

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE LÍNEAS  
EXPERIMENTALES DE TOMATE CULTIVADOS EN INVERNADERO

Tesis

Que presenta GUALFRED PÉREZ PÉREZ  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN TECNOLOGIA DE GRANOS Y SEMILLAS

Saltillo, Coahuila.

Julio 2024

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE LÍNEAS  
EXPERIMENTALES DE TOMATE CULTIVADOS EN INVERNADERO

Tesis

Elaborada por GUALFRED PÉREZ PÉREZ como requisito parcial para obtener  
el grado de MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS, con la  
supervisión y aprobación del comité de asesoría.

  
Dr. Neymar Camposeco Montejo  
Director de Tesis  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Asesor  
Dr. Josué Israel García López  
Asesor  
Dra. Adriana Antonio Bautista  
Asesor  
Dra. Xóchitl Ruelas Chacón  
Asesor  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

Saltillo, Coahuila.

Julio 2024

## **AGRADECIMIENTOS**

A Jehová dios por darme el tiempo y la vida para poder lograr mi objetivo, por siempre acompañarme a donde fuera, por cuidarme cuando me encontraba lejos de casa y darme las fuerzas para seguir adelante.

Al CONAHCYT por la beca otorgada durante este periodo de estudios y por el financiamiento de este proyecto en el que se estuvo trabajando.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de realizar un posgrado, y formar parte de esta gran comunidad universitaria y ser parte del legado, por ser como mi segunda casa y conocer grandes amistades.

Mi agradecimiento a mi asesor de tesis al Dr. Neymar C. Montejo, por ayudarme en este trayecto de mi formación académica, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación profesional, por exigirme en dar mi mayor esfuerzo y demostrar mi potencial.

Al Dr. Josué I. García López por brindarme sus conocimientos, tiempo y dedicación, para la corrección de trabajos de investigación, que fueron fundamentales para poder culminar mi proyecto de investigación.

A toda mi familia por brindarme su apoyo, por esas palabras de ánimo, por sus consejos que me ayudaron a seguir mis sueños, este logro también pertenece a ellos, estoy infinitamente agradecido con ellos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADRO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>ObjetivoS específicoS .....</b>	<b>3</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
Origen del cultivo .....	4
Características morfológicas de la planta .....	4
Importancia mundial y nacional del cultivo de tomate .....	6
Problemática en la producción cultivo de jitomate .....	8
Alternativas para mejorar la producción de tomate .....	9
Mejoramiento genético .....	10
Métodos de mejoramiento genéticos para tomate .....	11
Importancia de la evaluación agronómica en tomates.....	14
Evaluación agronómica y caracterización.....	16
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
Localización del sitio experimental .....	20
Material genético .....	20
Descripción de la parcela experimental .....	21
Obtención de plántulas .....	21

Trasplante.....	21
Riego y nutrición del cultivo .....	21
Labores culturales .....	22
Variables evaluadas .....	23
Análisis estadístico de los datos .....	25
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
Altura de planta .....	27
Diámetro de tallo .....	28
Longitud y ancho de hoja.....	29
Diámetro polar de fruto .....	30
Diámetro ecuatorial.....	31
Grosor de mesocarpio .....	32
Número de lóculos.....	33
Componentes fisicoquímicos de fruto (pH, CE y SST) .....	34
Color verdadero .....	36
Número de frutos por planta .....	38
Peso promedio de fruto .....	39
Rendimiento kilogramos por planta .....	40
Rendimiento calculado toneladas por hectárea .....	41
Número de semillas por fruto.....	42
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE CUADRO

<b>Cuadro 1.</b> Líneas experimentales de tomate ( <i>Solanum Lycopersicum</i> L.) evaluados en el ciclo P-V del 2023 en condiciones de invernadero. ....	20
<b>Cuadro 2.</b> Composición química nutrimental de la solución nutritiva utilizada en el manejo del cultivo de tomate.....	22
<b>Cuadro 3.</b> Análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ) y comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$ ) de componentes fisicoquímicos de frutos de líneas de jitomate cultivados bajo invernadero. ....	35
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros cromáticos de color en frutos de 16 líneas experimentales de tomate cultivados bajo invernadero. ....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Altura de planta de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	27
<b>Figura 2.</b> Diámetro final del tallo de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	28
<b>Figura 3.</b> Diámetro longitud de hoja 2-A y ancho de hoja 2-B, de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	29
<b>Figura 4.</b> Diámetro polar de fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	30
<b>Figura 5.</b> Diámetro ecuatorial de fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	31
<b>Figura 6.</b> Grosor de mesocarpio de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	32
<b>Figura 7.</b> Número de lóculos de fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	33
<b>Figura 8:</b> Número de frutos por planta de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	38
<b>Figura 9:</b> Peso promedio de frutos de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	39
<b>Figura 10:</b> Rendimiento en kilogramos por planta de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	40
<b>Figura 11:</b> Rendimiento calculado en toneladas por hectárea de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar. ....	41

**Figura 12:** Rendimiento número de semillas por fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.... 42



## **RESUMEN**

### **EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE LÍNEAS EXPERIMENTALES DE TOMATE CULTIVADOS EN INVERNADERO**

Por

**GUALFRED PÉREZ PÉREZ**

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO – ASESOR**

Saltillo, Coahuila.

Julio 2024

Para la obtención de nuevos materiales se requiere de germoplasma con genes de interés comercial y valor nutricional. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento agronómico y morfológico de líneas experimentales de tomate para generar nuevos materiales. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con 16 tratamientos y cuatro repeticiones cada uno con un ANVA al  $p \leq 0.05$  y la prueba de medias fue por Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los resultados obtenidos nos indican diferencias estadísticas significativas para todas las variables cuantificadas en el estudio. El comportamiento morfológico de las líneas fue variable en la mayoría de los caracteres evaluados. Para los componentes de rendimiento se encontraron líneas prometedoras tales como TR-006 y TR-010 que destacan en número de frutos por planta con 59 frutos, mientras que TR-008, TR-015 y TR-007 son líneas que presentan frutos de mayor peso medio con 127.4, 115.4 y 100 g respectivamente, las líneas TR-013, TR-016 y TR-006, destacan por producir más kg/planta con 3.54, 3.48 y 3.44, respectivamente. Para la producción de semillas TR-014, TR-013 y TR-003 tienen buen desempeño con 162.57, 161.31 y 159.17 semillas por fruto, respectivamente. El comportamiento agronómico y morfológico de los genotipos fue variable en la mayoría de los caracteres evaluados, lo que indica que existe variabilidad genética entre las líneas, la cual pudiera ser utilizada como fuente de germoplasma para la generación de nuevos materiales con alto potencial productivo ya sea como variedad o como híbridos.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, caracterización morfológica, rendimiento, genotipos.

## **ABSTRACT**

### **AGRONOMIC AND MORPHOLOGICAL EVALUATION OF EXPERIMENTAL TOMATO LINES GROWN IN GREENHOUSES**

By

**GUALFRED PÉREZ PÉREZ**

**MASTER IN GRAIN AND SEED TECHNOLOGY  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO - ADVISOR**

**Saltillo, Coahuila**

**Julio 2024**

To obtain new materials, germplasm with genes of commercial interest and nutritional value is required. The aim of this research was to evaluate the agronomic and morphological behavior of experimental tomato lines to generate new materials. The experimental design was completely randomized blocks with 16 treatments and four repetitions each with an ANOVA at  $p \leq 0.05$  and the mean test was by Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Results obtained indicate significant statistical differences for all the variables quantified in the study. The morphological behavior of the lines was variable in most of the characters evaluated. For the yield components, promising lines were found such as TR-006 and TR-010, which stand out in the number of fruits per plant with 59 fruits, while TR-008, TR-015 and TR-007 are lines that present fruits of greater average weight with 127.4, 115.4 and 100 g respectively, the TR-013, TR-016 and TR-006 are lines stand out for producing more kg/plant with 3.54, 3.48 and 3.44, respectively. For the production of seeds TR-014, TR-013 and TR\_003 have good performance with 162.57, 161.31 and 159.17 seeds per fruit respectively. The agronomic and morphological behavior of the genotypes was variable in most of the evaluated characters, which indicates that there is genetic variability between the lines, variability that could be used as a source of germplasm for the generation of new materials with high productive potential either as a variety or as hybrids.

**Key words:** *Solanum lycopersicum*, morphological characterization, yield, genotypes.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Base de datos estadísticos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación el tomate es una de las principales hortalizas en el mundo, debido a su alta demanda en el mercado y las grandes ganancias económicas que genera su comercialización (FAOSTAT, 2022). Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. La popularidad de esta hortaliza se debe a que es rica en una gran cantidad de antioxidantes naturales y compuestos bioactivos. La ingestión regular de una cantidad adecuada de tomates frescos o productos de tomate procesados ayuda a prevenir el desarrollo de enfermedades (Islam *et al.*, 2021). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura el incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento por unidad de superficie, y en menor proporción al aumento de la superficie (FAO, 2021).

México es uno de los países que exporta tomate a nivel mundial, principalmente a Estados Unidos, Canadá y Europa. De acuerdo a datos estadísticos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, existe una producción de más de 49 mil hectáreas en sus diferentes sistemas de producción, obteniendo un rendimiento de más de tres millones de toneladas producidas en el año 2022, figuran cinco estados con la mayor producción de esta hortaliza, encabezado por Sinaloa, Michoacán, San Luis Potosí, Baja California Sur y Morelos (SIAP, 2022). La productividad del tomate, depende primordialmente de la elección de la variedad y en gran parte del nivel tecnológico bajo los cuales se cultiva, ya sea a campo o invernadero, y sobre todo del manejo agronómico que se le da al cultivo, además del tipo de tomate que demande el mercado, aunado a eso, se debe buscar la resistencia factores climáticos adversos, enfermedades y plagas (Grijalva *et al.*, 2011). Las principales enfermedades del cultivo son: *Botrytis cinérea*, *Alternaria dauci* f. *solana*, *Phytophthora infestans*, *Pythium aphanidermantum*, *Fusarium oxysporum* y *Rizoctonia solani* (Salas-Gómez *et al.*, 2022). A pesar de que la especie es ampliamente cultivada en el mundo, su

diversidad genética se considera restringida. Como consecuencia, son más susceptibles a plagas, enfermedades, estrés abiótico, así como a la pérdida de sus atributos sensoriales (Délices *et al.*, 2019). Los programas de mejoramiento genético han tendido principalmente a incrementar aspectos como la productividad, resistencia a enfermedades, uniformidad del producto, o la calidad externa, pero van incorporando paulatinamente entre sus objetivos el mejoramiento de las propiedades organolépticas, como el incremento de sólidos solubles, el contenido en compuestos con propiedades saludables o funcionales como los antioxidantes (Saavedra *et al.*, 2019).

En México, varias empresas líderes de semillas suministran variedades de tomate y semillas que se importan de diferentes países, dado el alto costo de la semilla comercial de tomate producida por empresas extranjeras y la escasez de investigación pública en esta especie, es conveniente generar programas nacionales de mejoramiento genético, que permitan evaluar líneas con potencial para generar nuevos materiales de alta productividad y calidad de fruto como de semilla para comercializar, para lo cual es necesario caracterizar y evaluar el material con que se cuenta (Salgado-Meraz *et al.*, 2018). Para la obtención de nuevos materiales se requiere de germoplasma con genes de interés comercial y valor nutricional, esto se logra con la caracterización del material, donde se consideran como preponderantes el potencial agronómico y los caracteres morfológicos del material (Canul-Ku *et al.*, 2022).

La evaluación de rasgos fenotípicos como la morfología de la fruta, la intensidad del color, la calidad nutricional, la firmeza, el sabor y el aroma son desafiantes y requieren mucho tiempo debido a la naturaleza cuantitativa de los rasgos (Salim, *et al.*, 2020). Sin embargo, se necesitan estudios sobre los atributos fenotípicos, porque esos parámetros han sido ampliamente utilizados para la evaluación de la diversidad genética, el valor genético y el potencial de rendimiento del cultivo (Singh y Sahu, 1998). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar, comportamiento agronómico y morfológico de líneas experimentales de tomate bajo condiciones de invernadero, lo que eventualmente permitirá generar nuevos materiales con alto potencial productivo, calidad de fruto y semillas.

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el rendimiento agronómico, parámetros morfológicos de la planta y los componentes fisicoquímicos de los frutos de diversas líneas experimentales de tomate cultivado en invernadero.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar el rendimiento y componentes de rendimiento de 16 líneas experimentales de tomate.

Caracterizar el comportamiento morfológico de 16 líneas experimentales de tomate bajo invernadero.

Evaluar y determinar las características fisicoquímicas de los frutos de las 16 líneas experimentales de tomate.

### **Hipótesis**

**H<sub>0</sub>.** Por la diversidad genética de las líneas experimentales de tomate bajo estudio, se presentarán diferencias entre líneas en cuanto al rendimiento, parámetros morfológicos de la planta y componentes fisicoquímicos de los frutos.

**H<sub>A</sub>.** No existen diferencias entre las líneas experimentales de tomate en cuanto al rendimiento, parámetros morfológicos y componentes fisicoquímicos de los frutos.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del cultivo

En la historia del tomate, los primeros en plantar tomates fueron los mayas y otras tribus centroamericanas. Los españoles importaron tomates de México en 1520 y luego los colonialistas británicos los llevaron a Estados Unidos. Sin embargo, tomó algún tiempo para que esta hermosa fruta fuera utilizada por el público en general en los Estados Unidos. El origen del tomate se atribuye a América del Sur, donde se descubrieron y consumieron por primera vez los pequeños frutos de tomate de forma oral y terapéutica. Posteriormente, los tomates se extendieron a países como Perú, Países Bajos y Reino Unido, y ahora se cultivan y consumen en todas partes del mundo. Existen muchas variedades de tomate y es una de las hortalizas más consumidas en el mundo. El tomate es una planta anual cuyas altas ramas crecen hasta un metro de altura y tiene flores amarillas. (Company, 2020).

El origen de *Solanum lycopersicum*, proviene de la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (Escalona *et al.*, 2009).

En la actualidad, las variedades modernas de tomate han tenido introgresiones de germoplasma silvestre, de manera que se han introducido genes con diferentes características, debido a la angosta base genética que tiene este cultivo. Por lo tanto, la falta de diversidad en tomate no es una barrera para progresar en el mejoramiento genético (Saavedra *et al.*, 2019).

### Características morfológicas de la planta

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas frutales más importantes y populares del mundo. Es un cultivo anual autopolinizado y pertenece a la familia Solanaceae con número de cromosoma  $2n = 2x = 24$ . La clasificación filogenética de la familia Solanaceae ha sido revisada recientemente



y el género *Lycopersicon* se reintegró al género *Solanum* con su nueva nomenclatura (Salim *et al.*, 2020). El tomate es una planta perenne de tipo arbustivo que se cultiva como planta anual. En cuanto a la morfología de la planta, puede ser de tipo rastrero, semierecta o erecta, existiendo dos tipos de plantas: determinadas, cuyo crecimiento es limitado, e indeterminadas con crecimiento ilimitado (Saavedra, *et al.*, 2019).

Las plantas de tomate comerciales se pueden dividir en dos categorías según sus hábitos de crecimiento de tallos: indeterminadas y determinadas. La planta determinada disminuirá su desarrollo vegetativo una vez que se desarrollen los órganos reproductores (flores). Por otro lado, los cultivares indeterminados mantendrán un crecimiento constante de su tallo y hojas, incluso después de que aparezcan las primeras flores en la planta (Kandel *et al.*, 2020).

El sistema radicular presenta una raíz principal pivotante, la cual alcanza aproximadamente a 60 cm de profundidad, produce raíces adventicias y ramificaciones que pueden formar una masa densa con bastante volumen. El tallo es erguido durante los primeros estados de desarrollo, pero se tuerce debido al peso, en el caso de plantas de crecimiento determinado, aunque en plantas indeterminadas está dado por el manejo de poda y conducción dado durante su crecimiento. La superficie es angulosa provista de pelos agudos o tricomas, y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico. Las hojas son compuestas insertándose en los nudos en forma alterna (Saavedra, *et al.*, 2019). Las plantas de tomate producen flores amarillas de cinco pétalos que normalmente se autofertilizan, las flores surgen de las axilas de las hojas, donde las hojas se unen al tallo, cada flor tiene órganos reproductores masculinos y femeninos. El órgano reproductor masculino es el estambre, que consta de un filamento y una antera que contiene polen, mientras que el órgano reproductor femenino es el pistilo, que consta del estigma, el estilo y el ovario (Went, 1944). El fruto de una planta de tomate se desarrolla a partir del ovario fertilizado después de una polinización exitosa. La fruta suele contener múltiples cámaras llenas de semillas incrustadas en una pulpa gelatinosa. Las semillas se dispersan cuando el fruto madura y la pulpa se vuelve blanda. Tienen un pericarpio carnoso,

que es la pared del fruto, que rodea las semillas. El pericarpio se divide en tres capas principales: el exocarpio (capa más externa), el mesocarpio (capa intermedia) y el endocarpio (capa más interna). El exocarpio del fruto del tomate se conoce comúnmente como piel o cáscara. El mesocarpio o pulpa del fruto del tomate es la parte jugosa y comestible. Está compuesto por células de parénquima llenas de agua, azúcares, ácidos y otros nutrientes. La pulpa suele ser suave y succulenta, con diferentes texturas y sabores según la variedad de tomate. Los frutos del tomate contienen numerosos lóculos de semillas, que son las cavidades o compartimentos dentro del fruto que albergan las semillas. El número de lóculos de semillas puede variar según la variedad de tomate. Comúnmente, los frutos de tomate tienen múltiples lóculos de semillas dispuestos en un patrón radial alrededor del núcleo central (Marin-Talbot *et al.*, 2007).

Las semillas son pequeñas, aplanadas y con forma de riñón. Están encerrados dentro de una sustancia parecida a un gel llamada tejido placentario. La semilla es de forma oval aplastada de color grisáceo, cubierta de vellosidades, de unos 3 a 5 mm de tamaño. Manteniendo las semillas en un lugar apropiado para su almacenamiento duran 4 o más años viables (Saavedra *et al.*, 2019).

### **Importancia mundial y nacional del cultivo de tomate**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), es originario de América del Sur y es uno de los cultivos frutales más consumidos en el mundo (Tieman *et al.*, 2017). Se puede consumir fresco y cocido, altos contenidos de nutrientes, vitaminas y minerales, lo que motiva su uso frecuente como especie modelo para estudiar el metabolismo nutricional (Manzoor *et al.*, 2023). Actualmente, China es el país con mayor producción y consumidor de tomates del mundo (ONU, 2020).

El tomate es el cultivo más cultivado en el mundo y el cuarto cultivo alimentario económicamente más valioso producido en países de ingresos bajos y medianos, con una producción global valorada en 88 mil millones de dólares (FAOSTAT, 2019). Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento por unidad de superficie, y en menor

proporción al aumento de la superficie. La producción global de tomates para consumo en fresco y proceso se estimaba en más de 177 millones de toneladas métricas. En lo que se refiere a tomate para consumo fresco, los siguientes países son los principales productores; República Popular China, India, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Italia, Irán, España, Brasil y México. En los últimos años China ha tomado un rol protagónico en el comercio mundial de tomates (FAO, 2022).

En México, tiene gran importancia no sólo como generador de divisas, sino por la elevada derrama económica que genera; además, proporciona mano de obra a trabajadores estacionales del campo. Crea y fomenta el empleo de otras ramas de la actividad económica, como el transporte, y empresas que se dedican a la venta de insumos. Es cultivado en muchas zonas con amplia variabilidad de condiciones de clima y suelo, aunque se cultiva principalmente en climas secos, tanto para producción en estado fresco como para uso agroindustrial. El consumo de tomate per cápita aumenta en el mundo, lo que puede atribuirse al mayor uso de productos de tomate procesados, la intensificación del comercio y el aumento de la urbanización y la población (Bihon *et al.*, 2022).

En el territorio nacional se cultivan alrededor de 48 mil hectáreas, de las cuales se obtiene una producción de más de tres millones toneladas métricas en el año 2022, y son los estados de Sinaloa, Michoacán, San Luis Potosí, Baja California Sur, Morelos, Zacatecas, Jalisco, Sonora, Chiapas y México los principales productores de esta hortaliza (SIAP, 2022). México es el principal exportador de tomate en fresco a nivel mundial, lo que refleja la importancia que tiene este cultivo en el sector agrario. La producción de tomate bajo invernadero en el país, se caracteriza por utilizar diferentes niveles tecnológicos, esto depende del capital económico del productor (Ramos, 2008).

La productividad del tomate depende primordialmente de la elección de la variedad y en gran parte del nivel tecnológico bajo los cuales se cultiva, ya se ha campo o en invernadero y sobre todo del manejo agronómico que se le da al cultivo, además del tipo de tomate que demande el mercado, aunado a eso debe

buscar la resistencia factores climáticos adversos, enfermedades y plagas (Grijalva *et al.*, 2011).

### **Problemática en la producción cultivo de jitomate**

La población mundial alcanzó los 7.700 millones a mediados de 2019, con un crecimiento de mil millones de personas desde 2007 y, según estimaciones, se espera que alcance los 9.700 millones en 2050 (ONU, 2020). Para satisfacer las demandas de los mercados, el uso de pesticidas en las plantaciones de tomate es cada vez mayor y los residuos de estos químicos son uno de los mayores problemas de este alimento en la mesa del consumidor final y de los cultivadores (Esalq, 2017). Las sequías recurrentes en todo el mundo en las últimas décadas, han sido responsables de importantes consecuencias socioeconómicas y ecológicas en la productividad agrícola (Salhi *et al.*, 2022).

El cambio climático podría exacerbar estos problemas al aumentar la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías, olas de calor y ciclones que se experimentan hoy en día (Mpandeli *et al.*, 2019). Son motivo de gran preocupación los cambios en los patrones climáticos que están afectando a los sistemas alimentarios. El estrés por sequía es uno de los factores de mayor impacto que altera seriamente la fisiología de las plantas y finalmente conduce a una disminución en la productividad de los cultivos (Semerci *et al.*, 2017). En las plantas, el estrés por sequía provoca un conjunto de cambios morfoanatómicos, fisiológicos y bioquímicos, dirigidos principalmente a limitar la pérdida de agua por transpiración mediante el intento de aumentar la eficiencia del uso del agua de las plantas (Bhusal *et al.*, 2019). Las altas pérdidas que sufre la agricultura por la infestación de plagas y malezas, además de enfermedades y desgaste del suelo hacen necesario el uso de pesticidas en la producción, sin embargo, el uso indiscriminado de estos productos puede causar impactos negativos al medio ambiente, perjudicando la salud de los trabajadores y consumidores que directa y/o indirectamente manipulan dichas sustancias (Mazzei *et al.*, 2021).

Otros factores que contribuyen a la reducción del rendimiento del tomate incluyen plagas y enfermedades, habilidades de producción deficientes e inaccesibilidad a los insumos. La producción se ve obstaculizada por múltiples enfermedades fúngicas, virales y bacterianas, además este cultivo se ve afectado por los factores ambientales ya que se adaptan mejor a temperaturas entre 18 y 27 °C, y a temperaturas mayores de 40 °C, provocan una gran caída de flores que conduce a bajos rendimientos (Pérez *et al.*, 2017). Algunas enfermedades fúngicas que reducen la calidad y cantidad del tomate incluyen el tizón temprano, la mancha foliar, el marchitamiento causado por *Fusarium*, tizón del sur y marchitez causada por *Verticillium dahliae*. Plagas como el minador de hojas, el barrenador de la fruta, *Helicoverpa armígera*, los ácaros, *Tetranychus spp*, y los vectores transmisores de enfermedades, principalmente moscas blancas, son limitaciones importantes en la producción de tomate (Bihon *et al.*, 2020). En un esfuerzo por controlar las plagas y enfermedades del tomate, los agricultores utilizan excesivamente grupos de pesticidas sintéticos que son peligroso para la salud y el medio ambiente.

### **Alternativas para mejorar la producción de tomate**

Para satisfacer la creciente demanda de hortalizas de mayor calidad, beneficios para la salud y características ecológicas, en los últimos años los tomates de invernadero se han convertido progresivamente al cultivo sin suelo, para superar estos problemas y mantener la producción agrícola, el cultivo sin suelo en condiciones de invernadero se convierte en una necesidad desde un punto de vista económico, ecológico y social (Aydi *et al.*, 2023). En los últimos años, se han desarrollado multitud de procesos de cultivo innovadores que utilizan bolsas, esteras y contenedores, además de soluciones nutritivas (Gruda 2022). Estos métodos de cultivo incluyen sistemas sin sustrato sólido, así como sistemas agregados, en los que se utilizan moléculas inorgánicas u orgánicas. Los beneficios de este sistema incluyen la ausencia de patógenos transmitidos por el suelo, un sustituto seguro de la desinfección del suelo, un mejor uso de los

nutrientes y el agua por parte de las plantas, lo que reduce el desperdicio y condiciones óptimas de crecimiento.

Se necesita urgentemente variedades de tomate que combinen la adaptación al entorno local, el potencial de rendimiento, la calidad de la fruta y la resistencia a las plagas y enfermedades para mejorar la productividad, el suministro de alimentos nutritivos para los consumidores y aumentar los ingresos de los agricultores, el uso de variedades mejoradas adaptadas al estrés abiótico y resistentes a plagas y enfermedades es una de las estrategias menos costosas y duraderas para mejorar el rendimiento y la calidad (Bihon *et al.*, 2022). La producción de alimentos y energía depende en gran medida de los escasos recursos hídricos y terrestres, y no hay duda de que la producción de invernaderos de alta tecnología facilita la agricultura intensiva: producir más alimentos con menos insumos de agua y tierra *in situ* que en campo abierto (Maureira *et al.*, 2022).

### **Mejoramiento genético**

La seguridad alimentaria es un problema global continuo e importante, y son necesarios niveles crecientes de producción de alimentos debido al crecimiento de la población. Con la mejora del nivel de vida humano también se plantea la creciente demanda de alimentos de alta calidad, con buena apariencia y abundante valor nutricional. Por lo tanto, se requiere innovación tecnológica para satisfacer estas crecientes demandas de mejora de cultivos (Xia *et al.*, 2021).

La demanda del mercado de productos agrícolas de alta calidad se ha diversificado con mayores niveles de consumo; así, se cultivan tomates con diferentes características de calidad. De ahí que el mejoramiento genético de cualquier especie vegetal debe partir de una amplia base genética; ésta se encuentra en diferentes fuentes y una de las más importantes son las poblaciones nativas y los parientes silvestres, que puede combinarse con variedades comerciales (Marín-Montes *et al.*, 2020). Diversos autores han señalado que el tomate presenta limitantes en su proceso de mejora, debido a la reducida variación genética que posee (Salgado-Meraz *et al.*, 2018; Marín-Montes *et al.*,

2019). No obstante, un cultivar nuevo de plantas normalmente auto polinizadas se originan del proceso de selección a partir de una mezcla de plantas o de una planta seleccionada de un germoplasma introducido, que a su vez proviene de la mezcla de plantas o de una planta seleccionada de una población local o puede ser de una planta seleccionada de una población híbrida segregante (Camarena *et al.*, 2014).

Los objetivos de los programas de mejoramiento del tomate incluyen obtener variedades con rendimientos mayores, frutos de mayor vida de anaquel y calidad nutricional mayores e incrementar el contenido de sólidos solubles totales (SST), por su alta correlación con el sabor. En México, dado el alto costo de la semilla comercial de tomate producida por empresas extranjeras y la escasez de investigación pública en esta especie, es conveniente generar programas nacionales de mejoramiento genético para evaluar líneas con potencial para generar nuevos materiales de alta productividad de fruto como semilla para comercializar, para lo cual es necesario caracterizar y evaluar el material (Salgado-Meraz *et al.*, 2018).

La evaluación agronómica de genotipos o líneas, generalmente va ligada al mejoramiento genético de plantas, que se define como el conjunto de operaciones que parte de un grupo de individuos cuyas cualidades no se encuentran en la condición requerida, pero permite obtener otro grupo capaz de reproducirse, que se denomina cultivar y que constituye un progreso en algunas de sus características, y es el principal medio para satisfacer cada vez en mejor forma las necesidades alimentarias de la humanidad en todo sentido (Quintana *et al.*, 2015).

### **Métodos de mejoramiento genéticos para tomate**

La idea de cualquier programa de mejoramiento genético es seguir el proceso de domesticación de los cultivos y trabajando en su núcleo, su ADN, mejorar alguna característica clave para el consumidor o cambiar algo que facilite su manejo en el campo. En los programas de tomate los principales aspectos que se buscan son el aumento de la producción, la resistencia a plagas y enfermedades y la

mejora de la calidad del fruto. Este último está asociado entre otros aspectos, a la mayor conservación natural de los frutos en la poscosecha y puede obtenerse mediante la producción de frutos híbridos  $f_1$  con mayor firmeza, asociada a una mejor coloración. La metodología para hacer la selección es muy variada, y casi se puede generalizar sosteniendo que cada mejorador tiene una metodología de selección particular. Sin embargo, parte de esa metodología es común, y debe seguir rigurosamente los postulados de la ciencia de la genética en los que se basa la selección. Esa metodología común, aplicada a diferentes formas de producción de las plantas es lo que se denomina “Métodos de Mejoramiento”. Todos los métodos tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población, o crear genotipos nuevos con características previamente definidas a través de la recombinación.

Todos los métodos están diseñados para en mayor o menor grado:

- Generar semilla cuya descendencia reproduzca el genotipo deseado.
- Hacer máximo uso de la variabilidad genética presente en la(s) población(es) seleccionada(s).
- Crear mayor variabilidad genética, a través de la hibridación y recombinación para obtener nuevos genotipos.
- Evaluar la descendencia para definir el genotipo.
- Ejercer control del mecanismo de floración y polinización.
- Controlar el efecto del ambiente, de la interacción genotipo por ambiente y del error experimental, para mejorar la heredabilidad.

Los métodos de mejoramiento más utilizados para plantas autógamas son las siguientes:

**Selección masal:** Este método consiste en la selección de un gran número de individuos, con características fenotípicas similares, que luego son mezclados para constituir la generación siguiente. Es uno de los más antiguos métodos de mejoramiento, este método es eficiente en poblaciones heterogéneas, constituidas por mezclas de líneas puras, en especies autógamas o por individuos heterocigotos en el caso de alógamas. La idea principal de la selección masal es que, al escoger los mejores fenotipos se mejora el nivel de la población



con la reunión de los fenotipos superiores ya existentes. En la selección masal, las plantas individuales son seleccionadas fenotípicamente. Esto es, con solamente informarnos sobre el fenotipo que observamos, de los individuos que son considerados superiores para la selección. Como los individuos con fenotipos semejantes pueden presentar constitución genética distinta, la selección no siempre es efectiva. La selección masal es generalmente poco utilizada para características de baja heredabilidad. El objetivo de este método es la formación de poblaciones homocigotas y heterogéneas (Camarena *et al.*, 2014).

*Método de pedigrí o genealogía:* Este método consiste en la selección a partir de la autofecundación de un híbrido en el cual se realiza selección en las sucesivas generaciones de autofecundación. Los individuos F2 son la primera generación de autofecundación a partir de híbridos F1, obtenidos de la fecundación cruzada de dos parentales con características de interés. Cada individuo F2 se convertirá en progenitor de una nueva familia en la próxima generación (F3), a partir de la cual se eligen los mejores individuos de las mejores familias. Luego los mejores individuos de las familias F4 y así sucesivamente. Se continúa el proceso hasta alcanzar un cierto grado de homocigosis, generalmente tras 6-8 generaciones de autofecundación. En este número de generaciones no se alcanza el 100% de homocigosis, pero se consideran suficientes para alcanzar una homogeneidad suficiente a nivel de caracteres agro morfológicos que son los que generalmente definen las líneas progenitoras en la generación de híbridos. Este método es de especial interés para caracteres de baja heredabilidad en autógamias (Cubero, 2003).

*Método de descendencia única de semilla o Single Seed Descent (SSD):* El método consiste en avanzar las generaciones segregantes hasta un nivel satisfactorio de homocigosis, tomando una semilla de cada individuo de una generación para establecer la generación siguiente. Se sugiere realizar la siembra de dos a tres semillas de cada planta F2 en golpes individuales para asegurar la germinación. Luego de la emergencia, una sola planta es preservada y el resto eliminada. Tal procedimiento es repetido en las generaciones siguientes hasta que se obtenga el nivel de homocigosis deseado. De esta forma, cada línea

corresponde a un progenitor F2 diferente. La principal característica de SSD es la reducción del tiempo requerido para la obtención de líneas homocigotas. Considerando que en este método el proceso de evaluación y selección de genotipos se inicia después de la obtención de líneas en homocigosis, se pueden conducir tantas generaciones por año posibles (Camarena *et al.*, 2014).

### **Importancia de la evaluación agronómica en tomates**

México es el centro de domesticación del tomate (Razifard *et al.*, 2020). La domesticación del jitomate provocó cambios en su anatomía y en su forma de reproducción, pasando de alógama a autógama. La mayoría de estos cambios se atribuyen a la selección en pocos loci, además, su reproducción por autofecundación provocó que el jitomate cultivado muestre variación genética escasa, por lo que las variedades nuevas generalmente provienen de la progenie de híbridos genéticamente relacionados (Salgado-Meraz *et al.*, 2018).

El tomate es una de las principales hortalizas en el mundo por su demanda en el mercado y las grandes ganancias económicas que genera su comercialización (FAOSTAT, 2022). Esta especie es una planta arbustiva que, en su forma silvestre, puede tener un ciclo de vida superior a un año; sin embargo, con la ayuda de la ingeniería genética y procesos de selección, se han desarrollado cultivares que, con una infraestructura adecuada para controlar las condiciones ambientales de cultivo, así como el uso de insumos como fertilizantes, insecticidas, herbicidas, permiten obtener mejores rendimientos en poco tiempo. A pesar de que la especie es ampliamente cultivada en el mundo, su diversidad genética se considera restringida. Como consecuencia, son más susceptibles a plagas, enfermedades, estrés abiótico, así como a la pérdida de sus atributos sensoriales (Délices *et al.*, 2019).

A pesar de la disponibilidad de germoplasma, el mejoramiento genético de tomate en México no ha sido atendido de manera sistemática, ni por instituciones del gobierno ni por centros públicos de investigación (Salgado-Meraz *et al.*, 2018), siendo así que, la generación tanto de híbridos como de variedades mejoradas de tomate en el país es nula (SNICS, 2020).

La agricultura sustentable es un sistema de explotación agrícola que incorpora la filosofía de racionalidad y conservación del ambiente, haciendo un balance óptimo de todos los componentes de la rentabilidad agrícola, para asegurar la obtención de cosechas para ésta y las generaciones venideras en mayor cantidad y calidad. Uno de los puntos principales de partida en la agricultura sustentable lo constituye la explotación racional e intensiva de los genotipos o variedades eficientes en su morfología y fisiología, que se traduce en el rendimiento final, así como tolerancia a factores adversos de manera que requieran el suplemento de menor cantidad de insumos.

En los programas de mejoramiento de cultivos de interés agrícola es necesario contar con una amplia base genética que garantice suficiente variabilidad para tener probabilidades de seleccionar los genotipos sobresalientes. Esencialmente el programa de mejoramiento consiste en tres fases:

1. Generación de la variabilidad genética.
2. Selección de genotipos.
3. Evaluación de los genotipos seleccionados con caracteres agronómicos ideales.

Ya que objetivo final del mejoramiento genético, es la obtención de cultivares superiores desde un punto de vista agronómico y de calidad para mercado que los demanda. En este proceso, un factor clave es la selección de los progenitores que posean los atributos deseables y la capacidad de transmitirlos a sus progenies, más aún cuando pensamos en el mejoramiento para la generación de cultivares híbridos, que generalmente son superiores a sus progenitores. Cada progenitor o línea pura es poseedora de un conjunto de genes que por sí mismos y en la interacción con otros genes y el ambiente van a definir sus características fenotípicas. Conocer qué características pueden ser transmitidas, en qué magnitud y con qué influencia del ambiente, son informaciones fundamentales para generar esquemas de selección que permitan identificar de la forma más eficiente nuestras líneas progenitoras (Quintana *et al.*, 2015).

### **Evaluación agronómica y caracterización**

Las cualidades de los tomates incluyen su apariencia, sabor, nutrición, características de procesamiento y almacenamiento, entre otras (Keabetswe, *et al.*, 2019; Ilahy *et al.*, 2019). En los últimos años, el cultivo de variedades de tomate se ha centrado en mejorar la firmeza para garantizar el almacenamiento y transporte a larga distancia. Sin embargo, los tomates generalmente tienen pocos requisitos de firmeza para lograr un buen sabor (Oms-Oliu *et al.*, 2011).

La caracterización de cultivares tiene una aplicación práctica importante en el mejoramiento vegetal, tanto para la identificación de genotipos con intereses comerciales como para la estimación de relaciones genéticas (Bonamico *et al.*, 2004). Tradicionalmente, numerosos caracteres morfológicos son usados para describir líneas e híbridos de muchas especies, entre ellos hortalizas como jitomate, chile o granos como maíz, los cuales son evaluados en distintas etapas de crecimiento y en diferentes regiones o condiciones ambientales, la precisión en la evaluación de estos caracteres va a depender del grado de interacción con el ambiente y de los mecanismos genéticos que controlan la expresión de esos caracteres, los cuales no siempre pueden ser interpretados, de tal manera que, pueda hacerse una valoración correcta de las diferencias genéticas y su expresión en los ambientes (Galovic *et al.*, 2006).

Sin embargo, los problemas asociados con la interpretación de la descripción morfológica pueden ser minimizados midiendo los caracteres en varios ambientes o limitando las comparaciones en aquellos caracteres en los cuales el efecto de la interacción con el ambiente es menor, ya que la descripción morfológica de líneas, híbridos y variedades cultivadas benefician tanto al mejorador de plantas y productor de semillas, como al agricultor y al comerciante del producto final cuya sinergia conlleva a la generación de nuevas variedades con características que benefician a todos los involucrados en la cadena de valor, por lo tanto, una descripción precisa, permite que el agricultor y el comerciante adquieran una variedad específica o que el productor de semilla genere un producto que reúna un estándar aceptable de calidad y pureza genética. Por otro lado, la descripción de líneas, híbridos y variedades es requerida no solo para el

registro de la propiedad intelectual, sino también para una recomendación a los productores (Díaz *et al.*, 2009).

**Variedades e híbridos:** Los programas de mejoramiento genético han tendido principalmente a incrementar aspectos como la productividad, resistencia a enfermedades, uniformidad del producto, o a la calidad externa, pero van incorporando paulatinamente entre sus objetivos el mejoramiento de las propiedades organolépticas, por ejemplo, buscando un incremento de sólidos solubles e incrementar el contenido en compuestos con propiedades saludables o funcionales, que prevengan enfermedades (Saavedra, *et al.*, 2019).

**Valor nutritivo:** La composición química del tomate está principalmente compuesta por azúcares solubles, principalmente fructosa y glucosa. Por otra parte, la acidez necesaria para el producto procesado la dan los ácidos cítrico y málico, pero la viscosidad está en el contenido de pectinas las cuales son parte de los sólidos insolubles. El gusto agridulce del tomate es principalmente debido al contenido de azúcares y ácidos orgánicos (Saavedra, *et al.*, 2019).

Este fruto es de mayor interés en la dieta humana por los beneficios que aporta su ingesta, debido a su riqueza principalmente de provitamina A y vitamina C, elementos minerales como el potasio, alto contenido de fibra soluble e insoluble, compuestos funcionales y gran cantidad de agua (Saavedra, *et al.*, 2019). La vitamina C tiene un fuerte efecto antioxidante y es un nutriente importante que determina la calidad del tomate. El entorno externo (como las condiciones de luz, agua y fertilizantes) juega un papel importante en la regulación de la síntesis de vitamina C (Ntagkas, *et al.*, 2019). El sabor es el principal factor que afecta la preferencia del consumidor. Esto depende en gran medida del contenido de sólidos solubles, azúcares y ácidos orgánicos. Sólidos solubles es el término general para los compuestos solubles en el fruto del tomate que afectan directamente el sabor (Seabra *et al.*, 2022). El sabor dulce del tomate se deriva principalmente de la fructosa y la glucosa, mientras que el sabor amargo se atribuye principalmente a los ácidos cítrico y málico (Cheng *et al.*, 2020). Por lo

tanto, los contenidos de azúcar y ácido se utilizan a menudo como indicadores importantes para evaluar el sabor del tomate. Sin embargo, en las mismas condiciones de cultivo, los factores genéticos controlan principalmente la formación de sustancias aromáticas (Zhang, J. *et al.*, 2023).

**Valor Nutracéutico:** El tomate es una importante fuente de vitaminas y minerales, pero también de compuestos bioactivos que tienen efectos positivos en la salud humana. El fruto posee un alto contenido de carotenoides, pero dentro de estos compuestos saludables, el que mayor presencia tiene es el licopeno, carotenoide tetraterpénico (C<sub>40</sub> H<sub>56</sub>) perteneciente a la misma familia que el  $\beta$ -caroteno, el cual da al tomate y varias otras frutas, como pomelo rosado, sandía y durazno, su color rojo profundo. Los carotenoides son importantes pigmentos encontrados en las plantas que alcanzan un número de casi 600 compuestos diferentes, entre los que destacan los conocidos compuestos  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno, ampliamente usados como precursores de la vitamina A y colorantes o aditivos de alimentos (Saavedra, *et al.*, 2019).

Esta sustancia, además de presentar grandes propiedades como colorante, es un poderoso antioxidante que tiene efecto en plantas y en el ser humano. La función del licopeno en la planta es cosechar luz y proteger a la planta de daños foto-oxidativos; durante la fotosíntesis y metabolismo celular se producen moléculas de oxígeno altamente reactivo las cuales causan daño a la permeabilidad de la membrana celular permitiendo la entrada de compuestos perjudiciales a los procesos biológicos que ocurren en la célula (Saavedra, 2003). El tomate fresco tiene un alto contenido de licopeno. Sin embargo, la cocción o procesamiento en salsas concentran esta sustancia, siendo esta más biodisponible para el organismo. El contenido de licopeno varía durante el desarrollo y maduración del tomate, encontrándose contenidos en frutos completamente inmaduros (color absolutamente verde) de 25  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ; en frutos verdes con matriz gelatinosa 10  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ; en frutos cambiando de color o “pintones” de 370  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ; en frutos completamente maduros de 4.600  $\mu\text{g}/100$

g; y 7.050  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  en frutos sobre maduros, casi pudriéndose (Saavedra, *et al.*, 2019).

El contenido de antioxidantes en tomate depende mayormente de factores genéticos, ambientales y del estado de madurez. El licopeno se produce en los frutos del tomate como una respuesta de defensa ante algún tipo de estrés medio ambiental, principalmente incidencia de rayos ultravioleta e infrarrojos, los cuales, siendo beneficiosos para la fotosíntesis, también producen alteraciones químicas en las células de las plantas (Saavedra, *et al.*, 2019).

El contenido de licopeno en el fruto está genéticamente controlado. Por lo tanto, cada variedad de tomate va a tener un potencial productivo y de respuesta a los estreses ambientales. Sin embargo, la máxima expresión de ese potencial se va a producir sólo cuando las condiciones medio ambientales sean las adecuadas, así es como suelos con alto contenido de potasio y bajo en calcio favorecen la producción de licopeno, o también zonas climáticas con mayor incidencia de luz ultravioleta (Saavedra, *et al.*, 2019).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2023, en el invernadero del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21' 33" N, longitud de 101° 02' 20" W y a una altitud de 1, 731 msnm (Google Earth, 2023).

### Material genético

El germoplasma utilizado consistió de 16 líneas experimentales de tomate de crecimiento determinado (Cuadro 1) pertenecientes al programa de producción de granos y semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, los cuales se encuentran en la filial 5 (F5).

**Cuadro 1.** Líneas experimentales de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) evaluados en el ciclo P-V del 2023 en condiciones de invernadero.

Líneas	Clave	Líneas	Clave
TR	001	TR	009
TR	002	TR	010
TR	003	TR	011
TR	004	TR	012
TR	005	TR	013
TR	006	TR	014
TR	007	TR	015
TR	008	TR	016

TR= Tomate rojo



### **Descripción de la parcela experimental**

El experimento se estableció en un invernadero de tipo gótico de tecnología convencional, planeado bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, para evaluar dichas líneas experimentales en estudio. Este diseño es el más utilizado tanto por su flexibilidad, así como en su análisis estadístico (Condo y Pazmiño, 2015).

### **Obtención de plántulas**

Para la obtención de plántulas se realizó la siembra del material el 18 de febrero del 2023, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, en una mezcla de sustrato Peat moss y perlita a una proporción de 70 y 30% respectivamente, se colocaron dos semillas por cavidad para asegurar la germinación del material, una vez colocadas las semillas en cada cavidad se le aplicó captan® a dosis e 1 g L<sup>-1</sup> como preventivo ante posibles enfermedades. Posteriormente se cubrieron las semillas con sustrato, luego las charolas fueron colocadas dentro del invernadero para su germinación y desarrollo de las plántulas, para posteriormente realizar el trasplante.

### **Trasplante**

Después de los 30 días después de siembra, las plántulas alcanzaron el desarrollo adecuado para realizar el trasplante, el cual se realizó el 22 de febrero del 2023, trasplantando cuatro plántulas de cada línea experimental en un boli de fibra de coco, previamente regadas para mantener la humedad y que las plántulas se pudieran adaptar al cambio, y de esta manera garantizar su desarrollo.

### **Riego y nutrición del cultivo**

La nutrición utilizada para el cultivo fue de acuerdo al método de solución Steiner modificado, manteniendo un rango de pH de 5.9-6.1 y una conductividad eléctrica de 1.5 a 2.7 dS/m, utilizando un tanque de 2,500 litros conectado a una bomba de riego con temporizador el cual estaba programado para realizar el suministro

de la nutrición cada h, por dos a 7 min entre aplicaciones, se utilizaron tres concentraciones durante el desarrollo del cultivo, sin embargo, durante la primera semana después del trasplante no se le suministró ningún fertilizante en el riego, para la segunda semana se realizó la aplicación de la solución nutritiva al 50% para el crecimiento, posteriormente en la etapa de desarrollo se aplicó una concentración de 75% y en la etapa de fructificación al 100%, esta última generalmente de mayor demanda de nutrientes para la producción floral y amarre de frutos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Composición química nutrimental de la solución nutritiva utilizada en el manejo del cultivo de tomate.

Macroelementos mEq L <sup>-1</sup>										
SN	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Mg <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub>	Na	
(%)	Cl <sup>-</sup>	NO <sup>-3</sup>	-	2	2	K <sup>+1</sup>	2	2	+	+
50	3.26	6	0.5	3.5	1	3.5	2	5.5	1	3
								8.2		
75	3.26	8.6	0.75	5.25	1	5.25	3	5	1.5	3
100	3.26	12	1	7	1	7	4	11	2	3
Microelementos ppm										
SN	Fe <sup>+</sup>	Mn <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> BO	Zn <sup>+</sup>	MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>					
(%)	3	2	3	2	Cu <sup>+2</sup>	2	CE dS/m		pH	
50	1.5	0.74	0.14	0.12	0.06	0.04	1.5		5.9-6.1	
75	2.25	1.1	0.21	0.18	0.09	0.06	2.1		5.9-6.2	
100	3	1.48	0.28	0.24	0.12	0.08	2.7		5.9-6.3	

### Labores culturales

Las labores culturales consistieron en todas aquellas operaciones o trabajos que se realizaron sobre el cultivo durante el ciclo del mismo. Dentro de las labores culturales que se realizaron durante el establecimiento y evaluación del cultivo fueron principalmente las siguientes:

1. Podas: La poda se realizó cuando las plantas presentaron los primeros tallos axilares por debajo del primer racimo, y cada vez que la planta lo

requería, la eliminación de hojas y chupones se realizó para maximizar el crecimiento de la planta por encima del primer racimo, así como para asegurar el cuajado de flores y frutos. Las hojas senescentes se eliminaron para facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, para esta actividad se utilizaron tijeras desinfectadas con cloro a 200 ppm.

2. Tutorado: Las plantas de tomate evaluadas son de crecimiento determinado, por lo cual se realizó un tutorado de tipo español para mantener la planta erguida y evitar que los frutos toquen el suelo, para ello se utilizó maderas como soporte para atar hilo rafia y sostener las plantas de tomate, aproximadamente a una distancia de 20 cm entre hilo para mantener firmes a las plantas.
3. Aplicaciones de plaguicidas e insecticidas: Para prevenir la presencia de plagas y enfermedades, se realizó un programa de protección fitosanitaria con la aplicación de diferentes productos agrícolas y diferentes ingredientes activos para evitar la creación de resistencia química a los i.a, los cuales fueron: Lamdacialotrina, Abamectina, Clorantraniliprol, Flupyradifurone Thiocloprid, Spiromesifen, Clorfenapir, Tiametoxam, Deltametrina, Imidacloprid + Betacyflutrin y Malation, a razón de 1 ml L<sup>-1</sup> de agua.

### **Variables evaluadas**

Evaluación de los parámetros morfológicos de las 16 líneas de experimentales de tomate.

- Altura de planta (AP): para esta variable se tomaron las mediciones cada semana con una cinta métrica graduada en centímetros de la marca Truper®, los datos obtenidos se cuantificaron en cm.
- Diámetro del tallo (DT): el diámetro de tallo se tomó de la base de la planta con un vernier de la marca Esteren®, las mediciones se realizaron cada semana y se cuantificó en mm.

- Largo y ancho de hoja (LH y AH): se tomó una hoja de la parte media de la planta, y con una cinta métrica de marca Truper® se cuantifico, así como el largo de la misma y se registró en centímetros (cm).
- Diámetro ecuatorial del fruto (DEF): para esta variable se utilizó un vernier de la marca Esteren®, el dato se cuantificó de la parte media del fruto y así obtener el diámetro ecuatorial para cada fruto y fue en milímetros (mm).
- Longitud del fruto (LF): se tomó de la base del pedúnculo del fruto hasta la parte superior con vernier marca Esteren®, y se registró en mm.
- Número de lóculos (NL): una vez cosechado los frutos se realizó un corte longitudinal por la parte media del fruto para contabilizar número de lóculos de cada fruto.
- Grosor de mesocarpio (GM): ya cortados los frutos por la parte media y con la ayuda de un vernier marca Esteren®, se midió el grosor del mesocarpio y se expresó en mm.

Determinación y caracterización de los componentes de rendimiento para las 16 líneas experimentales de tomate.

- Número de frutos por planta (NFP): se contabilizaron los frutos cosechados por planta de cada línea experimental.
- Peso promedio del fruto (PPF): Para determinar el peso promedio de fruto, se pesaron los frutos utilizando una báscula digital de la marca OHAUS® Scout®-Pro, el resultado se dividió entre el número total de frutos, dando como resultado el peso medio del fruto.
- Rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ ): para determinar esta variable, se pesaron los frutos de cada planta en una báscula digital de la marca OHAUS® Scout®-Pro, para cada línea, la suma de los pesos de cada cosecha y de cada planta nos dará el resultado total del rendimiento por planta.
- Rendimiento calculado en toneladas por hectárea ( $\text{t ha}^{-1}$ ): para determinar esta variable, se caculo mediante el peso promedio en kilogramos por planta, multiplicado por el número de plantas por hectárea de acuerdo con la configuración ente surcos y entre plantas.

- Número de semillas por fruto (NSF): por cada fruto evaluado y cortado por la mitad se extrajo la semilla, el cual se dejó en un recipiente con agua por un periodo de 20 a 24 horas para promover la fermentación y así poder eliminar el mucilago que cubre la semilla, posteriormente se enjuago las semillas y se puso a secar sobre papel para realizar el conteo y saber el número de semillas por fruto.

Determinación de la concentración de los componentes fisicoquímicos de los frutos de las líneas experimentales de tomate.

- Color de fruto (CF): se tomaron los valores L, a y b en cada fruto. Con estos valores se calculó el ángulo de tono (hue) y la pureza del color (croma), se midió con instrumentos que utilizan filtros o dispositivos emisores de luz, colorímetros triestímulos y espectrofotómetros, con un colorímetro Konica Minolta Sensing® (CR-400, Japón).
- Sólidos solubles totales (°Brix): Los sólidos solubles totales se determinaron mediante medición directa empleando un refractómetro modelo digital portátil el cual utiliza una escala de 0-53° con un refractómetro SOONDA® (TD6010), y para realizar la medición se colocó una gota de jugo del fruto en la pantalla del refractómetro procediendo a tomar la lectura.
- Acidez o pH (PH): En el jugo del fruto se determinó el pH usando un potenciómetro para realizar la lectura marca Yayeri® TPH01137.

### **Análisis estadístico de los datos**

Las variables analizadas en esta investigación se analizaron estadísticamente con un diseño experimental de bloques completamente al azar utilizando un modelo generalizado lineal representado por la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ = variable observada del  $i$ -ésimo repetición del  $j$ -ésimo tratamiento.

$\mu$ = efecto de la media general.

$T_i$ = efecto del  $j$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$ = efecto del bloqueo

$\epsilon_{ij}$ = efecto del error experimental.

Para aquellas variables que resultaron con varianzas estadísticamente significativas se aplicó una prueba de Comparaciones de Medias utilizando la prueba de medias de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). la diferencia honesta significativa DHS, se estimó de la siguiente forma:

$$DHS = S\bar{y} \cdot q$$

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{CM(E)}{r}}$$

$$q = q_{GL(E),t,\alpha}$$

Donde:

$S\bar{y}$  =comparador de Tukey

$CM(E)$ = Cuadrados medios del error

r= Repeticiones

q= Estadístico en puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado, valor que se obtiene de tablas

GL= Grados de libertad del error

t= Números de tratamientos

$\alpha$ = Nivel de probabilidad de cometer erro tipo I, rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando esta es verdadera, se establece un valor de 5% (0.05).

si

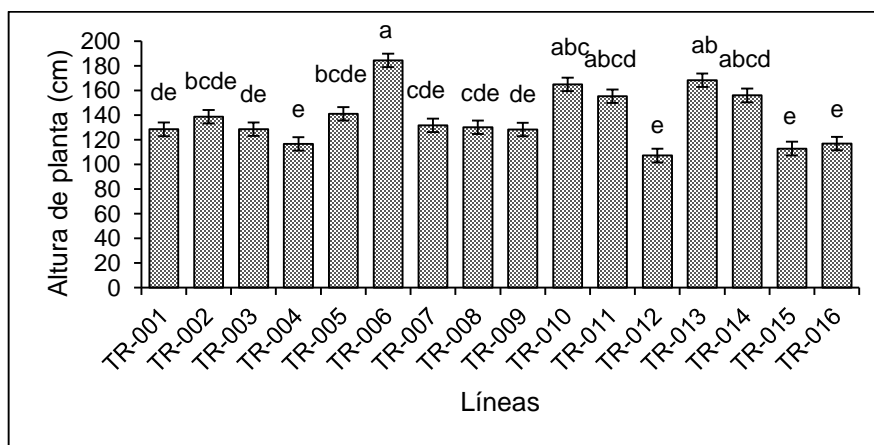
$$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > DHS \text{ entonces se concluye que } T_i \neq T_j$$

Estos análisis fueron realizados con el programas Software estadístico Infostat (2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura de planta

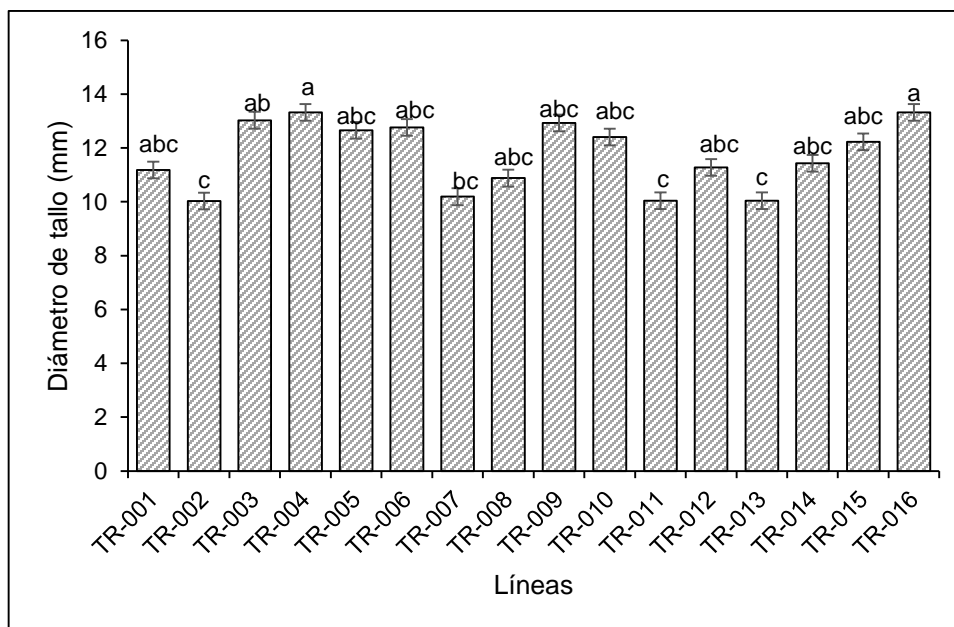
De acuerdo al análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ) se detectó diferencia estadística significativa entre líneas para la variable altura de planta, como se muestra en la Figura 1, donde se observa una superioridad en las líneas TR-006, TR-013, TR-010, seguidos de TR-011 y TR-014, las primeras tres obtuvieron los valores promedios más altos con 184.42, 168.25 y 164.92 cm, respectivamente, mientras que TR-003 y TR-009 son las líneas con el menor desarrollo cuantificado en altura de planta, con un valor de 128.64 y 128.29 cm, respectivamente. Referente a la altura de la planta, estos resultados obtenidos concuerdan con Muhammad *et al.*, (2019), quienes reportan accesiones de tomates de más de 1 m de altura, Kumar *et al.*, (2016) por su parte, evaluaron 40 genotipos de tomates y reportaron una altura final de planta que osciló entre 52.1 y 184.5 cm. La altura de planta es una variable importante a cuantificar ya que, Vallecillo *et al.*, (2022), mencionaron que los tomates de crecimiento determinado son ideales en campo abierto, ya que los brotes simpodiales se diferencian rápidamente en flores lo que dan como resultado una madurez del fruto rápida y uniforme, lo que permite la cosecha mecanizada en tomate en campo abierto, ideal para la industria.



**Figura 1.** Altura de planta de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Diámetro de tallo

Para el desarrollo final de diámetro de tallo (DT) y de acuerdo al análisis de varianza (ANVA  $p \leq 0.05$ ), se encontraron diferencias estadísticas donde a excepción de las líneas TR-002, TR-007, TR-011 y TR-013, las demás líneas expresaron un comportamiento estadístico similar entre sí pero superior a las antes mencionadas, y de entre ellas destaca la línea TR-004 y TR-016 (Figura 2). Mendoza-Pérez *et al.*, (2018) mencionaron que, el grosor del tallo está relacionado con el rendimiento, adicionalmente observó que, al incrementar el número de tallos por planta aumenta el número total de frutos; sin embargo, el tamaño disminuye drásticamente. El endurecimiento y grosor del tallo reduce la succulencia de la planta, además cierra las estomas, baja la tasa de respiración y cambia el balance hormonal (incrementa el ácido absísico (ABA), lo que en conjunto contribuye a disminuir la tasa de crecimiento. Además, la altura de una plántula está determinada por la longitud del tallo, el cual depende del número y longitud de los entrenudos (Marín- Montes *et al.*, 2021).

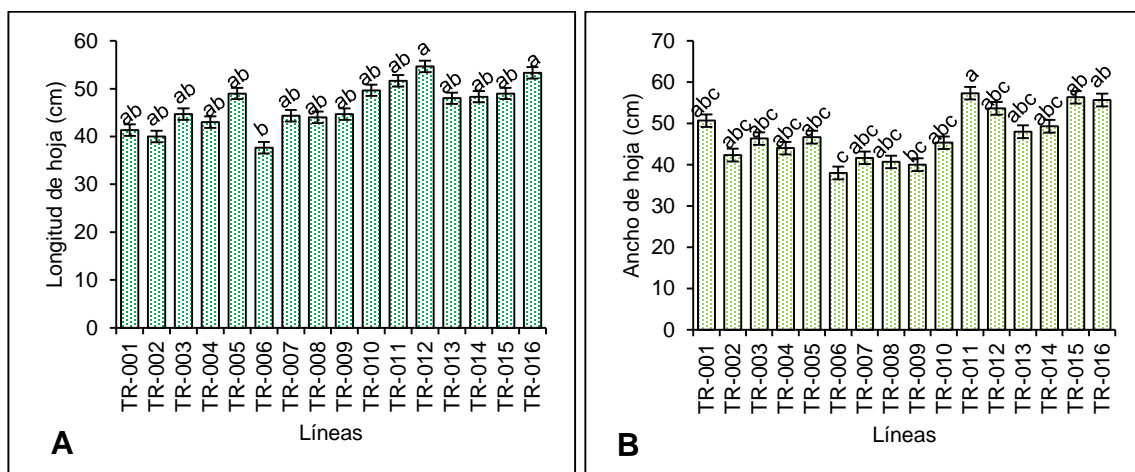


**Figura 2.** Diámetro final del tallo de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.



### Longitud y ancho de hoja

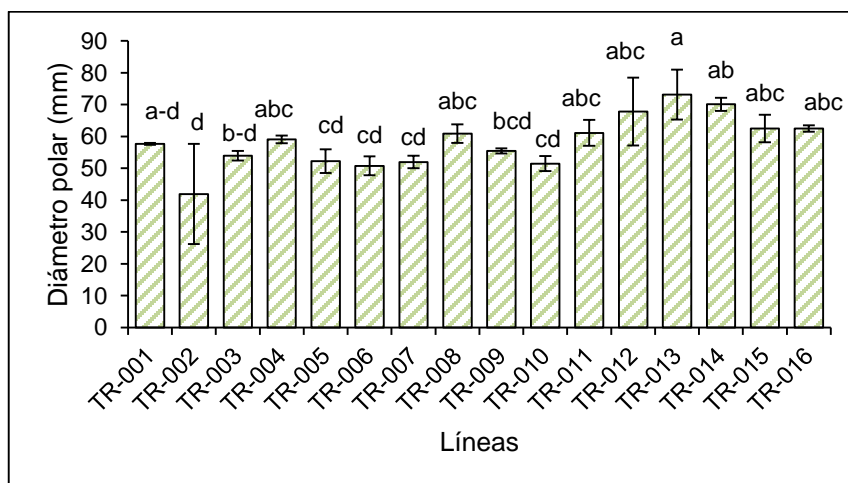
Para largo y ancho de hoja, el análisis de varianza y prueba de medias (Tukey  $p \leq 0.05$ ) detectó diferencias estadísticas significativas entre líneas. El análisis permitió observar que a excepción de las líneas TR-006 y TR-009, el resto de las líneas expresó un comportamiento similar pero superior a las antes citadas, TR-012, TR-016 y TR-011 destacaron para el largo de hoja (LH), con una longitud de hoja de 54.67, 53.33 y 51.67 cm, respectivamente (Figura 3-A). Para ancho de hoja, la línea TR-011 destacó entre las demás (Figura 3-B). Las hojas son sensibles a las condiciones del medio ambiente, por lo que en este órgano se reflejan muchas alteraciones morfológicas y anatómicas. Diversos factores ambientales como bajas y altas temperatura, salinidad, estrés hídrico y radiación, estimulan cambios sobre la morfología del follaje (Zárate-Martínez *et al.*, 2021). Debido a la relevancia de estas funciones esenciales en el follaje, las plantas han desarrollado un sistema endógeno para una medición precisa del fotoperiodo, sincronizados con las condiciones ambientales predominantes (Battle y Jones, 2020). La cantidad de luz, como intensidad y fotoperiodo, es percibida por las plantas a través de un complejo mecanismo que incluye la percepción de señales luminosas a nivel de las hojas (Paik y Huq, 2019).



**Figura 3.** Diámetro longitud de hoja 2-A y ancho de hoja 2-B, de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Diámetro polar de fruto

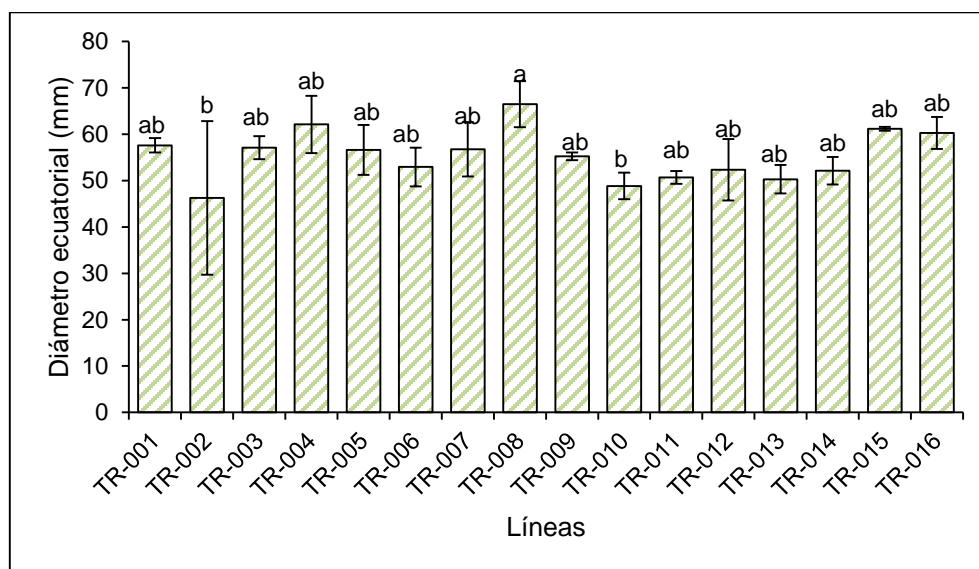
En la variable diámetro polar de los frutos se detectaron diferencias estadísticamente significativas (ANVA  $p \leq 0.05$ ) entre las líneas evaluadas, donde la línea que destaca en diámetro polar de fruto es TR-013 con 73.18 mm, seguido de TR-011, TR-012, TR-014, TR-015, TR-008, TR-004 y TR-001 (Figura 4). La forma y el tamaño de la fruta son muy importantes, no solo para el consumidor sino también para el transporte, ya que es uno de los rasgos más prometedores que se puede notar a simple vista y se puede utilizar para la identificación clara de cultivares de tomate durante la inspección y selección en campo (Salim-Rashid *et al.*, 2020). Además, la FAO (2018) clasifica los tomates en cuatro categorías que van desde pequeño (máximo 4.7 cm), mediano, grande y extra grande ( $> 7.0$  cm), esto de acuerdo al mercado que se destina el producto, de ahí la importancia de evaluar diámetro polar y ecuatorial del fruto de tomate. Salim *et al.* (2020), reportaron que la longitud del fruto difiere significativamente entre genotipos probados, ya que encontraron valores que oscilaron entre 3.91 y 6.57 cm de longitud de fruto. Estos resultados encontrados, están cerca de los hallazgos de la investigación de Yesmin *et al.*, (2014), donde reportaron longitudes de frutos que oscilaron entre 3.24 y 5.48 cm en genotipos.



**Figura 4.** Diámetro polar de fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Diámetro ecuatorial

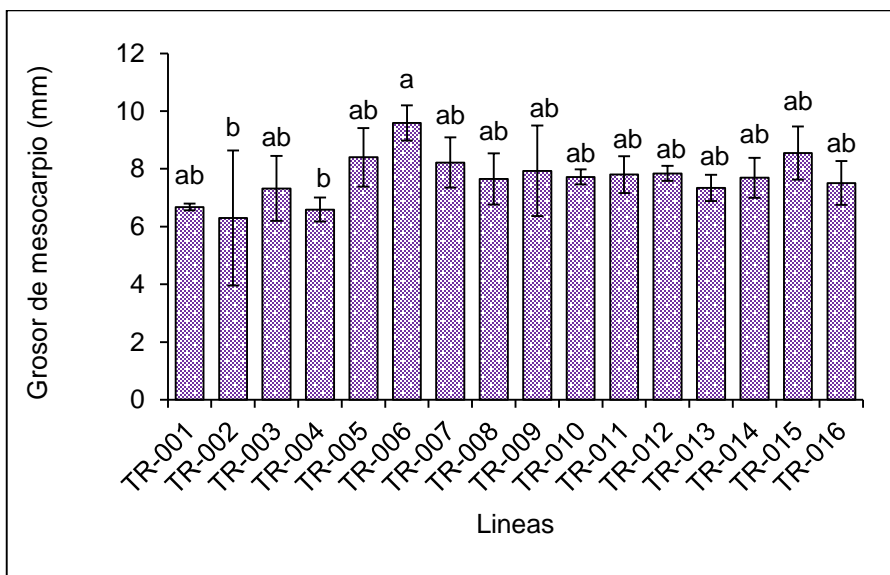
Para diámetro ecuatorial del fruto, también se observaron diferencias estadísticas (ANVA  $p \leq 0.05$ ), en donde a excepción de TR-002 y TR-010 todas las demás líneas exhibieron el mismo comportamiento estadístico con valores de entre 50 a 66 mm, pero entre ellas destaca la línea TR-008 con un valor promedio de 66.48 mm, dentro de estos parámetros la línea TR-002 fue la de menor diámetro con 46.27 mm como se puede observar en el gráfico 5. El diámetro del fruto también varió significativamente entre las líneas, Salim *et al.*, (2020), reportaron diámetros de fruto entre 3.63 y 8.15 cm. También se registró un diámetro de fruto que oscilaba entre 3.74 y 5.34 cm en tomate cultivado (Kouam *et al.*, 2018). Sin embargo, en este estudio se encontraron frutos un poco más grandes en el diámetro ecuatorial de los frutos, quizá por la naturaleza redonda de algunas de las líneas. Estas variaciones podrían deberse a la influencia del clima o de las características propias de cada genotipo y/o de ambas por su interacción (Salim-Rashid *et al.*, 2020).



**Figura 5.** Diámetro ecuatorial de fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Grosor de mesocarpio

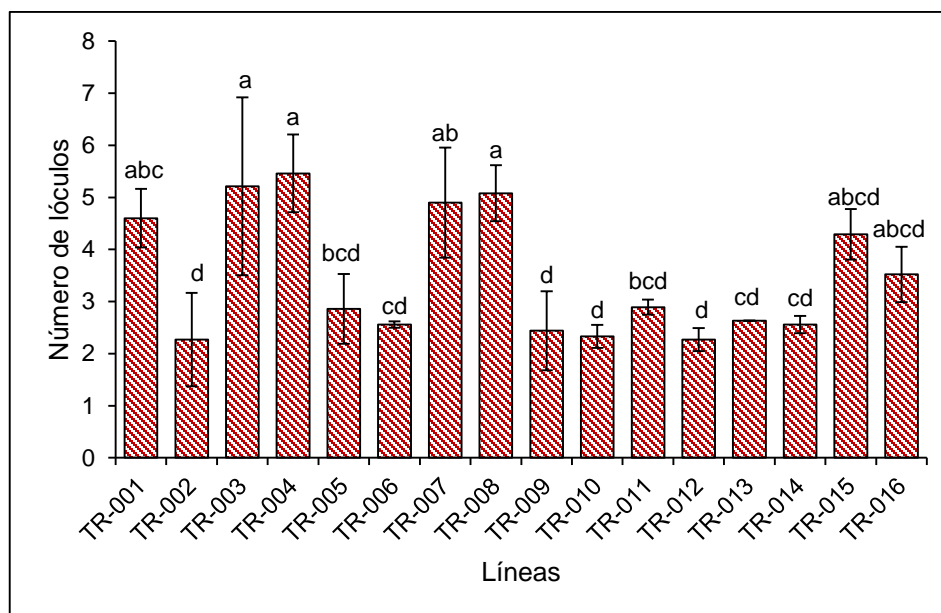
De acuerdo al análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ), se encontró una variación significativa en grosor de mesocarpio entre las 16 líneas evaluadas. El espesor máximo de mesocarpio fue de 9.59 mm el cual se registró en la línea TR-006 aunque estadísticamente similar a la mayoría de las líneas (Figura 6). Esta variación podría deberse a la diferencia de genotipos, además, frutos de tomate con mayor espesor de pericarpio son deseables ya que generalmente brindan mayor vida de anaquel (Gan *et al.*, 2022), y resisten mejor el transporte, además, aportan más peso al rendimiento e influyen en el tamaño del fruto, una consideración importante para el consumo de tomate tanto fresco como industrial (Waiba *et al.*, 2021). El grosor del pericarpio en el presente estudio fue ligeramente superior en comparación con Salim *et al.*, (2020), donde reportan un grosor de 8.07 y de 4.40 mm superior a los 7.66 y 7.80 mm reportados por Vallecillo *et al.*, (2022). Sin embargo, similares a los encontrados por Trento *et al.* (2021), quienes trabajaron con cinco cultivares de tomate de crecimiento determinado y obtuvieron promedios de 7.2 y 10.4 mm.



**Figura 6.** Grosor de mesocarpio de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Número de lóculos

Para la variable número de lóculos (ANVA  $p \leq 0.05$ ) se encontraron diferencias estadísticas, donde el valor promedio más alto para la variable lo presentó la línea TR-003 con 6 lóculos, seguido de TR-004, TR-007, TR-008, TR-015 y TR-0016, en tanto que la línea que presentó menores números de lóculos fue el TR-012 con un valor de 2.27 lóculos (Figura 7). En estudios anteriores se ha informado datos similares en comparación con los datos del presente estudio, variando de 2.00 a 9.93 lóculos entre genotipos (Salim-Rashid *et al.*, 2020). Por su parte Vázquez-Ortiz *et al.* (2010), reportaron hasta 11 lóculos, esta variación induce la forma particular que toman los tomates. De acuerdo con Vallecillo *et al.* (2022) los frutos biloculares son deseados en el mercado, ya que son más estables para el manejo poscosecha y el transporte, en el presente estudio se encontraron líneas con estas características deseables para el mercado, esta variación en cuanto al número de lóculos podría deberse a la diferencia genética de líneas.



**Figura 7.** Número de lóculos de fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### **Componentes fisicoquímicos de fruto (pH, CE y SST)**

Para la variable pH del fruto, no se encontraron diferencias estadísticas significativas, los valores oscilaron entre 3.74 y 4.64, siendo TR-002 la menos ácida y TR-010 ligeramente más ácido (Cuadro 3). Existe una relación inversa entre la acidez titulable y el pH, donde cuanto mayor es la acidez, menor es el pH y viceversa (Putti *et al.*, 2022). El tomate tiene un alto valor añadido, por lo que la calidad de los parámetros es fundamental para su comercialización. Por lo tanto, los contenidos de azúcar y ácido se utilizan a menudo como indicadores importantes para evaluar el sabor del tomate. Sin embargo, en las mismas condiciones de cultivo, los factores genéticos controlan principalmente la formación de sustancias aromáticas (Zhang *et al.*, 2023). Algunos estudios muestran que la calidad del sabor del fruto del tomate, el azúcar y la acidez percibidos tienen un gran impacto en el sabor ya que el contenido de azúcar se correlaciona positivamente con el sabor (Wang *et al.*, 2020).

Para conductividad eléctrica (CE) y de acuerdo al ANVA ( $p \leq 0.05$ ), estadísticamente todas las líneas son similares entre sí, sin embargo, podemos notar que la línea TR-005 se destaca con una  $538.75 \text{ ms m}^{-1}$ , por el contrario TR-006 expresó un promedio de  $368.56 \text{ ms m}^{-1}$  siendo el menor (Cuadro 3). Las alteraciones de las condiciones de crecimiento durante la precosecha se consideran como los principales factores para generar modificaciones a nivel físico-químico del fruto de tomate (Rodríguez *et al.*, 2019).

En cuanto a sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), no hay diferencias estadísticas entre las líneas evaluadas, sin embargo, podemos notar que la concentración más alta de 6.04 se registró en TR-003, seguido de TR-006 (5.84) y TR-005 (5.54). Por el contrario, la línea TR-002 mostró el porcentaje más bajo de  $^{\circ}\text{Brix}$  que fue de 3.93. El contenido de sólidos solubles es de gran importancia económica en el procesamiento del tomate. Incluso un pequeño aumento en este atributo de calidad puede aumentar significativamente el rendimiento industrial y reducir el costo de la deshidratación de la pulpa (Putti *et al.*, 2022). Algunos estudios

anteriores realizados calcularon los valores de grados brix, donde obtuvieron los valores de 5.51 y 2.97%, resultando similares a los resultados de la presente investigación (Salim *et al.*, 2020). Nuestros resultados también coincidieron parcialmente con Zhang *et al.*, (2023), donde reportaron SST que oscilaron entre 3.73 y 8% en tomate de diferentes variedades.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ) y comparación de medias (Tukey  $p \leq 0.05$ ) de componentes fisicoquímicos de frutos de líneas de jitomate cultivados bajo invernadero.

Líneas	pH	CE (ms m <sup>-1</sup> )	SST (°Brix)
TR-001	4.37 a	445.88 a	5 a
TR-002	3.74 a	497.23 a	3.93 a
TR-003	4.5 a	420.4 a	6.04 a
TR-004	4.49 a	462.19 a	5.28 a
TR-005	4.59 a	538.73 a	5.54 a
TR-006	4.38 a	368.56 a	5.84 a
TR-007	4.41 a	474.04 a	4.6 a
TR-008	4.27 a	448.67 a	4.35 a
TR-009	4.58 a	519.07 a	5.08 a
TR-010	4.64 a	494.79 a	5.45 a
TR-011	4.55 a	446.79 a	4.53 a
TR-012	4.44 a	385.34 a	4.34 a
TR-013	4.64 a	405.5 a	4.42 a
TR-014	4.55 a	513.46 a	5.33 a
TR-015	4.39 a	464.04 a	4.68 a
TR-016	4.42 a	439.5 a	4.13 a
ANVA $p \leq$	0.2152	0.9631	0.0506
GL	32	32	32
CV (%)	7.09	28.22	15.75

ANVA= Análisis de varianza, CV= Coeficiente de variación, GL= Grados de libertad, pH= potencial de hidrogeno, CE= Conductividad eléctrica, SST= Sólidos solubles totales (°Brix).

**Color verdadero**

Entre los diferentes parámetros de calidad del fruto del tomate, la percepción de madurez (en función de su color visible) es el más importante, preferido y decisivo (Nunes, 2008). La importancia del color o cambio de color del fruto del tomate se puede entender mejor por el hecho de que se sabe que está estrechamente relacionado con otros parámetros de calidad como la firmeza, los aspectos nutricionales (licopeno, carotenoides, etc.) y también con el tiempo de conservación, ya que la firmeza y el color son los factores más importantes para determinar la calidad del tomate. Para los tomates frescos, los dos atributos de calidad más importantes para los compradores y consumidores son la textura y el color de la piel (Kumar *et al.*, 2022). Según el cambio de color, los frutos del tomate se han dividido en siete etapas de maduración distintas: verde maduro, quebradizo, giratorio, rosado, rojo claro, rojo y rojo maduro (Kim *et al.*, 2020).



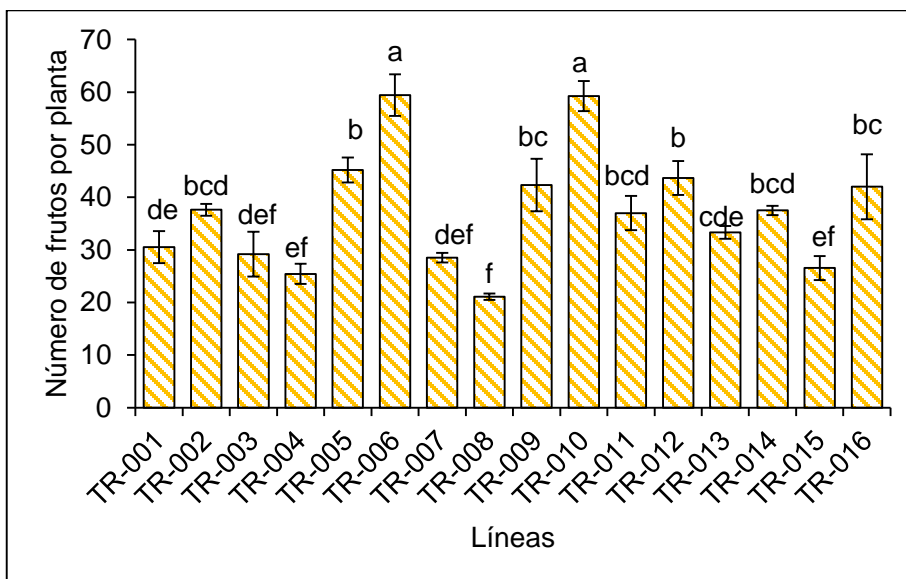
**Cuadro 4.** Parámetros cromáticos de color en frutos de 16 líneas experimentales de tomate cultivados bajo invernadero.

Líneas	Col L	Col A	Col B
TR-001	34.99 bc	16.62 bcde	11.11 cd
TR-002	35.94 abc	15.62 cdef	11.55 bcd
TR-003	36.83 abc	20.83 a	12.81 abc
TR-004	37.9 a	18.72 ab	13.92 a
TR-005	34.72 c	13.71 f	10.19 d
TR-006	36.13 abc	18.63 ab	12.3 abc
TR-007	35.24 bc	14.85 ef	11.09 cd
TR-008	37.29 ab	15.83 cdef	12.69 abc
TR-009	35.08 bc	16.27 bcdef	11.14 cd
TR-010	35.3 bc	16.38 bcdef	10.99 cd
TR-011	36.87 abc	17.64 bcd	12.44 abc
TR-012	36.88 abc	15.25 def	12.25 abc
TR-013	37.88 a	17.24 bcde	13.3 ab
TR-014	36.92 abc	18.08 bc	12.44 abc
TR-015	35.97 abc	15.69 cdef	11.81 bcd
TR-016	35.95 abc	15.56 cdef	11.73 bcd
ANVA $p \leq$	0.0001	0.0001	0.0001
GL	32	32	32
CV (%)	2.18	5.42	5.46

ANVA= Análisis de varianza, CV= Coeficiente de variación, GL= Grados de libertad.

### Número de frutos por planta

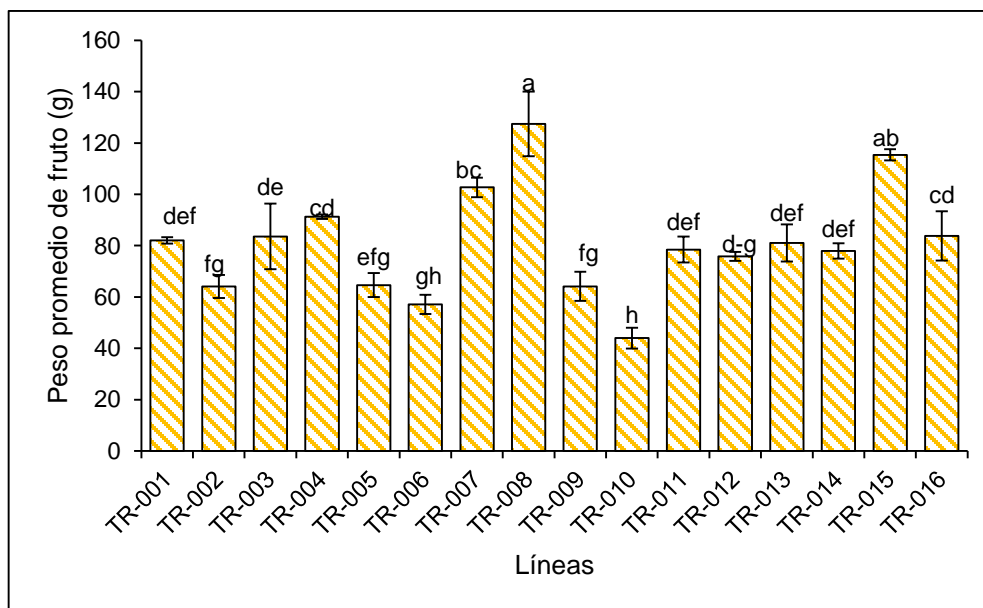
Para los componentes de rendimiento se encontraron diferencias estadísticas significativas (ANVA  $p \leq 0.05$ ) en la Figura 8, se muestran el comportamiento de las líneas para la variable número de frutos por planta (NFP), en el cual se observó que, TR-006 y TR-010 resultan superiores con 59 frutos en promedio, y con un promedio de 21.08 frutos por planta la línea TR-008 es la que expreso menor cantidad de frutos, el resto de las líneas se mantuvo intermedio con valores de 28 a 45 frutos. Datos que concuerdan con lo reportado por Vallecillo *et al.* (2022), donde afirman obtener entre 29.6 y 49.4 frutos por planta. Elsadek *et al.* (2022), reportaron 36.5 frutos por planta en tomate de hábito indeterminado. Por otro lado, Kouam *et al.* (2018) reportaron valores de 22 a 24 frutos por planta en tomate determinado. Estos últimos fueron inferiores a los observados en esta investigación. Parra-Gómez *et al.* (2016) indican la existencia de una alta correlación entre el rendimiento con el peso promedio de fruto, longitud y diámetro de fruto, así como el número total de frutos, por lo tanto, constituyen caracteres muy importantes de selección en mejoramiento genético de jitomate.



**Figura 8:** Número de frutos por planta de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Peso promedio de fruto

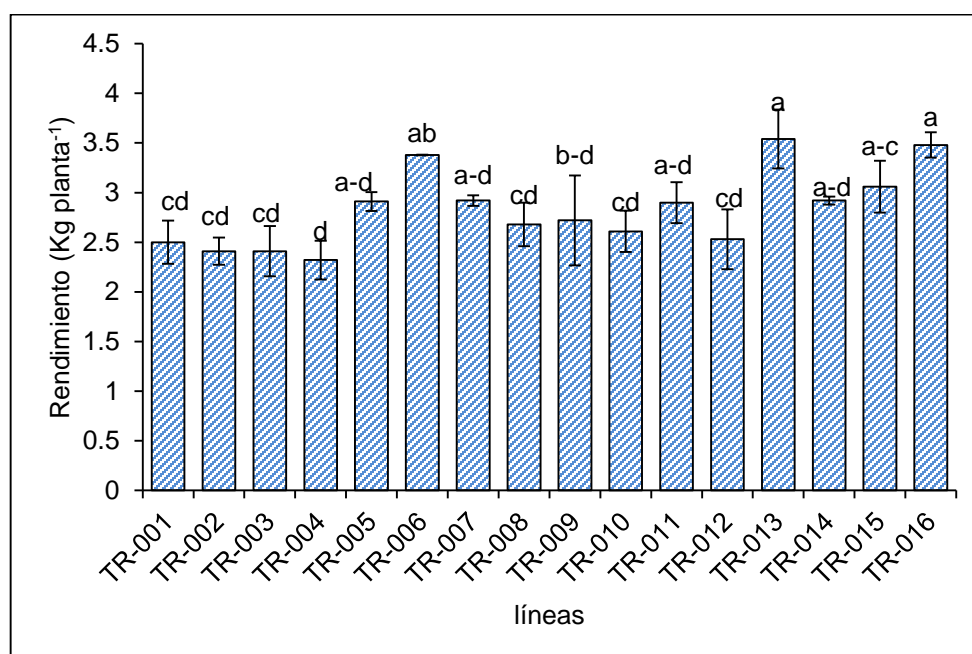
Para peso promedio de fruto (PPF), y de acuerdo a la Figura 9 se observa que existen diferencias estadísticas significativas, siendo TR-008 y TR-015 las líneas más sobresalientes al reportar un peso promedio por fruto de 127.41 y 115.39 g respectivamente, por el contrario, la línea con menor promedio en peso de fruto fue la línea TR-010 con 43.98 g, el resto de las líneas mantuvo valores de entre 60 y 90 g en promedio. Los resultados obtenidos del presente estudio, son superiores en referencia a lo reportado por Vallecillo *et al.* (2022) quienes obtuvieron frutos con valores mayores a 117 g siendo los más pesados. De igual forma, también fueron superiores a los reportados por Burbano y Vallejo (2017), donde las líneas de crecimiento determinadas no lograron superar al testigo con un peso de 104.5 g en promedio. El rendimiento es una característica que presenta mucha variabilidad, y depende en gran medida del genotipo, las condiciones ambientales, la presencia de plagas y enfermedades y las prácticas de manejo de la planta, así como la densidad de siembra y las podas.



**Figura 9:** Peso promedio de frutos de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Rendimiento kilogramos por planta

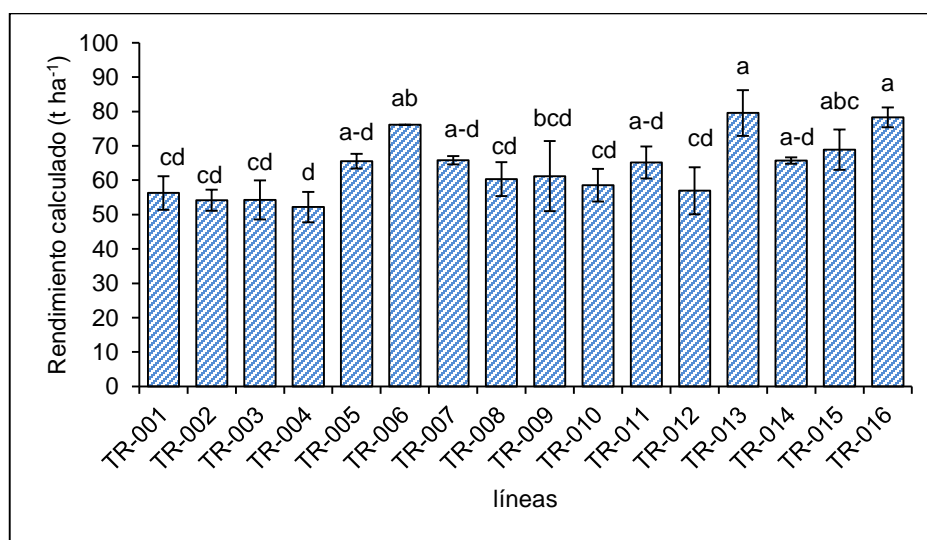
Se observó una variación estadísticamente significativa en las líneas de tomate en el rendimiento en kilogramos por planta ( $\text{kg planta}^{-1}$ ), oscilando entre 2.32 y 3.54  $\text{kg planta}^{-1}$  entre las líneas (Figura 10). La línea TR-013 produjo el mayor rendimiento con 3.54  $\text{kg planta}^{-1}$ , sin embargo, fue estadísticamente similar a la línea TR-016 con 3.48, seguido de las líneas TR-006, TR-005, TR-007, TR-011, TR-014 y TR-015. Mientras que las líneas que produjeron el menor rendimiento fueron TR-004, TR-001, TR-002, TR-003, TR-009, TR-010 con valores de entre 2.4 y 2.6  $\text{kg planta}^{-1}$ . Estos resultados no son inferiores a los reportados por Burbano y Vallejo (2017), quienes encontraron un rendimiento de 4.6  $\text{kg planta}^{-1}$ . Además, en otro estudio realizado donde evaluaron líneas de crecimiento determinado reportaron 4.1 y 4.3  $\text{kg planta}^{-1}$  (Vallecillo *et al.*, 2022).



**Figura 10:** Rendimiento en kilogramos por planta de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Rendimiento calculado toneladas por hectárea

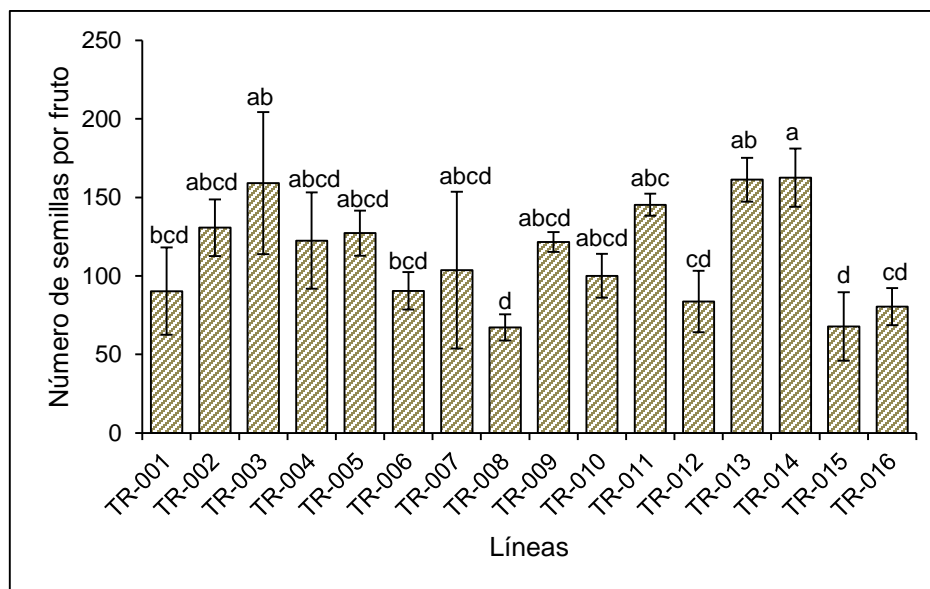
Para la variable rendimiento calculado en toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ) se observó un comportamiento estadísticamente igual a la variable anterior, por lo tanto, las líneas TR-013, TR-016 y TR-006 destacaron con más de 75 toneladas por hectárea calculadas (Figura 11). Parra-Gómez *et al.* (2016) indican la existencia de una alta correlación entre el rendimiento con el peso promedio de fruto, longitud y diámetro de fruto, así como el número total de frutos, por lo tanto, constituyen caracteres muy importantes de selección en mejoramiento genético de jitomate. Aunque la fertilización y el riego son especialmente importantes para la producción de tomates (Cañadas-López *et al.*, 2018), condiciones que se mantuvieron controladas en el experimento. Cañadas-López *et al.* (2018) reportaron una producción de 68.5 y 61.60  $t\ ha^{-1}$ , valores similares a los obtenidos en este estudio. Figueiredo *et al.* (2016), al realizar una evaluación agronómica de tomate industrial encontraron que los mejores rendimientos se obtuvieron en híbridos con 77.05 y 70.65  $t\ ha^{-1}$ . Estos resultados muestran que existen líneas de tomate prometedoras por la característica de rendimiento asumiendo que son líneas experimentales avanzadas.



**Figura 11:** Rendimiento calculado en toneladas por hectárea de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

### Número de semillas por fruto

Se exhibió una variación altamente significativa (ANVA  $p \leq 0.05$ ) entre las líneas evaluadas en relación con el número de semilla por fruto, como se puede observar en la Figura 12. El mayor número de semillas por fruto se reportó en la línea TR-014 con 162.57, sin embargo, estadísticamente fue similar a TR-013 y TR-003 con una producción de 161.31 y 159.17 semillas por fruto respectivamente, a estas le siguieron TR-011, TR-005, TR-004, TR-009 y TR-002. Salim *et al.* (2020), reportan 147.6 semillas por fruto, siendo el mejor rendimiento y de 46.05 semillas por fruto como el menor rendimiento. Sin embargo, los resultados antes mencionados fueron inferiores a los encontrados en este estudio con valores de 80 hasta 160 semillas por fruto. Esto podría deberse al tamaño de la fruta y a la viabilidad del polen, ya que, Delgado-Vargas *et al.*, (2022) mencionaron que temperaturas diurnas permanentes superiores a 35°C y nocturnas arriba de 21°C reducen drásticamente la formación de semillas de tomate.



**Figura 12:** Rendimiento número de semillas por fruto de líneas experimentales de tomate evaluadas en invernadero, barras verticales corresponde a la desviación estándar.

## **CONCLUSIONES**

El comportamiento agronómico y morfológico de las líneas fue variable en la mayoría de los caracteres evaluados, lo que indica variabilidad genética entre las líneas, esto puede ser utilizada para la generación de nuevos materiales con alto potencial productivo ya sea como variedad o como híbridos. O en su caso crear nueva variabilidad genética a través de su recombinación.

Para la evaluación de líneas experimentales de tomate, se deben tomar en cuenta diversas características de la planta y de fruto, así como la calidad y rendimiento, tales como tamaño y forma del fruto, sabor, firmeza, contenido de sólidos solubles, color del fruto, apariencia visual y aroma entre otros.

Para los componentes de rendimiento se encontraron líneas prometedoras tales como TR-006 y TR-010 que destacan en número de frutos por planta, mientras que TR-008, TR-015 y TR-007 son líneas que presenta frutos de mayor peso medio, las líneas TR-006, TR-013 y TR-016 destacan por producir más kilogramos por planta. Para la producción de semillas TR-013, TR-014 y TR-003 tienen buen desempeño. En número de lóculos TR-003, TR-004, TR-007 y TR-008.

## REFERENCIAS

- Aydi, S., Sassi Aydi, S., Marsit, A., El Abed, N., Rahmani, R., Bouajila, J., ... y Abdelly, C. (2023). Optimización de sustrato alternativo para la producción de tomate en zonas áridas: lección del crecimiento, relaciones hídricas, fluorescencia de clorofila y fotosíntesis. *Plantas*, 12 (7), 1457.
- Battle, M. W., & Jones, M. A. (2019). Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system. *Plant, Cell & Environment/Plant, Cell and Environment*, 43(1), 16–27. <https://doi.org/10.1111/pce.13643>
- Bhusal, N., Han, S., & Yoon, T. (2019). Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, 246, 535–543. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.021>
- Bihon, W., Chen, J. R., & Kenyon, L. (2020). Identification and characterization of *Ralstonia* spp. causing bacterial wilt disease of vegetables in Mali. *Journal of Plant Pathology*, 102(4), 1029-1039.
- Bihon, W., Ognakossan, K. E., Tignegre, J. B., Hanson, P., Ndiaye, K., & Srinivasan, R. (2022). Evaluation of Different Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Entries and Varieties for Performance and Adaptation in Mali, West Africa. *Horticulturae*, 8(7), 579. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070579>
- Bonamico, N.; J. Aiassa, M. Ibañez, M. Di Renzo, D. Díaz y J. Salerno. 2004. Caracterización y clasificación de híbridos simples de maíz con marcadores SSR. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 33 (2): 129-144
- Burbano, E. y Vallejo, FA (2017). Producción de líneas de tomate "chonto", *Solanum lycopersicum* Mill., conexpresión del gen *sp* responsable del crecimiento determinado. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* .11(1), 63-71. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5786>
- Camarena, F., Chura, J. C. R. H., & Blas, R. (2014). Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas. Perú: Colección Agrosaber del Banco Agropecuario.
- Canul-Ku, J., González-Pérez, E., Barrios-Gómez, E. J., Pons-Hernández, J. L y Rangel-Estrada, S. E. (2022). Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 23-23. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.23>



- Cañadas-López, A. G., Rade-Loor, D. Y., Quijije-Pinargote, R. O., Sotomayor, I. A. y Ormaza-Molina, A. M. (2018). Assessment of 112 tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars for industrial processing in Portoviejo, Ecuador. *Acta Agronómica*, 67(2), 347–354. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.62725>
- Ceballos, A.N., y C.F.A. Vallejo. 2012. Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Rev Fac. Nac. Agron. Medellín* 65(2):6593-6604.
- Cheng G, Chang P, Shen Y, Wu L, El-Sappah AH, Zhang F and Liang Y (2020). Comparing the Flavor Characteristics of 71 Tomato (*Solanum lycopersicum*) Accessions in Central Shaanxi. *Front. Plant Sci.* 11:586834. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.586834>
- Company, T. (2020, August 2). Origin and history of tomatoes. <https://www.linkedin.com/pulse/origin-history-tomatoes-tokba-trading>
- Cubero, J. I. (2003) Introducción a la mejora genética vegetal. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Delgado-Vargas, V. A., Magdaleno-Villar, J. J., Silva-Rojas, H. V., García-De los Santos, G., & Ayala-Garay, Ó. J. (2022). Calidad de semillas de tomate producidas en temperatura alta durante diferentes etapas de desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(4), 445-445. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.445>
- Délices, G., Leyva Ovalle, O. R., Mota-Vargas, C., Núñez Pastrana, R., Gámez Pastrana, R., Meza, P. A., & Serna-Lagunes, R. (2019). Biogeography of tomato *Solanum lycopersicum* var. *cerasiform* (Solanaceae) in its center of origin (South America) and domestication (Mexico). *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 1023-1036. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33754>
- Díaz, W. R. S., Jiménez, Y. A., & Aponte, R. J. J. (2009). Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 743-755.
- Elsadek, W., Elshinawy, M., Elminiawy, SE y Ayoub, F. (2022). Evaluación de algunos genotipos exóticos indeterminados de tomate. *Revista de Ciencias Agrícolas de las Universidades Árabes*, 30(1), 117-127. <https://doi.org/10.21608/AJS.2022.105853.1436>
- Escalona C V, V P Alvarado, M H Monardes, Z C Urbina, B A Martin (2009) Manual de Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Disponible en: [http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/manua\\_cultivo\\_tomate.pdf](http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/manua_cultivo_tomate.pdf) .

ESALQ – Simpósio de defensas agrícolas: tópicos relevantes y principios desafíos, 2017.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Agricultura mundial hacia los años 2015/2030. Informe resumido. FAO. Roma, Italia. ISBN: 92-5-304761-5. Recuperado en 28 de mayo de 2024, <https://www.fao.org/4/y3557s/y3557s00.pdf>

FAOSTAT (la Base de datos estadísticos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación) 2019. Recuperado el 12 de mayo de 2024. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.

Figueiredo, A. S., Resende, J. T., Faria, M. V., Paula, J. T., Rizzardi, D. A., & Meert, L. (2016). Agronomic evaluation and combining ability of tomato inbred lines selected for the industrial segment. *Hortic Bras*, 34(1), 86-92. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000100013>

Gan, L., Song, M., Wang, X., Yang, N., Li, H., Liu, X., & Li, Y. (2022). Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size. *Horticulture Research*, 9, uhab041, <https://doi.org/10.1093/hr/uhab04>

Galavić V.; S. Mladnovic D., J. Navalusić and M. Zlokolica. 2006. Characterization methods and fingerprinting of agronomically important crop species. *Genetika* 38 (2): 83-96.

Grijalva Contreras, R. L., Macías Duarte, R., & Robles Contreras, F. (2011). Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 675-682.

Gruda, N. S. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060298>

Gruda, N. S. (2022). Advances in soilless culture and growing media in today's horticulture—An Editorial. *Agronomy*, 12(11), 2773. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112773>

Haggblade, S., Keita, N., Traoré, A., Traoré, P., Diarra, A. y Thériault, V. (2019). Un estudio de mercado de los pesticidas fraudulentos vendidos en Mali.

Ilahy, R., Tlili, I., Siddiqui, M. W., Hdider, C., & Lenucci, M. S. (2019). Inside and beyond color: Comparative overview of functional quality of tomato and watermelon fruits. *Frontiers in Plant Science*, 10, 455060. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00769>

- Islam, F., Quamruzzaman, A. y Mallick, S. (2021). Rendimiento y rendimiento que contribuye al rendimiento de 75 germoplasma de tomate en Bangladesh. *Ciencias Agrícolas*, 12, 1295-1306. [DOI: 10.4236/as.2021.1211083](https://doi.org/10.4236/as.2021.1211083)
- Kandel, DR, Marconi, TG, Badillo-Vargas, IE, Enciso, J., Zapata, SD, Lazcano, CA, Crosby, K., & Avila, CA (2020). Rendimiento y calidad del fruto de cultivares de tomate de túnel alto producidos durante la temporada baja en el sur de Texas. *Scientia Horticulturae*, 272, 109582
- Kavitha, P., K.S. Shivashankara, V.K. Rao, A.T. Sadashiva, K.V. Ravishankar, and G.J. Sathish. 2014. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. *J. Sci. Food Agr.* 94(5):993-999. [Http://org.doi:10.1002/jsfa.6359](http://org.doi:10.1002/jsfa.6359).
- Keabetswe, L., Shao, G., Cui, J., Lu, J. & Stimela, T. (2019). Una combinación de biocarbón y riego deficitario regulado mejora la calidad del fruto del tomate: un análisis de calidad integral. *Folia Horticulturae*, 31(1) 181-193. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0013>
- Kim, H., Yang, T., Choi, S., Wang, Y., Lin, M., & Liceaga, A. M. (2020). Supplemental intracanopy far-red radiation to red LED light improves fruit quality attributes of greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 261, 108985. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108985>
- Kouam, EB, Dongmo, JR y Djeugap, JF (2018). Exploración de la variación morfológica en el tomate (*Solanum lycopersicum*): un estudio combinado de resistencia a enfermedades, divergencia genética y asociación de caracteres. *Agricultura Tropica et Subtropica* , 51(2), 71-82. <https://doi.org/10.2478/ats-2018-0008>
- KUEHL, R. O. 2000. "Diseños de parcelas divididas". En: *Diseño de experimentos*. Segunda Edición. Editorial Thomson Learning. México. 469-490 pp.
- Kumar, P. A., Reddy, K. R., Reddy, R. V. S. K., Pandravada, S. R., & Saidaiah, P. (2016). Per se performance of dual purpose tomato genotypes for growth, yield and quality attributes.
- Kumar, R., Paul, V., Pandey, R., Sahoo, R. N., & Gupta, V. K. (2022). Reflectance based non-destructive determination of colour and ripeness of tomato fruits. *Physiology and Molecular Biology of Plants/Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(1), 275–288. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01126-2>
- Lippman, Z., & Tanksley, S. D. (2001). Dissecting the genetic pathway to extreme fruit size in tomato using a cross between the small-fruited wild species

- Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* var. Giant Heirloom. *Genetics*, 158(1), 413-422. <https://doi.org/10.1093/genetics/158.1.413>
- López-Ordaz, A., C. Trejo-López, C. B. Peña-Valdivia, C. Ramírez-Ayala, L. Tijerina-Chávez, y J. A. Carrillo-Salazar. 2008. Secado parcial de la raíz de jitomate: Efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. *Agric. Téc. Méx.* 34(3): 297-302.
- Lovelli, S., Potenza, G., Castronuovo, D., Perniola, M., & Candido, V. (2017). Yield, quality and water use efficiency of processing tomatoes produced under different irrigation regimes in Mediterranean environment. *Italian Journal of Agronomy*, 12(1). <https://doi.org/10.4081/ija.2016.795>
- Manzoor, M. F., Ali, M., Aadil, R. M., Ali, A., Goksen, G., Li, J., ... & Proestos, C. (2023). Sustainable emerging sonication processing: Impact on fungicide reduction and the overall quality characteristics of tomato juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 94, 106313.
- Marin Talbot Brewer, Jennifer B. Moyseenko, Antonio J. Monforte, Esther van der Knaap. (2007). Variación morfológica en tomate: un estudio integral de los loci de rasgos cuantitativos que controlan la forma y el desarrollo de la fruta, *Journal of Experimental Botany* , Volumen 58, Número 6, abril de 2007 , Páginas 1339–1349, <https://doi.org/10.1093/jxb/erl30>
- Marin-Montes, I. M., Lobato-Ortiz, R., Carrillo-Castañeda, G., Rodríguez-Pérez, J. E., García-Zavala, J. J., Hernández-Rodríguez, M., & Velasco-García, Á. M. (2021). Parámetros genéticos de las generaciones f1 y f2 del cruzamiento *Solanum lycopersicum* L.x *S. habrochaites* LA1223. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 503-503. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.503>
- Maureira, F., Rajagopalan, K., & Stöckle, C. O. (2022). Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130459. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130459>
- Mazzei, J., Freire, E., Serra, E., De Macedo, J. R., De Oliveira, A. C., Bastos, L., & Cardoso, M. (2021). Pesquisa de campo: uma análise comparativa entre os métodos de plantio convencional, orgânico e sustentável da produção de tomates.
- 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. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1077>

- Mpandeli, S., Nhamo, L., Moeletsi, M., Masupha, T., Magidi, J., Tshikolomo, K., Liphadzi, S., Naidoo, D., & Mabhaudhi, T. (2019). Assessing climate change and adaptive capacity at local scale using observed and remotely sensed data. *Weather and Climate Extremes*, 26, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100240>
- Muhammad Ismaeel, Muhammad Saleem Khan, Syed Salim Shah, Zafar Ali, Amjad Ali, Saleha Tawab and Muhammad Naeem (2019). Assessment of different tomato genotypes for yield and morphological attributes. *Pure and Applied Biology*. Vol. 8, Issue 1, pp295-303. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2018.700188>
- Ntagkas, N., Woltering, E., Bouras, S., de Vos, R. C., Dieleman, J. A., Nicole, C. C., ... & Marcelis, L. F. (2019). Light-induced vitamin C accumulation in tomato fruits is independent of carbohydrate availability. *Plants*, 8(4), 86. <https://doi.org/10.3390/plants8040086>
- Nunes MCN (2008) Tomate, En: Atlas de colores de calidad poscosecha de frutas y hortalizas. Blackwell Publishing, Hoboken, págs. 239-252
- Oms-Oliu, G., Hertog, M., Van De Poel, B., Ampofo-Asiama, J., Geeraerd, A., & Nicolai, B. (2011). Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development, ripening, and postharvest shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.010>
- ONU – Relatório do Crescimento Demográfico, 2020. disponible en: <https://news.un.org/pt/tags/populacao-mundial>. Acceso en: 13/12/2020.
- Paik I, Huq E (2019). Fotorreceptores de plantas: proteínas sensoriales multifuncionales y sus redes de señalización. *Desarrollo de células Semin Biol* 92:114–121. DOI: 10.1016/j.semcd.2019.03.007
- Parra-Gómez, Mayra A., Lobato-Ortiz, Ricardo, García-Zavala, J. Jesús, Reyes-López, Delfino, & Velasco-Alvarado, Mario J.. (2016). Evaluación de líneas de una cruz interespecífica de tomate. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(1), 59-65. <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.1.59-65>
- Pérez, K., Froikin-Gordon, JS, Abdourhamane, IK, Levasseur, V., Alfari, AA, Mensah, A., ... & Jahn, MM (2017). Conectando a los pequeños productores de tomate con semillas mejoradas en África Occidental. *Agricultura y seguridad alimentaria*, 6 , 1-14.
- Putti, F. F., Nogueira, B. B., De Souza, A. V., Vicente, E. F., Zanetti, W. a. L., De Lucca Sartori, D., & De Queiroz Barcelos, J. P. (2022). Productive and Physico-Chemical Parameters of Tomato Fruits Submitted to Fertigation Doses with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic

- Resonance Fields. Plants, 11(12), 1587.  
<https://doi.org/10.3390/plants11121587>
- Quintana Molinas, M. A., Benítez Núñez, J. V., Britos, R. M., Samudio Oggero, A., Nakayama Nakashima, H. D., Cantero Arzamendia, F. A., ... & Duré, R. D. (2015). Fortalecimiento de la producción de *Stevia Rebaudiana* Bert.(KA'A HE'E) a través de fitomejoramiento participativo con pequeños productores.
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S. (2019). Tomato Fruit Development and Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1554.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- Razifard, H., Ramos, A., Della Valle, AL, Bodary, C., Goetz, E., Manser, EJ , van der Knaap, E. y Caicedo, AL ( 2020 ). Evidencia genómica de la compleja historia de domesticación del tomate cultivado en América Latina. *Biología Molecular y Evolución*, 37, 1118–1132.  
<https://doi.org/10.1093/molbev/msz297>
- Ramos S., O.J. (2008). La producción de jitomate en invernadero en Santa Martha Chichiu altepec, Ejutla, Oaxaca en el periodo 2001-2006. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Rodríguez, F., Pedreschi, R., Fuentealba, C., De Kartzow, A., Olaeta, J. A., & Alvaro, J. E. (2019). The increase in electrical conductivity of nutrient solution enhances compositional and sensory properties of tomato fruit cv. Patrón. *Scientia Horticulturae*, 244, 388–398.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.059>
- Saavedra, Gabriel, Jana, Constanza, Kehr, Elizabeth. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). 2019. Hortalizas para procesamiento agroindustrial Boletín INIA N°411. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Carrillanca. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29326>
- Salas Gómez, A. L., Osorio Hernández, E., Espinoza Ahumada, C. A., Rodríguez Herrera, R., Segura Martínez, M. T. de J., Ramírez, E. N., & Estrada Drouaillet, B. (2022). Principales enfermedades del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de campo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4190-4210.  
[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i1.1793](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1793)
- Salgado-Meraz, L., Lobato-Ortiz, R., Pérez-Flores, LJ, Cruz-Izquierdo, S., Peña-Valdivia, C., & García-Zavala, JJ (2018). Diversidad agronómica de poblaciones de jitomate tipo “cherry” *S. lycopersicum* L. Y *S. pimpinellifolium* L. Con potencial en el mejoramiento genético. *Revista*



Fitotecnia Mexicana, 41 (4A), 499-507.  
<https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4-A.499-507>

- Salhi, A., Benabdelouahab, S. y Martin-Vide, J. (2022). El análisis estadístico de las precipitaciones a largo plazo en el Magreb revela cambios significativos en el momento y la intensidad. *Climatología Teórica y Aplicada*, 150 (3), 1369-1384.
- Salim, M. M. R., Rashid, M. H., Hossain, M. M., & Zakaria, M. (2020). Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (Online), 19(3), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.11.001>
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Beryl Colinas-Leon, M. T., & Borges-Gómez, L. (2012). Calidad de tomate (*solanum lycopersicum* l.) Producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243-254. ISSN: 1405-3195. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30223119004>
- Seabra, S., Junior, Casagrande, J. G., De Lima Toledo, C. A., Da Silva Ponce, F., Da Silva Ferreira, F., Zanuzo, M. R., Diamante, M. S., & Lima, G. P. P. (2022). Selection of thermotolerant Italian tomato cultivars with high fruit yield and nutritional quality for the consumer taste grown under protected cultivation. *Scientia Horticulturae*, 291, 110559. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110559>
- Semerci, A., Semerci, H., Çalışkan, B., Cicek, N., Ekmekçi, Y. y Mencuccini, M. (2017). Respuestas morfológicas y fisiológicas al estrés por sequía de procedencias europeas de pino silvestre. *Revista europea de investigación forestal*, 136 , 91-104. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1011-6>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Innovaciones Vegetales (2020). Cereales, Oleaginosas, Forrajeras e Industriales, Frutales, Hortalizas, Ornamentales. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616175/Innovaciones\\_Vegetales-11Feb2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616175/Innovaciones_Vegetales-11Feb2021.pdf)
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Avance de Siembras y Cosechas. México. Gobierno de México. Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024. Recuperado de [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- Silva, WB, Vicente, MH, Robledo, JM, Reartes, DS, Ferrari, RC, Bianchetti, R., & Zsógón, A. (2018). LA AUTOPODA actúa sinérgicamente con DIAGEOTROPICA para guiar las respuestas de las auxinas y la forma

- adecuada de crecimiento. Fisiología vegetal , 176 (4), 2904-2916. <https://doi.org/10.1104/pp.18.00038>
- Singh, D. N., & Sahu, A. A. (1998). Performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars in winter season on entisol of Orissa.
- Tieman, D., Zhu, G., Resende Jr, M. F., Lin, T., Nguyen, C., Bies, D., ... & Klee, H. (2017). A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*, 355(6323), 391-394.
- Trento, DA, Antunes, DT, Fernandes Júnior, F., Zanuzo, MR, Dallacort, R. y Seabra Júnior, S. (2021). Desempenhode cultivares de tomate italiano de crecimiento determinado em cultivo protegido sob altas temperaturas. *Nativa* ,9(4), 359-356. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i4.10945>
- Vallecillo Godoy, Alexis Josué, Ortiz Grisales, Sanín, Vallejo Cabrera, Franco Alirio, Salazar Villareal, Myrian Del Carmen, Guerra Guzmán, Dilmer Gabriel, & Salazar Villareal, Fredy Antonio. (2022). Evaluación agronómica de líneas de crecimiento determinado de tomate chonto (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agronomía Colombiana* , 40 (3), 336-343. Publicación electrónica del 22 de enero de 2023. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n3.103518>
- Van der Knaap, E., Lippman, Z. B., & Tanksley, S. D. (2002). Extremely elongated tomato fruit controlled by four quantitative trait loci with epistatic interactions. *Theoretical and Applied Genetics*, 104, 241-247. <https://doi.org/10.1007/s00122-001-0776-1>
- Vásquez-Ortiz, R., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Ramírez-Vallejo, P. (2010). Evaluación morfoagronómica de una muestra del jitomate del centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo*, 8 (2),49-64.
- Waiba, KM, Sharma, P., Kumar, KI y Chauhan, S. (2021). Estudios de variabilidad genética de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en ambiente protegido. *Revista internacional de gestión de estrés y recursosbiológicos* , 12 (4), 264-270. <https://doi.org/10.23910/1.2021.2211>
- Wang, TL, Ye, HX, Zheng, JR y Li, M. (2020). Avances en la investigación de los principales compuestos aromáticos en frutos de tomate. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1524.2020.08.22
- Went, F. W. (1944). Morphological Observations on the Tomato Plant. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 71(1), 77–92. <https://doi.org/10.2307/2481487>
- Xia, X., Cheng, X., Li, R., Yao, J., Li, Z., & Cheng, Y. (2021). Advances in application of genome editing in tomato and recent development of



genome editing technology. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(9), 2727–2747. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03874-3>

Yesmin, L., Islam, Rahman, M., Uddin, M., & Ahmad, S. (2014). Inbred and hybrid seed production potentiality of tomato (*Lycopersicon esculentum*) genotypes and their yield performance during summer. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(1), 13–21. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i1.20057>

You, Y. and van Kan, J.A.L. (2021). Bitter and sweet make tomato hard to (b)eat. *New Phytol*, 230: 90-100. <https://doi.org/10.1111/nph.17104>

Zárate-Martínez, W., Arellano-García, M. A., Ramírez-Godina, F., Moreno-León, K., & González-Sandoval, D. C. (2021). Evaluación de diferentes niveles de radiación sobre la densidad estomática de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3). DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3009>

Zhang, J.; Liu, S.; Zhu, X.; Chang, Y.; Wang, C.; Ma, N.; Wang, J.; Zhang, X.; Lyu, J.; Xie, J. A. (2023). Comprehensive Evaluation of Tomato Fruit Quality and Identification of Volatile Compounds. *Plants* 2023, 12, 2947. <https://doi.org/10.3390/plants12162947>