



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TENANCINGO**

**Evaluación de tomate *silvestre mexicano* *Lycopersicon esculentum* var.  
*cerasiforme* en condiciones de invernadero**

**TESIS**

Que para obtener el grado de  
**INGENIERO AGRÓNOMO EN FLORICULTURA**

**PRESENTA**

**YESENIA AZUCENA SEGURA VERA**

**DIRECTOR**

**DR. JAIME MEJÍA CARRANZA**

**ASESORES**

**DRA. MARITHZA GUADALUPE RAMÍREZ GERARDO**

**M. en C. RAFAEL ALVARADO NAVARRO**

**SANTA ANA IXTLAHUATZINGO, TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO, 2022**

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
ÍNDICE DE CUADROS .....	7
RESUMEN .....	9
Introducción.....	11
<b>1. Antecedentes .....</b>	<b>12</b>
1.1 Origen y distribución de <i>L. esculentum</i> .....	12
1.2 Clasificación Taxonómica .....	12
1.3. Descripción Botánica .....	14
1.3.1. Planta.....	14
1.3.2. Sistema radical .....	15
1.3.3. Tallo principal.....	16
1.3.4. Hojas.....	16
1.3.5. Flor.....	17
1.3.6. Fruto .....	18
1.3.7. Semilla .....	18
1.3.8 Madurez.....	19
1.4 Requerimientos del cultivo .....	19
1.4.1 Temperatura .....	19
1.4.2 Humedad relativa.....	20
1.4.3 Luminosidad .....	20
1.4.4 Altitud.....	20
1.4.5 Suelo.....	21
1.4.6 Solución nutritiva.....	21
1.4.7 Enfermedades y plagas comunes del cultivo de tomate .....	22
1.5 <i>Lycopersicon esculentum</i> .....	22
1.5.1 Importancia en México del tomate cultivado .....	24
1.5.2 Cultivo de tomate bajo invernadero .....	25

1.6	Diversidad genética de <i>Lycopersicon</i> spp.....	27
1.6.1.	Variabilidad genética de <i>Lycopersicon esculentum</i> .....	31
1.6.2.	Riesgo de conservación de semillas originarias .....	33
1.6.3.	Variedades silvestres en México.....	34
1.6.4.	Mejoramiento genético de <i>L. esculentum</i> .....	36
1.7.	<i>Lycopersicon esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> .....	38
1.7.1.	Morfología de <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> .....	39
1.7.2.	Composición química de <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> .....	40
1.7.3.	Importancia en México de <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> .....	43
<b>2.</b>	<b>Justificación</b> .....	<b>45</b>
<b>3.</b>	<b>Planteamiento del Problema</b> .....	<b>46</b>
<b>4.</b>	<b>Hipótesis</b> .....	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>47</b>
5.1	Objetivo general .....	47
5.2	Objetivos específicos .....	47
<b>6.</b>	<b>Materiales y métodos</b> .....	<b>48</b>
6.1	Fase 1: Colecta y Evaluación <i>in situ</i> .....	48
6.1.1.	Lugar de colecta .....	48
6.1.2.	Muestreo de germoplasma .....	48
6.1.3.	Variables evaluadas.....	48
6.1.4	Análisis estadístico .....	48
6.2	Fase 2: Evaluación <i>Ex situ</i> .....	49
6.2.1	Sitio experimental .....	49
6.2.2	Germoplasma .....	49
6.2.3	Germinación .....	49
6.2.4.	Descripción del experimento.....	49
6.2.5.	Fertilización y manejo del cultivo .....	50
6.2.6.	Manejo fitosanitario.....	50
6.2.7	Variables evaluadas.....	51
6.2.7.1	Variables agronómicas. ....	51
6.2.7.2.	Variables bioquímicas.....	52

6.2.8. Análisis estadístico .....	55
<b>7. Resultados y discusión</b> .....	<b>57</b>
7.1 Fase 1: Evaluación y colecta <i>in situ</i> .....	57
7.1.1 Selección del germoplasma colectado.....	57
7.2. Fase 2: Evaluación <i>ex situ</i> .....	60
7.2.1 Variables Agronómicas .....	60
7.2.2 Variables bioquímicas.....	71
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>77</b>
<b>9. Referencias</b> .....	<b>78</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de planta de tomate (Gualazzi, 1997). .....	13
Figura 2. Diferentes cultivares de <i>L. esculentum</i> Mill: tomate tipo saladette (a); tomate tipo bola (b) y tomate tipo cherry (c). .....	14
Figura 3. Planta de tomate <i>L. esculentum</i> (Peña, 2022). .....	15
Figura 4. Sistema radicular de planta de tomate <i>L. esculentum</i> (Peña, 2022). .....	15
Figura 5. Tallo principal de planta de tomate <i>L. esculentum</i> (Peña, 2022). .....	16
Figura 6. Hojas de planta de tomate <i>L. esculentum</i> (Peña, 2022). .....	17
Figura 7. Flores de planta de tomate <i>L. esculentum</i> (Peña, 2022). .....	17
Figura 8. Fruto de planta de tomate <i>L. esculentum</i> (Peña, 2022). .....	18
Figura 9. Grado de madurez del fruto de tomate <i>L. esculentum</i> . 1, 9A: verde maduro; 2, 9B: Inicio de color; 3,9C: Pintón; 4, 9D: Rosado; 5, 9E: Rojo pálido; y 6, 9F: Rojo (Báez y Contreras, 2013). .....	19
Figura 10. Acuarela de <i>L. esculentum</i> . Codex II de Fuchs (1990). .....	24
Figura 11. Frutos de A) <i>L. esculentum</i> , B) <i>L. pimpinellifolium</i> , C) <i>L. cheesmaniae</i> , D) <i>L. galapagense</i> , E) <i>L. neorickii</i> , F) <i>L. chmielewskii</i> , G) <i>L. Arcanum</i> , H) <i>L. huaylasense</i> , I) <i>L. peruvianum</i> , J) <i>L. corneliomulleri</i> , K) <i>L. chilense</i> , L) <i>L. habrochaites</i> , M) <i>L. pennellii</i> , N) <i>L. ochranthum</i> , O). <i>L. juglandifolium</i> , P). <i>L. lycopersicoides</i> , Q). <i>L. sitiens</i> . Las barras de escala = 1 cm (Peralta et al., 2008). .....	30
Figura 12. Variación en coloración del mexicano <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> . (el autor). .....	30
Figura 13. Tomates de diferente tamaño y color, clasificadas según tres grandes tipologías: cherries, comerciales y de gran tamaño (Coyago, 2017). .....	33
Figura 14. Racimo de frutos de <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> . (el autor) .....	38
Figura 15. <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> . Planta (A). Inflorescencia (B). Hoja (C). Fruto (D) (el autor). .....	40
Figura 16. Comparación de los frutos de tomate de la variedad híbrida (H) y la silvestre <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S). .....	57
Figura 17. Evaluación de altura en plantas de tomates <i>L. esculentum</i> . .....	60
Figura 18. Diámetro del tallo de plantas de tomates <i>L. esculentum</i> . .....	61

Figura 19. Diámetro del tallo de plantas de tomates <i>L. esculentum</i> .....	61
Figura 20. Altura de plantas registrado en centímetros (A), diámetro del tallo de las plantas (B) y diámetro del cuello de las plantas (C) de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de una variedad comercial de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H), evaluada cada 15 días hasta su cosecha. ....	63
Figura 21. Altura final de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de una variedad comercial de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). Barras de error son error estándar. ....	64
Figura 22. Altura final de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas la variedad Large Red Cherry de <i>L. esculentum</i> (H).....	65
Figura 23. Diámetro final del tallo de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> , tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$ ). ....	66
Figura 24. Diámetro final del tallo de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> , tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).....	66
Figura 25. Diámetro final del cuello de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$ . ....	67
Figura 26. Cuello de tallo de plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H) ....	68
Figura 27. Número final de racimos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$ ). ....	68
Figura 28. Número final de racimos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).....	69

Figura 29. Diámetro del fruto de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo *cherry*, variedad *Large Red Cherry* (H)..... 69

Figura 30. Comparación en tamaño de plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo *cherry*, variedad *Large Red Cherry* ..... 71

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorías taxonómicas de tomate silvestre que prosperan en México (CONABIO, 2009). .....	13
Cuadro 2. Soluciones nutritivas más utilizadas para las plantas de tomate. ....	21
Cuadro 3. Número de variedades <i>L. esculentum</i> Mill., con título de obtentor vigentes publicadas en la gaceta oficial de los derechos de los obtentores y registros en el catálogo nacional de variedades vegetales (SADER, 2021). .....	25
Cuadro 4. Sinonimia del tomate en los géneros <i>Solanum</i> y <i>Lycopersicum</i> (Peralta et al., 2008). .....	28
Cuadro 5. Variables agronómicas y bioquímicas de las seis colectas de frutos de tomate silvestre <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> y la variedad híbrida (CH). ....	59
Cuadro 6. Tasa absoluta de crecimiento (TAC; Hunt, 1982.) de las variables altura, diámetro del cuello de la planta y diámetro del tallo de tomates silvestre <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y tomates híbridos comerciales <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad <i>Large Red Cherry</i> (H). .....	61
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de medias (t de student) y varianza del diámetro ecuatorial y polar de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad <i>Large Red Cherry</i> (H). ....	70
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias (t de student) y varianza de peso de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad <i>Large Red Cherry</i> (H). .....	70
Cuadro 9. Comparación de medias (t de student) y varianza de pH en los frutos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad <i>Large Red Cherry</i> (H). .....	71
Cuadro 10. Combinación del contenido de azúcar y la acidez de los frutos tomate para alcanzar un buen sabor. Tomado de Yara (2022). .....	72
Cuadro 11. Comparación de medias (t de student) y varianza del contenido de humedad de los frutos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad <i>Large Red Cherry</i> (H). .....	73

Cuadro 12. Comparación de medias y varianza del contenido de fibra de los frutos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). .....	74
Cuadro 13. Comparación de medias (t de student) y varianza del contenido de proteína de los frutos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). ...	74
Cuadro 14. Comparación de medias (t de student) y varianza para solidos solubles en frutos de las plantas de tomate <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> (S) y plantas híbridas de <i>L. esculentum</i> tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). .....	75

## RESUMEN

La producción de tomate híbrido en México es de más de dos millones de toneladas por año. Sin embargo, los silvestres y nativos han sido sub aprovechados aun cuando éstos poseen características químicas potenciales (licopenos, carotenoides y azúcares) y son de amplia variabilidad genética y con resistencia a factores bióticos y abióticos. El objetivo de esta investigación fue comparar las variedades *L. esculentum* var. *cerasiforme* (silvestre) y *L. esculentum* tipo cherry (híbrido) en atributos de crecimiento y desarrollo de planta, rendimiento y calidad de fruto en condiciones *in situ* y *ex situ*, bajo la hipótesis de que el tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* presenta atributos en planta y fruto igual o superiores a los del híbrido comercial testigo, los cuales pueden ser aprovechados en cultivo bajo invernadero. La investigación se dividió en dos fases; la primera comprendió colecta y evaluación *in situ* del germoplasma de tomates silvestre *L. esculentum* var *cerasiforme* en el municipio de Tejupilco, Estado de México y se comparó con tomate cherry de la marca Cherubs® cultivado en invernadero. En la segunda fase se compararon en condiciones de invernadero en el Centro Universitario Tenancingo, el tomate silvestre (*L. esculentum* var. *cerasiforme*) y el híbrido (*L. esculentum* var. Large Red Cherry de la marca Westar®), desde su establecimiento hasta producción. Se evaluaron seis variables agronómicas de planta y fruto, y cinco bioquímicas del fruto. Los resultados de las variables agronómicas y bioquímicas se interpretaron mediante análisis de varianza, comparación de medias de mínima diferencia significativa (MDS), de Tukey y pruebas de significancia t-student, todas al nivel de confianza del 95 %. En la primera fase Hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en las variables ancho, largo, peso y azúcares (°Brix) del fruto entre las colectas de tomates silvestres y el testigo tomate híbrido Cherry, donde el tipo comercial fue mejor en las tres primeras variables y el silvestre en la última con hasta 25 % más de °Brix. En la segunda fase, hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la tasa absoluta de crecimiento de altura y diámetro del tallo de planta, destacando mayor altura del híbrido en 23 %. Similarmente, en diámetro y peso del fruto, el híbrido fue superior ( $P \leq 0.01$ ) al silvestre, destacando una diferencia de

más del doble. Contrariamente, el silvestre fue superior ( $P \leq 0.05$ ) al híbrido en número de racimos (14/11). En variables bioquímicas, *L. esculentum* variedad *cerasiforme* mostró valores altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) de calidad bioquímica superiores al híbrido en las variables de fibra, proteína y °Brix. Los resultados destacan que el tomate silvestre presenta valores nutricionales superiores al híbrido cultivado, los cuales pueden ser aprovechados en esquemas de mejoramiento genético.

## Introducción

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es considerado uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica a nivel mundial. En México, de acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), hasta el mes de junio del 2019, la producción acumulada de tomate fue de 1 millón 336 mil 221 toneladas, en una superficie cosechada de 22 mil 060 hectáreas (SIAP, 2019).

A nivel mundial nuestro país es el principal proveedor de tomate con una participación del 25.11 % del valor de las exportaciones mundiales (SAGARPA, 2017). A pesar de lo anterior, no se conoce la cantidad recolectada de tomate silvestre, siendo México parte del centro de origen y variabilidad genética. Pocos estudios, como los de Córdova y Molina (2006), Álvarez *et al.*, (2009) y Juárez *et al.*, (2009), se enfocan en documentar los acervos genéticos de los tomates nativos mexicanos.

De acuerdo con Rick (1986), el uso de germoplasma silvestre se inició en Estados Unidos de América desde 1930, aunque, a la fecha la investigación en México no ha alcanzado un impacto significativo de sus materiales nativos en el mercado a pesar de ser centro de domesticación y diversificación. Se ha documentado que *L. esculentum* var. *cerasiforme* es un tomate que destaca por su alto nivel de resistencia a plagas y enfermedades, del cual no se tiene definida la base de su resistencia genética (Chávez *et al.*, 2011).

El estudio de las variedades silvestres, como lo es *L. esculentum* var. *cerasiforme*, es necesario ya que de acuerdo con Carrillos y Chávez *et al.* (2011), incluirlo en los programas de mejoramiento genético mejoraría la productividad y adaptación del tomate silvestre, además de incorporar alta calidad nutricional y resistencia a plagas.

## 1. Antecedentes

### 1.1 Origen y distribución de *L. esculentum*

El tomate comúnmente cultivado *L. esculentum*, representado por distintos cultivares, es originario de la región andina en Sudamérica y prospera desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile. Fue introducido a América Central y México, donde se domesticó (Vergani, 2002; Monardes, 2009).

El tomate, *L. esculentum* var. *cerasiforme*, con características de planta herbácea anual o bianual (Trópicos, 2020) pertenece a la familia Solanácea (Figura 1); y aunque todas las especies de este género tienen áreas de distribución bien definidas, la variedad cerasiforme es la excepción, ya que es el único que en algunas regiones lo observan como arvense, y que se encuentra fuera del área de distribución del género (Nuez, 2001). En México, la variedad ceraciforme es una especie silvestre con subvariedades que se adaptan a una amplia gama de condiciones climáticas y geográficas (Delgado-Vargas et al., 2018), actualmente es cosmopolita, y algunos de sus variantes son cultivadas para consumo fresco e industrializado (Allende y Torres, 2017).

### 1.2 Clasificación Taxonómica

El tomate es miembro del género *Lycopersicon*; que de acuerdo con la CONABIO (2009), la clasificación taxonómica del tomate silvestre que prospera en México se describe en el cuadro 1.

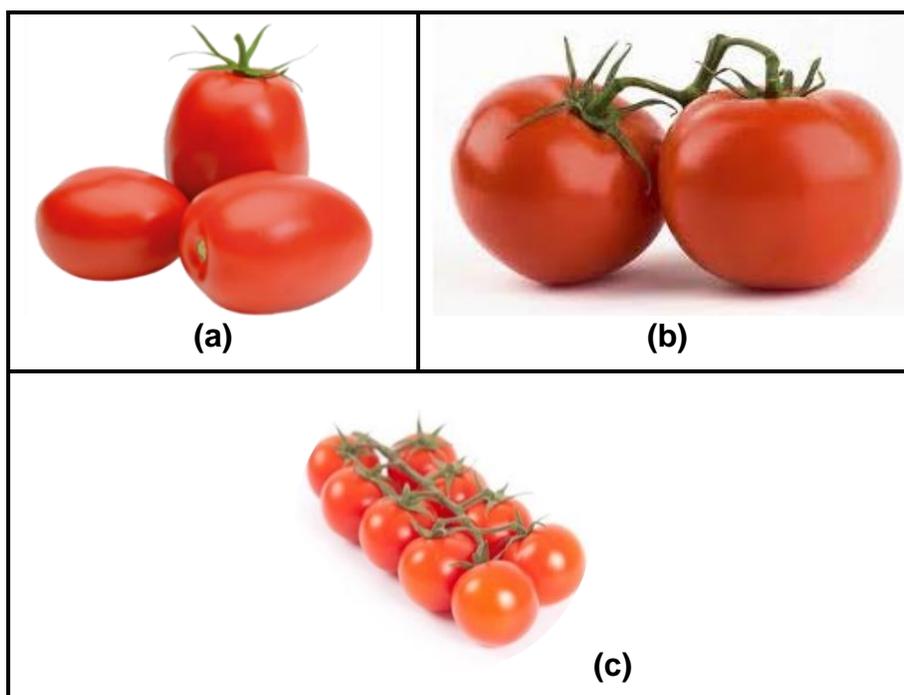


Figura 1. Ilustración de planta de tomate (Gualazzi, 1997).

Cuadro 1. Categorías taxonómicas de tomate silvestre que prosperan en México (CONABIO, 2009).

Categorías	Tomate	
	Cultivado	Silvestre
División	Magnoliophyta	
Clase	Magnoliopsida	
Subclase	Asteridae	
Orden	Solanales	
Familia	<i>Solanaceae</i>	
Epíteto Genérico	<i>Lycopersicon</i>	
Epíteto Especifico	<i>esculentum</i>	
Variedad		<i>cerasiforme</i>

La producción comercial del tomate se fundamenta en híbridos patentados de *L. esculentum*, del tipo saladette (Figura 2a), bola (Figura 2b) y cherry (Figura 2c); lo que es un factor que limita el aprovechamiento del acervo genético autóctono en el país (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2015). México presenta una considerable diversidad de variantes de var. cerasiforme con características sobresalientes como la resistencia a diferentes factores bióticos y abióticos, rendimiento y calidad de fruto.



**Figura 2.** Diferentes cultivares de *L. esculentum* Mill: tomate tipo saladette (a); tomate tipo bola (b) y tomates tipo cherry (c; SADER, 2021).

### 1.3. Descripción Botánica

#### 1.3.1. Planta

El tomate (Figura 3) es una planta herbácea, que puede presentar básicamente dos hábitos de crecimiento: determinado e indeterminado; las plantas indeterminadas son las más comunes y se caracterizan por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y sin límite, los tallos presentan tres hojas (con yemas)

uniformes y una inflorescencia, terminando siempre con un ápice vegetativo. La planta determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta en un crecimiento limitado (Escalona *et al.*, 2009; Escobar y Lee, 2009).



**Figura 3.** Planta de tomate *L. esculentum* (Peña, 2022).

#### 1.3.2. Sistema radical

El sistema radical (Figura 4) alcanza una profundidad de hasta 2 m, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de cultivo, se daña la raíz pivotante y la planta desarrollada resulta en un sistema radical fasciculado, en que dominan raíces adventicias y que se concentran en los primeros 30 cm del perfil del suelo (Escalona *et al.*, 2009).



**Figura 4.** Sistema radicular de planta de tomate *L. esculentum* (Peña, 2022).

### 1.3.3. Tallo principal

El tallo principal de la planta (Figura 5) es ligeramente anguloso, semileñoso, de grosor mediano y con tricomas simples y glandulares (Escalona *et al.*, 2009). Es grueso, pubescente y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical, de donde surgen nuevos primordios florales y foliares (López, 2017).



**Figura 5.** Tallo principal de planta de tomate *L. esculentum* (Peña, 2022).

### 1.3.4. Hojas

Las hojas (Figura 6) son compuestas e imparipinnadas, presenta de siete a nueve folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado opuestos y, por lo general, de color verde, (Escalona *et al.*, 2009); se encuentra recubierta de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo, la posición de las hojas en el tallo puede ser semierecta, horizontal o inclinada (López-Marín, 2017).



**Figura 6.** Hojas de planta de tomate *L. esculentum* (Peña, 2022).

#### 1.3.5. Flor

La flor del tomate es perfecta (Figura 7), con órganos femeninos y masculinos funcionales. En cada inflorescencia o racimo se forman varias flores y una sola planta de crecimiento indeterminado puede producir 20 o más inflorescencias sucesivas durante un ciclo de cultivo (Escobar y Lee, 2009). Los 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 inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas. (Escalona *et al.*, 2009).



**Figura 7.** Flores de planta de tomate *L. esculentum* (Peña, 2022).

### 1.3.6. Fruto

El fruto de la planta de tomate (Figura 8) es una baya bilocular o plurilocular, subesférica globosa o alargada, que está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas y en estado inmaduro es verde, cuando madura, es rojo (Escobar y Lee, 2009). Puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos (Escalona *et al.*, 2009). El fruto del tomate está constituido por el pericarpio (compuesto de la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna), el tejido placentario y las semillas. Los lóculos contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de paredes delgadas de tipo parenquimático que llenan las cavidades locales cuando el fruto está maduro (Nuez, 2001).



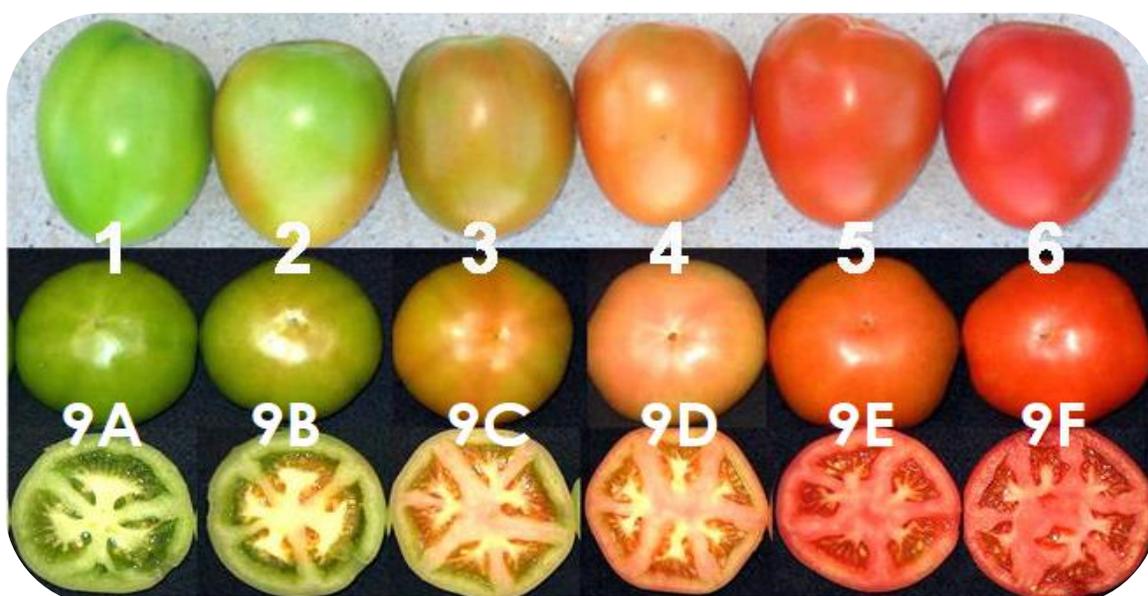
**Figura 8.** Fruto de planta de tomate *L. esculentum* (Peña, 2022).

### 1.3.7. Semilla

En el tomate; la semilla tiene una forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo, la testa y cubierta seminal. El embrión dará lugar a la planta adulta, y está constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. El endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial del embrión. La testa o cubierta seminal está constituida por un tejido duro e impermeable (Nuez, 2001; Escobar y Lee, 2009).

### 1.3.8 Madurez

El índice más usado para la cosecha de frutos es el grado de madurez (Figura 9), pero debe diferenciarse la madurez fisiológica (aquella que se alcanza luego que se ha completado el desarrollo) y la madurez comercial (demarcada por los picos de maduración vinculados al clima y a la demanda del consumidor). Los frutos climatéricos, como el tomate, son capaces de generar etileno, la hormona necesaria para que el proceso de maduración continúe aun separado de la planta (López, 2003).



**Figura 9.** Grado de madurez del fruto de tomate *L. esculentum*. 1, 9A: verde maduro; 2, 9B: Inicio de color; 3, 9C: Pintón; 4, 9D: Rosado; 5, 9E: Rojo pálido; y 6, 9F: Rojo (Báez y Contreras, 2013).

## 1.4 Requerimientos del cultivo

### 1.4.1 Temperatura

Las temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo oscilan entre 20 °C y 30 °C durante el día y entre 10 °C y 17 °C durante la noche. La maduración, coloración y precocidad del fruto está muy influida por la temperatura; por ejemplo; cuando las

temperaturas superan los 25 °C o son inferiores a 12 °C la fecundación es defectuosa o nula; los valores cercanos a los 10 °C, así como superiores a los 30 °C, originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura son meramente indicativos, por lo que se deben tomar en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de las variables climáticas (López-Marín, 2017; Larín *et al.*, 2018).

#### 1.4.2 Humedad relativa

La humedad relativa (HR) ambiental óptima para el cultivo de tomate oscila entre el 60 % y 80 %, favorece el desarrollo normal de la polinización y garantiza una buena producción. El exceso o déficit de HR produce desórdenes fisiológicos y favorece la presencia de enfermedades. 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 compacta y hay aborto de flores. Una humedad relativa menor al 60 % dificulta la polinización (Jasso *et al.*, 2012; López-Marín, 2017).

#### 1.4.3 Luminosidad

La luminosidad influye en los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta. Durante los periodos críticos del desarrollo vegetativo de la planta la interrelación entre la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad es fundamental. Lugares que permanecen nublados disminuyen los rendimientos considerablemente (López-Marín, 2017).

#### 1.4.4 Altitud

Las zonas donde más se ha adaptado el tomate son las de clima templado, ubicadas entre 1000 y 2000 m s. n. m. en ambientes protegidos; en la actualidad se encuentran cultivares adaptados a rangos de altitudes más amplios (López-Marín, 2017; Larín *et al.*, 2018).

#### 1.4.5 Suelo

El tomate no es muy exigente en términos de suelo, no obstante, se obtienen mejores resultados en suelos con un pH que oscilar entre 5.0 y 6.5. El nivel de sales varía dependiendo de las cantidades de fertilizantes aplicados, pero es tolerante a la salinidad, con valores máximos de 6400 ppm (Guzmán *et al.*, 2017).

#### 1.4.6 Solución nutritiva

La solución nutritiva está conformada con agua y nutrimentos esenciales en forma iónica; de esta manera tendrá disponibles los nutrimentos que contiene la “solución verdadera” (Steiner, 1968). La producción de los cultivos está determinada por la composición de la solución nutritiva; por lo tanto, las soluciones deben contener todos los elementos necesarios para las plantas, las debidas condiciones y las dosis convenientes; características que dependerán de la especie, la variedad y la etapa fenológica de la planta (Cuadro 2) (Carpena *et al.*, 1987).

**Cuadro 2. Soluciones nutritivas más utilizadas para las plantas de tomate.**

<b>Solución</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
<u>Relación porcentual</u>							
	<b>Aniones</b>			<b>Cationes</b>			
<b>Knop (1867)</b>	79	10	11	23	66	11	-
<b>Robbins (1946)</b>	74	5	21	32	53	21	-
<b>Hoagland y Arnon (1950)</b>	74	5	21	32	42	21	5
<b>Graves (1983)</b>	50	6	44	40	44	16	-
<b>Steiner (1984)</b>	60	5	35	35	45	20	-
<b>Resh (1991)</b>	44	8	48	40	40	12	8

#### 1.4.7 Enfermedades y plagas comunes del cultivo de tomate

Rodríguez-Alvarado *et al.*, (2011), mencionan que a pesar del rendimiento que se obtiene utilizando sistemas de cultivo bajo cubierta no se ha logrado en ciertos invernaderos debido a la presencia de enfermedades que dificultan el proceso.

Las principales enfermedades que atacan al cultivo son la marchitez de plántulas y plantas maduras, tizón tardío (*Phytophthora infestans*), peca bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv.), cenicilla polvorienta (*Erysiphe*, *Podosphaera*, *Oidium*, *Leveillula*), y la pudrición sureña (*Sclerotium rolfsii*). Y dentro de las principales plagas encontramos a los ácaros (*Tetranychus urticae*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*), pulgón (*Myzys persicae*), y trips (*Frankliniella occidentalis*) (Martínez Ramírez, 2006). Problemas de pudrición de raíz son ocasionados por *Pythium* spp., y *Sclerotium rolfsii* spp, *Rhizoctonia* spp. *Fusarium* spp. y *Phytophthora* spp., también pueden ocasionar el síntoma conocido como “damping off”, o secadera de plántulas, además de problemas que se pueden encontrar en plántulas son los ocasionados por mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) la cual se disemina rápidamente (Martínez, 2006).

### **1.5 *Lycopersicon esculentum***

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCED, 2017), *L. esculentum*, es una especie que ha estado constantemente bajo control humano, por lo que su acervo genético, como proceso de selección unilateral, limita el aprovechamiento de la diversidad genética; por lo que son muy diversas las posibilidades de aprovechamiento que ofrece el conocimiento local sobre los parientes silvestres.

Se estima que hace 500 años el tomate fue trasladado a Europa, como resultado de la “conquista” y no está documentado si el tomate entró a España en forma de semillas o en planta; sin embargo, el primer registro de su uso es en la receta de Fray Bernardino de Sahagún y luego la de José de Acosta, ellos estaban en Mesoamérica y pudieron observar cómo se consumía, de esta manera lo asimilarían a su gastronomía (García y Bermúdez, 2021).

Sánchez-Peña *et al.*, (2004), afirman que, en la actualidad, algunas características de importancia agrícola del tomate se han adaptado en función de la diversidad genética presente en los parientes silvestres. Sin embargo, diversos autores han documentado que, dentro de los acervos genéticos de los tomates nativos mexicanos, la var. cerasiforme es reconocida como único representante (Córdova y Molina, 2006; Álvarez-Hernández *et al.*, 2009 y López *et al.*, 2011).

García y Bermúdez (2021), afirman que la travesía de la var. cerasiforme hacia otros países europeos al parecer se inició en Italia, porque en ese entonces había un comercio intenso entre las costas mediterráneas española e italiana. Además, España era una potencia colonial y eso contribuyó a que el tomate se dispersara en Europa, Filipinas y finalmente por Asia.

A pesar de que los tomates no son nativos de Italia, lo consideran absolutamente propio e indispensable para su dieta; al principio su uso fue ornamental por lo atractivo de la fruta, pero se temía comerla ya que resulta que es de la familia de las solanáceas, entre las cuales se conocían en Europa algunas muy tóxicas (Vargas, 2021).

Sin duda, la verdadera riqueza tomada por los españoles de los pueblos originarios de nuestro país no fueron los metales preciosos, sino las semillas y plantas nativas, como el tomate, que se ha ganado un lugar preponderante en la diversidad gastronómica global y es esencial en la dieta mediterránea, declarada Patrimonio de la Humanidad, al igual que la cocina tradicional mexicana (García y Bermúdez, 2021).

La figura 10 muestra la acuarela de mediados del siglo XVI, que es parte de materiales manuscritos inéditos de Fuchs (1990), es probablemente la ilustración más antigua de la planta de tomate preparada en Europa. Es morfológicamente inexacto en su descripción de las inflorescencias como axilares y de una sola flor, pero muestra una variedad de morfologías y colores de frutos. El bosquejo marginal superior izquierdo de la flor de 7 pétalos está detallado con precisión (Peralta *et al.*, 2008).



**Figura 10.** Acuarela de *L. esculentum*. Codex II de Fuchs (1990)

#### 1.5.1 Importancia en México del tomate cultivado

*L. esculentum* Mill., es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo, siendo el segundo en importancia dentro del género, debido a su papel fundamental en los hábitos alimenticios de una amplia parte de la población mundial. En México, se cultivan más de 50 mil hectáreas de esta especie al año, con una producción que supera los dos millones de toneladas, de las cuales el 50 % de la producción se exporta principalmente a Estados Unidos de América (SIAP, 2019).

Anualmente, en el Estado de México, en los municipios de Coatepec Harinas, Tejupilco y Valle de Bravo se siembran 278 hectáreas de *L. esculentum*, con una producción promedio de 16,648 toneladas y un rendimiento de 58.863 toneladas/hectáreas (SIAP, 2019).

La producción comercial del tomate se basa en híbridos patentados tipo saladette, bola y cherry (Cuadro 3); lo que es un factor que limita el aprovechamiento del acervo genético en el país (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2015). La mayoría de los cultivares mejorados conocidos están relacionados con la variedad original domesticada en Mesoamérica hace más de 500 años. Los cambios más importantes introducidos por el proceso de domesticación son la modificación del sistema

reproductivo y aumento del tamaño del fruto, con un efecto indirecto en la reducción de la variabilidad genética, (OECD, 2017).

**Cuadro 3.** Número de variedades *L. esculentum* Mill., con título de obtentor vigentes publicadas en la gaceta oficial de los derechos de los obtentores y registros en el catálogo nacional de variedades vegetales (SADER, 2021).

Solicitante	Derechos de Obtentor		Catálogo Nacional de Variedades Vegetales
	Variedades	Portainjertos	
<b>Nunhems B.V.</b>	25	1	1
<b>Seminis Vegetable Seeds, Inc.</b>	17	2	-
<b>Rijk Zwaan Zaadteelt en Zaadhandel, B.V.</b>	15	1	-
<b>Otras (9 empresas internacionales)</b>	11	4	3
<b>HM. Clause / Semillas Harris Moran</b>	12	2	14
<b>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro</b>	2	-	2
<b>Universidad de Guadalajara</b>	1	-	-
<b>El Nazario, S. DE P.R. DE R.L. DE C.V.</b>	1	-	1
<b>Subtotal</b>	84	10	-
<b>Total</b>	<b>94</b>		<b>21</b>

#### 1.5.2 Cultivo de tomate bajo invernadero

Uno de los factores más importantes que determinan la actividad productiva hortícola es el clima, destacando como la principal limitación destacando como las principales limitaciones baja radiación solar, sequia, temperaturas extremas,

deficiencia de nutrientes, presencia de malas hierbas, el exceso de viento y el inadecuado contenido de CO<sub>2</sub> del aire (Casilla, 2004). Razón por la cual, en los últimos años se ha incrementado el número de invernaderos dedicados al cultivo de tomate en entidades como Michoacán. Los cultivos bajo el sistema de invernaderos se benefician con ventajas como sistemas agrícolas especializados, moderado control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica). A través de este sistema se alteran los ciclos convencionales y cultivan plantas bajo entornos que prolongan el periodo de recolección, aumentan los rendimientos y mejoran su calidad; mientras que la producción al aire libre se encuentra limitada por las condiciones netamente edafoclimáticas (Casilla, 2004). El alto potencial de rendimiento de cultivo bajo cubierta, no se logra en algunos invernaderos debido a la presencia de enfermedades, desconocidas en la mayoría de los casos (Rodríguez-Alvarado *et al.*, 2011).

Es necesario optimizar la cantidad y calidad de luz para el crecimiento de las plantas, por lo que se ha trabajado en el desarrollo de nuevas cubiertas plásticas que contienen diferentes pigmentos fluorescentes o fotoselectivos, que tienen la particularidad de incrementar la cantidad de luz roja o azul modificando la expresión del fitocromo y las respuestas fisiológicas que impactan directamente la productividad de los cultivos (Espí *et al.*, 2006).

Anteriormente los plásticos utilizados en las cubiertas de invernadero fueron láminas de polietileno, las cuales protegían a los cultivos de factores como viento, lluvias, y granizos, más tarde surgieron los materiales de larga duración, tratados con inhibidores de luz ultravioleta, los cuales evitan su degradación en determinado tiempo. Estas películas no fueron suficientes ya que solo estaban diseñadas para tener una mayor resistencia, y no para aumentar la productividad en el cultivo, por lo que se evolucionó con la aparición de las películas térmicas de larga duración, que además de proporcionar la protección contra los rayos UV, fueron sometidos a un tratamiento térmico que impidió que el calor se escape a través de estas (Angus y Morrison, 1998).

Las plantas dependen de la luz como su fuente fundamental de energía, donde el proceso de la fotosíntesis transforma la energía luminosa en la energía química necesaria para el crecimiento y desarrollo de la planta. No debe sorprender, pues, que las plantas sean extraordinariamente sensibles a la calidad y cantidad de luz. La manipulación de la luz para fines agrícolas y hortícolas tiene una larga historia (Shahak, 2004).

Algunos de los esfuerzos iniciales se dirigieron directamente a controlar la calidad de luz, para optimizarla de acuerdo con las necesidades específicas de cada cultivo. Sin embargo, las plantas también responden a la calidad (distribución espectral) de la luz incidente. Se han utilizado en los últimos años, técnicas basadas en mallas plásticas de sombreo (tejidos de sombra) con propiedades ópticas especiales, desarrollando una gama de mallas coloreadas de sombreo, cada una modifica específicamente: (i) el espectro de luz (en las regiones del ultravioleta, el visible o el infrarrojo); (ii) y/o incrementa el contenido de luz difusa; (iii) y/o afecta sus propiedades térmicas (región infrarroja). En función de los aditivos cromáticos del plástico y del diseño de tejido, las mallas proporcionan diferentes combinaciones de luz natural y luz difusa con el espectro modificado (Shahak, 2004).

### **1.6 Diversidad genética de *Lycopersicon* spp.**

La diversidad genética, es un término amplio que comprende toda la variabilidad presente dentro de un bagaje genético de diferentes especies relacionadas, como es el caso de las diferentes especies de tomates silvestres distribuidas en el mundo (Figura 11). De acuerdo con Peralta y Spooner (2007), los tomates silvestres se encuentran en una gran cantidad de hábitats, y se ubican desde el nivel del mar hasta alturas mayores a los 3000 m s. n. m., desde las áridas costas del Pacífico hasta las tierras altas húmedas de Los Andes en ambas vertientes de la cordillera. Las poblaciones de tomates silvestres crecen a diferentes altitudes en esos valles estrechos, se hallan aisladas geográficamente entre sí y están adaptadas a condiciones de suelo y microclimas muy particulares. Esta diversidad de hábitats ha contribuido a la gran diversidad que se puede encontrar entre los tomates silvestres (Figura 12).

Y con base a diferentes estudios moleculares, se reagrupo al tomate y sus parientes silvestres en el género *Lycopersicon* (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Sinonimia del tomate en los géneros *Solanum* y *Lycopersicum* (Peralta et al., 2008).

<b><i>Solanum</i></b>	
<b>Sección <i>Lycopersicon</i>; Grupo: <i>Lycopersicon</i></b>	<b><i>Lycopersicon</i></b>
<b><i>S. lycopersicum</i> L.</b>	<i>L. esculentum</i> Miller
<b><i>S. pimpinellifolium</i> L.</b>	<i>L. pimpinellifolium</i> (L.) Miller
<b><i>S. cheesmanii</i> (L. Riley) Fosberg</b>	<i>L. cheesmanii</i> L. Riley
<b><i>S. galapagense</i> S. Darwin &amp; Peralta</b>	(inc01Tectamente <i>cheesmanii</i> )
<b>Grupo Neolycopersicon</b>	Parte de <i>L. cheesmanii</i> L. Riley (antes var. <i>minar</i> )
<b><i>Solanum pennellii</i> Correll</b>	<i>Lycopersicon pennellii</i> (Correll) D' Arcy
<b>Grupo Eriopersicon</b>	
<b><i>S. habrochaites</i> S. Knapp &amp; D.M Spooner</b>	
<b><i>S. huaylasense</i> Peralta</b>	
<b><i>S. corneliomuelleri</i> J.F. Macbr</b>	<i>L. hirsutum</i> Duna!
<b><i>S. peruvianum</i> L.</b>	Parte de <i>L. peruvianum</i> (L.) Miller
<b><i>S. chilense</i> (Dunal) Reiche</b>	Parte de <i>L. peruvianum</i> (L.) Miller;
<b><i>S. legama</i> (Dunal) Reiche</b>	conocida como <i>L. glandulosum</i> C.F. Mull.
<b>Grupo Arcanum</b>	<i>L. peruvianum</i> (L.) Miller <i>Lycopersicon chilense</i> Dunal
<b><i>S. arcanum</i> Peralta</b>	<i>L. legama</i> Duna!

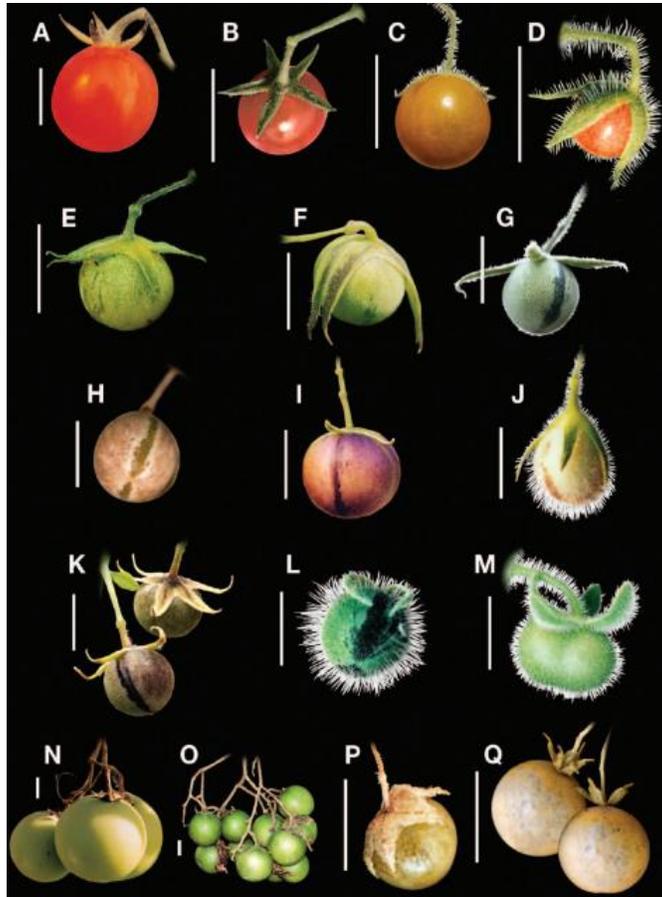
---

<b>S. chmielewskii</b> (C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M. Holle) D.M. Spooner, G.J. Anderson & R.K. Jansen	Parte de <i>L. peruvianum</i> (L.) Miller
<b>S. neorickii</b> (C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M. Holle) D.M. Spooner, G.J. Anderson & R.K. Jansen	<i>L. chmeilewskii</i> C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M. Holle <i>L. parviflorwn</i> C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M. Holle

**Sección *Lycopersicoides***

<b><i>Solanum Jycopersicoides</i></b> Dunal	<i>Lycopersicon Jycopersicoides</i> (Duna! in OC.) A. Child ex J.M.H. Shaw
<b><i>Solanum sitiens</i></b> I.M. Johnst.	<i>Lycopersicon sitiens</i> (I.M. Johnst.) J.M.H. Shaw
<b>Sección <i>Juglandifolia</i></b>	
<b><i>Solanum juglandifolium</i></b> Dunal	<i>Lycopersicon ochranthum</i> (Duna!) J.M.H. Shaw
<b><i>Solanum ochranthwn</i></b> Dunal	<i>Lycopersicon juglandifolium</i> (Duna!) J.M.H. Shaw

---



**Figura 11.** Frutos de A) *L. esculentum*, B) *L. pimpinellifolium*, C) *L. cheesmaniae*, D) *L. galapagense*, E) *L. neorickii*, F) *L. chmielewskii*, G) *L. Arcanum*, H) *L. huaylasense*, I) *L. peruvianum*, J) *L. corneliomulleri*, K) *L. chilense*, L) *L. habrochaites*, M) *L. pennellii*, N) *L. ochranthum*, O) *L. juglandifolium*, P) *L. lycopersicoides*, Q) *L. sitiens*. Las barras de escala = 1 cm (Peralta et al., 2008).



**Figura 12.** Variación en coloración del mexicano *L. esculentum* var. *cerasiforme*. (el autor)

La diversidad genética en las plantas se ve afectada por distintos factores; dentro de las fuerzas evolutivas como la selección, la mutación y la deriva genética que actúan continuamente y dan como resultado cambios continuos en las frecuencias alélicas de los genes en una población; y en este proceso la domesticación o selección artificial favorece a unos pocos alelos a costa de otros, lo que da como resultado una mayor frecuencia de alelos seleccionados; en consecuencia, la domesticación reduce la diversidad genética en comparación con la diversidad en la naturaleza (Bhandari *et al.*, 2017).

#### 1.6.1. Variabilidad genética de *Lycopersicon esculentum*

La variabilidad genética, es la variación en alelos de genes, o variación en secuencias de ADN/ ARN en la posición de genes de una población o especie determinada. En la especie *L. esculentum*, existe una amplia variabilidad manifestada en sus poblaciones tanto silvestres como cultivadas comerciales y autóctonas. Para el caso de las primeras, *L. esculentum* var. *cerasiforme*, es el ancestro silvestre inmediato del tomate cultivado y se encuentra ampliamente distribuido en México, Colombia, Bolivia y otros países sudamericanos (García-Macareno, 2011).

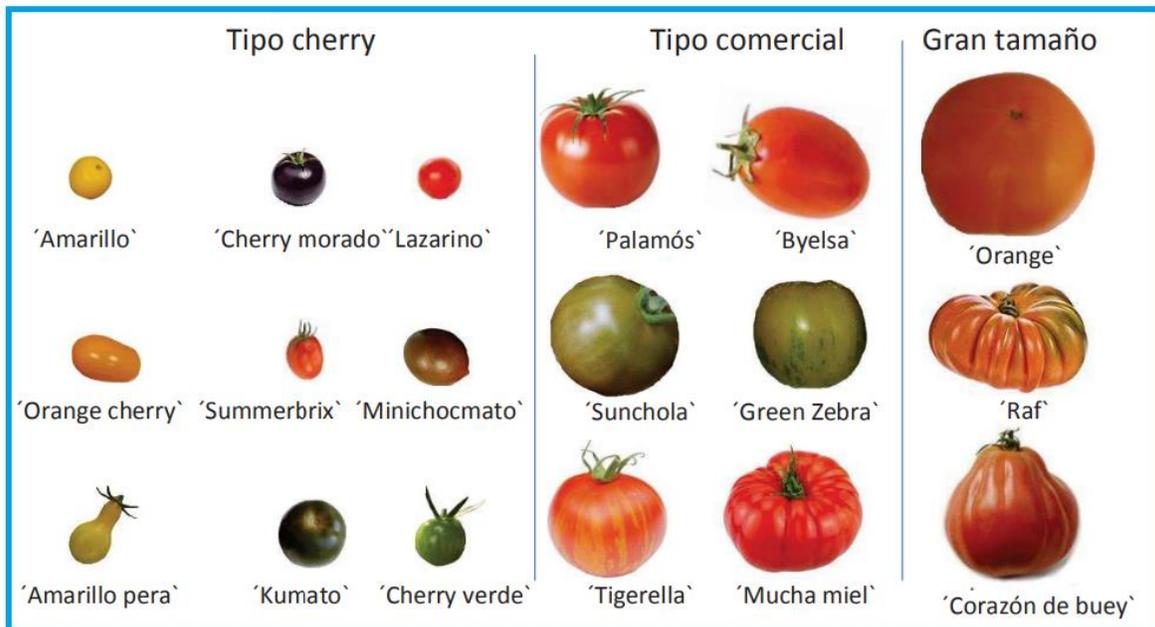
*L. esculentum* var. *cerasiforme*, caracterizada por rasgos morfológicos como el tamaño del fruto y el peso de la semilla, abarca un continuo genético entre las formas 'silvestres' y 'domesticadas' del cultivo (Ranc *et al.*, 2008). Rick y Holle (1990) citan que los resultados actuales son producto de introgresiones naturales entre el grupo de *L. esculentum* var. *cerasiforme* y *L. esculentum* y *L. pimpinellifolium*. Por lo que las partes salvajes de *L. esculentum*, las accesiones de *L. esculentum* var. *cerasiforme*, que se han descrito como altamente invasivas, se adaptaron rápidamente gracias al aumento de la varianza genética, las interacciones de nuevos genes, el enmascaramiento o descarga de alelos recesivos deletéreos o la transferencia de genes favorables (Ranc *et al.*, 2008).

De acuerdo con Ranc *et al.*, (2008), la domesticación del tomate de *L. pimpinellifolium* a *L. esculentum* ha sido una selección de dos pasos para alcanzar el tamaño del fruto; el primer paso pudo haber permitido la selección del tipo de

cereza con tamaño de fruto moderado, probablemente con fijación por autogamia. El segundo, pudo deberse a la migración humana, que resulto en la transferencia de tomates cultivados de los Andes a América Central con selección para frutos de mayor tamaño. En México, el tomate alcanzó una etapa de domesticación bastante avanzada antes de ser llevado al Viejo Mundo por los españoles.

El papel de la parte 'mezclada' de *L. esculentum* var. *cerasiforme*, en la domesticación del tomate no se puede establecer porque el patrón híbrido podría deberse a cruces externos antiguos o recientes. Este estudio destacó la estructura genética desconocida de nuestro germoplasma silvestre y cultivado, mejorando la comprensión de la historia del complejo del tomate; además, aclaró la posición de *L. esculentum* var. *cerasiforme* en la evolución del tomate cultivado. Parte de esta subespecie está genéticamente cercana al grupo de *L. esculentum* cultivado y la otra parte está mezclada entre grupos relacionados cultivados y silvestres. Este grupo mezclado es de gran interés para aumentar la resolución de la genética de asociación (Ranc *et al.*, 2008).

Actualmente numerosos programas de mejoramiento han generado una gran variedad de híbridos con diferentes tamaños y colores, y con características diferentes para resistir a enfermedades, altas temperaturas, procesos de sequía o mejora de sus características nutricionales; la mayor parte de variedades son de color rojo debido a la presencia de carotenoides y licopeno; sin embargo, existen variedades de color amarillo, naranja y verde. Por otra parte, los tomates también presentan diversidad de formas, siendo las más comunes las esféricas, ovaladas, en forma de pera y cilíndricas (Figura 13) (Coyago, 2017).



**Figura 13.** Tomates de diferente tamaño y color, clasificadas según tres grandes tipologías: cherries, comerciales y de gran tamaño (Coyago, 2017).

### 1.6.2. Riesgo de conservación de semillas originarias

Ante el riesgo de perder un recurso genético, ya sea por la reducción de su hábitat natural o por la siembra masiva de pocas variedades comerciales, se recurre a la conservación *ex situ*; y para el caso de los tomates mexicanos, casi todo el mercado está dominado por 23 variedades comerciales, producidas por sólo dos empresas (16 de Seminis y 7 de Nunhems). Y de Las 23 variedades comerciales que se usan en el país sólo son de dos tipos de fruto: el saladette (90 %) y la bola (10 %). Esta producción y consumo ignora la existencia y los beneficios de muchas otras especies de tomates, como el arriñonado, el tipo calabaza, el tipo pera, los tomatillos, el cuatomate y de cientos de variedades nativas mexicanas que se producen y consumen por agricultores locales y regionales (González-Hernández *et al.*, 2021).

La conservación *ex situ* incluye varias fases: resguardo de semillas en un banco de germoplasma, provisto con refrigeración y baja humedad relativa; renovación periódica de la semilla (porque con el tiempo se va perdiendo la capacidad de germinar) y caracterización de las colecciones para determinar su utilidad posible

como donadoras de propiedades atractivas o su potencial como variedades comerciales (Coyago, 2017).

La pérdida de variedades nativas de tomate, comienzan en la década de los 1940 y se profundiza por la caída en los precios de los productos agrícolas tradicionales, crecimiento de la población rural y, en algunos casos, conflictos por despojo o límites territoriales. Este crecimiento de la agricultura tecnificada obedeció a la participación de empresas multinacionales con acceso privilegiado al mercado. En este escenario, los bancos de semillas son escasos y el rescate del campo, la recuperación de las variedades nativas de tomate y la soberanía alimentaria no avanzan a la velocidad que el país requiere (González-Hernández *et al.*, 2021).

### 1.6.3. Variedades silvestres en México

González-Hernández *et al.*, (2021), mencionan que la conservación de las poblaciones silvestres del tomate y su forma tradicional de aprovechamiento se relacionan estrechamente con la transmisión cultural y oral del conocimiento local. El uso del conocimiento se refleja en un mayor aprovechamiento de las plantas silvestres; y en México, el tomate rojo o tomate; que actualmente es la hortaliza más popular y aceptada en la cultura gastronómica del mundo; es un componente esencial en infinidad de platillos tradicionales y modernos (Barros, *et al.*, 2021).

Autores como García, *et al.*, (2021) y Vargas *et al.*, (2021), mencionan que el nombre común que se asigna al pariente silvestre *Lycopersicon esculentum var. cerasiforme* existente en el Occidente de México expresa parte del conocimiento que posee la población rural del mismo. En algunas regiones recibe más de un nombre relacionado con el aspecto y tamaño del fruto. En parte de Nayarit, Los Altos de Jalisco y Guanajuato se le llama jaltomate o tomatillo, mientras en la costa de Nayarit, otras regiones de Jalisco y Michoacán se le conoce como “ojo de venado” y “ojo de liebre”. Aunque ambos son color rojo cereza, rojo naranja o amarillo (a menor altitud aumenta la frecuencia del color amarillo; a mayor altura, la del rojo naranja a rojo cereza), el primero se distingue por ser más grande (2 a 2.5 cm de diámetro) que el segundo (1 a 1.5 cm). En el estado de Colima se le denomina

“chaltomate”, y en regiones purépechas de Michoacán recibe también el nombre de “tinguaraque”. La planta está ampliamente distribuida en toda la región, incluso en áreas urbanas.

Según entrevistas realizadas con agricultores, se le considera como maleza cuando aparece en los cultivos tecnificados de maíz, el propio tomate comercial y frutillas. Pero también se le tolera y fomenta en cultivos de maíz criollo, cercas de piedra y alambradas, donde por su aptitud trepadora, con tendencia a ser perenne, se le permite permanecer e inclusive la riegan o le retiran las arvenses para que permanezca viva y dé frutos. Finalmente, aunque con menor frecuencia, se cultiva en pequeños terrenos o traspatios, a veces como alimento para aves de corral (Martínez-Guerra *et al.*, 2021).

Hay localidades donde se ve con frecuencia en lotes baldíos, en macetas y bajo árboles en traspatios o huertas en sitios de menor humedad y algo sombreados. Los agricultores y amas de casa del medio rural relacionan su aparición con el final de la madurez del maíz nativo, entre los surcos de la milpa, por octubre y noviembre, aunque sus plantas surgen en la temporada de lluvias. En la alimentación se usan principalmente para preparar variadas salsas, ya sea con el fruto asado, frito o en fresco, preferido por su sabor sobre las variedades comerciales como las de tipo saladette. Para algunas familias de escasos recursos, el tomate silvestre es una oportunidad de tener alimento cuando carecen de dinero para adquirir el tomate comercial. En nuestra cultura culinaria, el tomate forma parte de innumerables platillos y se le usa casi a diario. En el medio rural, el tomate silvestre es muy conocido y degustado y en los tianguis, sobre todo de localidades con comunidades indígenas, se vende por medidas tradicionales como el litro o cuartillo o la sardina (lata tradicional con pescado sardina procesado) (González-Hernández *et al.*, 2021).

Pese a sus múltiples bondades, los tomates silvestres enfrentan graves riesgos, en especial el uso de herbicidas en la agricultura tecnificada y la creencia entre productores y técnicos de que comparten plagas y enfermedades con los cultivos comerciales, cuando en realidad son fuentes que sirven para desarrollar variedades

resistentes a las enfermedades, plagas y factores ambientales adversos. Además, de padecer una fuerte dependencia de las variedades comerciales de tomate comercial (saladette, bola, cherry y uva) (González-Santos *et al.*, 2021).

En contraste, la riqueza de las variedades nativas en México va desde el tipo cerasiforme, guajillo, acostillado, pera, en una gama de colores del amarillo hasta el púrpura, con amplio uso en comunidades indígenas y rurales y con un precio alto respecto al tomate comercial. Las variedades nativas destacan fundamentalmente por su sabor preferencial y por un hecho trascendente: superan a las comerciales en contenido de licopeno, sustancia útil para prevenir y curar el cáncer de próstata y el de páncreas, así como problemas cardiovasculares (López-González *et al.*, 2021).

El tomate silvestre es una planta conocida, con amplia aceptación por su sabor agridulce. No obstante, existe un gran desconocimiento, en especial en las generaciones jóvenes, por lo que existe el peligro de perder los saberes tradicionales de su aprovechamiento. A pesar de que lo anterior pudiera poner en mayor riesgo a las poblaciones de tomate silvestre en México, su alta capacidad para adaptarse a las perturbaciones ambientales le ha permitido permanecer en las diferentes regiones donde prospera (Martínez-Guerra *et al.*, 2021).

#### 1.6.4. Mejoramiento genético de *L. esculentum*

El tomate silvestre tiene una amplia distribución, y esto ha permitido que cuente con poblaciones con características diferentes para responder a los factores bióticos y abióticos de mortalidad; y el ambiente es uno de los factores que más influyen en la variabilidad biológica (Rick, 1976).

Muchos de los genes útiles de las plantas cultivadas los aportan los parientes silvestres, por ejemplo, la resistencia a plagas y enfermedades y el valor nutricional (Pérez, *et al.*, 1997). Rick (1976) explica el ejemplo de provitamina A del tomate, que con genes de *L. pennellii*, uno del tomate silvestre que ha contribuido a aumentar el contenido de sólidos en 2.4 %, se han disminuido los costos de producción en alrededor de 250 millones de dólares.

Los taxones silvestres han sido evaluados y utilizados como fuente de resistencia y aumento de la calidad nutritiva de los frutos. La especie *L. pimpinellifolium* se caracteriza por presentar frutos de alta calidad nutritiva, con tamaño y peso menores que las cultivares comerciales de *L. esculentum* y se cruza en ambos sentidos con la especie cultivada dando lugar a híbridos fértiles (Rick y Holle, 1990).

Los taxones silvestres *L. esculentum* var. *cerasiforme* y *L. pimpinellifolium* poseen frutos de menor tamaño y peso que los cultivares comerciales, pero de alta calidad, siendo además de fácil cruzamiento con la variedad doméstica (Rick y Chetelat, 1995).

Peralta y Spooner (2000), menciona que el uso del germoplasma silvestre de *L. esculentum* var. *cerasiforme* como fuente de genes es importante para incrementar la variabilidad en el número de flores por inflorescencia, peso, forma, contenido en materia seca y color, y principalmente para retrasar la maduración de los frutos.

A la fecha, no se conoce el potencial de tomate nativo *L. esculentum* var. *cerasiforme* en condiciones de cultivo a cielo abierto y bajo invernadero, ni tampoco su valor nutricional en la composición de sus frutos, ni fuentes de genes para otros atributos (Peralta *et al.*, 2007).

Como consecuencia de la presión ambiental, *L. esculentum* var. *cerasiforme* ha desarrollado diferentes mecanismos de sobrevivencia para adaptarse a las presiones naturales bióticas y abióticas. Algunas de esas defensas le confieren mayor valor adaptativo al medio, entre ellas la tolerancia a la alcalinidad, salinidad y acidez, mecanismos de resistencia a plagas y enfermedades y cambios en la composición nutricional del fruto (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009).

Además, posee características químicas potenciales como alimento nutraceutico, así como fuente potencial de genes para alto número de flores por inflorescencia, color, forma y tamaño pequeño del fruto entre otros caracteres; sin embargo, como cualquier otro recurso genético, antes de utilizar los acervos genéticos como fuente de genes en programas de mejoramiento u otro objetivo, es necesario documentar

la diversidad fenotípica, genotípica y agronómica-productiva del tomate nativo (Délices *et al.*, 2019).

A nivel mundial hay más de 75,000 accesiones de *Lycopersicon* en más de 120 países en una serie de las instituciones. Los países con el mayor número de accesiones de germoplasma de dicho género, además de los EE. UU., son Brasil, Bulgaria, Canadá, China, Colombia, Alemania, Hungría, Filipinas y España. Estos países cuentan con dos mil o más accesiones de especies conservadas, principalmente *L. esculentum* (Robertson y Labate, 2006).

En México, hasta el 2019 se reportan formalmente 26 accesiones de tomate nativo de esta especie, conservadas en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (Marin-Montes *et al.*, 2019).

### **1.7. *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme***

*L. esculentum* var. *cerasiforme* (cerasiforme; Figura 14), posee características químicas potenciales como alimento nutracéutico por su contenido de azúcares, ácidos orgánicos, vitamina C, carotenoides, flavonoides, ácidos fenólicos y minerales como Cu, Fe, Mn y Zn (Crisanto-Juárez *et al.*, 2010). De igual forma, es una fuente potencial de genes por su alto número de flores por inflorescencia, coloración roja, forma, y tamaño pequeño del fruto, los cuales miden de 1.5 a 2.5 cm de diámetro, regularmente con dos lóculos y semillas de 1 a 3 mm; y hojas comúnmente de margen aserrado (Chávez *et al.*, 2011).



**Figura 14.** Racimo de frutos de *L. esculentum* var. *cerasiforme*. (el autor)

Se describen como plantas individuales o poblaciones con reducido número de individuos, que crece en una gran variedad de hábitat desde 0 hasta 3 300 m s. n. m. (Warnock, 1988). Existe evidencia del potencial nutricional y agronómico de esta especie, donde destaca como fuente de resistencia a plagas y enfermedades (Arellano-Rodríguez, 2013).

Como consecuencia de la presión ambiental, cerasiforme ha desarrollado diferentes mecanismos de sobrevivencia para adaptarse a las presiones naturales tanto bióticas como abióticas; algunos incluyen mayor valor adaptación al medio como las tolerancias a la alcalinidad, salinidad y acidez; mecanismos de resistencia a plagas y enfermedades y cambios en la composición nutricional del fruto (Chávez *et al.*, 2011).

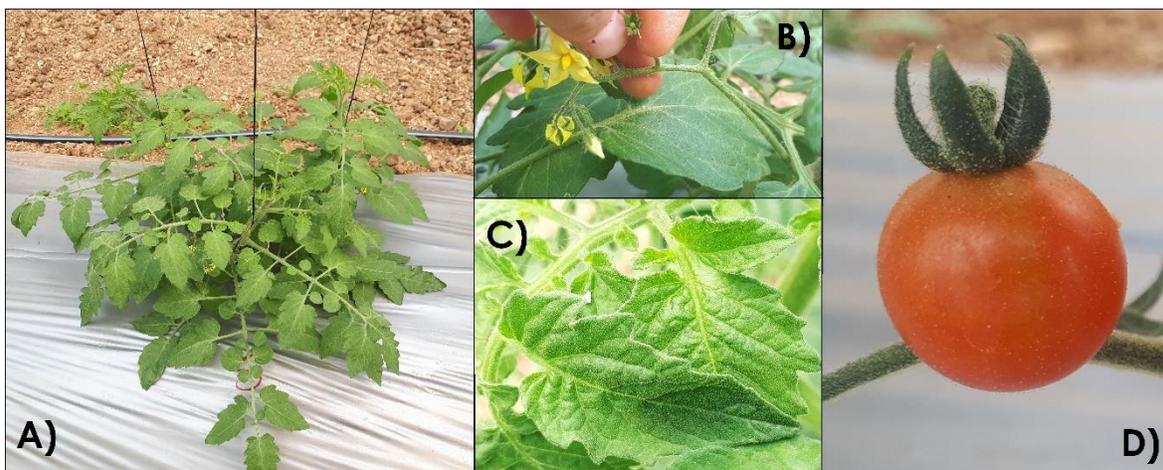
#### 1.7.1. Morfología de *L. esculentum* var. *cerasiforme*

La planta de cerasiforme es herbácea, rastrera o trepadora; con tallos y ramas que llegan a extenderse hasta 7 metros de largo en lugares tropicales o subtropicales cuando no tienen restricciones de humedad. En lugares semiáridos o con pocas lluvias no supera el metro de altura (Figura 15A) (Chávez *et al.*, 2011).

El tallo es piloso con tricomas articulados, débiles, traslúcidos, hasta de 3.5 mm de largo y densamente viscoso con glándulas diminutas, estipadas. Sus hojas desde 10 hasta 25 cm de largo en condiciones de baja a alta fertilidad de suelos, con 7 a 11 foliolos principalmente peciolados, lanceolados a ovados de 3 a 6 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho, casi glabros en el haz o densamente pubescentes en las nervaduras. Las hojas son de ápice agudo y margen aserrado. Los foliolos suelen ser dentados y con un lóbulo en la base (Figura 15C) (Flores-Hernández *et al.*, 2017).

Las inflorescencias en racimos son laterales, axilares, simples o ramificadas con pubescencia parecida al tallo. El pedúnculo primario es de 1 a 3.5 cm de largo y los pedicelos de las ramificaciones son de 5 a 15 mm de largo, se ubican en las bifurcaciones o nudos de los tallos. Las flores tienen el cáliz de 5 a 6 sépalos angosto triangular, puntiagudo. La corola de 5 a 6 pétalos amarillos en forma de estrella de 5 a 6 puntas. Los estambres de 5 a 6 anteras presentan ápices delgados

y unidos entre sí por el estilo (Figura 15B). Y los frutos de 1.5 a 2.5 cm de diámetro y regularmente con dos lóculos y hojas comúnmente de margen aserrado, en coloración roja en el interior del fruto al madurar, y semillas desde 1.0 mm (Figura 15D; Chávez *et al.*, 2011).



**Figura 15.** *L. esculentum* var. *cerasiforme*. Planta (A). Inflorescencia (B). Hoja (C). Fruto (D) (el autor).

#### 1.7.2. Composición química de *L. esculentum* var. *cerasiforme*

La composición química de cerasiforme está conformada de azúcares, ácidos orgánicos, vitamina C, carotenoides y minerales; además de sólidos solubles y acidez titulable (Crisanto-Juárez *et al.*, 2010)

##### 1.7.2.1. Licopeno

En los frutos maduros, el licopeno aporta aproximadamente el 83 % de los carotenoides presentes, les sigue  $\beta$  caroteno de 3 % a 7 % y  $\gamma$ -caroteno, estos últimos tienen actividad pro vitamínica A. la concentración de licopeno varía según el genotipo, estado de madurez del fruto, condiciones ambientales, además de la forma como se consume, en fresco o procesado. El fruto presenta concentraciones de licopeno más altas que otras variedades comerciales tipo saladette o bola. El licopeno, además de conferir el color rojo al fruto, es utilizado como un índice de calidad (Chávez *et al.*, 2011).

### **1.7.2.2. Vitaminas y minerales**

El aporte nutricional del fruto se basa en el contenido de vitamina C, con valores que van desde 8.6 mg hasta 82 mg/ 100 mg fruto seco. Un consumo promedio de 100 g de fruta podría cubrir hasta el 90 % de los requerimientos diarios de licopeno requeridos para ejercer su acción antioxidante en el organismo (Crisanto-Juárez *et al.*, 2010).

El tomate es una fuente importante de vitaminas entre las que destacan la vitamina C, la vitamina E, la provitamina A (principalmente, el  $\beta$ -caroteno), vitaminas del grupo B (B1 y B3), y de minerales como el fósforo y el potasio; el valor nutricional del tomate ; (compuesto por azúcares y ácidos, proteínas, lípidos, minerales, componentes fenólicos, pigmentos y vitaminas) puede satisfacer los requerimientos de sustancias necesarias para garantizar el buen funcionamiento del organismo (Anoro-Segura *et al.*, 2013).

### **1.7.2.3. Humedad**

El agua se encuentra en los alimentos en tres formas. Como agua de combinación, como agua adsorbida y en forma libre, aumentando el volumen. El agua de combinación está unida en alguna forma química como agua de cristalización o como hidratos. El agua adsorbida está asociada físicamente como una monocapa sobre la superficie de los constituyentes de los alimentos. El agua libre es aquella que es fundamentalmente un constituyente separado, con facilidad se pierde por evaporación o secado (Bello, 2000).

La determinación de humedad es una de las técnicas más importantes y de mayor uso en el procesado, control y conservación de los alimentos, puesto que la mayoría de los productos alimenticios poseen un contenido mayoritario de agua; y el contenido de humedad en un alimento es, frecuentemente, un índice de estabilidad del producto. Debido al alto contenido de agua que presenta el tomate (mayor al 90 %), conocer el contenido de agua es importante para evaluar las pérdidas durante el procesado (Monsalve y Machado, 2007).

#### **1.7.2.4. Proteínas**

Las proteínas que tiene el tomate están formadas por aminoácidos como ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, arginina, cistina, fenilalanina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, prolina, serina, tirosina, treonina, triptófano y valina. Las proteínas que, en el cuerpo, además de ser útiles para la creación de nueva masa muscular, también intervienen en funciones fisiológicas sin las cuales, nuestro organismo no podría subsistir. Y dependerá de su presentación la cantidad de proteínas, por ejemplo, para el tomate fresco: es de 0.88 g. por cada 100 gramos; para tomate enlatado es de 1.19 g. por cada 100 gramos; para el tomate frito en conserva es de 1.50 g. por cada 100 gramos, y para el tomate triturado: es de 2.30 g. por cada 100 gramos.

#### **1.7.2.5 Fibra**

La fibra, considerada como una unidad biológica y no como una unidad química; dentro de la pared celular de las plantas, tiene una estructura compleja compuesta de celulosa y hemicelulosa, pectina, algo de proteína, sustancias nitrogenadas lignificadas, ceras, quitina y componentes minerales. La fibra “cruda” o “bruta” es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de hervir sucesivamente la muestra desengrasada con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluido (Bello, 2000).

#### **1.7.2.6 Sólidos solubles totales**

Los sólidos solubles totales, representados por los grados Brix (°Bx), miden el porcentaje en peso de sacarosa pura en solución; que es considerado como el porcentaje de sólidos disueltos y en suspensión, en las soluciones impuras de azúcar. Se refiere a la cantidad de compuestos que son solubles en agua; y para el tomate, y la mayoría de las frutas; los sólidos solubles están constituidos principalmente por azúcares tales como glucosa, fructosa y sacarosa, y en menor grado por ácidos orgánicos como el ácido cítrico, málico y ascórbico, y algunas proteínas (Luna-Fletes, 2017).

El contenido de sólidos solubles se mide con un refractómetro, expresando su resultado en °Bx. En el caso de los tomates este parámetro depende de la variedad, la nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la solución nutritiva, estrés hídrico, factores ambientales (alta densidad de luz, fotoperiodos largos tiempo seco en cosecha) y genéticos (fruto pequeño, hábito determinado). En diversas variedades los sólidos solubles totales oscilan en 4.5 y 5.5 °Bx (Luna-Fletes, 2017).

#### **1.7.2.8 pH**

La acidez medida por el valor de pH, junto con la humedad son, probablemente, las determinaciones que se hacen con más frecuencia. El pH es un buen indicador del estado general del producto ya que tiene influencia en múltiples procesos de alteración y estabilidad de los alimentos, así como en la proliferación de microorganismos. Se puede determinar colorimétricamente mediante los indicadores adecuados, pero para su mayor exactitud, se ha de recurrir a métodos eléctricos mediante el uso de pH-metros. (ACONSA, 2021).

#### **1.7.3. Importancia en México de *L. esculentum* var. *cerasiforme***

Aunque el tomate es de origen andino, la domesticación se produjo en México a través de sistemas de producción y utilización de grandes humedales como las chinampas, un método de agricultura intensiva y altamente productiva, por lo que se distribuye ampliamente en la República Mexicana (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2015).

En México se tiene una amplia diversidad de caracteres de planta, hoja, flores y frutos en tomate silvestre y semidomesticado, y como ya se ha dicho, con resistencia a diferentes factores bióticos y abióticos, rendimiento y calidad de fruto. Es una hortaliza que presenta una alta diversidad genética con variedades de distinto aspecto, color y sabor; además, de una demanda que de manera discreta aumenta continuamente.

El recurso fitogenético se define en el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura como el material genético de origen vegetal de valor real o potencial para la alimentación y la agricultura; es decir, la suma de todas las combinaciones de genes producidas durante el proceso de

evolución de las plantas, y comprenden desde especies silvestres de uso agrícola potencial hasta genes clonados". El término "Recursos Genéticos" implica que los materiales tienen un valor económico real o potencial (FAO, 2022).

El interés por el estudio de la conservación y aprovechamiento de los recursos fitogenéticos adquiere importancia especial por diferentes razones; por ejemplo por la riqueza florística de nuestro país (entre 22,000 y 30,000 especies); por ser centro de origen, México junto es uno de los centros de origen y diversidad de plantas cultivadas (probablemente más de 100 especies); por que los cultivos nativos como introducidos requieren diversidad genética para la obtención de genotipos superiores; por que la erosión genética causada por la destrucción de vegetación natural, desplazamiento de cultivos tradicionales por otros introducidos, sustitución de cultivares tradicionales por mejorados y la erosión cultural con la consecuente pérdida del conocimiento y aprecio por los recursos naturales (Ortega *et al.*, 2000).

## 2. Justificación

El tomate (*L. esculentum* Mil.) es considerado uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica; sin embargo, su producción comercial se basa en híbridos patentados como lo tipos saladette, bola y cherry; lo que es un factor que limita el aprovechamiento de la diversidad genética.

México, al ser centro de origen y domesticación de distintos cultivos; y entre ellos el tomate; presenta una amplia diversidad de variedades criollas y silvestres, todas ellas, aprovechadas como alimento en diferentes tiempos. Sin embargo, actualmente corren el riesgo de desaparecer. Entre las causas están la ampliación de la superficie agrícola y el uso intensivo de herbicidas, además del desconocimiento de la sociedad acerca de ellas.

El fruto de tomate es una baya, al igual que los correspondientes de uva, guayaba y zapote negro. Las preferencias culturales, como son los hábitos de cocina; hacen que el tomate represente un patrimonio natural y alimentario insustituible del pueblo de México, de la misma importancia que el maíz, el frijol y el chile.

Sin embargo, su conservación no ha recibido la consideración merecida dentro del modelo prevalente de producción agroindustrial de alimentos, aunque somos el centro mundial de domesticación del tomate, con cientos de variedades ancestrales que han crecido a lo largo del territorio por más de 1,300 años.

A pesar de lo anterior, no se conoce la producción o recolecta de tomate nativo; y son insuficientes los trabajos que documentan el acervo genético de los tomates nativos mexicanos; por lo que es necesario documentar la calidad, rendimiento y características agromorfológicas del tomate silvestre. Como mencionan Berrospe-Ochoa *et al.*, (2015), las poblaciones nativas presentan un alto potencial de adaptación, del desarrollo de planta, el rendimiento y la resistencia al ataque de algunas plagas y enfermedades; además, de la variación en tamaño, forma, color y composición química, así como en valor nutricional y nutracéutico, por lo que es viable para ser cultivado, comercializado o utilizado como porta injertos.

### 3. Planteamiento del Problema

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la agronomía en términos del mejoramiento es la erosión genética; esto porque la producción, sobre todo en el ámbito comercial se basa en híbridos patentados. En México, casi todo el mercado está dominado por 23 variedades comerciales, producidas por sólo dos empresas, Seminis (16) y Nunhems (7): de estas variedades comerciales sólo son de dos tipos de fruto: el saladette (90 %) y el de bola (10 %), lo que es un factor limitante para el aprovechamiento de la variabilidad genética de silvestres.

El Tomate nativo es muy conocido y degustado, sobre todo en localidades donde con frecuencia existen comunidades indígenas cercanas. Las variedades nativas destacan fundamentalmente por su sabor preferencial y por un hecho trascendente: superan a las comerciales en contenido de licopeno, sustancia útil para prevenir y curar el cáncer de próstata y el de páncreas, así como problemas cardiovasculares (Chávez *et al.*, 2011).

En México aún no se documenta suficientemente el valor genético y cultural de sus tomates, no se conoce la cantidad de variedades ancestrales presentes, no se ha explorado por completo ni un solo estado de la República Mexicana, tampoco se cuenta con un programa de conservación en las parcelas y lugares de origen, y la conservación en bancos de semilla es muy limitada. Actualmente, aún se conoce poco de las bases genéticas y moleculares de cómo las rutas bioquímicas tan relevantes como la síntesis de isoprenoides, los carotenoides y otros antioxidantes en plantas se adaptan a diversas condiciones ambientales.

Por lo anterior, de especies como *L. esculentum* var. *cerasiforme* poco se conoce sobre la producción económica o recolecta silvestre; y la generación de trabajos de investigación que documentan los acervos genéticos de los tomates silvestres mexicanos ha sido limitado, esto implica el desconocimiento de su potencial diversidad fenotípica y genotípica, así como sus características agronómica-productivas.

#### **4. Hipótesis**

El tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* presenta atributos en planta y fruto igual o superiores a los del híbrido comercial testigo, los cuales pueden ser aprovechados en cultivo bajo invernadero.

#### **5. Objetivos**

##### **5.1 Objetivo general**

Comparar las variedades *L. esculentum* var. *cerasiforme* (silvestre) y *L. esculentum* tipo cherry (híbrido) en atributos de crecimiento y desarrollo de planta, rendimiento y calidad de fruto en condiciones *in situ* y *ex situ*.

##### **5.2 Objetivos específicos**

- a) Comparar la calidad de fruto tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* evaluado *in situ* con tomate híbrido *L. esculentum* tipo cherry variedad Large Red de invernadero.
- b) Comparar en rendimiento por planta y calidad de fruto tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* con tomate híbrido *L. esculentum* tipo cherry variedad Large Red cultivados ambos bajo invernadero.

## 6. Materiales y métodos

El experimento de acuerdo con los dos objetivos específicos se dividió en dos fases; en la primera fase se realizó la colecta y evaluación *in situ* del germoplasma de tomates silvestre *L. esculentum* var *cerasiforme* y se comparó con tomate cherry de la marca Cherubs® cultivado en invernadero. En la segunda fase se compararon en condiciones de invernadero el tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y el híbrido *L. esculentum* var. Large Red Cherry de la marca Westar®.

### 6.1 Fase 1: Colecta y Evaluación *in situ*

#### 6.1.1. Lugar de colecta

Los frutos de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* se colectaron durante el mes de mayo del 2020 en la comunidad Las Juntas, municipio de Tejupilco, Estado de México, ubicada a 18°50'57.9" N 100°14'12.0" O.

#### 6.1.2. Muestreo de germoplasma

Dentro del sitio de muestreo se realizó un transecto de 3 metros por 2 kilómetros (Figura 1) donde se realizaron 6 muestreos, cada uno de una planta.

#### 6.1.3. Variables evaluadas

De cada muestreo (una planta), así como del tomate híbrido *L. esculentum* tipo cherry de la marca Cherubs®, se evaluaron las variables: ancho (mm), largo (mm) y peso fresco del fruto (g), así como el contenido de azúcares mediante la determinación de grados Brix (°Bx), por su importancia como criterio de calidad en la industria alimentaria, ya que los azúcares son determinantes en el perfil de sabor del fruto.

#### 6.1.4 Análisis estadístico

A los resultados de las variables agronómicas y bioquímicas de las colectas de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias por la prueba de LSD. El análisis se realizó con el programa estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

## **6.2 Fase 2: Evaluación *Ex situ***

### 6.2.1 Sitio experimental

La investigación se realizó en invernaderos del Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Tenancingo, Estado de México que se localiza en el Km 1.5 de la carretera Tenancingo-Villa Guerrero a 18° 97' 03" N y 99° 61' 17" O y a una altitud de 2200 m s. n. m., con temperatura anual máxima de 27 °C y mínima de 4 °C. El experimento inicio en septiembre de 2020 y concluyo en abril de 2021.

### 6.2.2 Germoplasma

#### **6.2.2.1 Germoplasma testigo**

Se empleó como testigo semilla híbrida de fruto tipo cherry de *L. esculentum* variedad Large Red.

#### **6.2.2.2 Germoplasma silvestre**

Se utilizaron las semillas de la colecta de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* que presentó mayor concentración de azúcares medidos en °Bx.

### 6.2.3 Germinación

Las semillas se establecieron en charolas de germinación de 128 cavidades con sustrato de turba (Peat moos®), perlita y humus de lombriz en proporción 2:1:1 (v/v); previamente tratado con extracto de gobernadora (Byoprotek®), y antifúngico (ProtectoX®) con un pH de 6.0.

### 6.2.4. Descripción del experimento

#### **6.2.4.1. Diseño experimental**

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con veinte repeticiones de cada variedad y como unidad experimental se consideró una planta.

#### 6.2.4.2. Establecimiento de plántulas

Las plántulas de ambas variedades se trasplantaron en invernadero a 90 cm de distancia cuando alcanzaron 15 cm de altura y con al menos dos hojas verdaderas. Se establecieron en camas acolchadas de 80 cm de ancho, separadas por pasillos de 60 cm de ancho; con suelo previamente roturado con motocultor.

#### 6.2.5. Fertilización y manejo del cultivo

Posterior al trasplante se iniciaron las aplicaciones de solución nutritiva de Steiner (1984), compuesta de: 6 mEq  $\text{NO}_3^-$ , 0.5 mEq  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , 3.5 mEq  $\text{SO}_4^{2-}$ , 3.5 mEq  $\text{K}^+$ , 4.5 mEq  $\text{Ca}^{2+}$  y 2 mEq  $\text{Mg}^{2+}$ , de acuerdo con Luna *et al.*, (2018), esta solución da como resultado una mejor producción y calidad en plantas de tomate cherry.

El riego se aplicó diariamente con un tiempo variable de acuerdo con las condiciones ambientales que se presentaron usando sistema de riego por goteo con cintillas de la marca Aqua-traxx®, con una distancia entre emisores de 10 cm y con un gasto de 1.5 litros/ hora. El agua se ajustó a pH de entre 5.5 y 6.0 y conductividad eléctrica de 2 a 2.7 mmhos, con la finalidad de que no se viese afectada la disponibilidad de nutrientes en las plantas.

Cuando las plantas alcanzaron una altura de 20 cm se eliminaron los ápices para obtener tres ejes por planta. La poda de formación incluyó la eliminación brotes laterales emergentes de las axilas de las hojas, para dejar únicamente el tallo principal de cada uno de los ejes por planta. La poda basal o poda de hojas más cercanas al suelo se realizó a partir de que se tuvieron tres racimos con fruto (cuajados).

#### 6.2.6. Manejo fitosanitario

Se aplicaron tratamientos preventivos a base de extracto de gobernadora (ProtectoX®) a razón de 1 mililitro/ litro de agua una vez por semana para prevenir la aparición de la secadera provocado por el complejo fúngico *Phytophthora*, *Phytium*, *Fusarium* y *Rizoctonia*.

El control de insectos plaga como: Trips (*Thysanoptera* sp.), minador (*Liriomyza trifolii*), mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) y pulgón

(*Cyrtopeltis modesta*) se realizó con aplicaciones preventivas una vez por semana de *beauveria bassiana* (Baubax®) a razón de 1 mililitro/ litro de agua.

## 6.2.7 Variables evaluadas

### 6.2.7.1 Variables agronómicas.

Debido al crecimiento indeterminado de la planta, se realizó poda del brote apical a los 25 días después del trasplante para ambas variedades.

#### **6.2.7.1.1 Altura de la planta**

La altura de la planta se midió con una cinta métrica desde la base de la planta hasta su ápice, se comenzó a evaluar a partir de su trasplante cada 15 días y se terminó a los 150 días.

#### **6.2.7.1.2 Diámetro del tallo de la planta**

El diámetro del tallo se midió a la altura del primer racimo floral con un vernier digital (Knova®).

#### **6.2.7.1.3 Diámetro del cuello de la planta**

El diámetro del cuello de la planta se determinó a ras de suelo con vernier digital (Knova®).

#### **6.2.7.1.4 Número de racimos por planta**

El número de racimos se determinó mediante el conteo desde la aparición del primer racimo floral. La variable evaluada se midió hasta alcanzar el racimo número 11 para la variedad híbrida y 14 para la variedad silvestre.

#### **6.2.7.1.5 Diámetro promedio de fruto por racimo**

El diámetro del fruto se midió al ecuador y a los polos del fruto con vernier digital (Knova®); se realizó la evaluación en al alcanzar la madurez fisiológica, en el nivel 9, de acuerdo con la Figura 9.

#### **7.2.7.1.6 Peso promedio de fruto**

Se obtuvo del cociente de peso de frutos por planta entre el número total de frutos cosechados; se realizó la evaluación en al alcanzar la madurez fisiológica, en el nivel 9, de acuerdo a la Figura 9.

#### **6.2.7.2. Variables bioquímicas**

##### **6.2.7.2.1. Determinación de pH**

El pH se evaluó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-317-S-1978. Se midió en frutos fisiológicamente maduros para cada uno de los tratamientos con un potenciómetro portátil (Hanna®) previamente calibrado.

Se obtuvo una muestra representativa de 100 g, de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y 100 g de tomates híbridos comerciales *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry, y se homogenizaron las muestras.

Las muestras se maceraron y se mezclaron perfectamente, se tomaron 20 ml del sobrenadante de cada muestra, y se sumergió el electrodo en la muestra. Se registró el valor del pH de la muestra que se leyó directamente en el potenciómetro (THERMO Orion Star A215). El análisis se realizó por triplicado para cada variedad.

##### **6.2.7.2.2 Contenido de humedad**

El contenido de humedad se determinó de acuerdo con los parámetros de la NOM-116-SSA1-1994. Se obtuvo una muestra representativa de 100 g de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y 100 g de tomates híbridos comerciales *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry y se homogenizaron las muestras.

Las muestras de tomate se maceraron y se mezclaron perfectamente, se tomaron 10 g de cada muestra y se pusieron en crisoles, previamente secados hasta peso constante, y se colocaron en estufa (THERMO SCIENTIFIC - FB1410M) durante 4 horas a  $100 \pm 2$  °C hasta alcanzar la sequedad. Los crisoles se sacaron de la estufa y se colocaron en el desecador y se dejaron enfriar hasta una temperatura ambiente.

Para calcular el contenido humedad se pesaron los crisoles con la muestra al enfriarse.

El contenido de humedad de cada muestra expresado en porcentaje se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad \%} = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

En donde:

M1= Peso de la cápsula con arena o grava (g)

M2= Peso de la cápsula con arena o grava más muestra húmeda (g)

M3= Peso de la cápsula con arena o grava más muestra seca (g)

El análisis de humedad se realizó por triplicado para cada variedad.

#### **6.2.7.2.3 Contenido de fibra**

El contenido de fibra se determinó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-090-S-1978 a partir de la digestión ácida y alcalina de la muestra. Se obtuvo una muestra representativa de 100 g de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y 100 g de tomates híbridos comerciales *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry, y se homogenizaron las muestras.

Se maceraron las muestras de manera independiente y de cada una de ellas se colocaron 2 g en un vaso de precipitado de 600 ml, se agregó 1 g de asbesto preparado y 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25 %; y se colocaron los vasos sobre la placa caliente del digestor de fibra cruda, una vez que llegó al punto de ebullición se mantuvieron los vasos en las placas durante 30 minutos. Después de este tiempo, se filtró el sobrenadante, y el residuo se colocó en un vaso con 200 ml de NaOH al 1.25 %. Nuevamente se calentó hasta su ebullición durante 30 minutos.

Se filtró el sobrenadante en papel filtro de masa cocida y el residuo se transfirió a un crisol a masa constante y la muestra se secó a 130 °C durante 2 horas. Finalmente se enfrió la muestra y se determinó su masa.

El contenido de fibra cruda expresado en porcentaje se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Fibra cruda (\%)} = \frac{Ps - Pp - (Pc - Pcp)}{M} \times 100$$

En donde:

Ps = masa en gramos del residuo seco a 130°C

Pp = masa en gramos de papel filtro.

Pcp = masa en gramos de las cenizas del papel.

M = masa de la muestra en gramos.

Pc = masa en gramos de las cenizas.

El análisis se realizó por triplicado para cada variedad.

#### **6.2.7.2.4 Contenido de proteína**

El contenido de proteína se determinó por el método Kjeldahl. Se obtuvo una muestra representativa de 100 g de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y 100 g de tomates híbridos comerciales *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry, y se homogenizaron las muestras.

Se maceró la muestra de tomates y se tomaron 5 g de la muestra homogénea y se colocaron en un tubo de digestión, se adicionaron 2 tabletas Kjeldahl de 5 g de catalizador de Missouri y 20 ml de Ácido Sulfúrico al 98 %. Se colocó el tubo de digestión con la muestra en el calefactor del digestor y permaneció en el digestor durante 180 minutos.

Al finalizar la digestión, la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente y se adicionaron 100 ml de agua destilada y se transfirió al destilador. Se añadieron 50 ml de hidróxido de sodio al 50 % para neutralizar el pH. La muestra digerida y destilada se valoró con HCl 0.25 mol/l, y se calculó el porcentaje de proteína en la muestra.

El contenido de proteína, expresado en porcentaje, se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml ácido valorante} - \text{ml blanco}) \times \text{N del ácido} \times 1,4007}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

Donde:

Ácido valorante= HCl

Blanco= destilado de la muestra

N del ácido= Normalidad del ácido

El análisis se realizó por triplicado para cada variedad.

#### **6.2.7.2.5 Contenido de azúcares (°Bx)**

Se evaluó el contenido de azúcares en los frutos de tomate de acuerdo con la norma mexicana NMX-F-436-SCFI-2011, con el empleo un refractómetro portátil (Precisión Instruments®) con capacidad para registrar lecturas de 0 a 95 °Bx y corrección automática de temperatura.

Se obtuvo una muestra representativa de 100 g de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y 100 g de tomates híbridos comerciales *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry, y se homogenizaron las muestras.

Para determinar los °Bx se maceraron las muestras para obtener el jugo de los frutos, se calibró el refractómetro con agua destilada en el prisma y posteriormente se tomó una gota del jugo de tomate. Se registró la lectura observada directamente en la escala del refractómetro. Se hicieron 50 repeticiones del análisis para cada variedad.

#### **6.2.8. Análisis estadístico**

Los resultados de las variables agronómicas y bioquímicas se examinaron con análisis de varianza, comparación de medias de mínima diferencia significativa (MDS), prueba comparación de medias de Tukey y pruebas de significancia t-

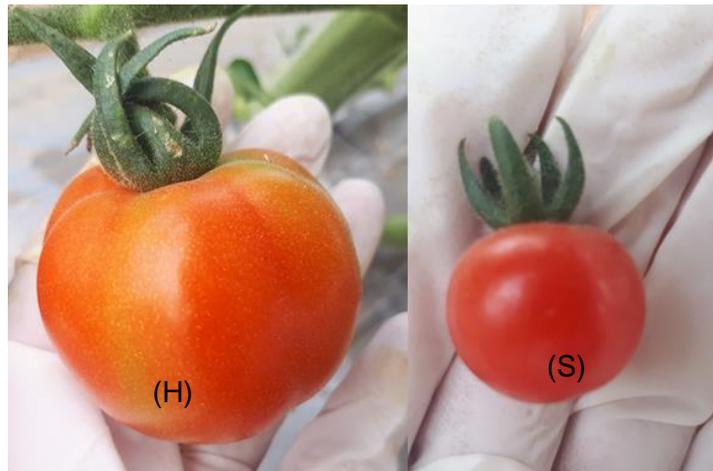
student, todas al nivel de confianza del 0.05. Todos los datos se procesaron con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

## 7. Resultados y discusión

### 7.1 Fase 1: Evaluación y colecta *in situ*

#### 7.1.1 Selección del germoplasma colectado

Hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en las cuatro variables analizadas (ancho del fruto, largo de fruto, peso del fruto y °Bx) entre las colectas de tomates silvestres y el testigo tomate híbrido Cherry (Cuadro 1). La comparación de medias para ancho del fruto separó a los tratamientos en cuatro grupos, dónde destaca el testigo híbrido Cherry en uno solo y con el mayor valor medio, superior al de las colectas silvestres con una diferencia promedio de casi 4 mm, que corresponde a una proporción silvestre/ híbrido de 0.77 (Figura 16).



**Figura 16.** Comparación de los frutos de tomate de la variedad híbrida (H) y la silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S).

Contrariamente, dentro de las colectas silvestres, la diferencia en valores extremos fue de 1.07 mm, tres veces menor que la antes descrita. El diámetro promedio del fruto de las seis muestras de silvestre fue menor en 2 mm a los reportados por Chávez *et al.*, (2011), quienes establecen un intervalo de 15 a 25 mm de diámetro en condiciones óptimas de temperatura y crecimiento; este intervalo puede variar de acuerdo con las condiciones climatológicas, de temperatura y humedad. En contraste, Agudelo *et al.*, (2011), que caracterizaron distintos tomates tipo cereza, entre ellos a cerasiforme, mencionan que la longitud del fruto puede variar entre los

rangos de 10 hasta 30 mm, esto debido a que el tamaño está asociada a mayor contenido en sólidos solubles.

Para el largo del fruto, la comparación de medias separó los valores en dos grupos, en uno se muestra únicamente al tomate híbrido comercial, con un largo de 24.63 mm, mientras que el otro conformado por las colectas silvestres, con valores extremos de 12.56 mm y 13.59 mm, observando una diferencia con la variedad híbrida de más del doble (proporción silvestre promedio/ híbrido = 0.52). La variable longitud y en general tamaño de acuerdo con Córdoba-Novoa *et al.*, (2018), varían de acuerdo con la variedad, lo cual permite decir que, los resultados encontrados son propios de cada genotipo y de las condiciones de evaluación. En el caso de los silvestres evaluados, su forma es redonda de acuerdo con la relación de promedios ancho: largo (13.09 mm: 12.99 mm, respectivamente), en contraste con la forma oval encontrada para la variedad híbrida Cherry en su relación ancho: largo (relación 16.96 mm: 24.63 mm respectivamente).

En cuanto al peso fresco del fruto, se observan cuatro grupos generados a partir de la comparación de medias, siendo el grupo del tomate híbrido el que presentó el mayor promedio, con una diferencia de más del doble con respecto a las colectas silvestres. Esta diferencia se explica por las diferencias en el largo y el ancho que influyeron en el peso de las muestras evaluadas. Además, el Cherry comercial que fue la referencia, es un híbrido F<sub>1</sub> que experimenta vigor híbrido o heterosis, por el efecto de la cruce de líneas puras genéticamente contrastantes (Bravo *et al.*, 2014); estas variedades híbridas permiten obtener entre otras características, alto rendimiento y precocidad.

Dentro de los grupos de tomate silvestre la colecta 2 mostró el mayor peso con 1.58 g, seguida del grupo de las colectas 1,3, 4 y 5, con un rango de peso de 1.24 a 1.42 g; y finalmente la colecta 6, que presento el menor peso con 1.06 g. Olmedo-López *et al.*, (2019), afirman que la variedad cerasiforme tiene un peso en promedio de 0.71 a 0.78 g en contraste con los tomates cherry con un peso máximo de 3.17 g, estos datos nos indican que los valores obtenidos están dentro del tamaño reportado para su estado silvestre.

Para °Bx, las colectas silvestres ofrecieron un valor mayor que el Cherry híbrido. La comparación de medias mostró seis grupos de clasificación (Cuadro 5), siendo la colecta 3 la de mayor valor con 4.28 °Bx y el Cherry híbrido el de menor (3.15 °Bx). Dentro de las colectas silvestres hubo diferencias que fueron de 7 % hasta 20 % de °Bx; El tomate híbrido comercial presentó en promedio un 26 % menos en el contenido de °Bx.

Crisanto-Juárez *et al.*, (2010), mencionan que uno de los parámetros más importantes para describir y clasificar las variedades de tomate es el contenido de sólidos solubles y para cerasiforme la concentración promedio del contenido de sólidos solubles totales fue de 3.8 a 4.5 °Brix.

**Cuadro 5.** Variables agronómicas y bioquímicas de las seis colectas de frutos de tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* y la variedad híbrida (CH).

<b>Colecta</b>	<b>Ancho fruto (mm)</b>	<b>Largo fruto (mm)</b>	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Sólidos solubles (°Bx)</b>
<b>1</b>	13.08 ± 0.18 <sup>AB</sup>	13.03 ± 0.15 <sup>A</sup>	1.30 ± 0.05 <sup>AB</sup>	4.00 ± 0.07 <sup>CD</sup>
<b>2</b>	13.61 ± 0.33 <sup>B</sup>	13.59 ± 0.25 <sup>A</sup>	1.58 ± 0.11 <sup>B</sup>	3.98 ± 0.24 <sup>CD</sup>
<b>3</b>	13.48 ± 0.37 <sup>AB</sup>	13.05 ± 0.13 <sup>A</sup>	1.42 ± 0.06 <sup>AB</sup>	4.28 ± 0.25 <sup>D</sup>
<b>4</b>	12.80 ± 0.42 <sup>AB</sup>	12.96 ± 0.19 <sup>A</sup>	1.28 ± 0.09 <sup>AB</sup>	3.42 ± 0.15 <sup>AB</sup>
<b>5</b>	13.04 ± 0.26 <sup>AB</sup>	12.79 ± 0.18 <sup>A</sup>	1.24 ± 0.06 <sup>AB</sup>	3.46 ± 0.12 <sup>ABC</sup>
<b>6</b>	12.54 ± 0.23 <sup>A</sup>	12.56 ± 0.46 <sup>A</sup>	1.06 ± 0.08 <sup>A</sup>	3.68 ± 0.13 <sup>BC</sup>
<b>CH</b>	16.96 ± 0.46 <sup>C</sup>	24.63 ± 0.8 <sup>B</sup>	3.9 ± 0.17 <sup>C</sup>	3.15 ± 0.16 <sup>C</sup>

Promedio ± error estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de MSD ( $P \leq 0.05$ ).

## 7.2. Fase 2: Evaluación *ex situ*

### 7.2.1 Variables Agronómicas

#### 7.2.1.1 Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

En TAC entre las medias de silvestre y la del híbrido, hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), en la altura y diámetro del tallo de planta, pero no para diámetro del cuello de la planta (Cuadro 6).

La comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) en altura de la planta, las categorizó como grupos diferentes, siendo los tomates híbridos los que mostraron la mayor tasa de crecimiento (cm/ día) con 1.549, en contraste con la variedad silvestre cuyo valor fue de 1.194 (Figura 17.), cifras que representan una diferencia de crecimiento de 23 % mayor en el híbrido respecto a los silvestres.



**Figura 17.** Evaluación de altura en plantas de tomates *L. esculentum*.

En diámetro del tallo, la comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) también separó al híbrido de los silvestres, siendo el primero el que mostró una mayor TAC (mm/ día) con 0.113, en comparación con la variedad silvestre con 0.102 (Figura 18).



**Figura 18.** Diámetro del tallo de plantas de tomates *L. esculentum*

En cuanto a la TAC (mm/día) del diámetro del cuello de la planta, las medias de silvestres e híbrido fueron muy similares, de 0.191 y 0.194 (Figura 19).



**Figura 19.** Diámetro del tallo de plantas de tomates *L. esculentum*

**Cuadro 6.** Tasa absoluta de crecimiento (TAC; Hunt, 1982.) de las variables altura, diámetro del cuello de la planta y diámetro del tallo de tomates silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y tomates híbridos comerciales *L. esculentum* tipo cherry, variedad *Large Red Cherry* (H).

Variedad	TAC		
	Altura (cm/día)	Diámetro tallo de la planta (mm/día)	Diámetro del cuello de la planta (mm/día)
S	1.194 ± 0.02A	0.102 ± 0.002A	0.194 ± 0.003 <sup>A</sup>
H	1.549 ± 0.03B	0.113 ± 0.002B	0.191 ± 0.009 <sup>A</sup>

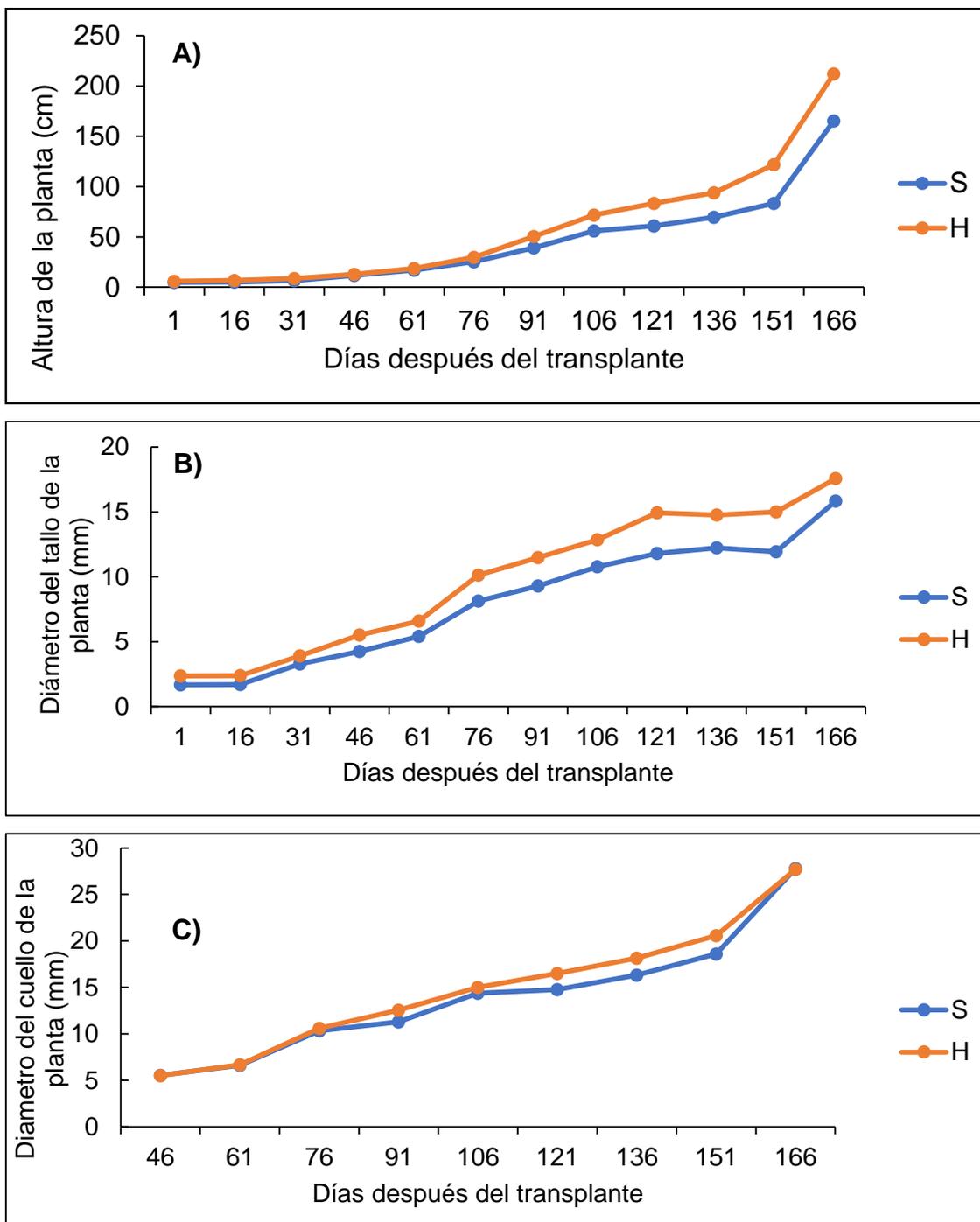
Promedio ± error estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una P = 0.05.

Es importante destacar las características que describen Chávez *et al.*, (2011), de plantas en estado silvestre, donde, los valores de altura de la planta pueden variar desde los 50 cm hasta 1 metro de altura, pero si se considera en estado rastrero puede alcanzar tallos de hasta 7 metros de largo, y cada característica, como el diámetro de tallo, están determinadas por las condiciones de cultivo, nutrición y condiciones edafológicas.

Ambas variedades (híbridos y silvestres) tienen un patrón de crecimiento indeterminado, esta continuidad es un aspecto que favorece al cultivo de tomate en invernadero. Ambas variedades tuvieron una velocidad de crecimiento semejante hasta el día 76 después del trasplante, en la que notablemente se puede diferenciar el crecimiento más rápido de la variedad cherry híbrida (Figura 20). En contraste, *L. esculentum* var. *cerasiforme* por ser una planta compacta, su crecimiento se observa en apariencia lento, sin embargo, la producción de racimos florales fue equitativa, (Chávez *et al.*, 2011), por esto la distancia de entre nudos es más corta que en la variedad híbrida la cual tiene entre nudos más alargados entre hojas y racimo.

El desarrollo de las plantas conlleva un conjunto de procesos químicos y biológicos, los cuales son totalmente dependientes de las condiciones edafoclimáticas; y como mencionan Flores-Pacheco *et al.*, (2016), en el cultivo del tomate y en general, los factores como la radiación, temperatura, humedad relativa del aire, concentración de CO<sub>2</sub>, la disponibilidad de nutrientes y el agua en el suelo, forman un conjunto esencial para la optimización de la fotosíntesis y el óptimo crecimiento y desarrollo vegetal.

Por ejemplo, Chávez *et al.* (2011), mencionan que, en el tomate, la temperatura óptima para su desarrollo varía entre 20 y 25 °C, y en estas condiciones la tasa de fotosíntesis es máxima por lo que se alcanzan los niveles óptimos de crecimiento, en cambio las plantas expuestas a temperaturas extremas pueden provocar frutos pequeños (Flores-Pacheco *et al.*, 2016).

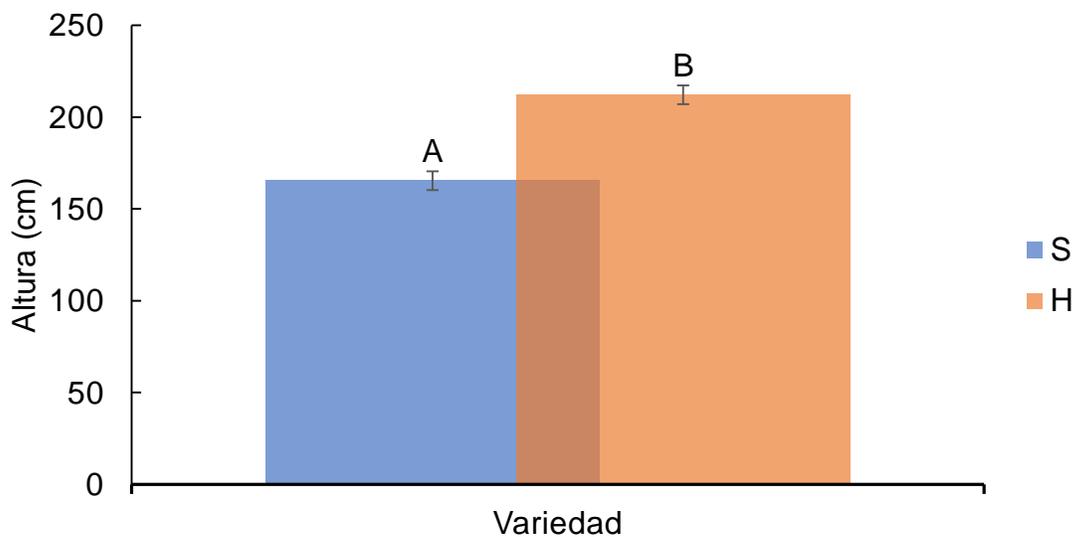


**Figura 20.** Altura de plantas registrado en centímetros (A), diámetro del tallo de las plantas (B) y diámetro del cuello de las plantas (C) de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de una variedad comercial de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H), evaluada cada 15 días hasta su cosecha.

### 7.2.1.2 Altura final de la planta (AP)

Se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ; t de student) entre el híbrido y el silvestre, donde el primero presentó una mayor altura a partir del día 61 después del trasplante, y con una altura final de 212 cm contrastando con la altura de las plantas silvestres que fue en promedio de 165 cm. (Figura 21)

A pesar de que la variedad híbrida tiene un mayor crecimiento vegetativo, está no fue superior en número de racimos por planta, debido a que la variedad silvestre presenta entre nudos más cortos lo que favorece el desarrollo de más racimos por tallo (Figura 22).



**Figura 21.** Altura final de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de una variedad comercial de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). Barras de error son error estándar.



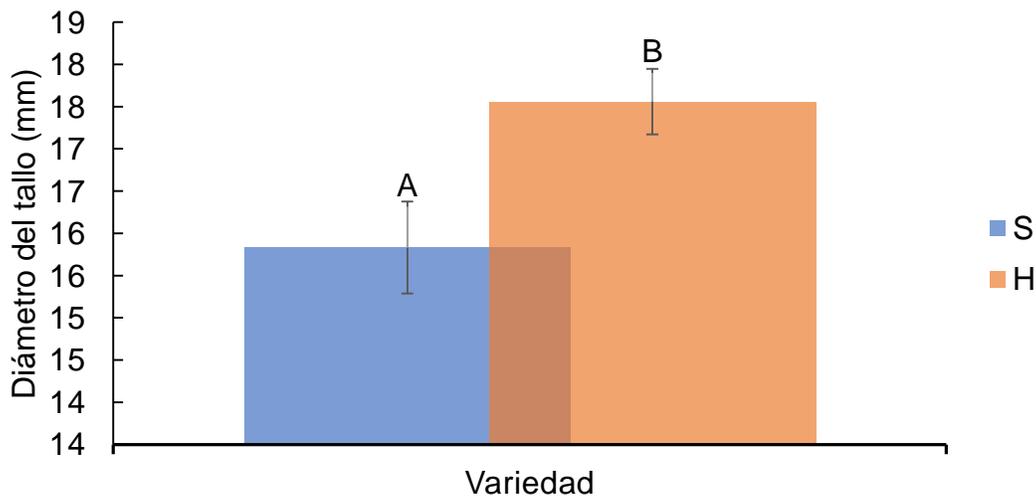
**Figura 22.** Altura final de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas la variedad Large Red Cherry de *L. esculentum* (H).

#### 7.2.1.3 Diámetro final del tallo de la planta (DT)

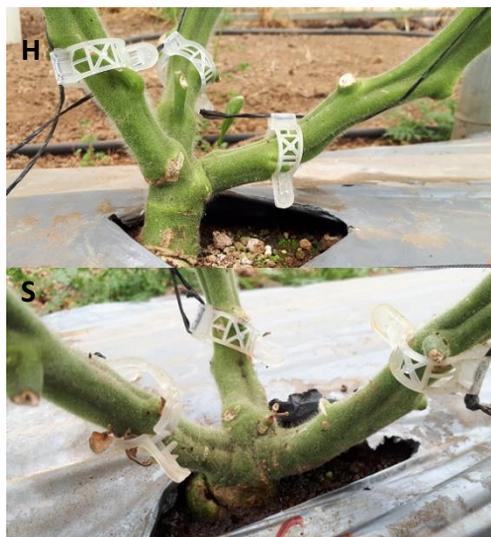
Se observaron diferencias significativas (t de student;  $P \leq 0.05$ ) en diámetro del tallo entre las plantas silvestres y las híbridas, donde la variedad híbrida alcanzó un diámetro de 17.56 mm y la silvestre de 15.83 mm (Figura 23).

Dentro del experimento se optó por dividir en tres ejes (tallos) de acuerdo con Mendoza-Pérez *et al.*, (2018), ya que al aumentar el número de tallos se incrementa la cantidad de frutos por planta y el tamaño disminuye, características que son importantes al producir tomates cherries. Crisanto-Juárez *et al.*, (2010) menciona que las variedades híbridas comerciales tienden a tener un tallo de 15 mm hasta 40 mm, por lo tanto la división a tres ejes no afectó en el desarrollo del tallo en las plantas híbridas; en cambio la variedad silvestre, de acuerdo con Chávez *et al.*,

(2011) los tallos se caracterizan por ser débiles, traslucidos y con un diámetro de hasta de 3.5 mm en estado asilvestrado; pero también mencionan que en invernadero puede alcanzar hasta 11.9 mm; lo que indica que en la variedad silvestre, la división a 3 ejes aumentó el diámetro del tallo (Figura 24.).



**Figura 23.** Diámetro final del tallo de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum*, tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).



**Figura 24.** Diámetro final del tallo de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum*, tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

#### 7.2.1.4 Diámetro del cuello de la planta (DP)

No hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ; t de student) en diámetro del cuello de las plantas silvestres y las híbridas, con 27.81 mm y 27.72 mm respectivamente (Figura 25).

De acuerdo con Rodríguez y Sánchez (2021), la importancia del manejo del cultivo a 3 ejes permite identificar y definir el mejor sistema de conducción lo que eficiente los recursos e insumos que intervienen en el cultivo, así como un incremento en el rendimiento y calidad del fruto. Y como se observó en este trabajo, tanto la variedad híbrida como la silvestre se comportan de manera semejante dentro del invernadero (Figura 26).

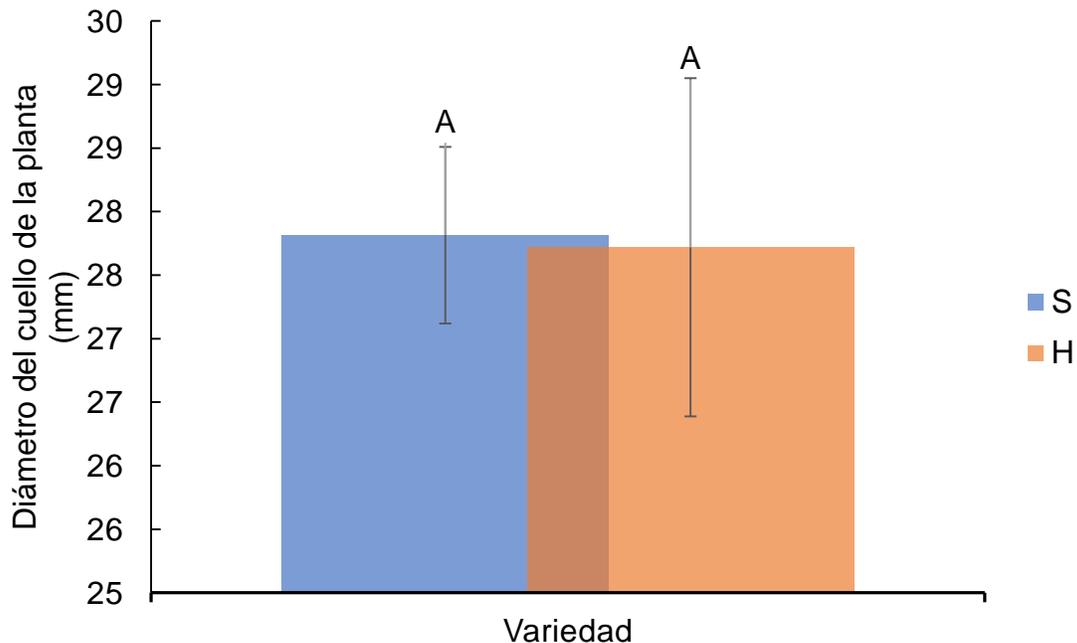
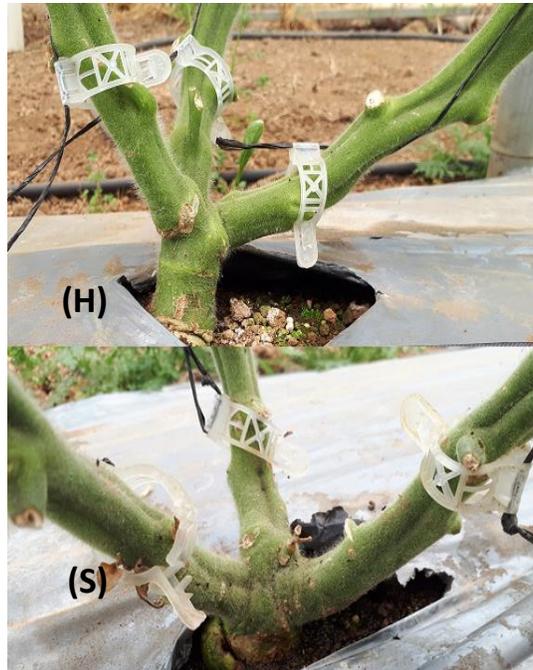


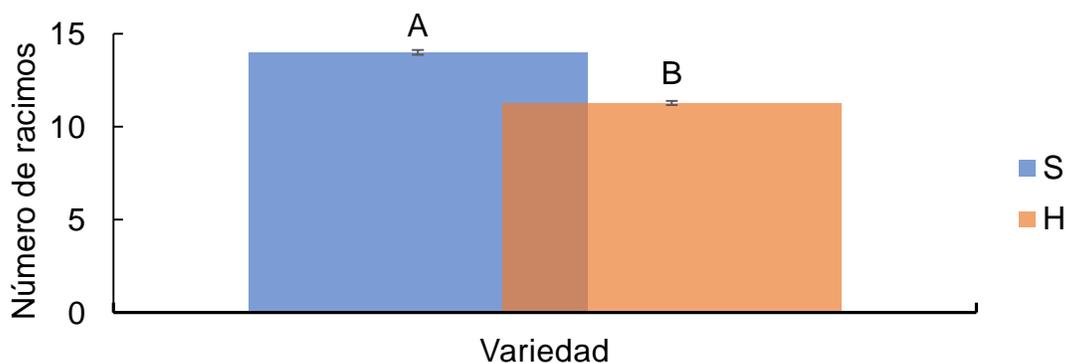
Figura 25. Diámetro final del cuello de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).



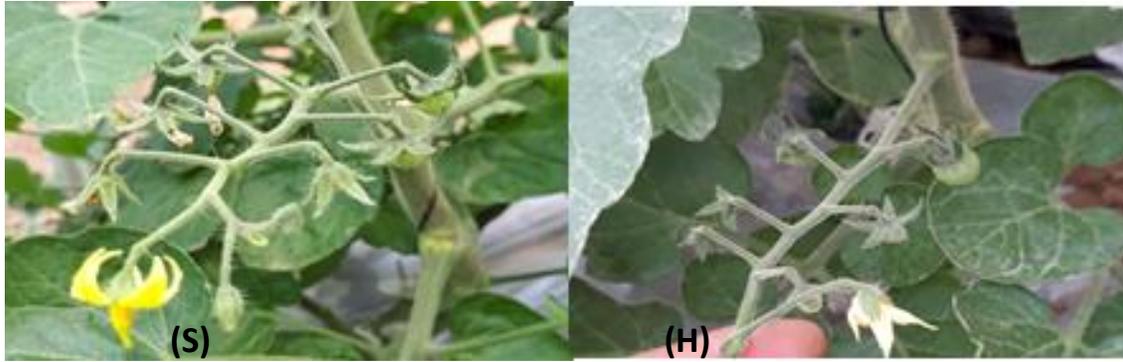
**Figura 26.** Cuello de tallo de plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H)

#### 7.2.1.5 Número de racimos por planta

Hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ; t de student; Figura 27.) en número de racimos por planta entre las variedades híbrida y silvestre; la variedad silvestre presentó el mayor número de racimos con 14 racimos por planta, en contraste la variedad híbrida alcanzó 11 racimos por planta (Figura 28).



**Figura 27.** Número final de racimos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H). Letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

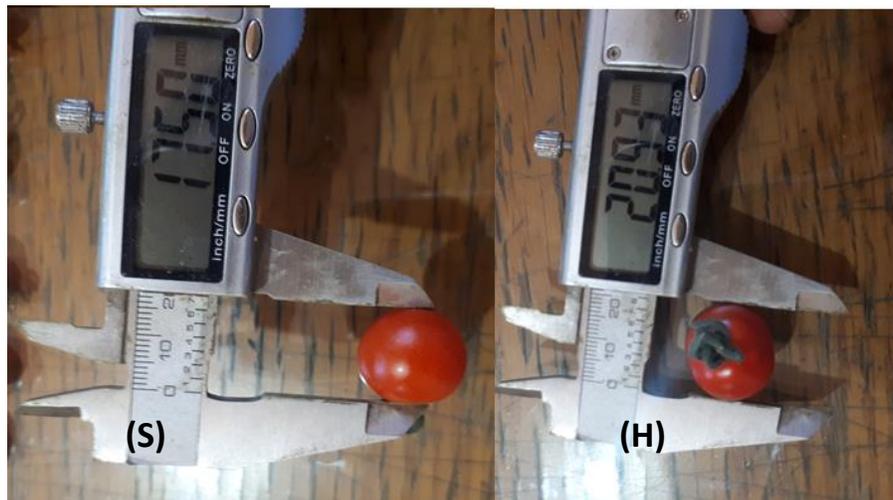


**Figura 28.** Número final de racimos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo *cherry*, variedad *Large Red Cherry* (H).

#### 7.2.1.6 Diámetro promedio de fruto por racimo

##### 7.2.1.6.1 Diámetro ecuatorial y polar del fruto

Para el diámetro ecuatorial de los frutos de las plantas silvestres y las híbridas se observaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ , Figura 29), en donde los frutos presentaron un diámetro de 19.39 y 24.72 mm respectivamente; y para el diámetro polar del fruto se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) de los frutos de las plantas silvestres y las híbridas, en donde se presentaron 17.2 y 21.1mm correspondientemente (Cuadro 7).



**Figura 29.** Diámetro del fruto de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo *cherry*, variedad *Large Red Cherry* (H).

**Cuadro 7.** Comparación de medias (t de student) y varianza del diámetro ecuatorial y polar de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Media (mm)	Varianza	P
<b>DIÁMETRO ECUATORIAL</b>	<i>Silvestre</i>	19.39A	0.4	<0.0001
	<i>Hibrido</i>	24.72B	15.76	
<b>DIÁMETRO POLAR</b>	<i>Silvestre</i>	17.2A	0.33	<0.0001
	<i>Hibrido</i>	21.1B	4.83	

De acuerdo con Méndez *et al.*, (2011), el tamaño del fruto regularmente tiene un diámetro de 10 a 25 mm en *L. esculentum* var. *cerasiforme* en condiciones *in situ*, los valores obtenidos en las evaluaciones están dentro de los valores reportados. En contraste cuando se evalúan en invernadero estos, de acuerdo con el mismo autor, llegan a alcanzar un diámetro de hasta 22.4 mm, los valores obtenidos en el experimento denotan un incremento al estado silvestre pero no el tamaño suficiente que requiere el mercado.

#### 7.2.1.7 Peso promedio de fruto

Hubo diferencias significativas (Prueba de t;  $P \leq 0.01$ ), el peso promedio de los frutos de las plantas silvestres y las híbridas con valores de 3.5 y 8.69 g respectivamente (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Comparación de medias (t de student) y varianza de peso de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Observaciones	Media (g)	Varianza	P
<b>PESO</b>	<i>Silvestre</i>	50	3.5A	0.33	<0.0001
	<i>Hibrido</i>	50	8.69B	4.83	

De acuerdo con Flores-Pacheco *et al.*, (2016), el tamaño del fruto varía dependiendo de la variedad y ha cambiado a partir de su domesticación, desde tamaños pequeños con menos de 20 g en variedades cherry, hasta una gran diversidad de tamaños entre medianos y grandes (hasta 500 g); y en general, la calidad externa del fruto puede ser cuantificada por el tamaño, forma del fruto, peso, diámetro ecuatorial y longitudinal (Figura 30).



**Figura 30.** Comparación en tamaño de plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry

### 7.2.2 Variables bioquímicas

#### 7.2.2.1 Determinación de pH

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las plantas silvestres e híbridas para el pH de la pulpa de los frutos, cuyos valores obtenidos fueron de 3.83 y 3.82 respectivamente (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Comparación de medias (t de student) y varianza de pH en los frutos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Observaciones	Media (mm)	Varianza	P
pH	<i>Silvestre</i>	3	3.83A	0.033	0.8509
	<i>Hibrido</i>	3	3.82 <sup>a</sup>	0.041	

Cantwell (1998), menciona que el pH presenta diferencias de acuerdo con los genotipos, sin embargo, los valores de pH fluctuaron entre 4.1 a 4.4 en tomate, que de acuerdo con Crisanto-Juárez *et al.*, (2010), podría alcanzar hasta 4.8 en frutos de tomate en etapa de madurez rojo uniforme.

En términos de calidad, el sabor normalmente se mide mediante catadores que toman en cuenta características como el aroma, olor, firmeza, harinosidad, jugo, calidad de la piel; y los más importantes el contenido de azúcares y la acidez, esta última determinada por los valores de pH (Cuadro 10) (Yara, 2022).

**Cuadro 10.** Combinación del contenido de azúcar y la acidez de los frutos tomate para alcanzar un buen sabor. Tomado de Yara (2022).

<b>Acidez</b>	<b>Contenido de azúcar</b>		<b>Sabor</b>
Alta	Alto	=	Bueno
Alta	Bajo	=	Agrio
Baja	Alto	=	Poco
Baja	Bajo	=	Insípido

De acuerdo con Crisanto-Juárez *et al.*, (2010), la variación en el pH de los frutos está directamente relacionado con su grado de madurez fisiológica, que al no ser alcanzada no logran realizar los procesos bioquímicos que conducen a que los ácidos orgánicos modifiquen el sabor.

Los resultados de este experimento son aproximados con los reportados por Cantwell (1998); Jiménez *et al.* (1996) y Nuez (1995), quienes han reportado que en frutos de tomate en etapa de madurez rojo uniforme los valores de pH desde 4.0 hasta 4.8 indican una buena calidad del fruto.

#### 7.2.2.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad de los frutos de las plantas de tomate silvestres y las híbridas fueron deferentes significativamente (Prueba de t;  $P \leq 0.05$ ), con valores de 93.56 y 92.64 % respectivamente (Cuadro 11). De acuerdo Monsalve y Machado (2007), el contenido de agua en el tomate es importante ya que brinda un mayor índice de estabilidad y calidad en el fruto; dentro del procesado de alimentos es

importante tener un contenido mayor al 90 %. Tanto los frutos de tomate híbrido como el silvestre obtuvieron un porcentaje de humedad óptimo.

La determinación del contenido de humedad en la industria agroalimentaria es un factor importante en la calidad de frutas y hortalizas ya sean frescas y quizás tenga mayor importancia al hablar de las mismas pero procesadas e influye decisivamente en la conservación y en el deterioro de los frutos. El promedio porcentual de humedad para el tomate cherry es de  $94.14 \pm 0.14$  (Kirk *et al*, 1996).

**Cuadro 11.** Comparación de medias (t de student) y varianza del contenido de humedad de los frutos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Observaciones	Media (%)	Varianza	P
HUMEDAD	<i>Silvestre</i>	3	93.56A	0.57	0.1157
	<i>Hibrido</i>	3	92.64A	0.06	

### 7.2.2.3 Contenido de fibra

En el contenido de fibra de los frutos de las plantas silvestres y las híbridas, se observaron diferencias (t de student;  $P \leq 0.01$ ), obteniendo el mayor valor las plantas silvestres con 1.97 % en contraste con las plantas híbridas con 1.89 % (Cuadro 12).

De acuerdo con Granados *et al.* (2011), un factor importante en la evolución de las plantas son los llamados metabolitos secundarios, ya que son sus herramientas químicas y mecánicas de supervivencia; y aunque existen más de 10,000 productos secundarios, uno de los grupos más importantes son los compuestos fenólicos, y dentro de estos las ligninas, las cuales impregnan las paredes celulares, dando fuerza estructural a la planta y proporcionándole una barrera contra el ataque de herbívoros y patógenos.

Por lo que podemos decir, que acorde con los resultados obtenidos, el aporte de fibra en las plantas silvestres puede estar vinculado a un mayor potencial en sus mecanismos de defensa contra la herbívora.

**Cuadro 12.** Comparación de medias y varianza del contenido de fibra de los frutos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Media (%)	Varianza	P
FIBRA	<i>Silvestre</i>	1.97A	0.0023	0.0036
	<i>Hibrido</i>	1.89B	0.0023	

#### 7.2.2.4 Contenido de proteína

El análisis estadístico del contenido de proteína de los frutos de las plantas silvestres y las híbridas mostró diferencias (Prueba de t;  $P \leq 0.01$ ), obteniendo el mayor valor las plantas silvestres con 1.093 % en contraste con las plantas híbridas con 0.926 % (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Comparación de medias (t de student) y varianza del contenido de proteína de los frutos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Observaciones	Media (%)	Varianza	P
PROTEÍNA	<i>Silvestre</i>	3	1.093A	0.0023	0.0002
	<i>Hibrido</i>	3	0.926B	0.0023	

#### 7.2.2.5 Contenido de azúcares (°Bx)

Se observaron diferencias entre el contenido de azúcar de las plantas silvestres y las híbridas (Prueba de t;  $P \leq 0.01$ ); el mayor valor fue en las plantas silvestres con 5.54 °Bx, en comparación con las plantas híbridas con 4.94 °Bx respectivamente (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Comparación de medias (t de student) y varianza para solidos solubles en frutos de las plantas de tomate *L. esculentum* var. *cerasiforme* (S) y plantas híbridas de *L. esculentum* tipo cherry, variedad Large Red Cherry (H).

Variable	Variedad	Observaciones	Media	Varianza	P
<b>GRADOS</b>	<i>Silvestre</i>	50	5.54A	0.89	0.0011
<b>BRIX</b>	<i>Hibrido</i>	50	4.94B	0.68	

Cantwell (1998) menciona que los sólidos solubles totales pueden presentar valores de 5.8 hasta 8.0 °Bx; sin embargo, el tomate cherry híbrido comercial presentó 7.2, en contraste con los resultados; por otra parte, Young *et al.*, (1993) afirman que muchos genotipos nativos producen un mayor contenido de solidos solubles totales, debido a que sus frutos tienen mayor capacidad para acumular o incorporar fotosintatos.

A pesar de que los resultados obtenidos no alcanzan los valores anteriormente mencionados, los resultados muestran la misma tendencia, siendo el silvestre el que presenta un mayor contenido de °Brix; que de acuerdo con Causse *et al.*, (2011), el sabor del fruto está relacionado con concentraciones relativas de ácidos y solidos solubles totales que contiene el fruto, principalmente la fructuosa y el ácido cítrico. La combinación idónea de ambos debe ser alta para que el fruto tenga un buen sabor.

Por otra parte, la maduración del tomate es un proceso de desarrollo altamente coordinado que coincide con la maduración de la semilla; y la expresión regulada de miles de genes controla el ablandamiento de la fruta, así como la acumulación de pigmentos, azúcares, ácidos y compuestos volátiles (Klee y Giovannoni, 2011)

Los resultados de esta variable, es una característica deseable para la variedad *L. esculentum* var. *cerasiforme*, ya que, desde el punto de vista sensorial, la combinación de azúcares y ácidos orgánicos van a definir el sabor del tomate y por lo tanto la aceptación del consumidor (Crisanto-Juárez *et al.*, 2010).

En la fase final del cultivo, durante la maduración fisiológica del fruto se acumula la mayor parte de los azúcares en el fruto y los compuestos volátiles se desarrollan en su totalidad, y dentro de los parámetros agronómicos el contenido de sólidos solubles (°Bx) y el color son los parámetros que marcan la madurez comercial del tomate (Fahey, 1976).

## 8. Conclusiones

El tomate silvestre *L. esculentum* var. *cerasiforme* en evaluación *in situ* y en comparación con el híbrido tipo cherry comercial, presentó valores menores de ancho, largo y peso de fruto; pero, mayor (25 %) contenido de azúcares (°Bx) en el fruto.

En la evaluación *ex situ*, la tasa absoluta de crecimiento en altura del tomate híbrido fue superior al silvestre en un 23 %, así como también en diámetro y peso del fruto con porcentajes de 17 % y 160 % respectivamente. Sin embargo, en el componente del rendimiento número de racimos, el silvestre fue superior al híbrido en número de racimos (14/11) como consecuencia de entrenudos más cortos que los del híbrido. En variables bioquímicas, *L. esculentum* variedad cerasiforme contiene valores de calidad bioquímica superiores al testigo híbrido en las variables de fibra, proteína y azúcares.

Las cualidades sobresalientes del tomate silvestre observadas en esta investigación como número de racimos y variables bioquímicas representan una valiosa oportunidad para su aprovechamiento como cultivo y en programas de mejoramiento genético.

## 9. Referencias

- Agudelo, A.G.; Ceballos Aguirre N. y Orozco, F.G. (2011). Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *78grícola*78, 19(2), 44-53.
- Angus, R. and R. Morrison. 1998. Review of wavelength selective films for plant growth and enhancement. *Landwards*. 53 (2): 19-22.
- Anoro-Segura, C., Asensio Casas, E., & Menal Puey, S. (2013). Evaluación de la calidad nutricional y organoléptica del tomate rosa de Barbastro. Trabajo Fin de Grado Universidad de Zaragoza, España.
- Arellano- Rodríguez L. J. 2013. Genética de la resistencia a *Phytophthora infestans* en *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme* provenientes del Occidente de México. 2013.
- Báez, M., Contreras, R. 2013. Adelanto y retraso de la maduración de tomates con Barros, Cristina. (2021). El jitomate, un poco de historia. Suplemento informativo de La Jornada. (165):12.
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos SA.
- Berdúo-Sandoval, J. E., Ruiz-Chután, J. A., & Sánchez-Pérez, A. (2019). Evaluación de la resistencia de genotipos de tomate frente a aislados de *Phytophthora infestans* provenientes de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 6(1).
- Berrospe-Ochoa, E. A., Saucedo-Veloz, C., Ramírez-Vallejo, P., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2015). Comportamiento agronómico de plántulas de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en producción intensiva en invernadero. *Agrociencia*, 49(6), 637-650.
- Bhandari, H. R., Bhanu, A. N., Srivastava, K., Singh, M. N., & Shreya, H. A. (2017). Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. *Adv. Plants Agric. Res*, 7(3), 279-286. DOI: [10.15406/apar.2017.07.00255](https://doi.org/10.15406/apar.2017.07.00255)
- Bravo, E., Álvarez, T., Armendáris, E., & Almeida, A. (2014). En el laberinto de las semillas hortícolas.

- Cantwell, M. 1998. Postharvest horticulture serie Núm. 9. Postharvest Outreach Program. Department of Pomology. University of California. Davis, CA. Pp. 31-32.
- Carpena O., A. M. Rodríguez, y M. J. Sarro (1987) 79grícola79c de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *Anales Edafología y Agrobiología*. 46:117-127.
- Casilla, N. 2004. El cultivo Protefido. En. *Invernaderos de plástico. Manejo y 79grícola79c*. Mundi-prensa, España, pp 25-35.
- Causse, M.; Buret, M.; Robini, K. y Versachave, P. 2003. Inheritance of nutritional and nensory quality Traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *J. Food Sci*. 68:2342-2350.
- Chávez Servia, J. L., Rodríguez, C., Guzmán, V., Guzmán, R., & Ortiz, L. (2011). Utilización actual y potencial del jitomate silvestre mexicano (No. F/635.642097 U8).
- Chetelat, R. T. 2004. Revised List of wild species stocks. *Tomato Genetics Cooperative Rep01t* 54:52-81
- CONABIO. 2009. *Lycopersicon esculentum* P. Mill. (= *Solanum lycopersicum* L.), Jitomate silvestre. Consultado en septiembre de 2019 en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/79grícola79con-esculentum/fichas/ficha.htm>
- Córdoba-Novoa H. A, Gómez S. V.; Nústez C. E. (2018). Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 12, no 1, p. 113-125.
- Córdova T., L. y J.C. Molina M. 2006. 79grícola79con ex situ. In: J.C. Molina. . y L. Córdoba T. (eds.), *Recursos Fitogeneticos de México para la 79grícola79con y la Agricultura*. Informe Nacional 2006. Secretaria de Agricultura, 79grícola79, Desarrollo Rural.
- Coyago Cruz, E. D. R. (2017). Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional.

- Crisanto-Juárez A. U., A. M. Vera-Guzmán, J. L. Chávez-Servia y J. C. Carrillo-Rodríguez (2010) Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:7-13
- Délices, G., Leyva Ovalle, OR, Mota-Vargas, C., Núñez Pastrana, R., Gámez Pastrana, R., Meza, PA, & Serna-Lagunes, R. 2019. Biogeografía del tomate *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Solanaceae) en su centro de origen (América del Sur) y domesticación (México). *Revista de Biología Tropical*, 67 (4), 1023-1036.
- Di Rienzo JA, Casanoves F., Balzarini MG, González L., Tablada M. y Robledo C.W. InfoStat versión (2020). Centro de Transferencia InfoStat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., & Martín, A. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Nodo Hortícola VI Region. Facultad de CS. Agronomicas Universidad de Chile. Innova Chile Corfo, 10.
- Escobar López, LA. 1994. Evaluación agronómica de materiales genéticos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y tomatillo (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) bajo las condiciones ecológicas de la aldea Sosí, Cuilco, Huehuetenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 81 p.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Espí E., A. Salmerón, A. Fontecha, Y. García y A.I. Real. 2006. Plastic Films for Agricultural Applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, Vol. 22, No. 2, 85- 102.
- Fahey, J. V. (1976). How fresh tomatoes are marketed (No. 59). US Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service.
- FAO La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022). COMISIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA

- Flores-Hernández, L. A., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Molina-Galán, J. D., Sargerman-Jarquín, D. M., & Velasco-Alvarado, M. D. J. (2017). Parientes silvestres del tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 83-91.
- Flores-Pacheco, J. A., Murillo, Y., Oporta, R., Pacheco, C. F., y Alemán, Y. (2016). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chiltoma (*Capsicum annuum*) con sustratos inertes. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (20), 73-81.
- Fuchs, L. (1990). De historia stirpium commentarii insignes.
- García M. E. y Bermúdez G. (2021). Jitomate: fruto ancestral del porvenir. Suplemento informativo de La Jornada. (165)
- García-Macareno, M. (2011). Producción ecológica de tomate silvestre (*Lycopersicum esculentum* Mill var. *Cerasiforme* Dunal) en diferentes sustratos.
- González-Hernández, Víctor A., Ramírez-Ramírez, Iván, y Cruz-Huerta. Nicacio. 2021. Académicos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
- Granados-Sánchez, D., Ruíz-Puga, P., & Barrera-Escorcía, H. (2008). Ecología de la herbivoría. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(1), 51-63.
- Gualazzi, R. J. V. (1997). "*Lycopersicum esculentum*": una breve historia del tomate. *Alquibla: Revista de investigación del Bajo Segura*, (3), 105-111.
- Guzmán, A., Corradini, F., Martínez, J. P., & Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate al aire libre.
- Hernández-Pérez, A., 2009. Producción y calidad de semillas de tomate cherry (*Solanum Lycopersicon var cerasiforme*). Coahuila, México.
- Jasso, C. C., Martínez, G. M. A., Chávez, V. J. R., Ramírez, T. J. A., & Garza, U. E. (2012). Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí. URL <http://www.Inifapcirne.Gob.Mx/Biblioteca/Publicaciones/905.Pdf/> target="\_blank"> <http://www.Inifapcirne.Gob.Mx/Biblioteca/Publicaciones/905.Pdf/> (in Spanish).

- Jenkins, J. A. (1948). The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany*, 2(4), 379–392. doi:10.1007/bf02859492
- Kirk R. S., Sawyer R., Egan H. 1996 *Composición y análisis de alimentos de Pearson*, segunda edición; Compañía editorial continental SA de CV, México.
- Klee, H. J., and Giovannoni, J. J. (2011). Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes. *Annual review of genetics*, 45, 41-59.
- Larín, M. A., Díaz, L. A., y Serrano R. F. (2018) *CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum)*. CENTA.
- López Marín, L. M. (2017). *Manual técnico del cultivo del tomate: Solanum lycopersicum*. PRIICA. Costa Rica.
- López, C. A. 2003. *Manual para la preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 151. ISSN 1020-4334. Balcarce, Argentina.
- Luna F., J. A., A. Can C., E. Cruz C., R. Bugarín M. y M. G. Valdivia R. 2018. Intensidad de Raleo y Soluciones Nutritivas en la Calidad de Tomate Cherry. *Rev. Fitotec. Mex.* 41 (1): 59-66.
- Luna-Fletes, J. A. (2017). *Sustratos, Soluciones Nutritivas E Intensidad De Raleo De Frutos En La Producción Y Calidad De Tomate Cherry En Hidroponía*.
- Marin-Montes, I. M., Lobato-Ortiz, R., Carrillo-Castañeda, G., Rodríguez-Pérez, J. E., García-Zavala, J. J., & Velasco-García, Á. M. (2019). Riqueza alélica de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) para el mejoramiento genético. *Agrociencia*, 53(3), 355-370.
- Méndez I, I., Vera G, A. M., Chávez S, J. L., & Carrillo R, J. C. (2011). Quality of fruits in Mexican tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) landraces. *Vitae*, 18(1), 26-32.
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J. E., Trejo, C., & Vargas-Orozco, A. G. (2018). Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 355-366.

- Monardes, H. 2. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS. MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.), 10.
- Monsalve, J., & Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicom esculentum* mill) variedad manzano. *Multiciencias*, 7(3), 256-265.
- Moreno R., Y.R. 2010. Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de jitomate del centro, sur y sureste de México.
- Nuez, V. V. 2001. El Cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.
- OECD (2017), "Tomato (*Solanum lycopersicum*)", in *Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment*, Volume 7: OECD Consensus Documents, OECD Publishing, Paris.
- Olmedo-López, F. A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez, R. E., Morales-Guerrero, A., Ávila Val, T. D. C., & García-Saucedo, P. A. 2019. Caracterización fisicoquímica de frutos de tinguaraque (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) cultivados en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(SPE23), 325-330.
- Ortega, P. R, M. A. Martínez A., y J. J. Sánchez G. 2000. Recursos fitogenéticos autóctonos. 28-50. En: P. Ramírez V., R. Ortega P., A López H., F, Castillo G., M. Livera M., F. Rincón S. Y Zavala G. (eds.) *Recursos fitogenéticos de México para la alimentación y la agricultura*, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo México.
- Pacheco T., I.A. 2011. Distribución geográfica de la variabilidad morfológica dintraespecífica de *Lycopersicon esculentum* Mill. (*Solanaceae*) en el estado de Oaxaca.
- Peña A. 2022. Botanical Paintings of Tomatoes. Consultado en [https://co.pinterest.com/alcira\\_pea/](https://co.pinterest.com/alcira_pea/)
- Peralta, I.E.; Spooner, D.M. y Knaap, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*, *Solanaceae*). *Systemic Botany Monographs*, 84, 1-186.

- Peralta, I. E. and Spooner, D. M. 2000. Classification of wild tomatoes: a review. *Kurtziana* 28 (1): 45-54.
- Peralta, I. E. and Spooner, D. M. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). Pp 1-27. In: Genetic Improvement of Solanaceous Crops, Vol. 2: Tomato. M.K. Razdan and A.K. Mattoo (eds.), Science Publishers, Enfield, USA.
- Pérez, G.M., F. Márquez S., A. Peña L., 1997. Mejoramiento genético de hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 149–181.
- Ranc, N., Muños, S., Santoni, (2008) A clarified position for *solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary history of tomatoes (Agricultura). *BMC Plant Biol* 8, 130 (2008). <https://doi.org/10.1186/1471-2229-8-130>
- Rick, C. and Chetelat, R. 1995. Utilization of related wild species for tomato improvement. *Acta Hort* 412:21-38.
- Rick, C. M. 1976. Tomato *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). In: N W Simmonds (ed.) Evolution of crop plants. Longman London. 268-273.
- Rick, C.M., Holle, M. 1990. Andean Agricultura con *esculentum* var. *cerasiforme*: genetic variation and its evolutionary significance. *Econ Bot* 44, 69.
- Robertson, L. D., & Labate, J. A. (2006). Genetic Resources of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and Wild Relatives. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops: Tomato*, 2, 25.
- Rodríguez, J.R., Sánchez, L. 2021. Efecto del número de tallos/planta sobre los rendimientos y la calidad del tomate de mesa en ambiente protegido, Constanza, Republica Dominicana. *Revista APF*.
- Rodríguez-Alvarado, G., García López, J. & Fernández Pavía, S.P. (2011). Enfermedades del Jitomate (*Solanum lycopersicum*) Cultivado en Invernadero en la Zona Centro de Michoacán. *Revista mexicana de fitopatología*, 29(1), 51-60
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2021). Catálogo Nacional De Variedades Vegetales.

<https://datastudio.google.com/u/0/reporting/5b7206ba-e190-48fe-9696-73523bfccf58/page/itBWB>

- SAGARPA (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Extraído en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255627/Planeaci\\_n\\_Agr\\_cola\\_Nacional\\_2017-2030-\\_parte\\_uno.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255627/Planeaci_n_Agr_cola_Nacional_2017-2030-_parte_uno.pdf) Consultado en agosto 2019.
- Salgado M., L. 2011. Calidad de fruto de jitomate en acervos y poblaciones nativas de México.
- Sánchez-Peña, P., Oyama, K., Núñez-Farfán, J. et al. Fuentes de Resistencia a Mosca Blanca ( Bemisia spp.) en Poblaciones Silvestres de Solanum lycopersicum var. Cerasiforme (Dunal) Spooner GJ Anderson y RK Jansen en el noroeste de México. Genet Resour Crop Evol 53, 711–719 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10722-004-3943-9>
- Servicio de Información Agro alimentaria y pesquera (SIAP). 2019. Repostes de Avance de Siembras y Cosechas. En: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/85grícola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/85grícola_siap_gobmx/ResumenProducto.do) Consultado el 10 de septiembre de 2019.
- Shahak, Y. 2004. Mallas de sombreo coloreadas una nueva tecnología agrícola. Investigación actual en plantas ornamentales. España.
- SIAP. (2019). Boletín mensual de producción Tomate rojo (Jitomate). Extraído en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479692/Boletin\\_mensual\\_produccion\\_Tomate\\_Rojo\\_\\_junio\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479692/Boletin_mensual_produccion_Tomate_Rojo__junio_2019.pdf) Consultado en agosto 2019.
- Steiner A. A. (1984) The Universal Nutrient Solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands. Pp633-650.
- Torres, Andrea. 2017, Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. INIA.
- Vargas Luis-Alberto. 2021. En riesgo, LA CONSERVACIÓN DE SEMILLAS ORIGINARIAS
- Vergani, R. (2002). Lycopersicum esculentum: una breve historia del tomate. Revista Horticultura, 158, 9.
- Warnock, S. J. (1988). A review of taxonomy and phylogeny of the genus Lycopersicon. HortScience, 23(4), 669-673.

Yara (2022). Nutrición vegetal del tomate. Bogotá, Colombia. Consultado el 2022 en <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/tomate/gestionar-el-sabor-del-tomate/#:~:text=El%20pH%20en%20un%20tomate,la%20piel%2C%20%C3%A1cidos%20y%20az%C3%BAcares>

Young, T. E; Jovic, J. A; Sullivan, G. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. American Journal of Horticultural Sciences 118: 286-292.