las variedades de tomate no alcanzaron los diámetros reportados por Cortés Alvarado (2023) en su estudio, las diferencias pueden explicarse por las condiciones de cultivo, como el uso de sistemas de riego, la disponibilidad de nutrientes, y los métodos de poda utilizados en sus experimentos, los cuales pueden haber favorecido el desarrollo y tamaño de los frutos.

En conclusión, el diámetro del fruto de tomate está directamente relacionado con su crecimiento y expansión celular. Las diferencias observadas en los diámetros de las variedades evaluadas en la investigación pueden ser el resultado de varios factores, incluyendo las condiciones de cultivo y el manejo agronómico, lo que resalta la importancia de un control adecuado de los factores ambientales y de nutrición para obtener tomates de mayor calidad y tamaño.

En la investigación, el número de semillas por fruto de tomate varió entre las diferentes variedades evaluadas, y los resultados obtenidos fueron inferiores a los reportados por Hernández *et al.* (2020) en su investigación sobre la caracterización morfoagronómica de cinco variedades mutantes de tomate cultivadas mediante hidroponía en condiciones de invernadero. En su estudio, Hernández *et al.* (2020) reportaron que la variedad Domi presentó 422 semillas por gramo, Magine 390 semillas, CENTA Cuscatlan 366 semillas, Carrucha 352 semillas, Decía 321 semillas, y Dodel 279 semillas por gramo. Comparando estos resultados con los obtenidos en la investigación, se observa una diferencia notable en el número de semillas, lo que podría estar relacionado con diversas variables agronómicas y ambientales.

La variabilidad en el número de semillas por fruto de tomate puede ser atribuida a diversos factores. Entre los más relevantes se incluyen las condiciones de cultivo, como la temperatura, la humedad, la disponibilidad de nutrientes, y la genética de cada variedad. En el caso de la investigación de Hernández *et al.* (2020), el estudio se realizó bajo condiciones controladas de hidroponía en un invernadero, lo que probablemente permitió un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas y la formación de semillas, lo que podría haber contribuido a un mayor número de semillas por gramo. Por el contrario, en la investigación, las condiciones de campo y los factores climáticos, como variaciones de temperatura, humedad y otros estresores, pueden haber afectado la producción de semillas y, en consecuencia, los resultados obtenidos.

Es importante mencionar que la cantidad de semillas por fruto puede verse influenciada por la eficiencia en la polinización y la fecundación, ya que, si las condiciones no son favorables, como temperaturas demasiado altas o bajas o deficiencias en nutrientes, esto puede disminuir el número de semillas formadas por fruto. Además, la genética de las variedades también juega un papel fundamental en este aspecto. Las variedades con una mayor capacidad para la producción de semillas generalmente tienen una mayor capacidad para adaptarse a condiciones climáticas variables, lo que podría explicar las diferencias entre los resultados obtenidos en la investigación y los reportados por Hernández *et al.* (2020).

En conclusión, la menor cantidad de semillas por fruto observada en la investigación, en comparación con los resultados de Hernández *et al.* (2020), refleja cómo las condiciones de cultivo, el manejo agronómico, y las variaciones climáticas pueden influir en la producción de semillas en tomate. Este fenómeno resalta la importancia de optimizar las condiciones ambientales y de manejo para maximizar la producción de semillas, lo que es crucial para mejorar la calidad y el rendimiento del cultivo de tomate.

#### *7.8. Variables organolépticas*

La medición de los sólidos solubles en los frutos de tomate, expresados en grados Brix, es un parámetro clave en la calidad de estos frutos, ya que está directamente relacionado con la cantidad de materia prima disponible para la industria, especialmente para la producción de jugos y conservas (Alemán y Pedroza, 1991). Según el CODEX (2007), los tomates redondos tienen entre un 3% y 5% de sólidos solubles, dependiendo de la madurez al momento de la cosecha y del cultivar. Este rango es consistente con los resultados obtenidos en la investigación,

que reportaron valores de sólidos solubles en los frutos de tomate evaluados dentro de este límite.

Los resultados obtenidos en la investigación son consistentes con los reportados por Hernández *et al.* (2020), quienes también encontraron sólidos solubles por debajo del 5% en el 5° estadio de madurez. Las variedades Decia y Dodel presentaron valores cercanos a 4° Brix, mientras que Magine fue la que mostró un contenido más bajo, con 2% de Brix, lo que refleja una menor cantidad de azúcar presente en sus frutos. A pesar de este comportamiento en la variedad Magine, los valores obtenidos en todas las variedades, salvo esta última, se encuentran dentro del rango estipulado por el CODEX (2007), lo que indica que estas variedades son adecuadas para la producción de jugo o ensalada, dado su bajo contenido de sólidos solubles.

Este comportamiento en los sólidos solubles puede explicarse por los procesos fisiológicos que ocurren durante el desarrollo del fruto. Según Reina (1998), los ácidos orgánicos son responsables de la acidez del tomate hasta el momento de cosecha, y su contenido tiende a disminuir durante la maduración debido a la respiración del fruto. Además, el contenido de azúcar, uno de los principales componentes de los sólidos solubles, está influenciado por factores genéticos y ambientales, como la radiación solar, la temperatura, la disponibilidad de agua, y los nutrientes del suelo, entre otros (Hartl, 2011; Dorais, 2011).

Es importante destacar que algunas variedades de tomate están genéticamente predispuestas a alcanzar un alto contenido de sólidos solubles, pero la manifestación de este potencial depende significativamente de las condiciones ambientales antes y después de la cosecha. Factores como el manejo agrícola, la cantidad de riego, las prácticas de fertilización y la exposición a condiciones climáticas favorables o adversas juegan un papel crucial en el desarrollo del contenido de azúcar en los frutos (Beckles, 2011).

En resumen, los resultados obtenidos en esta investigación reflejan un comportamiento esperado de los sólidos solubles en tomate, con la mayoría de las variedades en el rango recomendado por el CODEX (2007). Sin embargo, la variedad Magine, con un bajo valor de Brix, podría requerir atención en cuanto a su manejo agrícola y condiciones de cultivo para mejorar sus

características de calidad, especialmente si se desea utilizarla para la industria de jugos o productos procesados.

La firmeza de los frutos de tomate es un parámetro clave en la evaluación de su calidad, tanto para el consumo fresco como para la industria de procesamiento. Este atributo está estrechamente relacionado con la estructura de la pared celular, el estado de madurez del fruto, y factores ambientales que influyen en el crecimiento y desarrollo del tomate. Según Domene y Segura (2014), la firmeza está determinada por la turgencia, cohesión y forma de las células que componen la pared celular, así como la presencia de tejidos de soporte y la composición del fruto en hemicelulosa y pectina. Esta relación es fundamental para determinar la aceptabilidad del fruto, ya que una mayor firmeza generalmente se asocia con un fruto de mejor calidad, que es menos susceptible a daños y deterioro durante el manejo y almacenamiento.

Nuez (1999) señala que el desarrollo de la firmeza del fruto, al igual que otros parámetros como el tamaño y el contenido de sólidos solubles, depende de los fotoasimilados que las hojas de la planta proporcionan al fruto. La velocidad de desarrollo del tomate está influenciada directamente por la temperatura, ya que esta afecta tanto la tasa de respiración del fruto como la síntesis de almidón. Las altas temperaturas pueden acelerar la maduración, pero también pueden afectar la consistencia y la firmeza del fruto debido a la aceleración de procesos metabólicos. Por otro lado, temperaturas más bajas pueden ralentizar estos procesos y dar lugar a frutos menos firmes debido a una menor síntesis de los compuestos que contribuyen a la estructura de la pared celular.

El estudio de Walker y Ho (1977) sobre la exportación de fotoasimilados por las hojas también tiene implicaciones en la firmeza de los frutos, ya que este proceso de exportación de carbohidratos es esencial para el desarrollo de la pared celular y la turgencia del fruto. Durante las primeras horas y días después de la fotosíntesis, una gran parte del carbono fijado por las hojas se transloca al fruto, donde contribuye a su crecimiento y consistencia. Sin embargo, la eficiencia en la exportación de estos asimilados puede verse alterada por condiciones de temperatura, lo que afectaría directamente la firmeza final del fruto. Además, la respuesta de los distintos órganos de la planta a las variaciones de temperatura es diferente. Según Khan y Sagar (1969), a temperaturas diurnas y nocturnas altas ( $30^{\circ}\text{C}/24^{\circ}\text{C}$ ), los asimilados tienden a moverse

hacia los racimos en fructificación a expensas de las raíces, lo que favorece el desarrollo de los frutos, pero puede afectar la calidad y firmeza si el proceso de maduración se acelera excesivamente. En contraste, a temperaturas más bajas (17°C/12°C), la translocación de asimilados se dirige más hacia las raíces que hacia los frutos, lo que puede llevar a un menor desarrollo de los frutos y, en consecuencia, una firmeza reducida debido a un proceso de maduración más lento y menos eficiente. En conclusión, la firmeza de los frutos de tomate está influenciada por una combinación de factores genéticos, fisiológicos y ambientales. Las condiciones de temperatura, la eficiencia en la exportación de fotoasimilados y el estado de madurez de los frutos son determinantes clave en este atributo. Para optimizar la firmeza en los tomates, es crucial gestionar las condiciones de cultivo, como la temperatura, la nutrición y el manejo de la planta, especialmente durante las fases críticas de fructificación y maduración.

## **7. 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.

Respecto a la producción de semillas, la variedad Dodel también sobresalió, obteniendo 2.9 gramos (equivalentes a 1,128 semillas). Le siguió Magine con 1.3 gramos (318 semillas), Carrucha con 0.5 gramos (305 semillas), y la variedad Decia con la menor cantidad, 0.2 gramos (125 semillas).

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.

La implementación de la técnica de fertirriego ha mostrado ser eficaz para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y nutricionales, adaptándose a las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

En cultivos de campo abierto, se ha observado que la fase vegetativa es particularmente susceptible a enfermedades virales, por lo que es recomendable establecer barreras físicas hasta el inicio de la floración para proteger las plantas.

Finalmente, el uso del producto Raizal 400® a una dosis de 1 gramo por litro de agua demostró ser beneficioso, promoviendo un mayor crecimiento y desarrollo en los plantines de tomate.

## **8. 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.

## **9. Bibliografía**

Alarcón Vera, A. 2014. Fertirrigación práctica. Ciudad de Guatemala, Guatemala. DISAGRO. p 178-186.

Aldana Gutiérrez, MJ; Velásquez Mejía, WE. 2015. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de tomate de cocina con buenas prácticas agrícolas bajo sistemas de macrotúneles en el Valle de Zapotitán, Ciudad Arce, Departamento de La Libertad. Tesis de MS.c. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador. 126 p.

Alemán M, G; Pedroza H, P. 1991. Manejo Integrado de Plagas. Artículo N° 50. San José, CR. 100 p.

- Amoros Castañer, M. 2000. Riego por goteo en cítricos: Manual práctico. 2 Ed. Barcelona, España, Mundi -prensa. p 61-70.
- Annicchiarico, P. 2002. Genotype x environment interaction Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 115 p.
- Baena, D; Escobar, JA. y Muñoz, JE. 1991. Metodologías para determinar la estabilidad y adaptabilidad. Mimeografiado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira. 24 p.
- Bauixauli Soria, C; Aguilar Olivert, JM. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias. Valencia, España. Generalitat valenciana, ISBN 84-482-3145-7, 110 p.
- Becker, HC. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30:835-840.
- Beckles, DM. 2011. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit (en línea). Consultado el 13 de dic. del 2024. Disponible en:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521411001335?via%3Dihb>
- Borém, A.;Vieira. G. 2005. Melhoramiento de plantas. 4a. ed. Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Brasil. 525 p.
- Catellanos, JZ; Uvalle Bueno, JX; Aguilar Santelises, A. 2000. Manual de Interpretación de análisis de suelos y aguas. 2 ed. México, INTAGRI. 220 p.
- Ceballo Aguirre, N. 2012. Evaluación agronómica, molecular e interacción genotipo ambiente de introducciones de tomate tipo cereza. Tesis de PhD en ciencias agrarias. Manizales, Colombia. Universidad de Caldas. p 39-42.

- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2018. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). (en línea). Consultado: 11 de ene. 2022. Disponible en: [http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa\\_Tomate%202019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf)
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2017. CENTA CUSCATLAN-CC variedad de tomate de polinización libre con tolerancia al complejo de begomovirus. (en línea). Consultado: 11 de ene. 2023. Disponible en: [https://issuu.com/centronacionaltecnologiaagropecuari/docs/bolet\\_\\_n\\_t\\_\\_cnico\\_tomate\\_centa\\_cusc/1](https://issuu.com/centronacionaltecnologiaagropecuari/docs/bolet__n_t__cnico_tomate_centa_cusc/1)
- Campos, S. 2016. Guía para la producción de tomate en agricultura familiar. San José, Costa Rica. p. 7, 9, 14.
- Chaverría, CJ; Martínez Gamiño, MA; Alpuche Solís, AG; Garza Urbina, E. 2011. Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas y de invernadero en San Luis Potosí. México DF, México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. 57 p.
- Chaves-Barrantes, NF; Gutiérrez-Soto, MV. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. 1. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos Agronomía Mesoamericana. p 237-253.
- Codex Alimentarius. 2007. Norma del Codex para tomate. 293. Especificaciones. Roma, Italia, FAO.
- Cortez Alvarado, SA. 2023. Efecto de dos tipos de podas de formación en el rendimiento y calidad de los frutos en cinco variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en hidroponía bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador, ÚES. 123 p.
- Damba, G. 2008. Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 94 p.

- Domene Ruiz, MA; Segura Rodríguez, M. 2014. Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria (en línea). Consultado el 13 de dic. del 2024. Disponible en: <https://www.cajamar.es/storage/documents/003-calidad-externa-1401191044-eece.pdf>
- El Ahmadi, AB; Stevens, MA 1979. Reproduction responses of heat-tolerant tomatoes to high temperatures. *The Journal of the American Society for Horticultural Science*, p104, 686-691.
- Escobar, H; Cooman, A; Fuentes, L. 2015. Manual de Producción de Tomate Bajo Invernadero. Segunda edición. Colombia. 40 p.
- Fernández. R. 2017. Tres Momentos de Poda y en dos épocas de Trasplante en Tomate (*Solanum lycopersicum* L) Híbrido Matusalén, Bajo las Condiciones de Camana. Ing. Agr. Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. Perú. p 3.
- Flores, I. 1986. Cultivos de Hortalizas. Monterrey, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Departamento de Agronomía. 170 p.
- Foyer, CH; Noctor, G. 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: A metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant Cell*, 17, p 1866-1875.
- FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, El Salvador). 2009. Cultivo de tomate: guía técnica (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 4 de jul. del 2024. Disponible en: [https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2020/02/guia\\_tomate\\_organico.pdf](https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2020/02/guia_tomate_organico.pdf)
- Guy Sela. 2021. Fertilización y riego: Teoría y mejores prácticas, Rehovot, Israel. 289 p.
- Heinrich, GM.; Francis, CA; Eastin JD. 1983. Stability of grain sorghum yield components across diverse environments. *CROP SCI*. 23: 209-212.

Hernández León, CE; Rodríguez Salguero, PO; Rodríguez Sabrián, FM. 2020. Caracterización Morfoagronómica de cinco variedades mutantes de Tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) cultivadas mediante la técnica de hidroponía bajo condiciones de Invernadero. Tesis de Ing. Agr. San Salvador, El Salvador. 90 p.

Hirzel C, J. 2009. Principios básicos de fertirrigación (en línea) Consultado 26 de nov. del 2024. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/items/e6ee8792-2475-4e28-ac75-dd3598dbdbb9>

IFAPA (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, España). 2012. Parámetros de Calidad en Tomate Fresco (en línea), Córdoba, España. Consultado 12 de feb. de 2023. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/5804cf66-79fc-499a-811b-d7f03e00cd17/download>

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.

Jaramillo. J. 2007. Manual de tomate. Colombia. 45 p.

Khan, AA; Sagar, GR. 1969. Traslocation in tomato: the distribution of the products of photosynthesis in tomato plant with respect to time and to age of leaf- Ann.Bot, 33:763-779.

Larín. M; Díaz, L; Serrano, R. 2018. Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* L). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”. El Salvador. 67p.

Linares Cosme, WA; Shohara, K; Yamada, M; Hasegawa, S. 2014. Fertirriego y fertilización focalizada en el desarrollo y rendimiento de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) (en línea), Santa Ana, El Salvador, consultado el 27 de jul. de 2023. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/320302674\\_Fertirriego\\_y\\_fertilizacion\\_focaliza](https://www.researchgate.net/publication/320302674_Fertirriego_y_fertilizacion_focaliza)

da\_en\_el\_desarrollo\_y\_rendimiento\_de\_la\_planta\_de\_tomate\_Lycopersicon\_esculentum/ink/59dccb5aaca272098be1b060/download

López, M. 2016. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L). San José Costa Rica. p 17.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2023. Anuario de estadísticas agropecuarias, Santa Tecla, El Salvador. 89 p.

Martínez, PF. 2001. Cultivo del tomate en invernadero frío. Curso de formación de formadores en horticultura protegida y semiprotegida. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia: Agencia Española de Cooperación Internacional. 15 p.

Mendoza BR; Espinoza, A. 2017. Guía técnica para muestreos de suelos (en línea) Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services, Managua, Nicaragua. Consultado 11 Agosto del 2023. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>

Monardes, H. 2009. Manual de Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). (en línea). Chile. Consultado 10 dic 2022. Disponible en [http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/manuales\\_innova/Manual\\_cultivo\\_tomate.pdf](http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/manuales_innova/Manual_cultivo_tomate.pdf)

Nuez F. 1999. El cultivo del tomate. Madrid, España, Editorial Mundi-prensa. p 59-66.

Oddone, N; Joaquín Salido, M; Jesús Santamaría, G; María Magdalena R.2016. Fortalecimiento de la cadena de valor de tomate y chile verde dulce en El Salvador (en línea), El Salvador, Consultado el 15 de ene, 2022, disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39868-fortalecimiento-la-cadena-valor-tomate-chile-verde-dulce-salvador>.

Olmo, A. 2012. Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero basados en doseles escaleriformes. Universidad Autónoma Chapingo. México. 115 p.

Redacción negocios. 2022. Tierra Fértil, el programa de Walmart que beneficia a productores locales. El Salvador.com (en línea). Consultado el 27 de nov. del 2022. Disponible en: <https://www.elsalvador.com/destacados/walmart-el-salvador-tierra-fertil-agricultores-proveedores-sonsonate/925394/2022/>

Romagosa, I.; Fox, P. 1993. Genotype x environment interaction and adaptation. in N. O. B. M. Dayward, I. Romagosa, editor. Plant Breeding: Principles and Prospects. Chapman an Hall, London. p 373-390.

Rylski, I. 1979. Effect of temperatures and growth regulators on fruit malformation in tomato. Science Horticultural Amsterdam, 10, p 27–35.

Sánchez, J. 1999. Fertirrigación del cultivo de espárrago en Perú. En: Resúmenes del Seminario Internacional: Fertirrigación de cultivos y frutales. Universidad de Concepción. Chile. Capítulo 4. 26 p.

Santiago, J; Mendoza, M.; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernaderos: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía Mesoamericana. 9(1):59-65.

Seballo, P. 1991. Formación y evaluación de variedades e híbridos de tomate (en línea), Consultado el 10 de ene. de 2023. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/A50-1351-v4-p1.pdf>

Solorzano Alfaro, DI. 2023. “Estudio de potencial industrial de cinco variedades de tomate (*Lycopersicum sculentum* Miller) cultivadas en condiciones de hidroponía e invernadero con aplicación de tres dosis de fertilizante foliar quelatado.” Tesis Ing. Agroindustrial. San Salvador, El Salvador, UES. 73 p.

- Stevens, MA; Rudich, J. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality in the tomato. *Hortscience*, 13(6), p 673-678
- Vallejo Cabrera, FA. 1999. Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia, Cali, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Palmira 216 p.
- Valverde Conejo, JC; Villalobos Araya, M. 2016. Principios de riego y drenaje en suelos tropicales. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). 214 p.
- Wahid, A; Gelani, S; Ashraf, M; Foolad, MR. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61, p 199-223.
- Walker, AJ; Ho, LC. 1977. Carbon translocation in tomato carbon import and fruit growth. *Ann. Bot.* 41:813-823
- Wise, RR; Olson, AJ; Schrader, SM; Sharkey, TD. 2004. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown pima cotton plants a thigh temperature. *Plant, Cell and Environment*, 27, p 717-724.
- Yan, W., and M. Kang. 2003. GGE biplot analysis, a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists, London, New York. 271 p.
- Zeidan, O. 2005. Tomato production under protected conditions. Israel: Mashav, Cinadco, Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service. 99 p.

## 10. Anexos

Cuadro A-1. Compatibilidad de las mezclas de fertilizantes para fertirriego.

Compatibilidad química de los fertilizantes																
Nitrato de Potasio																
C	Nitrato de Amonio															
C	C	Nitrato de Calcio														
C	C	C	Urea													
C	C	I	C	Sulfato de Amonio												
C	C	I	C	C	Fosfato Diamónico											
C	C	I	C	C	C	Fosfato Mono amónico										
C	C	I	C	C	C	C	Ácido Fosfórico									
C	C	I	C	C	C	C	C	Urea-Fosfato								
C	C	I	C	C	C	C	C	C	Sulfato Potasio							
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Cloruro Potasio						
C	C	I	C	C	I <sup>1</sup>	C	C	C	C	C	Sulfato Magnesio					
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Ácido Bórico				
C	C	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Fosfato mono potásico				
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Molibdato de Sodio			
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	EDTA		
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	EDDHA

Fuente: elaborado con base en Baixauli y Aguilar (2002).

### Simbología del cuadro:

I: incompatible

C: compatible

C: compatible en una solución, pero incompatible en producción de nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) solubles.

I<sup>1</sup>: incompatible por su alto pH: si se agrega ácido nítrico o fosfórico es compatible.

De acuerdo al cuadro las siguientes mezclas no se deben realizar:

Fertilizantes fosforados con fertilizantes cálcicos.

Fertilizantes fosforados con fertilizantes magnésicos.

Fertilizantes cálcicos con algún sulfato.



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL

CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"

LA BORATORIO DE SUELOS

TEL. 2397-2248

Correo electronico: [labsuelos@centa.gob.sv](mailto:labsuelos@centa.gob.sv)

AÑO 2023

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Cantón	Municipio	Departamento	Identi.	Profundidad cm	Utilizará riego si o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
C20592	M20978	MARCELINO ARTURO ZEPEDA CAMPOS	ESTACION EXPERIMENTAL UES	TECOLUYA	SAN LUIS TALPA	LA PAZ	LOTE LA BOMBA	20		TOMATE	MARCELINO ZEPEDA

ANÁLISIS DE MUESTRAS PAGADAS																																							
N° Muestra	Textura al tacto	pH en agua 1:2.5		Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )		Potasio (mg kg <sup>-1</sup> )		Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )		Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )		Na (cmol kg <sup>-1</sup> )		X Int. (cmol kg <sup>-1</sup> )	Suma Bases (cmol kg <sup>-1</sup> )		Acidez Int. (H+Al) (cmol kg <sup>-1</sup> )		CICE		% Sat. Bases	% Materia orgánica	Ca/Mg		Mg/k		Ca+Mg/k		Ca/k		Cu (mg kg <sup>-1</sup> )		Fe (mg kg <sup>-1</sup> )		Mn (mg kg <sup>-1</sup> )		Zn (mg kg <sup>-1</sup> )		
M20978	FRANCO ARENOSO	6.38	LA	84.0	MA	162	A	6.50	A	1.45	B	0.74	NS	0.42	9.10	M	0.00	B	9.10	M	100.0	1.90	B	4.5	M	3.5	M	19.1	M	15.6	M	0.74	B	11.33	A	31.17	MA	4.42	A

Detalle: (mg kg<sup>-1</sup>) = ppm

(cmol kg<sup>-1</sup>) = meq/100 g de suelo

Figura A- 1. Resultado del análisis de laboratorio del suelo del lote La Bomba.



**LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA**

labquimica@centa.gob.sv / grecia.henriquez@centa.gob.sv

San Andrés, 18 de septiembre de 2023.

**DATOS GENERALES**

Solicitante: **ING. MARCELINO ARTURO ZEPEDA CAMPOS**  
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR – Facultad de Ciencias Agronómicas**  
Muestra: **Agua de pozo**

Muestra N°	682P
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	<b>Agua de pozo #2</b>
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	06/09/2023
FECHA DE RECIBIDA	06/09/2023
PROCEDENCIA	Estación Experimental FF. CC.AA. UES San Luis Talpa, Lote La Bomba
LUGAR DE CAPTACION	Pozo #2
PROPIETARIO	Marcelino A. Zepeda
pH	6.59 @ 21.5°C
CONDUCTIVIDAD $\mu\text{mhos/cm}$	318 $\mu\text{S/cm}$ @ 22.7°C
CARBONATOS mg/L	0.00
BICARBONATOS mg/L	135.00
CLORUROS mg/L	27.69
SULFATOS mg/L	31.88
CALCIO mg/L	26.82
MAGNESIO mg/L	6.40
DUREZA TOTAL como $\text{CaCO}_3$ mg/L	93.31
SODIO mg/L	27.75
POTASIO mg/L	10.85
BORO mg/L	----
HIERRO mg/L	<1
COBRE mg/L	<1
MANGANESO mg/L	<1
ZINC mg/L	ND

ND: no detectable

Químico Analista: Lic. Elizabeth Rosales de Ramón

Inga. Grecia Henríquez de Chávez  
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola



Figura A- 2. Resultado del análisis de agua del pozo #2.

**LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA**

labquimica@centa.gob.sv / grecia.henriquez@centa.gob.sv

San Andrés, 18 de septiembre de 2023.

**DATOS GENERALES**

Solicitante: **ING. MARCELINO ARTURO ZEPEDA CAMPOS**  
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR – Facultad de Ciencias Agronómicas**  
Muestra: **Agua de pozo**

Muestra N°	681P
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	<b>Agua de pozo #1</b>
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	06/09/2023
FECHA DE RECIBIDA	06/09/2023
PROCEDENCIA	Estación Experimental FF. CC.AA. UES San Luis Talpa, Lote La Bomba
LUGAR DE CAPTACION	Pozo #1
PROPIETARIO	Marcelino A. Zepeda
pH	6.56 @ 21.5°C
CONDUCTIVIDAD $\mu\text{mhos/cm}$	281 $\mu\text{S/cm}$ @ 22.6°C
CARBONATOS mg/L	0.00
BICARBONATOS mg/L	132.5
CLORUROS mg/L	27.69
SULFATOS mg/L	5.77
CALCIO mg/L	19.65
MAGNESIO mg/L	5.58
DUREZA TOTAL como $\text{CaCO}_3$ mg/L	73.27
SODIO mg/L	28.33
POTASIO mg/L	11.28
BORO mg/L	----
HIERRO mg/L	<1
COBRE mg/L	ND
MANGANESO mg/L	<1
ZINC mg/L	ND

ND: no detectable

Químico Analista: Lic. Amanda de Arévalo

Ings. Grecia Henríquez de Chávez  
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola



Figura A- 3. Resultado del análisis de agua del pozo #1.



Figura A- 5. Mezclado de las submuestras



Figura A- 4 Recolección de submuestra de suelo



Figura A- 7. Entrega de muestras de suelo al laboratorio para su análisis.



Figura A- 6. Limpieza de tubería y del área



Figura A- 8. Ambientado o lavado del recipiente con la misma agua



Figura A- 9. LLenado de ficha y entrega de muestra de agua al laboratorio.

*El análisis de suelo.*

Con base en la forma de que el CENTA determina la disponibilidad de nutrientes en el suelo se presenta la siguiente fórmula:

Necesidad del elemento para llevar al suelo al Nivel Crítico

$$AS1 = (AL - NC) * Dap * Pr * FC$$

AS1: Aplicación requerida del fósforo al suelo para llevarlo al nivel crítico

AL: Análisis de Laboratorio o cantidad disponible del elemento

NC: Nivel crítico del elemento

Dap: Densidad aparente del suelo

Pr: Profundidad efectiva de absorción radicular

FC: Factor de conversión del elemento a forma básica que presenta el fertilizante

AS2= Cantidad del elemento deficiente más requerimiento del cultivo

$$RF = RNC - ó + AS1$$

AS2: requerimiento de nutriente del cultivo más suelo (Nutriente requerido como fertilizante)

RNC: Requerimiento de nutriente del cultivo

AS1 : Aplicación del nutriente para llevarlo al nivel crítico

Paso 2:

$$APS = (84\text{ppm} - 13\text{ppm}) * 1.20 \text{ g/cm}^3 * 0.20 \text{ m} * 22.90 \text{ (factor)} = 390.216 \text{ Kg P}_2\text{O}_5/\text{Ha}$$

Requerimientos

Cuadro A- 2. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate.

Nutrientes	Lb/mz	Kg/Ha	Kg/Ha (oxido)
N	230	149.35	-----
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	115	----	74.67
K <sub>2</sub> O	230	-----	149.35
S	52.8	34.28	102.87
Ca	231	150	210
Mg	123.2	80	132.8
Zinc	4.62	3	-----
B	4.62	3	----

$$RC: 74.67 \text{ Kg P}_2\text{O}_5/\text{Ha} - 390.216 \text{ Kg P}_2\text{O}_5/\text{Ha} = - 315.55 \text{ Kg P}_2\text{O}_5/\text{Ha}$$

Potasio

$$APS = (162 \text{ ppm} - 60\text{ppm}) * 1.20 \text{ g/cm}^3 * 0.20 \text{ m} * 12.05 \text{ (factor)} = \\ 294.98 \text{ Kg K}_2\text{O}/\text{Ha}$$

$$RC: 149.35 \text{ Kg K}_2\text{O}/\text{Ha} - 294.98 \text{ Kg K}_2\text{O}/\text{Ha} = - 145.63 \text{ Kg K}_2\text{O}/\text{Ha}$$

Calcio

$$\text{Ca: } 6.50 \text{ Cmol/Kg-1} = 6.50 \text{ meq/Kg-1} * 200 = 1,300 \text{ ppm} \\ A\text{CaS} = (1,300 \text{ ppm} - 2.2 \text{ ppm}) * 1.20 \text{ g/cm}^3 * 0.20 \text{ m} * 14 \text{ (factor)} = \\ 4,360.61 \text{ Kg CaO}/\text{Ha}$$

$$\text{Ca} = 231 \text{ lb/mz} / 1.54 = 150 \text{ Kg de Ca}/\text{Ha} * 14 = 2100 \text{ Kg de CaO}/\text{Ha}$$

$$RC: 2100 \text{ Kg CaO}/\text{Ha} - 4,360.61 \text{ Kg K}_2\text{O}/\text{Ha} = - 2,260.61 \text{ Kg CaO}/\text{Ha}$$

## Magnesio

$$1.45 \text{ meq/Kg} \times 122 = 176.9 \text{ ppm}$$

$$\text{AMgS} = (176.9 \text{ ppm} - 2 \text{ ppm}) \times 1.20 \text{ g/cm}^3 \times 0.20 \text{ m} \times 16.6 \text{ (factor)} = 696.80 \text{ Kg MgO/Ha}$$

$$\text{RC: } 132.8 \text{ Kg MgO/Ha} - 696.80 \text{ Kg MgO/Ha} = -564 \text{ Kg MgO/Ha}$$

## Azufre

### Requerimiento

$$52.8 \text{ lb/mz} / 1.54 = 34.29 \text{ Kg de S/Ha} \times 3 = 102.87 \text{ Kg de SO}_4\text{/Ha}$$

## Zinc

$$\text{AZnS} = (4.42 \text{ ppm} - 6 \text{ ppm}) \times 2 = -3.16 \text{ Kg Zn/Ha}$$

$$\text{Rc} = 3 \text{ Kg/Ha} - (-3.16) = 6.16 \text{ Kg de Zn/Ha}$$

Cuadro A- 3. Resumen de requerimiento y disponibilidad de nutrientes en suelo.

Nutriente	Requerimiento de nutriente por manzana (Kg/Ha) * (CENTA, 2015 y 2018)	Disponibilidad de nutriente en el suelo (kg/ha) según análisis*	Déficit (Kg/Ha)	Exceso (Kg/Ha)
N	149.35	(no realizado)	149.35	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	74.67	390.216	-----	-315.55
K <sub>2</sub> O	149.35	294.98	-----	-145.63
S <sub>0</sub> <sub>4</sub>	102.87	-----	102.87	
CaO	2100	4,360.61	----	-2,260.61
MgO	132.80	696.80	-----	-564

\*Todos los elementos ya están oxidados a excepción del N.

10.2. Cálculos de fertilizantes con relación a requerimiento nutricionales

Cuadro A- 4. Libras por manzana obtenido de los requerimientos del cultivo de tomate.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S <sub>04</sub>	CaO	MgO
230	-486	-225	158	-3,481	-868

Se realizará un ajuste debido a los excesos que se encuentran según el análisis del suelo considerando siempre el requerimiento nutricional del cultivo.

Para el caso del calcio se considera un 2% de CaO, un 5% para el MgO, 20% para K<sub>2</sub>O y un 5% para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Quedando de la siguiente manera los nuevos requerimientos ajustados en libras por manzana.

Cuadro A- 5 Libras por manzanas ajustado

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S <sub>04</sub>	CaO	MgO
230	25	45	158	70	43

Cuadro A- 6. Distribución de nutrientes en libras por manzana en % según fenología\*.

Nutrientes	Inicio (semanas)	(2 Crecimiento (semanas)	(4 Producción (semanas)	(10 Mantenimiento (4 semanas)
N	20%	30%	40%	10%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10%	40%	35%	15%
K <sub>2</sub> O	10%	30%	40%	20%
S <sub>04</sub>	15%	30%	45%	10%
CaO	10%	30%	40%	20%
MgO	15%	30%	45%	10%
Zinc**	-----	-----	-----	-----
B**	-----	-----	-----	-----

Con base a la curva de absorción; \*\*Estos serán cubiertos por el fertilon combi 2

Cuadro A- 7. Distribución de nutrientes en libras por manzana según fenología.

Nutrientes	Inicio (semanas)	(2 Crecimiento (semanas)	(4 Producción (semanas)	(10 Mantenimiento (4 semanas)
N	46.00	69.00	92.00	23.00
P2O5	2.50	10.00	8.75	3.75
K2O	4.50	13.50	18.00	9.00
CaO	7.00	21.00	28.00	14.00
MgO	6.45	13.00	19.35	4.30
S04	24.00	47.00	71.00	16.00

Cuadro A- 8. Listado de Fertilizantes hidrosolubles utilizados.

Fertilizante	Formula química	Nutrientes
Fosfato mono potásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0-51-34
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5%N+26%CaO
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4$	16%MgO+12%S
Muriato de potasio (MOP)	KCl	60%K2O
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	34.4% N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Calcio

Nitrato de calcio (15.5%N+26%CaO)

En 100 libras de Nitrato de calcio-----26 libras de CaO

27 libras de Nitrato de calcio=X-----7.00 libras de CaO

Pero aporta nitrógeno

En 100 libras de Nitrato de calcio-----15.5 libras de N

27 libras de Nitrato de calcio-----X= 4.19 libras de N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Sulfato de Magnesio

Sulfato de Magnesio (16%MgO+12%S)

En 100 libras de sulfato de magnesio-----36 libras de SO4

66.66 libras de sulfato de magnesio=X-----24.00 libras de SO4

Pero aporta Magnesio

En 100 libras de sulfato de magnesio-----16 libras de MgO

66.66 libras de sulfato de magnesio -----X=10.66 libras MgO

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de fosfato mono potásico

Fosfato mono potásico (0-51-34)

En 100 libras de fosfato mono potásico-----51 libras de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

4.90 libras de fosfato mono potásico=X-----2.50 libras de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Pero aporta Potasio

En 100 libras de fosfato mono potásico -----34 libras de K<sub>2</sub>O

4.90 libras de fosfato mono potásico -----X=1.70 libras de K<sub>2</sub>O

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Nitrógeno

Requerimiento: 46 lbN-4.19lbN=41.81 lbN

Nitrato de amonio (34.4%N)

En 100 libras de Nitrato de amonio-----34.4 libras de N

121.54 libras de Nitrato de amonio=X-----41.81 libras de N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de potasio

Requerimiento: 4.5 lb K<sub>2</sub>O-1.70 lb K<sub>2</sub>O = 2.80 lb K<sub>2</sub>O

Muriato de potasio (MOP) (60% K<sub>2</sub>O)

En 100 libras de MOP-----60 libras de lb K<sub>2</sub>O

4.66 libras de MOP=X-----2.80 libras de K<sub>2</sub>O

Hacer la distribución en semanas y número de aplicaciones por semana para la fase de inicio.

Nitrato de calcio:  $\frac{27}{2 \text{ semanas}} = \frac{13.5}{2 \text{ aplicaciones}} = 6.75 \text{ libras/mz por aplicación}$

Sulfato de magnesio:  $\frac{66.66}{2 \text{ semanas}} = \frac{33.33}{2 \text{ aplicaciones}} = 16.66 \text{ libras/mz por aplicación}$

Fosfato mono potásico:  $\frac{4.90}{2 \text{ semanas}} = \frac{2.45}{2 \text{ aplicaciones}} = 1.23 \text{ libras/mz por aplicación}$

Nitrato de amonio:  $\frac{121.54}{2 \text{ semanas}} = \frac{60.77}{2 \text{ aplicaciones}} = 30.39 \text{ libras/mz por aplicación}$

Muriato de potasio:  $\frac{4.66}{2 \text{ semanas}} = \frac{2.33}{2 \text{ aplicaciones}} = 1.17 \text{ libras/mz por aplicación}$

Cuadro A- 9. Luego se realiza la conversión de acuerdo al área que en esta investigación es de 345 m<sup>2</sup>

Fertilizante	Cantidad por aplicación (lb/345m <sup>2</sup> )	Cantidad por aplicación (Gramos/345m <sup>2</sup> ) ajustados	Cantidad a la semana (Gramos/345m <sup>2</sup> )	Cantidad total a las 2 semanas (Gramos/345m <sup>2</sup> )
Nitrato de calcio	0.33	160	320	640
Sulfato de Magnesio	0.82	375	750	1,500
Fosfato mono potásico	0.06	30	60	120
Nitrato de amonio	1.50	700	1,400	2,800
Muriato de potasio	0.057	30	60	120
Microelementos	0.05	25	50	100
Total	2.82	1,320	2,640	5,280

Calcular la cantidad de gramos de fertilizantes aplicado por cada litro de agua:  $1,320/2,200=0.60$  g/litro

Para la etapa de inicio se habrán gastado 11.63 libras de fertilizante en 345 m<sup>2</sup>

### 10.3. Cálculo de la fase de crecimiento del cultivo de tomate (4 semanas)

Cuadro A- 10. Distribución de nutrientes en libras por manzana según fenología.

Nutrientes	Inicio (2 semanas)	Crecimiento (4 semanas)	Producción (10 semanas)	Mantenimiento (4 semanas)
N	46.00	69.00	92.00	23.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.50	10.00	8.75	3.75
K <sub>2</sub> O	4.50	13.50	18.00	9.00
CaO	7.00	21.00	28.00	14.00
MgO	6.45	13.00	19.35	4.30
S <sub>04</sub>	24.00	47.00	71.00	16.00

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Calcio Nitrato de calcio (15.5% N+26% CaO)

En 100 libras de Nitrato de calcio-----26 libras de CaO  
81 libras de Nitrato de calcio=X-----21.00 libras de CaO

Pero aporta nitrógeno

En 100 libras de Nitrato de calcio-----15.5 libras de N  
81 libras de Nitrato de calcio-----X= 12.55 libras de N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Sulfato de Magnesio

Sulfato de Magnesio (16%MgO+12%S)

En 100 libras de sulfato de magnesio-----36 libras de SO<sub>4</sub>  
131 libras de sulfato de magnesio=X-----47 libras de SO<sub>4</sub>

Pero aporta Magnesio

En 100 libras de sulfato de magnesio-----16 libras de MgO  
131 libras de sulfato de magnesio -----X=20.96 libras MgO

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de fosfato mono potásico

Fosfato mono potásico (0-51-34)

En 100 libras de fosfato mono potásico-----51 libras de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
20 libras de fosfato mono potásico=X-----10 libras de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Pero aporta Potasio

En 100 libras de fosfato mono potásico -----34 libras de K<sub>2</sub>O  
20 libras de fosfato mono potásico -----X=6.80 libras de K<sub>2</sub>O

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Nitrógeno

Requerimiento: 69 lbN-12.55 lbN=56.45 lbN

Nitrato de amonio (34.4%N)

En 100 libras de Nitrato de amonio-----34.4 libras de N  
164 libras de Nitrato de amonio=X-----56.45 libras de N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de potasio

Requerimiento: 13.50 lb K<sub>2</sub>O-6.80 lb K<sub>2</sub>O = 6.70 lb K<sub>2</sub>O

Muriato de potasio (MOP) (60% K<sub>2</sub>O)

En 100 libras de MOP-----60 libras de lb K<sub>2</sub>O

11 libras de MOP=X-----6.70 libras de K<sub>2</sub>O

Hacer la distribución en semanas y número de aplicaciones por semana

Nitrato de calcio:  $\frac{81}{4 \text{ semanas}} = \frac{20.25}{2 \text{ aplicaciones}} = 10.13 \text{ libras/mz por aplicación}$

Sulfato de magnesio:  $\frac{131}{4 \text{ semanas}} = \frac{32.75}{2 \text{ aplicaciones}} = 16.38 \text{ libras/mz por aplicación}$

Fosfato mono potásico:  $\frac{20}{4 \text{ semanas}} = \frac{5}{2 \text{ aplicaciones}} = 2.50 \text{ libras/mz por aplicación}$

Nitrato de amonio:  $\frac{164}{4 \text{ semanas}} = \frac{41}{2 \text{ aplicaciones}} = 20.50 \text{ libras/mz por aplicación}$

Muriato de potasio:  $\frac{11}{4 \text{ semanas}} = \frac{2.75}{2 \text{ aplicaciones}} = 1.38 \text{ libras/mz por aplicación}$

Cuadro A- 11. Luego se realiza la conversión de acuerdo al área que en esta investigación es de 345 m<sup>2</sup>

Fertilizante	Cantidad por aplicación (lb/345m <sup>2</sup> )	Cantidad por aplicación (Gramos/345m <sup>2</sup> ) ajustados	Cantidad a la semana (Gramos/345m <sup>2</sup> )	Cantidad total a las 4 semanas (Gramos/345m <sup>2</sup> )
Nitrato de calcio	0.50	227	454	1,816
Sulfato de Magnesio	0.81	368	736	2,944
Fosfato mono potásico	0.1232	56	112	448

Nitrato de amonio	1.00	454	908	3,632
Muriato de potasio	0.07	32	64	256
Microelementos	0.06	25	50	200
Total	2.56	1,162	2,324	9,296

\*Cantidad para la etapa de crecimiento

Calcular la cantidad de gramos de fertilizantes aplicado por cada litro de agua:  $1,162/2,200=0.53$  g/litro

Para le etapa de crecimiento se habrán gastado 20.48 libras de fertilizante en 345 m<sup>2</sup>

#### 10.4. Cálculo de la fase de producción del cultivo de tomate (10 semanas)

Cuadro A- 12. Distribución de nutrientes en libras por manzana según fenología.

Nutrientes	Inicio (2 semanas)	Crecimiento (4 semanas)	Producción (10 semanas)	Mantenimiento (4 semanas)
N	46.00	69.00	92.00	23.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.50	10.00	8.75	3.75
K <sub>2</sub> O	4.50	13.50	18.00	9.00
CaO	7.00	21.00	28.00	14.00
MgO	6.45	13.00	19.35	4.30
S <sub>04</sub>	24.00	47.00	71.00	16.00

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Calcio

Nitrato de calcio (15.5%N+26%CaO)

En 100 libras de Nitrato de calcio-----26 libras de CaO

108 libras de Nitrato de calcio=X-----28 libras de CaO

Pero aporta nitrógeno

En 100 libras de Nitrato de calcio-----15.5 libras de N

108 libras de Nitrato de calcio-----X= 16.74 libras de N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Sulfato de Magnesio

Sulfato de Magnesio (16%MgO+12%S)

En 100 libras de sulfato de magnesio-----36 libras de SO4

197 libras de sulfato de magnesio=X-----71 libras de SO4

Pero aporta Magnesio

En 100 libras de sulfato de magnesio-----16 libras de MgO

197 libras de sulfato de magnesio -----X=31.52 libras MgO

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de fosfato mono potásico

Fosfato mono potásico (0-51-34)

En 100 libras de fosfato mono potásico-----51 libras de P2O5

17 libras de fosfato mono potásico=X-----8.75 libras de P2O5

Pero aporta Potasio

En 100 libras de fosfato mono potásico -----34 libras de K2O

17 libras de fosfato mono potásico -----X=5.78 libras de K2O

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de Nitrógeno

Requerimiento: 92 lbN-16.74 lbN=75.26 lbN

Nitrato de amonio (34.4%N)

En 100 libras de Nitrato de amonio-----34.4 libras de N

219 libras de Nitrato de amonio=X-----75.26libras de N

Calcular la cantidad de fertilizante libras/manzanas de potasio

Requerimiento: 18 lb K2O-5.78 lb K2O = 12.22 lb K2O

Muriato de potasio (MOP) (60% K2O)

En 100 libras de MOP-----60 libras de lb K<sub>2</sub>O

20.36 libras de MOP=X-----12.22 libras de K2O

Hacer la distribución en semanas y número de aplicaciones por semana

Nitrato de calcio:  $\frac{108}{10 \text{ semanas}} = \frac{10.80}{2 \text{ aplicaciones}} = 5.40 \text{ libras/mz por aplicación}$

$$\text{Sulfato de magnesio: } \frac{197}{10 \text{ semanas}} = \frac{19.70}{2 \text{ aplicaciones}} = 9.85 \text{ libras/mz por aplicación}$$

$$\text{Fosfato mono potásico: } \frac{17}{10 \text{ semanas}} = \frac{1.70}{2 \text{ aplicaciones}} = 0.85 \text{ libras/mz por aplicación}$$

$$\text{Nitrate de amonio: } \frac{219}{10 \text{ semanas}} = \frac{21.9}{2 \text{ aplicaciones}} = 10.95 \text{ libras/mz por aplicación}$$

$$\text{Muriato de potasio: } \frac{20}{10 \text{ semanas}} = \frac{2}{2 \text{ aplicaciones}} = 1 \text{ libra/mz por aplicación}$$

Cuadro A- 13. Conversión de acuerdo al área de la investigación es de 345 m<sup>2</sup>

Fertilizante	Cantidad por aplicación (lb/345m <sup>2</sup> )	Cantidad por aplicación (Gramos/345m <sup>2</sup> ) ajustados	Cantidad a la semana (Gramos/345m <sup>2</sup> )	Cantidad total a las 10 semanas (Gramos/345m <sup>2</sup> )
Nitrato de calcio	0.27	125	250	2,500
Sulfato de Magnesio	0.49	225	450	4,500
Fosfato mono potásico	0.042	20	40	400
Nitrato de amonio	0.54	250	500	5,000
Muriato de potasio	0.05	25	50	500
Microelementos	0.06	25	50	500
Total	1.45	670	1,340	13,400

Calcular la cantidad de gramos de fertilizantes aplicado por cada litro de agua:  $670/2,200=0.3$  g/litro

Para le etapa de producción se habrán gastado 29.52 libras de fertilizante en 345 m<sup>2</sup>

### 10.5. Cálculo del gasto de agua a utilizar en el ciclo del cultivo

#### Información base

Longitud del surco: 30 metros  
 Numero de surcos: 7 camas  
 Distanciamiento de goteros o cinta de riego: 0.20 metros  
 Descarga de cada gotero: 2 litros/hora  
 Tiempo de riego: 1 hora

Una cama tiene 150 goteros \* 7 camas= 1,050 goteros \*2 l/h=2,100 l/h =2.10 m<sup>3</sup> de agua x 2 veces a la semana =4.20 m<sup>3</sup> a la semana x 16 semanas (duración del cultivo) =67.20 m<sup>3</sup> de solución nutritiva en un área de 345 m<sup>2</sup>.

### 10.6. Resultados estadísticos del programa

Cuadro A-14. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro	42	0.52	0.34	10.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21.03	11	1.91	2.96	0.0091
Bloque	13.87	6	2.31	3.57	0.0086
Variedad	7.15	5	1.43	2.21	0.0791
Error	19.40	30	0.65		
Total	40.43	41			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 1.46575

Error: 0.6468 gl: 30

Bloque	Mediasn	E.E.
6	6.53	6 0.33 A
1	7.09	6 0.33 A B
2	7.66	6 0.33 A B
3	7.70	6 0.33 A B
4	7.99	6 0.33 A B
5	8.09	6 0.33 B
7	8.32	6 0.33 B

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

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 1.30756

Error: 0.6468 gl: 30

Variedad	Mediasn	E.E.		
CENTA Cuscatlan	7.02	7	0.30	A
Domi	7.38	7	0.30	A
Decia	7.41	7	0.30	A
Dodel	7.62	7	0.30	A
Magine	8.09	7	0.30	A
Carrucha	8.21	7	0.30	A

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

Cuadro A-15. Análisis de varianza para la variable número de hojas.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
#Hojas	42	0.56	0.40	16.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	315.02	11	28.64	3.45	0.0034
Bloque	174.81	6	29.13	3.51	0.0095
Variedad	140.21	5	28.04	3.38	0.0154
Error	249.09	30	8.30		
Total	564.11	41			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 5.25150

Error: 8.3030 gl: 30

Bloque	Mediasn	E.E.		
6	15.49	6	1.18	A
3	15.98	6	1.18	A B
7	16.69	6	1.18	A B
1	16.99	6	1.18	A B
5	19.26	6	1.18	A B
4	20.27	6	1.18	A B
2	21.05	6	1.18	B

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

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 4.68473

Error: 8.3030 gl: 30

Variedad	Mediasn	E.E.			
Decia	15.57	7	1.09	A	
Carrucha	16.11	7	1.09	A	
CENTA Cuscatlan	17.71	7	1.09	A	B
Domi	18.51	7	1.09	A	B
Magine	18.77	7	1.09	A	B
Dodel	21.10	7	1.09		B

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

Cuadro A-16 Análisis de varianza para la variable número de racimos florales.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
#racimos	42	0.36	0.13	30.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48.0411	4.37	1.56	0.1629	
Bloque	36.85	6	6.14	2.19	0.0717
Variedad	11.18	5	2.24	0.80	0.5599
Error	84.10	30	2.80		
Total	132.1441				

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 3.05151

Error: 2.8035 gl: 30

Bloque	Mediasn	E.E.			
6	3.83	6	0.68	A	
2	4.92	6	0.68	A	B
4	4.96	6	0.68	A	B
5	5.31	6	0.68	A	B
7	5.81	6	0.68	A	B
3	6.24	6	0.68	A	B
1	6.95	6	0.68		B

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

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 2.72218

Error: 2.8035 gl: 30

Variedad	Mediasn	E.E.		
Carrucha	4.68	7	0.63	A
Decia	5.09	7	0.63	A
Domi	5.22	7	0.63	A
CENTA Cuscatlan	5.44	7	0.63	A
Magine	5.94	7	0.63	A
Dodel	6.21	7	0.63	A

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

Cuadro A-17. Análisis de varianza de la variable número de frutos.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
#frutos	42	0.19	0.07	139.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	350.79		5	70.16	1.66	0.1687
Variedades	350.79		5	70.16	1.66	0.1687
Error	1518.86		36	42.19		
Total	1869.64		41			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 10.44561

Error: 42.1905 gl: 36

Variedades	Mediasn	E.E.		
CENTA Cuscatlan	0.29	7	2.46	A
Decia	2.00	7	2.46	A
Domi	4.57	7	2.46	A
Carrucha	5.00	7	2.46	A
Magine	7.14	7	2.46	A
Dodel	8.86	7	2.46	A

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

Cuadro A-18. Análisis de varianza de la variable peso de fruto.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso (g)	18	0.21	0.00	27.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	756.07	5	151.21	0.64	0.6727
Variedad	756.07	5	151.21	0.64	0.6727
Error	2827.09	12	235.59		
Total	3583.16	17			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 49.36110

Error: 235.5910 gl: 12

Variedad	Mediasn	E.E.		
CENTA Cuscatlan	38.90	1	15.35	A
Decia	46.83	2	10.85	A
Domi	50.23	3	8.86	A
Carrucha	55.68	4	7.67	A
Magine	56.22	2	10.85	A
Dodel	61.96	6	6.27	A

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

Cuadro A- 19. Análisis de varianza para la variable diámetro de fruto.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro (mm)	17	0.36	0.06	9.63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	129.07	5	25.81	1.22	0.3624
Variedad	129.07	5	25.81	1.22	0.3624
Error	232.76	11	21.16		
Total	361.83	16			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 16.32821

Error: 21.1600 gl: 11

Variedad	Medias	n	E.E.	
CENTA Cuscatlan	42.00	1	4.60	A
Domi	45.67	3	2.66	A
Carrucha	47.00	4	2.30	A
Magine	47.33	2	3.25	A
Decia	51.00	1	4.60	A
Dodel	51.26	6	1.88	A

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

Cuadro A- 20. Análisis de varianza de la variable número de semillas por fruto de tomate.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Semillas	27	0.18	0.04	41.35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	4062.06	4	1015.51	1.24	0.3233
Variedad	4062.06	4	1015.51	1.24	0.3233
Error	18026.61	22	819.39		
Total	22088.67	26			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 54.19180

Error: 819.3912 gl: 22

<u>Variedad</u>	<u>Mediasn</u>	<u>E.E.</u>
Domi	47.50 4	14.31 A
Decia	57.00 4	14.31 A
Carrucha	67.75 4	14.31 A
Magine	75.00 8	10.12 A
Dodel	82.86 7	10.82 A

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

Cuadro A- 21 Análisis de varianza para la variable número de lóculos por fruto de tomate.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Loculos	27	0.14	0.00	18.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	1.58	4	0.39	0.86	0.5019
Variedad	1.58	4	0.39	0.86	0.5019
Error	10.05	22	0.46		
Total	11.63	26			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 1.27978

Error: 0.4570 gl: 22

<u>Variedad</u>	<u>Medias n</u>	<u>E.E.</u>
Decia	3.25 4	0.34 A
Domi	3.50 4	0.34 A
Dodel	3.71 7	0.26 A
Magine	3.88 8	0.24 A
Carrucha	4.00 4	0.34 A

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

Cuadro A- 22. Análisis de varianza para la variable solidos solubles totales (°brix).

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Brix	27	0.68	0.62	14.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		7.07	4	1.77	11.59 <0.0001
Variedad		7.07	4	1.77	11.59 <0.0001
Error	3.36	22	0.15		
Total	10.43	26			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 0.73958

Error: 0.1526 gl: 22

Variedad	Mediasn	E.E.	
Magine	2.00	8	0.14 A
Dodel	3.00	7	0.15 B
Carrucha	3.00	4	0.20 B
Decia	3.23	4	0.20 B
Domi	3.25	4	0.20 B

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

Cuadro A- 23. Análisis de varianza para la variable firmeza del fruto.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Kg/Fuerza	27	0.82	0.79	11.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		6.40	4	1.60	25.36 <0.0001
Variedad		6.40	4	1.60	25.36 <0.0001
Error	1.39	22	0.06		
Total	7.79	26			

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 0.47541

Error: 0.0631 gl: 22

Variedad	Mediasn	E.E.	
Carrucha	1.50	4	0.13 A
Domi	1.85	4	0.13 A B
Decia	2.00	4	0.13 B
Dodel	2.29	7	0.09 B
Magine	2.89	8	0.09 C

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