

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE
LÍNEAS DE TOMATE DETERMINADO (*Solanum lycopersicum* L.) EN SALTILLO,
COAHUILA

Tesis

Que presenta NANCI ANDREA PÉREZ GODINEZ
Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS


Saltillo, Coahuila

Octubre 2025

ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE
LÍNEAS DE TOMATE DETERMINADO (*Solanum lycopersicum* L.) EN SALTILLO,
COAHUILA

Tesis

Elaborada por NANCI ANDREA PEREZ GODINEZ 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. Josué Israel García López

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Asesor



Dra. Xóchitl Ruelas Chacón

Asesor



Dr. Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de posgrado

UAAAN

Saltillo, Coahuila

Octubre 2025

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por guiarme en cada paso para cumplir una meta más, por darme salud y fortaleza en los momentos difíciles, por guiarme por un camino correcto y por darme una familia tan maravillosa y llena de amor.

A La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por darme la oportunidad de estudiar una maestría que sin duda aportó muchísimo a mi formación profesional, así como el apoyo económico para estudiar la maestría en esta grandiosa Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A CHARLES ANS, porque sus letras se convirtieron en compañía en los días más pesados y así como diría el mismo: “Disfruta ahora que la vida nunca está resuelta”.

Al Dr. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO, por todo el conocimiento compartido, por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto, por sus valiosos consejos y por la paciencia y amabilidad con que nos explica ...

Al Dr. JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ, por todo el apoyo brindado desde el inicio de la maestría, por compartir sus conocimientos y por los sabios consejos que nos dio...

Al Dr. SAMUEL ALCALÁ RICO, por su valiosa ayuda en los análisis estadísticos y sus recomendaciones durante la redacción de la tesis y artículo científico.

A don Lorenzo Villa Sandoval, por el apoyo en el invernadero.

A mis compañeros y grandes amigos, ELIA, ADRIANA y JORGITO por su valiosa amistad, su apoyo y los inolvidables momentos durante esta etapa. Los quiero chicos.

A mi amiga ELENA HERNÁNDEZ, por su apoyo durante el establecimiento del proyecto (los tomatitos), los buenos consejos y su amistad.

A mis amigos Eli y Panchito por el apoyo y la buena amistad que siempre me brindaron.

DEDICATORIA

A mis queridos padres RUBÉN PÉREZ ORTIZ y VALERIA DE LEÓN PÉREZ, a quienes agradezco de todo corazón por el amor infinito que me han dado, por enseñarme ser quien soy, por su apoyo incondicional y enseñarme a nunca rendirme... los quiero infinitamente.

A mis padres OVILIO PEREZ DE LEÓN y VIRGINIA GODÍNEZ MORALES, gracias por el apoyo que me han brindado, por las enseñanzas y por siempre estar.

A mis hermanos/tíos, Yesita, Gary, Prof. Gil, por su cariño que me han dado desde pequeña, por sus consejos que me han dado en los momentos difíciles, el apoyo constante y enseñarme a nunca rendirme y siempre poner una sonrisa en momentos difíciles. Este logro también les pertenece. Con todo mi cariño.

A mis hermanas Sandra e Ireni a quienes me han enseñado ser fuerte en las adversidades, por los buenos momentos, por el apoyo en todo, las quiero mucho. A Roxana, Valeria, Dina y Daniel por el apoyo y los buenos momentos y por siempre sacarme una sonrisa con cada ocurrencia, los quiero mucho mis gatunos.

A Eithan y André, por las sonrisas y la alegría que traen a la familia.

A mi cuñado y amigo Marcos, gracias por los buenos consejos, por siempre apoyarme a terminar y estudiar la maestría.

A mi querido amigo RENÉ ENRÍQUEZ (muñeco) por su amistad sincera, cariño y apoyo incondicional. Te quiero Amix.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
Objetivos específicos	3
HIPÓTESIS	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Descripción botánica	5
Tallos	5
Raíz	5
Hojas	6
Flores	6
Frutos	6
Semilla	6
Situación actual de la producción de tomate en México	7
Sistemas de producción	8
Producción en invernadero:	8
Producción a campo abierto:.....	8
Variedades sembradas	9
Mercado de la semilla de tomate	10
Problemáticas del cultivo de tomate.....	11
Principios de mejoramiento genético en hortalizas.....	12
Métodos de mejoramiento genético tradicional más usados para tomates.....	13
Selección masal.....	13
Selección por pedigrí	14
Hibridación	14
Diseño dialélicos.....	15
Aptitud combinatoria general y específica	15
Heterosis y heterobeltiosis	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Sitio experimental	17
Material genético	17

Producción de plántula.....	18
Variables evaluadas.....	20
Diseño experimental y análisis de datos	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
Estimación de aptitud combinatoria general (ACG).....	29
Estimación de aptitud combinatoria específica (ACE) de cruzas directas y recíprocas	33
Efectos maternos.....	37
Heterosis	40
Heterobeltiosis	43
CONCLUSIÓN.....	46
BIBLIOGRAFÍA	47

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Progenitores y cruzas directas y recíprocas seleccionados.	17
Cuadro 2. Microelementos y Microelementos para la solución nutritiva	18
Cuadro 3. Aptitud combinatoria general (ACG) de variables de calidad de fruto y relacionadas al rendimiento de líneas de tomate tipo determinado.....	31
Cuadro 4. Aptitud combinatoria general (ACG) de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.....	33
Cuadro 5. Aptitud combinatoria específica (ACE) de variables de calidad del fruto y relacionadas al rendimiento de cruzas directas y recíprocas de líneas de tomate tipo determinado.....	35
Cuadro 6. Aptitud combinatoria específica (ACE) de variables morfológicas y fisiológicas de cruzas directas y recíprocas de líneas de tomate tipo determinado.....	37
Cuadro 7. Efectos maternos de variables de calidad de fruto y relacionadas al rendimiento de líneas de tomate tipo determinado.....	39
Cuadro 8. Efectos maternos de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.....	40
Cuadro 9. Heterosis de variables de calidad del fruto y relacionadas al rendimiento líneas de tomate tipo determinado.....	41
Cuadro 10. Heterosis de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.....	43
Cuadro 11. Heterobeltiosis de variables de calidad de fruto y relacionadas al rendimiento de líneas de tomate tipo determinado.....	44
Cuadro 12. Heterobeltiosis de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales estados productores de tomate en México.	7
Figura 2. Variedades de tomates cultivadas en México.	10
Figura 3. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de clorofila de la hoja de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila, barras verticales corresponde a desviación estándar.	26
Figura 4. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de nitrógeno de la hoja de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila, barras verticales corresponden a desviación estándar.	26
Figura 5. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de temperatura de la hoja de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila, barras verticales corresponden a desviación estándar.	27
Figura 6. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de número de semillas por fruto de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila.	28
Figura 7. Curva de crecimiento de híbridos y progenitores de tomate tipo determinado, probados en Saltillo, Coahuila.	29

RESUMEN

ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE
LÍNEAS DE TOMATE DETERMINADO (*Solanum lycopersicum* L.) EN SALTILLO,
COAHUILA

Por

NANCI ANDREA PÉREZ GODINEZ

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO-ASESOR

Saltillo, Coahuila

Octubre 2025

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es fundamental en la dieta mexicana y representa la principal hortaliza de exportación, sin embargo, la adquisición de semillas híbridas resulta costoso, pues la mayoría son generadas por empresas transnacionales, es por ello que, mediante la estimación de parámetros genéticos se busca identificar líneas experimentales con buenas características para la generación de híbridos de tomate tipo determinado. El objetivo de esta investigación es estimar la aptitud combinatoria general y específica en líneas de tomate tipo determinado en Saltillo, Coahuila. Por consiguiente, se realizó un análisis dialélico mediante el método I modelo II de Griffing el cual incluye parentales, las cruza directas y recíprocas, se evaluaron cuatro líneas experimentales (L6, L9, L12 y L13) junto con sus combinaciones, en un invernadero de la UAAAN. Las variables evaluadas se agruparon en morfológicas, fisiológicas, de calidad del fruto y relacionadas a rendimiento. Los resultados mostraron que la línea L6 destacó en efectos de aptitud combinatoria general (ACG), con valores superiores en variables como rendimiento (8.08), número de frutos por planta (1.35) y diámetro de fruto (4.39). En cuanto a la aptitud combinatoria específica (ACE), la cruza L9xL12 presentó el mayor valor en rendimiento (12.50). En cuanto a heterosis en rendimiento varió de 2.14 (L9xL6) a 58.40 (L9xL12), siendo esta última cruza directa. Estos resultados indica que, la línea L6 posee efectos positivos de ACG y efectos maternos, por los cuales se puede incluir en un programa de mejoramiento genético para la formación de híbridos con alto potencial productivo.

Palabras clave: heterosis, heterobeltiosis, ACG, ACE, efectos maternos

ABSTRACT

ESTIMATION OF GENERAL AND SPECIFIC COMBINING ABILITY OF
DETERMINATE TOMATO LINES (*Solanum lycopersicum* L.) IN SALTILLO,
COAHUILA.

BY

NANCI ANDREA PÉREZ GODINEZ

MASTER'S DEGREE IN GRAIN AND SEED TECHNOLOGY

AUTONOMOUS AGRARIAN UNIVERSITY ANTONIO NARRO

DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO- ADVISER

Saltillo, Coahuila

October 2025

Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) are fundamental to Mexican diet and represent the main vegetable export. However, the acquisition of hybrid seeds is costly, as most are produced by transnational companies. Therefore, by estimating genetic parameters, we search to identify experimental lines with good characteristics for the generation of specific tomato hybrids. The objective of this research is to estimate the general and specific combinatorial aptitude in tomato lines of a specific type in Saltillo, Coahuila. Therefore, a diallelic analysis was performed using Griffing's method I model II, which includes parents, direct crosses, and reciprocal crosses. Four experimental lines (L6, L9, L12, and L13) were evaluated along with their combinations in a greenhouse in UAAAN. The variables evaluated were grouped into morphological, physiological, fruit quality, and yield-related variables. The results showed that line L6 stood out in terms of general combining ability (GCA), with higher values in variables such as yield (8.08), number of fruits per plant (1.35), and fruit diameter (4.39). In terms of specific combinatorial aptitude (SCA), the L9xL12 cross had the highest yield value (12.50). Heterosis in yield ranged from 2.14 (L9xL6) to 58.40 (L9xL12), the latter being a direct cross. These findings indicate that line L6 has positive ACG and maternal effects, which means it can be included in a genetic improvement program for hybrids formation with high productive potential.

Keywords: heterosis, heterobeltiosis, ACG, ACE, maternal effects

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa uno de los principales cultivos hortícolas en México, tanto por su volumen de producción como por su importancia económica en los mercados nacional e internacional. A nivel nacional, Sinaloa es el estado con mayor superficie destinada al cultivo de tomate, aunque obtiene rendimientos inferiores a los alcanzados por Querétaro, donde alcanzaron alrededor de 289.40 t ha⁻¹ (SIAP, 2024). A nivel mundial, México es uno de los países que exportan este cultivo a mercados importantes como el de Estados Unidos (SADER, 2022). De acuerdo con datos recientes durante el año 2024, la superficie cultivada de tomate presentó un incremento respecto a años anteriores (SIAP, 2024), lo que nos resulta relevante, ya que la mayor parte de las semillas utilizadas son generadas por empresas transnacionales/extranjeras (Sánchez *et al.*, 2010). Esto abre una oportunidad estratégica para impulsar la producción de semillas híbridas nacionales, que se podrían ofertar a menor costo y mayor accesibilidad para los productores mexicanos.

En el ámbito alimentario, este cultivo (tomate) ocupa un lugar importante en la dieta mexicana debido a su amplia versatilidad culinaria, es consumida en estado fresco como en sus diversas presentaciones industrializadas (Canul-Ku *et al.*, 2022) y su valor nutricional, este fruto es una fuente de nutrientes como el potasio y magnesio, así como de vitaminas B1, B2, B5, vitamina C y carotenoides, entre los que destaca el licopeno (PROFECO, 2020).

El origen del tomate se localiza en la región de América del sur, específicamente en la región Andina; sin embargo, México es considerado como centro de domesticación de esta hortaliza, de hecho, su nombre procede del náhuatl: “xictli”, ombligo y “tomatl”, jitomate, que significa “jitomate de ombligo” (SADER, 2016). Gracias a los procesos de selección y programas de mejoramiento genético se han desarrollado variedades que en condiciones favorables (invernaderos de alta tecnología, fertilizantes, insecticidas, etc.) que pueden obtener buenos rendimientos en poco tiempo en comparación a los cultivares en su forma silvestres (Délices *et al.*, 2019). La identificación y selección de progenitores con potencial son necesarias en cualquier programa de mejoramiento o hibridación para la generación de nuevos y potenciales genotipos valiosos para combinar y lograr efectos de

genes deseados en una línea pura (homocigótica) para generar híbridos con potencial productivo (López *et al.*, 2015). Los estudios de estimación de aptitud combinatoria general (ACG) permite identificar y seleccionar progenitores con capacidad de heredar caracteres favorables a su descendencia, mientras que la estimación de aptitud combinatoria específica (ACE) facilita reconocer las combinaciones híbridas F₁ más sobresalientes derivadas de cruzamientos entre variedades, líneas o poblaciones (Hernández *et al.*, 2016).

En estudios previos han descrito que, la recombinación de la variabilidad genética mediante cruzamientos dialélicos ha permitido generar genotipos experimentales superiores a los comerciales, dando lugar a híbridos con un prometedor potencial productivo y comercial (López *et al.*, 2015) lo que confirma que el análisis de ACG y ACE constituye una herramienta esencial para orientar los programas de mejoramiento de tomate hacia materiales más competitivos y adaptados a las necesidades actuales, sobre todo a las inclemencias y cada vez más impredecibles condiciones ambientales.

OBJETIVO GENERAL

- Estimar la aptitud combinatoria general y específica en líneas de tomate tipo determinado en Saltillo, Coahuila.

Objetivos específicos

- ✓ Seleccionar las mejores líneas progenitoras para la generación de nuevos híbridos con potencial productivo.
- ✓ Identificar las mejores líneas con los mejores valores de efectos maternos, para incluirlos como progenitores hembra y/o macho para la generación de nuevos híbridos.
- ✓ Estimar heterosis y heterobeltisois de los híbridos formados.

HIPÓTESIS

Estimar la aptitud combinatoria general y específica de líneas de tomate determinado permitirá identificar progenitores machos y/o hembras para la formación de híbridos con alto potencial productivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más cultivada y consumida de todo el mundo, lo que la hace la hortaliza más importante en países como México, India, Estados Unidos, China etc. Desde el punto de vista nutricional, el fruto del tomate es una gran fuente de minerales como calcio, fósforo, potasio y sodio, vitaminas como A, B1, B2, y C (PROFECO, 2020) y antioxidantes como licopeno, el cual tiene efecto sobre enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Palomo *et al.*, 2010). Se cultiva en 170 países de los cuales China lidera la producción con 70,119,693.64 toneladas, no obstante, México ocupa el octavo lugar con 4,394,806.98 toneladas en el 2023 (FAOSTAT, 2025).

Descripción botánica

En la vida silvestre crece de forma arbustiva y su ciclo de vida puede alcanzar más de un año, sin embargo, con la intervención de la ingeniería genética, los procesos de selección de mejoramiento genético en esta especie se han desarrollado variedades adaptadas a condiciones que permiten obtener altos rendimientos en periodos más cortos y uso eficiente de los insumos y en consecuencia mayor rendimiento económico (Délices *et al.*, 2019). Existen dos hábitos de crecimiento que presentan dependiendo de las variedades tales son crecimiento determinado, los cuales detienen su crecimiento al alcanzar cierto punto y crecimiento indeterminado, estas continúan creciendo a lo largo del ciclo (Saavedra *et al.*, 2019).

Tallo

El tallo principal de la planta de tomate es semileñoso, con un diámetro que varía entre 2 a 4 cm en la base de la planta. Está compuesto de epidermis que contiene tricomas que secretan el aroma característico de esta planta, corteza, cilindro vascular (xilema) y tejido medular (Escobar y Lee, 2009; Saavedra *et al.*, 2019).

Raíz

El sistema radicular de los tomates tiene una raíz principal pivotante que puede alcanzar 60 cm de profundidad, en condiciones favorables puede alcanzar 1.5 m de profundidad, se calcula que el 75% del sistema radicular se centraliza en los primeros 45 cm (Saavedra

et al., 2019). La raíz funciona como anclaje de la planta al suelo o sustrato, absorción y transporte de nutrientes y agua (López, 2017).

Hojas

Las hojas del tomate son compuestas e imparapinadas y se insertan en los nudos en forma alterna, cada hoja puede presentar desde 7 hasta once foliolos, estas presentan abundante pubescencia en el haz (López, 2017; Saavedra *et al.*, 2019). Además, están provistas de pelos glandulares que producen el olor característico de esta especie cuando estas son tocadas (Fornaris, 2007).

Flores

Presenta flores perfectas y regulares, los sépalos, pétalos y estambres están adheridos en la base del ovario, presentan desde 5 pétalos de color amarillo, 5 a 6 estambres que se alternan con los pétalos (López, 2017). Las flores del tomate aparecen a partir del quinto o séptimo nudo/hoja, los racimos pueden tener desde 7 a 12 flores (inflorescencia) (Gaviola, 2020).

Frutos

Los frutos del tomate se conocen como bayas, las cuales están divididas internamente por dentro por lóculos, que pueden variar desde 2 hasta 18 (Fornaris, 2007). En peso pueden alcanzar hasta los 600 gr por unidad, está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y semillas (López, 2017). Cuando los frutos aún están verdes presentan una leve vellosidad en la superficie, la cual desaparece al madurar, los frutos inmaduros son de color verde y dependiendo de la variedad se tornan de color amarillo, rosa, morado, naranja, verde y rojo, este último es el más conocido (Fornari, 2007).

Semilla

La semilla está compuesta por embrión, endospermo y testa, el peso de una semilla varía entre 2.8 y 3.5 mg, y su tamaño varía de 5 x 4 x 2 mm dependiendo de la variedad, tienen forma ovalada, color gris y presenta vellosidades en la superficie de la testa, las cuales están cubiertas de una sustancia gelatinosa conocida como mucilago (Gaviola, 2020, López, 2017; Saavedra *et al.*, 2019).

Situación actual de la producción de tomate en México

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción de tomate ha aumentado notablemente en los últimos años, siendo Sinaloa el principal productor de esta hortaliza, seguido por San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco y Morelos que en conjunto aportan el 52.7% de la producción total, sin embargo, el rendimiento medio por hectárea lo lidera Querétaro, Nuevo León y Coahuila (SIAP, 2023). En el contexto productivo en el año 2023 se sembraron 49,522.18 ha, donde 16,021.35 ha corresponde a condiciones protegidas (malla sombra, macro túnel e invernadero) y 33,500.83 ha a campo abierto (SIAP, 2023).

La calidad de la producción de tomate en México ha permitido que se posicione en el primer lugar a nivel mundial en exportación de esta hortaliza (Montaño *et al.*, 2021). Los principales mercados son Estados Unidos, Canadá, Japón, Emiratos Árabes y Bélgica (SADER, 2022). Los rendimientos obtenidos a nivel nacional permiten ocupar el 8°. lugar en cuanto a producción (FAOSTAT, 2025), esto se debe al manejo agronómico que se implementa, condiciones climáticas, insumos, fertilizantes y semillas (Hernández, 2019). En cuanto a superficie sembrada en el año 2023 se sembró 49,522.18 ha (Figura 1) de tomate en México, donde Sinaloa aporta el 23.9% del total nacional, seguidos de Michoacán y San Luis Potosí.

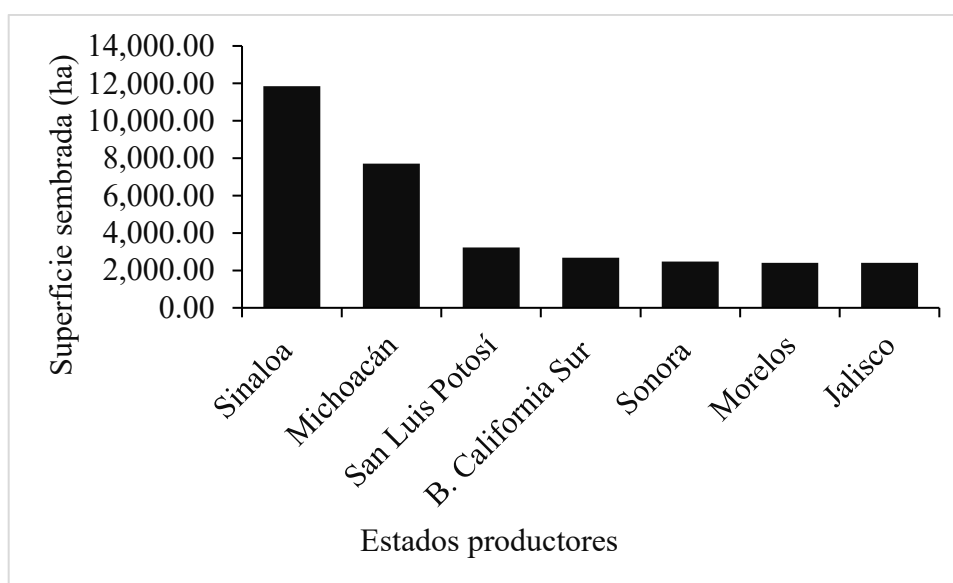


Figura 1. Principales estados productores de tomate en México.

Sistemas de producción

La producción de tomate se realiza principalmente bajo dos enfoques, agricultura protegida que incluye invernaderos, mallas sombras, túneles, permitiendo control de factores importantes que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta; y campo abierto que depende de las condiciones climáticas y del manejo agronómico, reduciendo costos, pero son mayormente susceptibles a las condiciones climáticas.

Producción en invernadero:

El cultivo a campo abierto está siendo gradualmente reemplazado por la agricultura protegida (como malla sombra o invernadero), ya que este sistema ha logrado aumentar significativamente el rendimiento por unidad de superficie (INTAGRI, 2018). Es un sistema que se caracteriza por el nivel de tecnología que en comparación con los otros es superior, teniendo así ventajas como: mayor rendimiento por unidad de superficie, frutos de mayor calidad, cultivo fuera de temporada, capacidad de extender la duración de la temporada de crecimiento, aprovechamiento de suelos con características desfavorables (Velázquez y Bustamante, 2015), eficiencia en el uso de fertilizantes, agua, sustrato y por lo tanto de los recursos económicos. Además, la utilización de invernaderos permite un uso preciso de factores ambientales (temperatura, humedad y luz) garantizando así un crecimiento y desarrollo óptimo (Safiuddin *et al.*, 2024), asegurando una producción de excelente calidad que satisface los estándares internacionales de exportación más estrictos (SADER, 2024). El uso de invernaderos para la producción de tomate también tiene desventajas como las que se mencionan a continuación: Las altas temperaturas en los invernaderos pueden afectar la calidad de la flor por el estrés causado a la planta, en comparación con los cultivos en campo abierto donde existe mayor ventilación (Alvarado *et al.*, 2016). Requiere de mucho capital, mucha energía y de conocimientos técnicos (INTAGRI, 2018; Olabisi and Nofiu, 2022).

Producción a campo abierto:

Este sistema cuenta con los costos más bajos para la producción de tomate, pero depende de las condiciones climáticas, edáficas y sanitarias para lograr una buena cosecha (INTAGRI, 2018). Para sembrar tomates, el suelo debe tener características favorables para su desarrollo y crecimiento óptimo los cuales son: suelo profundo, bien drenado,

aireado, con una buena proporción de materia orgánica superior al 2% (SAGARPA, 2017). Además, el pH del suelo debe ser ligeramente ácido, entre 6 y 6.5, para asegurar la disponibilidad óptima de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (INTAGRI, 2018).

El uso de acolchado permite una mayor eficiencia en el riego, ya que estudios demuestran que retiene más humedad cuando es irrigada con 46 cm a comparación de un suelo regado con 56 cm sin el acolchado (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2017). La escasez de agua afecta directamente el rendimiento y calidad del cultivo (Contreras-Medina & Melo-Sabogal, 2022). La cantidad de agua dependerá de las características de suelo, los riegos deben hacerse 2 o 3 veces al día, según las condiciones climáticas y el crecimiento de la planta (Escobar y Lee, 2009; Guzmán *et al.*, 2017). Una planta adulta requiere aproximadamente entre 1.5 a 2 L /día, la cantidad dependerá de la edad de la planta, condiciones climáticas del lugar, época del año y tipo de suelo (Chemonics, 2008). Este sistema tiene desventajas como: bajos rendimientos y baja calidad en los productos, ya que dependen de las condiciones climáticas (Guille *et al.*, 2024), mayor daño por plagas y enfermedades, que se traducen en mermas económicas por calidad baja (Cih-Dzul *et al.*, 2011).

Variedades sembradas

En México se cultivan más de seis variedades/tipos de tomate rojo, los cuales son tomate cherry, tomate uva, tomate bola, tomate saladette rio grande, tomate saladette roma, tomate saladette, entre otros. El tomate tipo saladette es el favorito por sus características, y por ende el que más se siembra, en el año 2023 se sembró 42,065.09 ha (Figura 2) de tomate tipo saladette (SIAP, 2023). En este mismo año se obtuvo un valor de producción de 29,074 millones de pesos solo para esta variedad. En este sentido se sembraron 39,747.75 ha de tomate saladette, considerando que la densidad de siembra de esta variedad regularmente es de 33 000 plantas por hectárea y el precio de una sola semilla híbrida cuesta alrededor de seis pesos (Mejía-Betancourt *et al.*, 2023), lo anterior da un gasto proyectado de 7,870,054,500 pesos solo para comprar semillas híbridas. Considerando que el incremento de este cultivo es de 1.4%, se estima alrededor de 7,980,235,263 de pesos destinados para adquirir semilla híbrida de tomate al año y con sus incrementos subsecuentes.

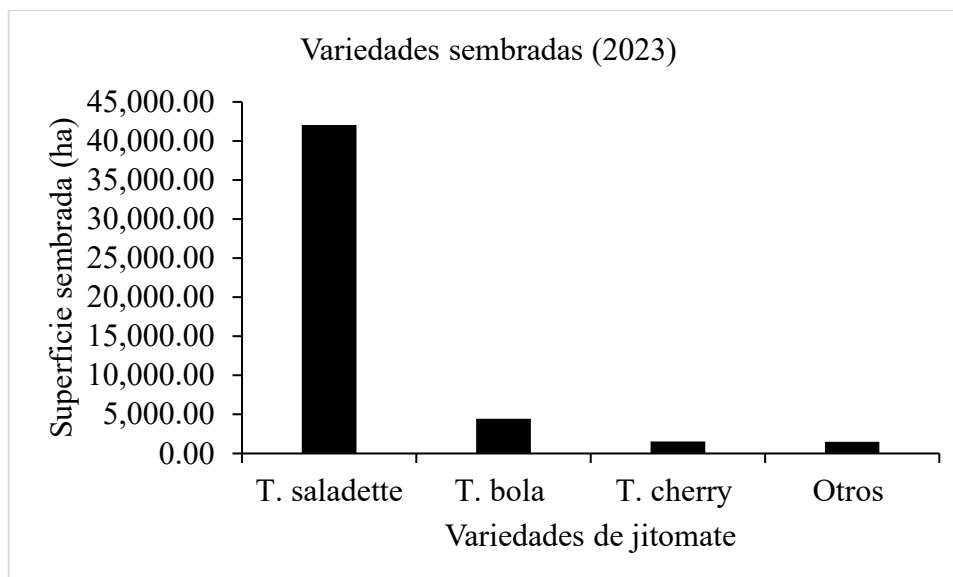


Figura 2. Variedades de tomates cultivadas en México.

Mercado de la semilla de tomate

Hoy en día las semillas son el insumo más importante en la agricultura, ya que es un recurso valioso, capaz de transportar tecnologías recientes, por lo anterior, las semillas deben portar una alta calidad física, fisiológica, sanitaria y genética (Contreras, 2002), la calidad de la semilla es un buen indicativo de que la plántula será de buena calidad y por ende de mayor productividad (Kumar *et al.*, 2025). La producción de semillas híbridas de hortalizas en México es muy escasa, ya que para satisfacer la demanda principalmente se importan semillas de empresas multinacionales como Syngenta, Bayer, etc. el 95% de la semilla de hortalizas son de procedencia extranjera (González-Pérez *et al.*, 2021). Las variedades tipo saladette y bola son las más demandadas en México. En el año 2022, el precio promedio de una sola semilla híbrida oscilaba entre cuatro y seis pesos, lo que se traduce en un costo anual de aproximadamente un millón de pesos por hectárea en el sistema de producción, solo por este material (Mejía-Betancourt *et al.*, 2023). El precio de las semillas comerciales mejoradas es elevado por lo que los pequeños agricultores recurren a las semillas criollas, las cuales seleccionan y siembran en el siguiente ciclo (González-Pérez *et al.*, 2021; SINASEM, 2021). La utilización de semillas mejoradas no

solo favorece la productividad, también provee productos de calidad para exportación ya sea para consumo en fresco o procesados (SNICS, 2020).

Por otro lado, las variedades generadas por instituciones públicas como el Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Colegio De Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro pueden ser aprovechadas por pequeñas empresas (SNICS, 2020). Por otro lado, a nivel mundial Holanda es el país que se dedica a desarrollar semillas de alta calidad de hortalizas, junto con Estados Unidos, (Bravo, 2017). En el mejoramiento de hortalizas para la producción de semillas, se ha realizado poca investigación en instituciones tanto públicas como privadas, la mayor parte de la semilla híbrida de tomate es importada, lo que indica una alta dependencia del extranjero, pero también existe una oportunidad para el desarrollo del sector semillero de hortalizas en México (SNICS, 2020). Existen 21 variedades de tomate registradas en el catálogo nacional de variedades mejoradas, de las cuales 19 variedades son de empresas privadas y las restantes son de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (SNICS, 2023). El instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias ha trabajado con mejoramiento genético de hortalizas como ajo, cebolla, chiles papa y tomate, pero de este último aún no ha liberado ninguna variedad o híbrido (González-Pérez *et al.*, 2021).

Problemáticas del cultivo de tomate

En general las hortalizas presentan un gran desafío ante el cambio climático, ya que en los últimos años hay incrementos en heladas, sequias, exceso de humedad, resistencia de plagas y enfermedades, lo que trae consigo grandes pérdidas. El cambio climático representa una amenaza importante para los cultivos en general, ya que, se han presentado variaciones en las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento de cultivos, así mismo, el cambio climático a favorecido a la propagación e incremento de plagas y enfermedades en nuevas zonas, lo que genera grandes pérdidas en cosechas y biodiversidad (FAO, 2022). En este contexto el tizón tardío (*P. infestans*) es un patógeno que ataca a varias especies de la familia de las solanáceas, tiene preferencias para su desarrollo climas cálidos y húmedos, gracias al incremento de las precipitaciones en regiones donde generalmente son secas ha creado condiciones favorables para el

desarrollo de este hongo, causando así pérdidas en cosechas (FAO, 2022). Por su parte Altieri y Nicholls (2013) mencionan que algunas de las consecuencias del cambio en el clima son las inundaciones en zonas bajas, incremento de sequías en áreas semiáridas y temperaturas extremas en zonas templadas y mediterráneas, las cuales son limitantes para el desarrollo de plantas. Este fenómeno traerá consigo temperaturas más altas y menor humedad en el suelo, lo que afectará directamente la producción de productos agrícolas y reduciendo los ingresos económicos de las personas que dependen de esta actividad (Gómez *et al.*, 2020). En relación con esto, se ha realizado investigaciones del impacto del cambio de temperatura en el rendimiento y calidad de tomates, se ha reportado que el incremento y/o variaciones de la temperatura tiene impacto negativo a largo y mediano plazo en el rendimiento de tomates (Onyeneke *et al.*, 2023). Para sobrellevar los efectos del cambio climático, se requiere generar nuevas variedades resistentes a sequía, exceso de humedad, a plagas y enfermedades, y que sean más productivas con el uso del mejoramiento genético apoyado de la biotecnología (cultivos *in vitro*, crioconservaciones, edición de genomas) (Chaves, 2021).

El tomate también es susceptible a enfermedades como las causadas por begomovirus Tomato Yellow Leaf Curl Virus, en este contexto, Florido-Bacallao *et al.* (2021) reportan una variedad resistente a este patógeno, que fue obtenido gracias al mejoramiento por selección e hibridación. También *Fusarium oxysporum* representa un problema severo, los cuales en diversas investigaciones han logrado generar líneas, variedades tolerantes gracias al mejoramiento genético.

Principios de mejoramiento genético en hortalizas

Los cultivos que se conocen hoy en día son producto del mejoramiento genético convencional que el ser humano ha desarrollado durante siglos a través de ciclos de selección y cruzamiento (Camadro, 2000). El mejoramiento genético de plantas se traduce como la formación de cultivares de interés agronómico con características de importancia económica sobre todo la exportación (González-Pérez *et al.*, 2021), formando nuevas variedades, generalmente con genes tolerantes a plagas y enfermedades, a suelos salinos, clima adverso, mayor contenido de minerales, valor industrial y/o médico (Camarena *et al.*, 2014). El mercado actual, exige alimentos de alta calidad y de bajo costo, lo cual, en

la naturaleza no es posible encontrarlo (Cabrera, 2016). Es por ello que, es necesario mejorar las plantas para satisfacer las necesidades de la humanidad y afrontar los cambios climáticos actuales y futuros (Solleiro *et al.*, 2022). Un cultivar mejorado debe ser uniforme para las características que lo definen y estable a su vez, para que no pierda su potencial a través de sus generaciones subsecuentes, dependiendo el método de mejoramiento podemos encontrar líneas, híbridos, clones, variedades, etc. (Cabrera, 2016). Todos los métodos tienen como objetivo seleccionar los mejores/superiores genotipos o individuos dentro de una población, los métodos están diseñados para en menor o mayor 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.
- Determinar el efecto del ambiente (interacción genotipo-ambiente) y del error, para mejorar la heredabilidad (Camarena *et al.*, 2014).

Métodos de mejoramiento genético tradicional más usados para tomates

En el mejoramiento genético de tomates rojos, se utilizan varios métodos para obtener variedades superiores, a continuación, se describen algunos métodos.

Selección masal

Este es el más antiguo y fácil, fue usada por los primeros agricultores de manera indirecta, ya que seleccionaban plantas superiores por su fenotipo, por ejemplo, plantas más vigorosas, tamaño, forma, color etc. (Dávila *et al.*, 2020). Este método tiene como objetivo principal mejorar las poblaciones a nivel general por medio de la selección de fenotipos dentro de una población, que presenten características superiores (Pedro *et al.*, 2021), así mismo, agrupar los diferentes genotipos que se encuentren existentes dentro de la

población y presenten valores superiores con relación a las características deseables (Dávila *et al.*, 2020).

Selección por pedigrí

También conocido como método de selección genealógica, consiste en la autofecundación de individuos con variabilidad genética para generar progenies endocriadas y homocigotas, cada una con un registro único de su origen. En las primeras generaciones se selecciona entre y dentro de progenies para caracteres de alta heredabilidad, mientras que en etapas avanzadas se evalúan en cruzamientos con líneas probadoras para identificar aquellas con mejor habilidad combinatoria y mayor potencial (Eyhérbide, 2012). Este método es ampliamente utilizado en especies autógamias como el tomate, ya que permite desarrollar líneas puras con características deseables en rendimiento, calidad de fruto, etc.

Hibridación

La hibridación de las plantas es el proceso por el cual dos especies se cruzan, el objetivo es obtener una planta nueva (F_1) con características de ambos progenitores (SNICS, 2018). Este método es la principal estrategia de los fitomejoradores para la obtención de variedades superiores a los ya existentes en el mercado. Se logra con el cruzamiento de dos líneas endogámicas (diferentes genotipos) que tiene potencial de generar un individuo con gran potencial productivo (Pedro *et al.*, 2021). En este método se puede obtener una planta que contenga las mejores características de los dos progenitores, combinando en un solo individuo las características de los progenitores, dichas características deben ser importantes tanto para mejorador, agricultor y consumidores (Dávila *et al.*, 2020). Lo que se busca mediante este método, es la obtención de un alto componente aditivo el cual es un buen indicativo para la producción de líneas buenas en futuras generaciones, por otro lado, se busca obtener materiales en la progenie, superiores a sus progenitores lo que se conoce como vigor híbrido (Flores *et al.*, 2016). Finalmente, los programas de mejoramiento genético deben tratar de satisfacer las demandas o exigencias de los diferentes actores de la compleja cadena de producción consumo. En estas cadenas intervienen productores de semillas, agricultores, industriales, comerciantes y consumidores, cada uno de los cuales posee intereses o necesidades diferentes (Dávila *et al.*, 2020).

Diseño dialélicos

Es un método útil para estudiar la variación genética de las características específicas deseadas, también permite identificar las cruzas sobresalientes con características deseables (Hernández, 2013). El objetivo principal de este método es estimar la aptitud combinatoria general y específica de progenitores e híbridos F_1 (Vallejo, 2002). Este método estudia las características desde el punto de vista cuantitativo. Las herramientas para los sistemas de apareamiento están presentes en los diseños de tipo dialélico, el cual, consiste en un conjunto de cruzamientos simples posibles entre un grupo de n progenitores (Sánchez-Ramírez *et al.*, 2017). Se menciona cuatro métodos para calcular la aptitud combinatoria general y específica, pero en esta investigación se enfocará en el método uno, el cual describe efectos directos, recíprocos, maternos y no maternos (Griffing, 1956).

En los análisis dialélico propuesto por Griffing (1956) describe cuatro métodos de organizar las cruzas y sus progenitores, los cuales son:

- Método I: se incluyen los parentales, F_1 directas ($P_1 \times P_2$) y los F_1 recíprocas ($P_2 \times P_1$), este método incluye todas las combinaciones posibles y es el más completo.
- Método II: incluye los parentales y F_1 directas ($P_1 \times P_2$).
- Método III: no incluye los parentales, solo considera a F_1 directas ($P_1 \times P_2$) y los F_1 recíprocas ($P_2 \times P_1$).
- Método IV: solo considera a F_1 directas ($P_1 \times P_2$), no incluye parentales y ni F_1 recíprocas ($P_2 \times P_1$).

También describió dos modelos a utilizar dependiendo del objetivo del estudio, los cuales son:

Modelo I: Considera que los genotipos son efectos fijos.

Modelo II: Considera que los genotipos son muestra aleatoria de alguna población, de las cuales se harán conclusiones generales.

Aptitud combinatoria general y específica

La aptitud combinatoria general (ACG) se usa para estimar el rendimiento medio de una línea en combinación híbrida y la aptitud combinatoria específica (ACE) se usa para

identificar aquellos casos en los que ciertas combinaciones se obtiene un rendimiento mejor o peor en base al rendimiento promedio de los progenitores (Sprague y Tatum, 1942). La estimación de ACG y ACE es fundamental en programas de mejoramiento genético de tomate ya que permite identificar líneas con alto potencial para la formación de híbridos con características deseables, también la identificación de híbridos sobresalientes (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2010; López-Benítez *et al.*, 2012). Estudios en México han evidenciado la importancia de estos efectos genéticos en la selección de progenitores, por ejemplo, Hernández *et al.* (2016) identificaron líneas con altos efectos de ACG y ACE para rendimiento en tomate, lo que indica el potencial de estas líneas para ser utilizadas en programas de mejoramiento enfocados en aumentar la productividad del cultivo.

Heterosis y heterobeltiosis

Es un fenómeno que solo ocurre en la F1 (híbrido) resultado del cruzamiento de dos genotipos, es superior al promedio de sus progenitores en características como altura de planta, rendimiento, vigor en general (Moll *et al.*, 1962 citado por Esquivel *et al.*, 2009). La heterosis permite identificar los híbridos con mayor rendimiento, y caracteres de los componentes de rendimiento (León-Velasco *et al.*, 2009). La heterobeltiosis es el comportamiento superior en comparación del híbrido sobre el mejor progenitor (Fonseca y Patterson, 1968 citado por León-Velasco *et al.*, 2009). La heterosis y la heterobeltiosis no solo pueden ser positivas, sino que en algunos casos se buscan efectos negativos (Camposeco *et al.*, 2020). Por ejemplo, en días a floración, una heterosis negativa indica que el híbrido alcanza la floración más rápido que el promedio de sus progenitores, lo cual puede ser deseable para materiales precoces.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se realizó en un invernadero de baja tecnología del Departamento de Fitomejoramiento, en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas geográficas 25°21'15"N 101°02'03"W.

Material genético

El material genético utilizado fueron cuatro líneas denominadas como L6, L9, L12 y L13, desarrollados por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Granos y Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En la primera etapa, se sembraron cuatro líneas de tomate tipo determinado, etapa que comprendió de enero-julio de 2024. En la segunda etapa del estudio, con el propósito de evaluar el análisis dialélico de cruza directas y recíprocas, se establecieron 12 híbridos resultantes de dichas combinaciones, así como sus respectivos cuatro progenitores (L6, L9, L12 y L13), previamente seleccionados en la primera etapa (Cuadro 1). En ambas etapas, el manejo agronómico del cultivo fue el mismo, el cual se describe a detalle a continuación.

Cuadro 1. Progenitores y cruza directas y recíprocas seleccionados.

PROGENITORES	CRUZA DIRECTAS	CRUZAS RECÍPROCAS
L6	L6xL9	L9xL6
L9	L6xL12	L12xL6
L12	L6xL13	L13xL6
L13	L9xL12	L12xL9
	L9xL13	L13xL9
	L12xL13	L13xL12

Producción de plántula

Siembra:

La siembra se realizó el 07 de febrero del 2024, se sembró la semilla de las ocho diferentes líneas, en una charola de poliestireno de 200 cavidades con un sustrato compuesto de 70% peat moss y 30% de perlita, una semilla por cada cavidad.

Trasplante:

El trasplante se realizó en el mes de marzo del 2024 de manera manual, cuando las plantas alcanzaron una altura de 15 cm y presentaban de 3 hojas verdaderas. Se utilizó la misma mezcla para el sustrato y se utilizaron macetas con capacidad de 10 L.

Nutrición del cultivo (fertiirrigación)

Con referencia a la solución Steiner (Steiner, 1961), se preparó una solución nutritiva específica para el cultivo de tomate, cuyos componentes se muestran en el cuadro 2, esta se disolvió en 2 500 L de agua y se aplicó mediante un sistema de riego por goteo conectado a un temporizador digital, programado para regar de tres a cinco minutos cada hora. El porcentaje de la solución nutritiva se suministró dependiendo de la edad de la planta (50%, 75% y 100%).

Cuadro 2. Microelementos y Macroelementos para la solución nutritiva.

Macroelementos										
SN	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻ y CO ₃ ⁻²	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	NH ₄ ⁺	Na ⁺
(%)	Miliequivalentes L ⁻¹									
100	3.2	12	1	7	1	7	4	11	2	3
75	3.2	8.6	0.75	5.2	1	5.2	3	8.2	1.5	3
50	3.2	6	0.5	3.5	1	3.5	2	5.5	1	3
Microelementos en partes por millón										
SN	Fe ⁺³	Mn ⁺²	H ₃ BO ₃	Zn ⁺²	Cu ⁺²	MoO ₄ ⁻²	CE	pH		
(%)							(dS/m)			
100	3	1.48	0.28	0.24	0.12	0.08	2.7	5.9-6.1		
75	2.25	1.11	0.21	0.18	0.09	0.06	2.1	5.9-6.1		
50	1.5	0.74	0.14	0.12	0.06	0.04	1.5	5.9-6.1		

Poda

Esta labor inicio 20 días después del trasplante, eliminando los brotes axilares para mantener un solo tallo y orientar el crecimiento de forma vertical. La actividad se realizó semanalmente durante todo el ciclo. Además, se eliminaron las hojas cuando la planta lo requería, esto se realizó con unas tijeras previamente desinfectadas con cloro diluido en agua, con el objetivo de eliminar patógenos presentes en las tijeras. Estas prácticas contribuyen a mejorar el rendimiento y la calidad del fruto.

Tutorado

Se realizó de manera individual utilizando rafia, lo que permitió mantener el tallo de forma vertical, evitando que el tallo y frutos no toque el suelo, aprovechando así el espacio disponible, mejorando la iluminación y ventilación. Favoreciendo el crecimiento, desarrollo y calidad del fruto.

Hibridación

El tomate es una planta (autógama) que presenta flores hermafroditas, para facilitar la polinización fue necesario realizar emasculación o eliminación de anteras en las flores del progenitor femenino antes de que ocurriera la autopolinización o antesis. Una vez emasculada las flores del progenitor femenino se procedió a coleccionar polen y posteriormente polinizar al estigma, esta actividad se realizó todos los días antes de las 11 am y después de las 4 pm con el objetivo de aumentar el porcentaje de fecundación.

Cosecha

La cosecha se realizó de manera manual, recolectando solo los frutos que presentaron al menos un 70 % de color rojo en su superficie, se dejaron almacenadas por 24 horas, y posterior se realizó la extracción de semillas.

Extracción de semillas

Se extrajeron las semillas de los frutos de manera manual, para evitar el daño mecánico en ellas. Se dejó fermentar en agua por aproximadamente 24 horas con la finalidad de remover el mucilago, para después lavarlos con agua. Posterior a esto, se dejó secar a temperatura ambiente y después de una semana se guardaron en bolsas de papel.

Segunda etapa

En la segunda etapa se realizó todo el manejo agronómico antes mencionado con excepción de la hibridación.

Variables evaluadas

Primera etapa: variables evaluadas en plantas progenitoras durante la hibridación

1. Número de semillas por fruto:

Para esta variable se extrajeron cuidadosamente todas las semillas presentes en cada fruto. Posteriormente, las semillas se lavaron con agua para retirar los restos de pulpa y se dejaron secar a temperatura ambiente durante varios días con el fin de evitar la presencia de humedad que pudiera alterar el conteo. Una vez secas, se contabilizó el número total de semillas por fruto de manera manual con ayuda de una lupa de mano, cuando fue necesario, para asegurar precisión en el registro.

2. Clorofila, nitrógeno y temperatura de la hoja:

Para la evaluación de esta variable se utilizó un medidor portátil de clorofila, el cual proporciona estimaciones indirectas del contenido de clorofila y nitrógeno en las hojas de la planta. Se realizaron dos mediciones: la primera a los 58 días después de la siembra (DDS), coincidiendo con la etapa de desarrollo vegetativo avanzado, y la segunda a los 109 DDS, correspondiente a la fase de fructificación. Las lecturas se tomaron en hojas completamente desarrolladas, localizadas en la parte media de la planta, a fin de obtener datos representativos del estado nutricional y fisiológico del cultivo. De manera complementaria, se registró la temperatura foliar durante cada medición, ya que este parámetro se asocia con el estado hídrico y la eficiencia en el uso de recursos.

Etapa 2: variables evaluadas en híbridos F1

Variables morfológicas y fisiológicas

1. Altura de planta (cm):

Para determinar esta variable, se tomó la altura de planta desde la base del tallo hasta el ápice de la última hoja, con una cinta métrica, esta variable se cuantificó cada 15 días iniciando cuando la planta tuvo aproximadamente 60 cm de altura.

2. Diámetro basal del tallo (mm):

Esta variable, se cuantificó con un calibrador (vernier digital) de la marca TRUPER®, se determinó el diámetro a tres centímetros aproximadamente de la base del tallo principal.

3. Longitud de hoja

Esta variable se determinó con un flexómetro (TRUPER®) y se registró en cm.

4. Ancho de hoja

Esta variable se cuantificó con un flexómetro (TRUPER®) y se registró en cm.

5. Número de flores por racimo

Se contabilizaron las flores que presentaba el segundo racimo de cada planta a los 100 días.

6. Número de racimos a los 80 días

Se contabilizó el número de racimos que presentaban cada planta a los 80 días después del trasplante

7. Clorofila

Esta variable se cuantificó con un medidor portátil de clorofila, se realizó en la décima hoja de cada planta.

8. Temperatura de hoja (°C)

Se cuantificó con un SPAD, los datos se tomaron a las 12:00 pm, esto con el fin de evaluar la capacidad de las plantas para autoregularse a temperaturas altas que se presentan en los invernaderos y se registró en °C.

9. Nitrógeno de hoja (mg/g)

Para esta variable se utilizó el SPAD, y se registró en mg/g.

10. Sólidos solubles totales de peciolo

Para esta variable se extrajo “jugo” del peciolo de una hoja para poder medir los sólidos solubles con un refractómetro automático (Soonda modelo: DT610), registrando los resultados en ° Brix.

Variables de calidad de fruto y relacionadas a rendimiento

1. Longitud de fruto (mm):

Para obtener la longitud del fruto, se determinó la longitud de cada fruto cosechado con un vernier (calibrador digital) marca TRUPER® y se registró en milímetros.

2. Diámetro de fruto (mm):

Se cuantifico el diámetro de cada fruto cosechado con un vernier (calibrador digital) marca TRUPER® y se registró en milímetros.

3. Grosor del mesocarpio (mm):

En todos los frutos cosechados, se realizó un corte trasversal para poder medir el grosor del mesocarpio con la ayuda de un vernier digital de marca TRUPER®.

4. Número de lóculos:

Para obtener los resultados de esta variable, se contabilizó el número de lóculos que presentaron todos los frutos cosechados, por lo cual se realizó un corte trasversal a los tomates.

5. Sólidos solubles totales (°Brix) del fruto

Para esta variable se extrajo “jugo” de los frutos cosechados y se cuantifico los sólidos solubles totales con un refractómetro automático (Soonda modelo: DT610), registrando los valores en °Brix.

6. Número de fruto por planta:

Esta variable se determinó contabilizando el total de frutos cosechados de las 5 cosechas por planta.

7. Kilogramo por planta

Se determino el peso total de frutos cosechados por planta y se expresó en kilogramos.

8. Rendimiento (toneladas por hectárea):

Se calculó multiplicando el rendimiento en kilogramos por planta por el número de plantas establecidas en una hectárea, simulando la densidad establecida en el experimento.

9. Peso promedio de frutos (gr):

Para esta variable se pesaron los frutos en una balanza, se dividió el peso de todos los frutos cosechados de cada planta entre el número de frutos cosechados de dicha planta y se expresaron en gramos.

10. Número de semillas por frutos:

Para determinar esta variable, se extrajeron manualmente todas las semillas de los frutos cosechados para evitar daño. Posteriormente, se secaron y contabilizaron por fruto.

Diseño experimental y análisis de datos

El experimento de la primera etapa se realizó mediante un modelo estadístico completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. El modelo estadístico del ANVA ($p \leq 0.05$), como la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), se corrieron con el paquete de Infostat® versión 2020.

El experimento de la segunda etapa se evaluó utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar, con 16 tratamientos y cuatro repeticiones cada uno,

Mientras que, para el análisis genético, se utilizó el Método I Modelo II de Griffing, que considera las cruza directas, recíprocas y sus progenitores utilizando la rutina computacional DIALLEL-SAS05, propuesto por Zhang *et al.* (2005).

Para calcular la heterosis y heterobeltiosis se utilizaron las siguientes formulas

$$\text{Heterosis} = \frac{F1 - (P1 + P2)/2}{(P1 + P2)/2} * 100$$

$$\text{Heterobeltiosis} = \frac{F1 - MP}{MP} * 100$$

Donde:

F1= híbrido de la primera cruza

P1= progenitor uno

P2= progenitor dos

MP= mejor progenitor

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRIMERA ETAPA

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de clorofila, se encontró diferencias significativas entre las líneas, donde las líneas L6 y L13 son estadísticamente iguales y superiores en comparación con las otras, con valores de 59.05 y 58.42 respectivamente (Figura 3). Estos valores son menores a los reportado por Sandoval (2018), ya que reportan valores de contenido de clorofila de 66.1 y 60.2 (Figura 3), cabe mencionar que son valores de híbridos uno comercial y el otro experimental de tomates nativos. La poca variación que existe entre las líneas se debe principalmente la genética propia de las líneas. La evaluación del contenido de clorofila es esencial, pues constituye un indicador fisiológico clave para asegurar un crecimiento vigoroso y un desarrollo saludable en plantas de tomate (Zhang *et al.*, 2025). Estos valores nos permiten identificar materiales más eficientes en el uso de nutrientes, dado que la nutrición de las cuatro líneas fue la misma.

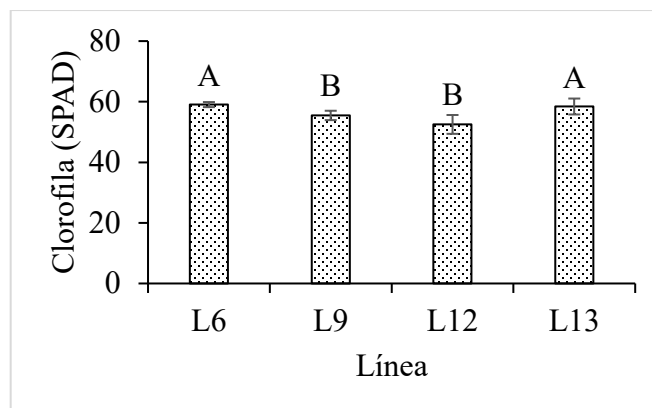


Figura 3. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de clorofila de la hoja de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila, barras verticales corresponde a desviación estándar.

Para la variable nitrógeno de la hoja, se observaron diferencias significativas entre las líneas, donde las líneas L6 y L13 sobresalieron con 21.5 y 21.1 respectivamente (Figura 4). Estas mismas líneas también presentaron los valores más altos en clorofila de la hoja, lo que confirma la relación positiva existe entre el contenido de nitrógeno y la clorofila. Estudios previos han señalado que valores altos de clorofila (unidades SPAD) se correlacionan directamente con concentraciones altas de nitrógeno en la hoja (Ribeiro *et al.*, (2015).

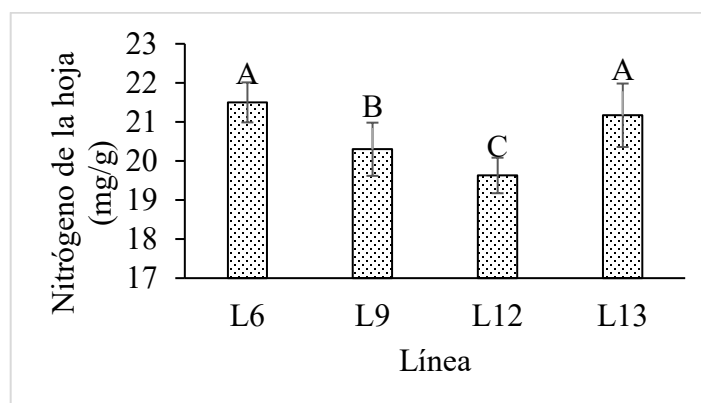


Figura 4. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de nitrógeno de la hoja de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila, barras verticales corresponden a desviación estándar.

En la variable temperatura de la hoja se observa diferencias significativas entre las cuatro líneas evaluadas. La línea L13 fue la que presentó los valores más altos con una temperatura de 28.8 (Figura 5), lo que nos indica que esta línea en contraste la línea L6 que fue la que presentó los valores más bajos de temperatura, refleja que esta línea tiene una mejor eficiencia en la autorregulación de la temperatura en comparación con las demás líneas. Dicha capacidad de regulación es esencial, dado que el estrés térmico puede acelerar procesos como la senescencia o la abscisión, afectando negativamente el rendimiento y crecimiento del cultivo (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017).

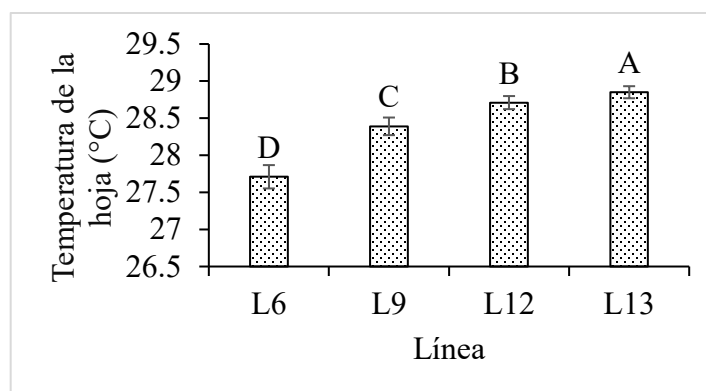


Figura 5. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de temperatura de la hoja de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila, barras verticales corresponden a desviación estándar.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la cruce L6xL9 fue la que destacó con 35 semillas por fruto (Figura 6), lo que nos indica mayor compatibilidad entre las líneas progenitoras para la generación de semillas. En contraste, L12xL6 y L12xL13 presentaron los valores más bajos (3 y 5 semillas respectivamente), esto nos indica una menor eficiencia reproductiva, menos compatibilidad de las líneas progenitoras. En general, las cruces donde participó la línea L6 produjeron más semillas, mientras que las cruces donde participo la línea L12 mostraron menor cantidad de semillas.

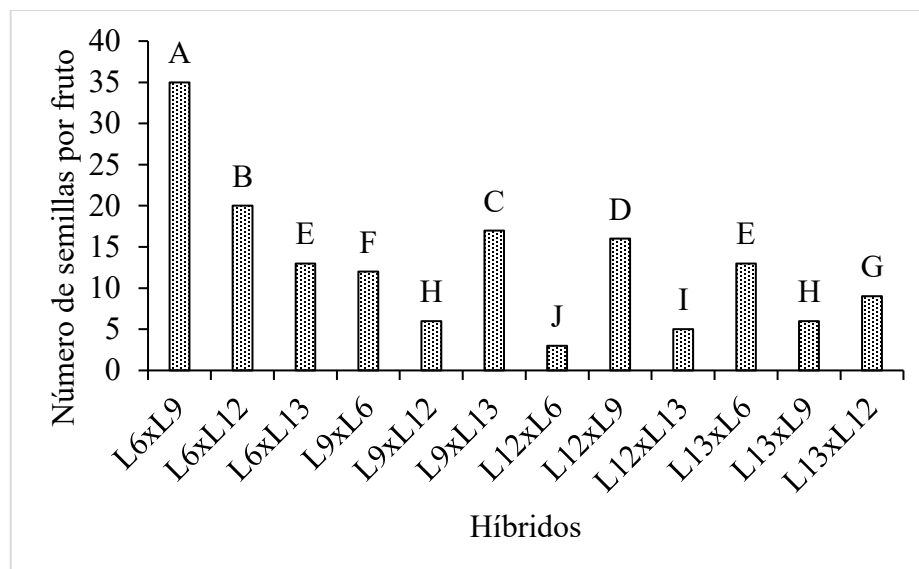


Figura 6. Prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de número de semillas por fruto de líneas experimentales de tomate determinado, probadas en Saltillo, Coahuila.

SEGUNDA ETAPA

Curva de crecimiento de los híbridos y sus progenitores

Se evaluó el crecimiento de cuatro líneas experimentales de tomate a lo largo del ciclo de cultivo. Con base a esta curva nos permite comparar el desarrollo y desempeño entre las líneas y sus híbridos. Entre todas las líneas e híbridos evaluadas, el híbrido L12xL6 (Figura 7) destacó por alcanzar una mayor altura, con más de 2 m de altura, lo que indica un crecimiento vegetativo más vigoroso y un potencial superior para la producción de frutos. Este comportamiento sugiere que el híbrido L12xL6 podría ser una opción favorable en programas de mejora orientados a incrementar el rendimiento y la eficiencia en el uso del espacio vertical del cultivo.

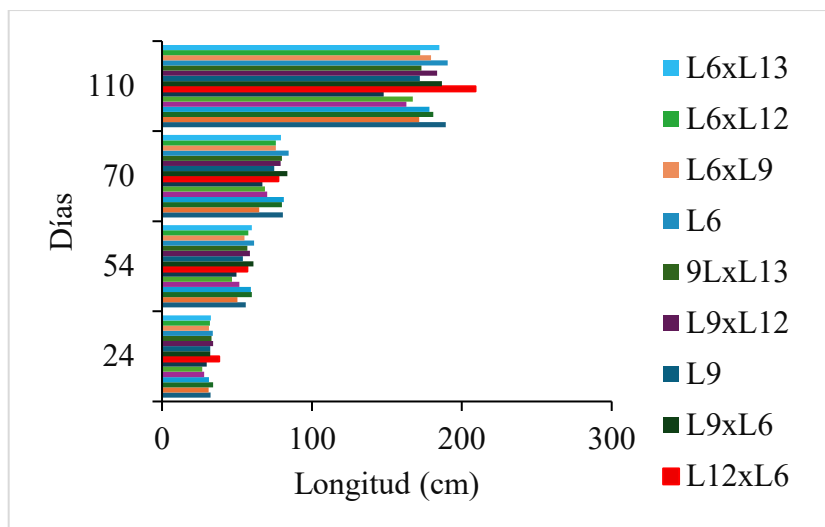


Figura 7. Curva de crecimiento de híbridos y progenitores de tomate tipo determinado, probados en Saltillo, Coahuila.

Estimación de aptitud combinatoria general (ACG)

En el cuadro 3 se presentan los valores de aptitud combinatoria general (ACG), para la variable longitud de fruto (LF) la línea L12 destacó al presentar los valores positivos más altos con 8.087, lo cual nos indica su potencial como progenitor favorable orientados en incrementar el tamaño del fruto, así mismo, la línea L13 presenta valores positivos (4.01) (Cuadro 3), por el contrario, las líneas L6 y L9 presentaron valores negativos en dicha variable con -6.1 y -5.9 respectivamente, lo que las clasifica como malos combinadores para incrementar la longitud del fruto, tal como lo señalan estudios previos (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2023). Cabe resaltar que los valores encontrados resultaron superiores a los reportados por López-Benítez *et al.* (2012) lo que evidencia el potencial de las líneas evaluadas para generar materiales con alta calidad de fruto. No obstante, se ha señalado que incluso progenitores con baja ACG también pueden producir híbridos con alto potencial productivo, debido a la complementariedad genética que se manifiesta en los efectos combinación específica (Hernández y De León, 2021).

En relación con la variable diámetro del fruto (DF) la línea L6 fue la que presentó los valores más altos de ACG con 4.3 (Cuadro 3). Este valor supera de manera considerable a los reportados por Gayosso (2015), ya que describen valores de 0.55 y 0.18 encontrados

en siete líneas de tomate evaluados en Saltillo, Coahuila. Esta comparación evidencia el potencial de la línea L6, que tiene un mayor potencial genético para mejorar esta característica. Por el contrario, las líneas L12 y L13 presentaron valores negativos y altamente significativos, lo que nos sugiere que estas líneas/genotipos no están relacionados directamente con esta variable en específico, y por ende afecta al tamaño de los frutos (Gayosso, 2015). Por lo cual se consideran como progenitor poco favorable para el mejoramiento de dicho carácter.

En relación con la variable grosor de mesocarpio (GM), se observó que las líneas L6 y L9 fueron las que presentaron los valores positivos con valores de 0.47 y 0.034 (cuadro3) respectivamente. Los resultados evidencian que tanto para diámetro de fruto (DF) como en grosor de mesocarpio (GM), los efectos positivos de aptitud combinatoria general (ACG) se reflejan en cruza con efectos específicos positivos, lo que indica relación entre ambos efectos (ACG y ACE). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Acevedo *et al.* (2020) y Ubias-Serafin *et al.* (2024).

En lo que se refiere a la variable número de lóculos (NL), las líneas L6, L12 y L13 presentaron los valores positivos con un valor de 0.06, 0.03 y 0.04 respectivamente y la línea L9 fue la única que mostró valores negativos con un valor de -0.14 (Cuadro3). Finalmente, en la variable sólidos solubles totales (SST), tanto la línea L6 como la línea L9 presentaron valores positivos, con 0.16 y 0.08 respectivamente. Estos resultados sugieren que ambas líneas poseen un efecto favorable en la acumulación de azúcares, lo cual representa un atributo de calidad importante para la aceptación del fruto.

Con respecto a las variables de rendimiento y componentes (Cuadro 3), se observó que la línea L6 presentó valores positivos en todas las variables evaluadas. Este comportamiento sugiere que dicha línea (L6) posee alelos favorables que contribuyen de manera positiva a la expresión de los caracteres asociados al rendimiento, en contraste, los valores negativos obtenidos por otras líneas reflejan que estas aportan menos favorablemente a la manifestación de dichas características (Díaz-Juárez *et al.*, 2023). La línea L9 presentó valores negativos en la mayoría de las variables relacionadas al rendimiento excepto en número de frutos por planta (NFP), lo que limita su utilidad como progenitor en programas de mejoramiento orientados a incrementar el rendimiento total. En cuanto a la variable

peso medio de frutos (PMF) la línea L13 alcanzó un valor de 3.08 de ACG, lo que indica su potencial como progenitor favorable para mejorar el peso de los frutos. De acuerdo con lo señalado por De la cruz *et al.* (2010) los resultados positivos de ACG tienen una influencia de suma importancia en la expresión de variables de rendimiento en su descendencia, lo cual nos indica que la línea L6 tiene gran potencial con lo observado. De manera similar Martínez-Solís *et al.* (2013) menciona que los progenitores con mayor ACG son candidatos para la obtención de híbridos sobresalientes, como sería el caso de las líneas L12 y L6, que en este estudio mostraron un comportamiento favorable.

La variabilidad observada entre las líneas en la mayoría de las variables se puede atribuir a la divergencia genética de cada línea, relacionada con su origen, tendencias similares fueron reportados por Balbuena-Mascada *et al.* (2025) en materiales de tomates de crecimiento indeterminados. En base a los resultados obtenidos se evidencia que la línea L6 obtuvo valores positivos en NFP, KG/P, REND, lo que la convierte en una buena fuente de germoplasma para futuros programas de mejoramiento, sobre todo por hibridación (Ek-Maas *et al.*, 2017).

Por otro lado, aunque la línea L6 presentó efectos altos y positivos ACG en rendimiento, pero los valores más sobresalientes en ACE se registraron en la cruce L9xL12 (cuadro 5). Esto confirma lo reportado por Picón-Rico *et al.* (2018), quienes mencionan que la respuesta de las cruces específicas no puede predecirse manera absoluta solo con la información de la ACG de los progenitores, evidenciando la relevancia de considerar tanto los efectos aditivos como los no aditivos en la evaluación del comportamiento de los híbridos. Y finalmente en la variable número de semillas, las líneas L6, L9 y L13 presentaron valores positivos, cabe resaltar que la línea L6 es la única que presenta valores altamente significativos, con un valor de 161.53 lo que indica que esta línea es buena para generar semillas, la línea L12 presenta valores negativos con -204.8.

Cuadro 3. Aptitud combinatoria general (ACG) de variables de calidad de fruto y relacionadas al rendimiento de líneas de tomate tipo determinado.

LÍNEA	LF	DF	GM	NL	SST	NFP	KG/P	REND	PMF	NS
	(mm)	(mm)	(mm)		(°Brix)		(kg)	(t ha ⁻¹)	(kg)	

L6	-6.1**	4.39**	0.47**	0.06	0.16**	1.35*	0.22**	8.08**	2.70	161.53**
L9	-5.9**	0.60	0.03	-0.1**	0.08*	0.18	-0.13*	-4.95*	-7.5**	32.07
L12	8.0**	-3.7**	-0.3**	0.03	-0.1**	-0.24	0.008	-0.27	1.75	-204.8**
L13	4.0**	-1.2**	-0.14	0.04	-0.08*	-1.2*	-0.08	-2.86	3.08	11.26

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; LF=longitud de fruto, DF= diámetro de fruto, GM=grosor del mesocarpio, NL=número de lóculos, SST= sólidos solubles totales, NFP= número de frutos por planta, KG/P= kilogramos por planta, REN= rendimiento calculado, PMF= peso medio del fruto, NS= número de semillas

Con relación a las variables morfológicas (Cuadro 4), la línea L6 presentó los valores más altos y positivos en altura de planta (AP) y diámetro de planta (DP) con 7.82 y 0.52 respectivamente en ACG, lo que indica alto vigor. Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por Mendoza-de Jesús *et al.* (2010) (7.69 a -6.36), lo que confirma que la línea L6 es un progenitor potencialmente favorable para aportar genes asociados con el alto vigor de planta. Esto, a su vez, permitiría seleccionar genotipos que integren las características superiores de los progenitores y, de manera complementaria, facilitar la predicción de las cruzas con mayor potencial genético y productivo (Pech *et al.*, 2010). Por su parte L9 solo presentó valores positivos en diámetro de planta, la línea L12 mostró efectos positivos en variables como longitud de hoja y ancho de hoja, alcanzando los más altos en dichas variables. Finalmente, la línea L13 presentó valores positivos en altura de planta y longitud de hoja, lo que indica que también posee contribución favorable en estas variables morfológica. En cuanto a la variable número de flores por racimo la línea L12 fue el único con valores positivos, lo cual es un atributo de importancia, ya que un mayor número de flores puede traducirse en una mayor cantidad de frutos potenciales.

Se espera que los progenitores con alta ACG generen cruzas de mayor potencial, como resultado de la interacción de alelos favorables; en contraste, aquellos con baja ACG tienden a producir cruzas con menor potencial productivo (Díaz-Juárez *et al.*, 2023). En este sentido para las variables fisiológicas evaluadas, la línea L6 fue la única que presentó valores positivos en contenido de clorofila (0.73) y destacó también en nitrógeno en la hoja (0.27), por otro lado, las líneas L9, L12 y L13 presentaron valores negativos en clorofila con -0.039, -0.41 y -0.28 (Cuadro 4) respectivamente. En cuanto a la temperatura

de la hoja, la línea L13 sobresalió con un valor de 0.22. Respecto a sólidos solubles totales en peciolo, las líneas L9 y L6 fueron las únicas con valores positivos (0.16 y 0.03 respectivamente). Estos resultados sugieren, que las líneas con alta ACG en características específicas como las anteriores representan materiales prometedores para la formación de híbridos, utilizándolos directamente como progenitores o como fuente de germoplasma para el desarrollo de nuevas líneas mejoradas orientados a incrementar el rendimiento y la adaptabilidad (Martínez, 2014).

Cuadro 4. Aptitud combinatoria general (ACG) de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.

LÍNEA	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	CHL (Spad)	N (mg/g)	T (°C)	SSTP (°Brix)	NR	FPR
L6	7.82**	0.52**	-2.1**	0.86	0.73	0.27	-0.23	0.03	0.05	-0.20*
L9	-4.2**	0.22*	-1.1*	-2.0**	-0.03	0.009	0.05	0.16	-0.10	-0.02
L12	-3.7**	-0.19*	2.54	2.30**	-0.41	-0.23	-0.03	-0.11	0.09	0.27**
L13	0.11	-0.55**	0.64	-1.1*	-0.28	-0.03	0.22	-0.08	-0.04	-0.04

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; AP= altura de planta, DP= diámetro de planta, LH= longitud de hoja, AH= ancho de hoja, CHL= clorofila, N= nitrógeno, T=temperatura, SSTP, sólidos solubles totales en peciolo, NR= número de racimos por planta, FPR= flores por racimo.

Estimación de aptitud combinatoria específica (ACE) de cruza directas y recíprocas

En el cuadro 5 se presenta la aptitud combinatoria específica (ACE) de las variables relacionadas con la calidad del fruto (LF, DF, GM, SST). Dentro de las cuales la cruza L6xL9 destacó por presentar valores positivos en la mayoría de las variables, con excepción de número de lóculos (NL), este comportamiento evidencia que esta cruza presenta una combinación genética favorable que permite obtener híbridos con mejores características relacionadas a la calidad del fruto. En este contexto, Tuxtla-Andrade *et al.* (2022) señalan que los efectos positivos de ACE son resultado de la combinación favorable de genes no aditivos, tal como los observado en este experimento genético.

Por otro lado, la cruce L6xL12 mostró una ACE negativa en variables como longitud del fruto (LF) y sólidos solubles totales (SST) (Cuadro 5), este resultado sugiere que la interacción genética entre estos progenitores no fue favorable para estas características.

De acuerdo con el comportamiento genético de los progenitores, una cruce simple puede alcanzar un alto rendimiento si ambos progenitores presentan una alta ACG, o bien, si el efecto de ACE es elevado y al menos uno de los progenitores tiene alta ACG (Hernández-Pérez *et al.*, 2011). En este sentido, la única línea que presenta ACG positiva fue la línea L6 (cuadro 3). Los híbridos derivados de esta línea, al cruzarse con otra de ACG negativa o baja, da como resultado cruces con alta ACE, con excepción de L6xL9 y L13xL6 cruces recíprocas con valores de -2.41 y -1.04 respectivamente (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con los reportados por Chuquiya *et al.* (2021) y López-López *et al.* (2021), lo cuales respaldan la utilidad de la ACG y ACE como criterios para seleccionar cruces o combinaciones prometedoras. Lo anterior permite a los fitomejoradores explorar diferentes combinaciones genéticas con el fin de desarrollar híbridos con características específicas y sobresalientes, para encontrar el fenotipo deseado (Essa & Alwan, 2024).

Las cruces que presentaron valores positivos en número de frutos por planta (NFP) fueron L12xL13, L6xL12 y L9xL12 (Cuadro 5), destacando esta última como la combinación con los valores más altos, esto indica que dichas cruces poseen un efecto específico favorable para incrementar la producción y cantidad de frutos. De acuerdo con Cervantes-Ortiz *et al.* (2018), las cruces que exhiben valores altos de aptitud combinatoria específica (ACE) pueden ser incorporadas en esquemas de mejoramiento por hibridación específica únicamente.

En cuanto la variable de kilogramos por planta (KG/P) la cruce L6xL9 (cuadro 5) directa fue la única que presentó valores negativos. La cruce L9xL12 destacó con un valor de ACE de 0.348 en (KG/P) y de 12.5 en rendimiento (REND). En general, los valores de ACE de las cruces fueron positivos, pero los progenitores presentan valores negativos en ACG, lo cual concuerda con lo reportado por Rodríguez-Pérez *et al.* (2019), quienes mencionan que ciertas combinaciones específicas pueden superar las expectativas basadas en el rendimiento de cada línea individual o por su ACG. De manera similar, Rodríguez-Pérez *et al.* (2016), reportaron que progenitores con efectos bajos o negativos en ACG

pueden generar cruzas con alto rendimiento en maíz. Dicho comportamiento también se observó en el presente estudio, como es el caso de la craza L9xL12, cuyos progenitores presentaron efectos negativos en rendimiento, la combinación resultó sobresaliente en esta variable.

En la craza L6xL12 (cuadro 5) obtuvieron valores positivos en rendimiento (7.23), sin embargo, sus progenitores presentan valores positivos (L6) y negativos (L12) en aptitud combinatoria general (ACG) en esta variable (cuadro 3), que al ser cruzados mostraron una buena ACE atribuida a los efectos aditivos de dicha combinación, resultados similares fueron reportados por (Hernández-Pérez *et al.*, 2011).

Por otro lado, las cruzas L6xL9 y L13xL6 presentan valores negativos (-2.41 y -1.042) (cuadro 5) lo que refleja que entre los progenitores existe divergencia genética, pero limitada capacidad de combinación específica para mejorar variables relacionadas al rendimiento (De Matos *et al.*, 2021).

En relación con la variable número de semillas (NS) (cuadro 5) se identificó que las cruzas L6xL12 y L9xL13 registraron los valores más altos y significativos en comparación con las demás cruzas, con valores de 143.8 y 141.3 respectivamente, por el contrario, la craza L13xL12 mostró valores negativos con un valor de -122.5.

Cuadro 5. Aptitud combinatoria específica (ACE) de variables de calidad del fruto y relacionadas al rendimiento de cruzas directas y recíprocas de líneas de tomate tipo determinado.

Cruzas	LF (mm)	DF (mm)	GM (mm)	NL	SST (°Brix)	NFP	KG/P (kg)	REND (t ha ⁻¹)	PMF (kg)	NS
Cruzas directas										
L6xL9	2.02	0.73	0.23	-0.006	0.06	-0.81	-0.06	-2.41	2.48	44.8
L6xL12	-0.85	2.14**	0.33	0.002	-0.11	1.61	0.20	7.23	1.51	143.8**
L6xL13	-0.38	1.39	-0.07	-0.79	-0.09	-0.39	0.05	1.70	4.24	67.6
L9xL12	0.26	2.51**	0.35	0.10	-0.08	2.45*	0.34**	12.50**	5.08	-4.71
L9xL13	0.75	0.92	-0.02	0.35	-0.00	-0.19	0.06	2.18	2.13	141.3**
L12xL1	-1.84	0.12	0.21	-0.06	0.13*	0.79	0.04	1.57	-0.68	-5.15

Cruzas recíprocas										
L9xL6	1.49	-4.90	0.01	0.01	-0.06	-0.02	0.15	5.55	5.04	-63.16
L12xL6	-1.13	0.42	0.18	0.05	-0.07	1.41	0.23	8.58	-0.80	15.16
L13xL6	-0.90	-0.12	0.03	-0.04	-0.03	0.91	-0.02	-1.04	-8.4*	55.83
L12xL9	4.26*	-2.16*	-0.32	0.13	-0.12	0.64	0.01	0.57	-0.36	-78.5
L13xL9	-0.66	-1.66	0.27	-0.01	-0.06	1.11	0.02	0.86	-3.03	-89.0
L13xL1	-3.18	-0.43	-0.17	-0.06	-0.20*	-0.16	0.08	2.92	3.09	-122.5*

2

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; LF=longitud de fruto, DF= diámetro de fruto, GM= grosor del mesocarpio, NL=número de lóculos, SST= sólidos solubles totales, NFP= número de frutos por planta, KG/P= kilogramos por planta, REN= rendimiento, PMF= peso medio del fruto, NS= número de semillas

En cuanto la variable altura de planta (AP) se observó que las cruzas L9xL13 y L12xL13 (cuadro 6) presentaron valores negativos en cruzas directas, mientras que L13xL12 fue la única que mostró valores negativos en cruzas recíprocas, en contraste, la combinación entre las líneas L6 y L12 destacó al registrar los valores más altos tanto en su cruce directa como recíproca. Respecto al diámetro de planta (DP) las cruzas L6xL12, L9xL13 y L12xL9 presentaron valores negativos. Por el contrario, la cruce L6xL9 presentó valores más altos y positivos, lo cual sugiere que dicho comportamiento se debe a la influencia de una alta aptitud combinatoria general (ACG) o bien la manifestación de efectos aditivos proveniente de sus progenitores (Cuadro 6) (Rodríguez *et al.*, 2020). En este sentido, Díaz-Juárez *et al.* (2023), menciona que un valor alto de ACE refleja que la interacción genética favorece el comportamiento de la cruce, como resultado de la combinación de los efectos de ACG de sus progenitores. Estos resultados refuerzan la idea de que la combinación entre progenitores con alta ACG puede generar cruces superiores.

En la variable longitud de hoja (LH) la cruce L6xL9 (cuadro 6) obtuvo los valores más altos (2.054), dicha cruce es resultado de líneas con valores negativos de ACG, lo cual resulta inusual, ya que se esperaba que tales líneas generaran cruces con efectos negativos en ACE. Esto confirma que no necesariamente las líneas con alta ACG producen híbridos sobresalientes (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2018). La cruce L9xL6 (cruce recíproca) destacó con los valores más altos en ancho de hoja (AH) con un valor de 2.26. Con relación a la variable clorofila de la hoja, la cruce L13xL9 presentó los valores más altos con 1.73, en

cuanto a nitrógeno de la hoja la ACE vario de 0.55 a -0.43, siendo la cruza L9xL12 la que presentó los valores más altos, la cruza L6xL13 sobresalió en temperatura de la hoja con 0.31 (cuadro 6), en número de racimos la cruza L6xL9 sobresalió con 0.23. Y finalmente en flores por racimo las cruzas L6xL13 y L9xL12 fueron las que obtuvieron los valores más altos con 0.374 y 0.237 respectivamente. Las cruzas con efectos positivos de ACE pueden ser considerados en un programa de mejoramiento genético de tomates determinados.

Cuadro 6. Aptitud combinatoria específica (ACE) de variables morfológicas y fisiológicas de cruzas directas y recíprocas de líneas de tomate tipo determinado.

Cruzas	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	CHL (Spad)	N (mg/g)	TEM (°C)	SSTP (°Brix)	NR	FPR
Cruzas directas										
L6xL9	0.75	0.34*	2.05*	1.95	0.33	0.03	0.17	0.24	0.23	0.08
L6xL12	4.81*	-0.006	-0.3	1.59	-0.15	-0.14	0.31	-0.09	-0.10	0.22
L6xL13	0.70	0.19	1.57	1.20	-1.23	-0.12	0.32	-0.23	-0.24	0.37
L9xL12	0.70	0.09	-0.1	-0.72	1.50	0.55	-0.2	-0.27	0.06	0.23
L9xL13	-3.14	-0.48**	-2.0*	-0.45	-0.95	-0.28	0.11	-0.11	0.03	0.11
L12xL13	-1.25	0.11	-0.07	0.12	-0.28	-0.24	-0.3	0.28	0.10	-0.30
Cruzas recíprocas										
L9xL6	0.16	0.27	0.13	2.26	0.81	0.26	0.02	-0.13	0.11	-0.22
L12xL6	3.97	0.08	-0.23	-1.31	0.60	0.06	-0.25	0.09	-0.02	-0.05
L13xL6	2.33	0.49*	-0.20	1.08	-0.86	0.11	-0.13	-0.19	0.08	0.22
L12xL9	1.22	-1.22**	1.77	-0.94	-1.09	-0.35	-0.04	-0.11	-0.25	-0.41
L13xL9	1.72	0.03	0.70	0.56	1.73	0.63	0.02	-0.18	-0.02	-0.30
L13xL12	-4.9*	0.44*	-2.0	-1.25	-0.84	-0.43	0.12	-0.22	0.08	-0.08

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; AP= altura de planta, DP= diámetro de planta, LH= longitud de hoja, AH= ancho de hoja, CHL= clorofila, N= nitrógeno, T=temperatura, SSTP, solidos solubles totales en peciolo, NR= número de racimos por planta, FPR= flores por racimo.

Efectos maternos

La importancia de estudiar los efectos maternos radica en que permiten identificar el impacto de progenitor femenino sobre el comportamiento de su progenie, estudios previos realizados en cultivos como maíz demuestran la importancia de estudiar los efectos

maternos ya que identificaron que las líneas no se comportan igual cuando se usan como progenitor femenino (García *et al.*, 2020).

Con respecto a la variable longitud del fruto (LF) la línea L13 sobresalió con un valor de 1.18 (cuadro 7), las líneas L6 y L12 obtuvieron valores negativos con -1.57 y -0.13 respectivamente, para la variable diámetro de fruto (DF) igualmente la línea L13 fue la que destacó con valores positivos de 0.55, y con efectos negativos las líneas L6 y L9 con valores de -0.04 y -0.83 respectivamente, también en las variables grosor de mesocarpio (GM) y número de lóculos (NL) la línea L3 destacó con los valores más altos y positivos con valores de 0.10 y 0.02 respectivamente, y finalmente en la variable sólidos solubles totales la línea L13 presentó los valores más altos y positivos con un valor de 0.07, las líneas L6, L9 y L12 mostraron valores negativos con -0.04, -0.03 y -0.001 respectivamente, lo que sugiere que la línea L13 es buen progenitor femenino para dichos caracteres, ya que fue la única en presentar valores positivos en variables de calidad del fruto, lo que indica que posee un alto potencial genético. De manera complementaria, se han reportado resultados similares en maíz, donde se identificaron líneas productoras de aceite con efectos maternos positivos, demostrando que la elección del progenitor femenino puede influir de forma decisiva en el rendimiento y la calidad del híbrido (Núñez-Terrones *et al.*, 2019). En este sentido la línea L13 tiene gran potencial como progenitor femenino para futuros programas de mejoramiento enfocados a la obtención de híbridos de alta calidad de frutos.

En lo que se refiere a variables con relación al rendimiento, la línea L6 sobresalió en la variable número de frutos por planta (NFP) con un valor de 0.57 (cuadro 7) y las líneas L12 y L13 presentaron valores negativos con -0.55 y -0.46 respectivamente. Al igual en la variable Kg/planta (KG/P) la línea L6 mostró los valores más altos con un valor de 0.09, en contraste con las líneas L9, L12 y L13 que obtuvieron valores negativos con valores de -0.03, -0.04 y -0.01 respectivamente. en cuanto a la variable de rendimiento (REND) la línea L6 mostró los valores más altos con 3.2, siendo la única que presentó valores positivos, lo que nos indica que esta línea es buen progenitor femenino (Martínez-Díaz *et al.*, 2025). Por lo contrario, las líneas L9, L12 y L13 funcionan mejor como progenitor macho. En la variable peso medio de frutos (PMF) la línea L13 presentó los valores más

altos con 2.09, la línea L12 mostró valores de 1.06 y las líneas L9 y L6 obtuvieron valores negativos. Los resultados de los efectos maternos constituyen una herramienta fundamental dentro de los programas de mejoramiento genético, ya que gracias a este estudio se identifican y seleccionan los mejores progenitores femeninos (Andrío-Enríquez *et al.*, 2015; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2018).

Respecto a la variable número de semillas (NS), las líneas L6 y L13 presentaron valores positivos, donde esta última presentó los valores más altos con un valor de 38.93 (cuadro 7) de efectos maternos, por el contrario, las líneas L9 y L12 presentaron los valores negativos con -26.08 y -14.81 respectivamente, lo que nos sugiere que estas últimas líneas funcionan mejor como progenitor masculino para esta variable.

Cuadro 7. Efectos maternos de variables de calidad de fruto y relacionadas al rendimiento de líneas de tomate tipo determinado.

LÍNEA	LF	DF	GM	NL	SST	NFP	KG/P	REND	PMF	NS
	(mm)	(mm)	(mm)		(°Brix)		(kg)	(t ha ⁻¹)	(kg)	
L6	-0.13	-0.04	0.05	0.005	-0.04	0.57	0.09	3.27	-1.05	1.95
L9	0.52	-0.83	-0.15	0.02	-0.03	0.44	-0.03	-1.02	-2.11	-26.0
L12	-1.57	0.32	-0.009	-0.06	-0.001	-0.55	-0.04	-1.55	1.06	-14.8
L13	1.18	0.55	0.10	0.02	0.07*	-0.46	-0.01	-0.68	2.09	38.9

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; LF= Longitud del fruto, DF= diámetro del fruto, GM= grosor del mesocarpio, NL=número de lóculos, SST= sólidos solubles totales, NFP= número de frutos por planta, KG/P=kilogramos por planta, PMF= peso medio de frutos, NS= número de semillas

Con relación a las variables morfológicas la línea L6 presentó valores positivos en altura de planta (AP) con 1.61, ancho de hoja con un valor de 0.50, también en clorofila (CHL) y nitrógeno de la hoja (N) con valores de 0.13 y 0.11 respectivamente (cuadro 8), como se ha mencionado anteriormente esta línea tiene gran potencial de generar híbridos con buen porte, eficiencia en clorofila y movimiento de nitrógeno cuando es usada como progenitor femenino. En este sentido, Díaz-Juárez *et al.* (2023) menciona que los progenitores con valores altos resultan de gran importancia ya que aportan ADN citoplasmático favorable, favoreciendo positivamente en las características de los híbridos formados. En lo que se refiere a la línea L9 (cuadro 8) solo presentó valores positivos en una variable (LH), al igual que la línea L13 en (SST), la línea L12 presentó los valores

más altos en diámetro de planta (DP), temperatura de hoja (TEM), número de racimos por planta (NR) y número de flores por racimo (FPR).

Cuadro 8. Efectos maternos de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.

LÍNEA	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	CHL (Spad)	N (mg/g)	TEM (°C)	SST (° Brix)	NR	FPR
L6	1.61	0.21*	-0.07	0.50	0.13	0.11	-0.090	-0.05	0.04	-0.013
L9	0.69	-0.36**	0.58	-0.66	-0.04	0.004	-0.008	-0.04	-0.09	-0.12
L12	-2.52*	0.39**	-0.88	0.25	-0.08	-0.03	0.10	-0.05	0.09	0.09
L13	0.21	-0.24**	0.37	-0.09	-0.007	-0.07	-0.002	0.14	-0.03	0.041

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; AP= altura de planta, DP= diámetro de planta, LH= longitud de hoja, AH= ancho de hoja, CHL= clorofila, N= nitrógeno, T=temperatura, SSTP, solidos solubles totales en peciolo, NR= número de racimos por planta, FPR= flores por racimo.

Heterosis

La importancia de la heterosis se debe a que gracias a este fenómeno se selecciona los mejores parentales para desarrollar híbridos F₁, por ende, se puede lograr desarrollar nuevos materiales genéticos para posibles programas de mejoramiento con resultados superiores (Chaudhary *et al.*, 2023). En la variable longitud del fruto se puede observar (cuadro 9) que la cruce L6xL9 fue la que presentó valores más altos, con un valor de 8.76%, en comparación con las otras cruces, la heterosis vario desde -7.74% hasta 8.76%,

Las líneas L6 y L12 dieron cruces con valores altos de heterosis en diámetro del fruto (DP) tanto en su cruce directa como en la recíproca, con valores de 12.32% y 10.85% respectivamente. Sin embargo, la cruce L12xL9 fue la que obtuvo los valores más altos con 17.02% (cuadro 9), valores positivos es un buen indicativo de la compatibilidad e interacción deseable de los genes de las líneas (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016).

Respecto a la variable grosor de mesocarpio (GM) la heterosis vario desde 0.54% a 17.32% (cuadro 9), donde la cruce L12xL9 fue la que presentó el valor más alto, siendo una cruce recíproca. Para la variable número de lóculos se presentó una heterosis de -7.58% a 14.67%, donde la cruce L9xL12 fue la que obtuvo los valores más altos.

Para las variables relacionados con rendimiento (cuadro 9) como número de frutos por planta (NFP), kilogramos por planta (KG/P), rendimiento (REND), las cruza originadas de L12 y L9 fueron los que destacaron tanto en su cruza recíproca como directa, esta última presentó valores de 33.04% en NFP superando los valores reportados por Balbuena-Mascada *et al.* (2025), ya que reporta valores de 8.2 a 18.1% obtenidos en 15 híbridos de tomate de crecimiento indeterminado; se obtuvo una heterosis de 57.89% en kilogramo por planta (KG/P) y 58.40% en rendimiento (REND), la heterosis presente en los híbridos demuestra la divergencia genética entre las líneas, siendo la misma la principal causa de heterosis en tomate conjunto con una interacción favorable de alelos, lo que refleja una respuesta superior en las variables relacionadas al rendimiento (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016). La cruza L13xL6 destacó en PMF con 21.23% (cuadro 9), los resultados muestran una heterosis positiva lo que nos indica que estas líneas (L12 y L9) incrementan los valores de las variables mencionadas, lo cual concuerda con lo reportado por Marín-Montes *et al.* (2020).

En lo que se refiere a la variable número de semillas (NS) la cruza L13xL12 fue la que obtuvo los valores más altos en heterosis con 109.4% (cuadro 9), lo que nos indica que esta cruza genera gran cantidad de semillas en comparación con sus progenitores, en el segundo puesto esta la cruza L6xL12 con un valor de 99.7%, posteriormente la cruza L13xL9 con un valor de 95.2%. Por otro lado, la cruza 12xL13 presentaron los valores más bajos con 17.8%, estos resultados nos dan una idea de la selección de los progenitores femeninos es de suma importancia, ya que estas líneas (12 y L13) dieron origen a las cruza con más y menos valores de heterosis en esta variable.

Cuadro 9. Heterosis de variables de calidad del fruto y relacionadas al rendimiento líneas de tomate tipo determinado.

Cruzas	LF (mm)	DF (mm)	GM (mm)	NL	SST (°Brix)	NFP	KG/P (kg)	REND (ton ⁻¹)	PMF (kg)	NS
Cruzas directas										
L6xL9	8.76	7.18	8.48	1.71	-1.80	0.37	18.82	18.74	20.62	35.3
L6xL12	-3.57	12.32	14.06	1.17	-6.19	27.49	44.24	44.32	8.53	99.7
L6xL13	-2.20	7.53	2.81	-7.58	-3.87	3.81	9.45	9.19	2.98	65.9

L9xL12	6.20	8.96	9.42	14.67	-5.43	33.04	57.89	58.40	15.60	28.3
L9xL13	1.20	4.47	0.54	3.45	-1.56	8.67	21.02	21.10	8.32	55.1
L12xL13	-7.74	6.23	6.82	-5.88	-1.97	17.54	31.43	31.56	8.85	17.8
Cruzas recíprocas										
L9xL6	3.95	8.76	8.16	0.85	0.96	0.61	2.15	2.14	8.01	57.5
L12xL6	-0.70	10.85	9.79	-2.72	-3.03	13.75	18.50	18.73	10.30	91.2
L13xL6	0.24	7.95	2.18	-4.55	-2.60	-4.57	11.94	12.07	21.23	45.1
L12xL9	-4.73	17.02	17.32	3.11	-0.14	26.28	55.79	56.15	16.52	88
L13xL9	3.01	10.25	6.72	4.31	1.41	-2.34	17.83	18.02	15.75	95.2
L13xL12	-0.69	7.87	10.96	-1.18	7.11	19.38	21.27	21.24	2.17	109.4

LF= Longitud del fruto, DF= diámetro del fruto, GM= grosor del mesocarpio, NL=número de lóculos, SST= solidos solubles totales, NFP= número de frutos por planta, KG/P=kilogramos por planta, PMF= peso medio de frutos, NS= número de semillas

En relación con la variable de altura de planta la heterosis fluctuó entre -10.03% a 18.60% (cuadro 10), donde la cruce L6xL12 fue la que presentó los valores más altos, lo que significa que esta característica favorable de la línea L6 presentó dominancia sobre la línea L12 tal como lo señala Espinosa *et al.* (2010), sin embargo, estas líneas en conjunto dan plantas muy altas pues la cruce recíproca (L12xL6) obtuvo una heterosis de 8.09% siendo la segunda cruce con mayor heterosis en esta variable. En cuanto a diámetro de planta las cruces que destacaron fueron, L6xL13 con un valor de 9.76% y L12xL9 con un valor de 15.56, en longitud de hoja (LH) y ancho de hoja (AH) la cruce L6xL9 fue la que presentó los valores más altos con 9.15% y 20.10% respectivamente. En las variables de clorofila (CHL) y nitrógeno (N) la cruce recíproca L12xL9 sobresalió con un valor de 8.17% y 6.94% respectivamente, por lo tanto, estas líneas expresan mayor su potencial cuando se usan de forma recíproca. Para la variable temperatura (TEM) la cruce L6xL9 presentó los valores más altos con 2.31% (cuadro 10), en la variable solidos solubles totales en peciolo (SSTP), la cruce L13xL12 sobresalió con los valores más altos y positivos con un valor de 12.47%, cabe mencionar que todas las cruces directas obtuvieron valores negativos.

Para número de racimos (NR) la cruce L12xL9 destacó con 16.67% (cuadro 10) y finalmente para la variable flores por racimo (FPR) la cruce L6xL13 fue la que destacó

con valores de 20.67% y -3.88% el más bajo para la cruce L12xL13. los resultados se encuentran en el rango reportado por Martínez-Vázquez *et al.* (2016), quienes encontraron valores de heterosis en un rango de -21.1% y 31.3%.

Cuadro 10. Heterosis de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.

Cruzas	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	CHL (Spad)	N (mg/g)	TEM (°C)	SSTP (°Brix)	NR	FPR
Cruzas directas										
L6xL9	4.13	8.99	9.15	20.10	2.32	1.99	2.31	-0.32	14.55	8.57
L6xL12	18.6	4.99	1.62	8.10	1.00	-0.60	1.18	-2.38	-4.92	10.99
L6xL13	5.20	9.76	6.35	14.33	-8.18	-2.54	2.18	-13.6	-8.33	20.67
L9xL12	4.77	-11.7	2.60	-2.03	3.16	2.60	-1.21	-13.4	0.00	1.98
L9xL13	-5.46	-6.46	-3.8	2.70	-0.04	1.04	0.71	-10.6	3.77	2.11
L12xL13	-8.09	6.93	-5.4	-0.50	-4.07	-5.45	-1.32	-0.13	5.08	-3.88
Cruzas recíprocas										
L9xL6	3.70	3.12	8.47	7.06	-1.25	-1.08	2.16	6.25	7.27	17.71
L12xL6	8.09	3.02	2.67	14.86	-1.66	-1.39	2.99	-7.43	-3.28	13.09
L13xL6	-0.40	-1.44	-4.8	8.22	-4.53	3.15	-3.34	-0.40	-13.3	11.73
L12xL9	1.15	15.56	7.30	2.94	8.17	6.94	-0.93	-7.17	16.67	16.83
L13xL9	-10.0	-7.20	-6.9	-0.56	-7.66	-6.42	0.53	-1.26	5.66	13.68
L13xL12	5.42	-3.80	2.71	5.97	-0.33	-0.26	-2.15	12.47	0.00	-0.97

AP= altura de planta, DP= diámetro de planta, LH= longitud de hoja, AH= ancho de hoja, CHL= clorofila, N= nitrógeno, T=temperatura, SSTP, sólidos solubles totales en peciolo, NR= número de racimos por planta, FPR= flores por racimo.

Heterobeltiosis

La heterobeltiosis en el rendimiento de los híbridos F1 es considerado como una de las variables líderes en el mercado que define si el genotipo es superior a sus progenitores (Torgeman y Zamir, 2022). En longitud de fruto (LF) la cruce L6xL9 (cuadro 11) fue la única que presentó valores positivos en su cruce directa y recíproca con valores de 7.03% y 2.29%, respectivamente, lo que nos indica que las otras cruces y/o líneas no tienen buen

potencial genético para mejorar estas características específicas (Pandiarana *et al.*, 2015). En la variable de diámetro del fruto (DF) la heterobeltiosis varió entre -3.21% hasta 8.37%, donde la cruza L13xL9 (8.37%) siendo cruza recíproca fue la que sobresalió, estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por Balbuena-Mascada *et al.* (2025), ya que reportan heterobeltiosis desde -8.7% a 8.6% en jitomates de crecimiento indeterminado. Para grosor de mesocarpio (GM) la cruza L12xL9 fue la que destacó con un valor de 9.74%, para la variable número de lóculos (NL) el híbrido L9xL12 sobresalió con 4.03 % (cuadro 11), sin embargo, la heterobeltiosis negativa es importante para esta característica/variable, ya que mejora la cantidad de sólidos solubles (Pandiarana *et al.*, 2015), finalmente en la variable sólidos solubles totales (SST) la cruza L13xL12 con 6.22%, además fue la única que presentó valores positivos.

Para las variables relacionadas a rendimiento la cruza L9xL12 (cuadro 11) fue la que destacó con los valores más altos y positivos en variables como número de frutos por plantas (NFP), kilogramo por planta (KG/P) y rendimiento (REND), por lo tanto, este es el mejor híbrido para estos caracteres. En peso medio de fruto se alcanzó una heterosis de 19.11%, donde la cruza L13xL6 fue la que presentó este valor, siendo cruza recíproca. En la variable número de semillas (NS) los valores más altos los obtuvo la cruza L13xL9 con un valor de 82.1% (cuadro 11), lo cual nos indica que esta cruza supera al mejor progenitor en esta variable, los valores más bajos lo obtuvieron la cruza L12xL13 con un valor de -34%.

Cuadro 11. Heterobeltiosis de variables de calidad de fruto y relacionadas al rendimiento de líneas de tomate tipo determinado.

Cruzas	LF (mm)	DF (mm)	GM (mm)	NL	SST (°Brix)	NFP	KG/P (kg)	REND (ton ⁻¹)	PMF (kg)	NS
Cruzas directas										
L6xL9	7.03	1.10	3.11	-10.53	-4.56	-6.59	-4.08	-4.08	6.07	16.5
L6xL12	-19.66	-1.94	1.78	-2.26	-13.10	7.50	16.88	16.88	8.28	7.4
L6xL13	-15.06	-0.20	-1.82	-8.27	-10.25	-7.05	-4.53	-4.53	1.18	34.8
L9xL12	-12.65	0.34	2.35	4.03	-10.0	19.5	57.89	57.89	1.45	-29.1
L9xL13	-13.29	2.68	0.05	-8.40	-5.56	4.22	10.35	10.35	-6.19	44.7

L12xL13	-12.18	-0.59	-0.54	-8.40	-2.79	9.77	20.24	20.24	7.18	-34
Cruzas recíprocas										
L9xL6	2.29	2.58	2.81	-11.28	-1.87	-6.36	-17.49	-17.49	-5.02	35.6
L12xL6	-17.27	-3.21	-2.04	-6.02	-10.17	-4.09	-3.84	-3.84	10.0	2.8
L13xL6	-12.94	0.18	-2.42	-5.26	-9.07	-14.5	-2.02	-2.02	19.11	0.2
L12xL9	-21.64	7.76	9.74	-6.45	-4.96	13.4	55.65	55.65	2.25	3.8
L13xL9	-11.74	8.37	6.19	-7.63	-2.72	-6.33	7.55	7.55	0.24	82.1
L13xL12	-5.46	0.94	3.32	-3.82	6.22	11.49	10.80	10.80	0.61	17.4

LF= Longitud del fruto, DF= diámetro del fruto, GM= grosor del mesocarpio, NL=número de lóculos, SST= sólidos solubles totales, NFP= número de frutos por planta, KG/P=kilogramos por planta, PMF= peso medio de frutos, NS= número de semillas

Para las variables morfológicas se puede observar la misma tendencia que en heterosis, a continuación, se muestran los valores más altos y positivos para estas variables.

En altura de planta (AP) la heterobeltiosis fluctuó entre 4.06% y -15.9% (cuadro 12), donde la cruce L6xL12 presentó valores positivos (4.06%) y la cruce recíproca L13xL9 (-15.9 %) con los valores más bajos. Los valores negativos evidencian que no todas las combinaciones genéticas son útiles en la búsqueda de híbridos sobresalientes.

La cruce L6xL9 presentó valores altos y positivos para diámetro de la planta (DP), longitud de hoja (LH) y ancho de hoja (AH). También la cruce L12xL9 destacó en clorofila (CHL) y nitrógeno de la hoja (N), pero en cruces recíprocas. El híbrido L12xL6 sobresalió con un valor de heterobeltiosis de 0.32% (cuadro 12) en la variable temperatura (TEM). Estas cruces no solo superan al promedio de sus progenitores, sino que también refleja un efecto favorable de la combinación genética.

Para variables como sólidos solubles totales en peciolo (SSTP), número de racimos (NR) y flores por racimos (FPR), la cruces que destacaron con los valores más altos y positivos fueron: L13xL12 (11.50), L12xL9 (5.0), L6xL13 (11.3) y L13xL9 (11.3) respectivamente. Los valores de heterobeltiosis nos indican que líneas son excelentes para generar híbridos sobresalientes, lo cual nos ayuda a descartar genotipos con baja heterobeltiosis (León-Velazco *et al.*, 2009).

La identificación de cruzas con valores altos de heterobeltiosis positiva representa una herramienta esencial para dirigir de manera eficiente programas de mejoramiento, asegurando así el desarrollo de materiales con características superiores.

Cuadro 12. Heterobeltiosis de variables morfológicas y fisiológicas de líneas de tomate tipo determinado.

Cruzas	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	CHL (Spad)	N (mg/)	TEM (°C)	SSTP (°Brix)	NR	FPR
Cruzas directas										
L6xL9	-5.61	8.92	2.35	17.12	-1.43	-1.19	-0.05	-4.42	1.61	2.15
L6xL12	4.06	-1.14	-11.4	-0.38	-3.69	-4.57	-1.44	-6.46	-6.45	-2.75
L6xL13	1.87	1.38	-4.08	14.07	-8.78	-3.11	-0.80	-16.	-11.2	11.3
L9xL12	1.03	-16.89	-5.11	-11.7	2.08	1.64	-1.50	-20.3	-10.0	-5.50
L9xL13	-11.7	-13.55	-7.75	0.38	-3.09	-1.55	0.06	-17.1	-5.17	0.00
L12xL13	-17.0	4.76	-8.94	-8.49	-7.95	-8.71	-1.66	-0.99	3.33	-9.17
Cruzas recíprocas										
L9xL6	-6.00	3.05	1.71	4.41	-4.87	-4.16	-0.20	1.89	-4.84	10.7
L12xL6	-5.16	-2.99	-10.4	5.84	-6.23	-5.32	0.32	-11.3	-4.84	-0.92
L13xL6	-3.55	-8.96	-3.22	7.98	-5.15	-4.41	0.14	-6.61	-16.1	3.09
L12xL9	-2.46	8.89	-12.0	-7.29	7.03	5.94	-1.23	-14.5	5.00	8.26
L13xL9	-15.9	-14.2	-10.7	-2.81	-10.4	-8.82	-0.12	-8.38	-3.45	11.3
L13xL12	-4.82	-5.75	-1.13	-2.55	-4.36	-3.71	-2.49	11.50	-1.67	-6.42

AP= altura de planta, DP= diámetro de planta, LH= longitud de hoja, AH= ancho de hoja, CHL= clorofila, N= nitrógeno, T=temperatura, SSTP, solidos solubles totales en peciolo, NR= número de racimos por planta, FPR= flores por racimo

CONCLUSIÓN

Las líneas estudiadas presentaron diferentes efectos de aptitud combinatoria general, lo cual permitió identificar las mejores líneas para mejorar características específicas, por ejemplo; L6 para diámetro del fruto, grosor del mesocarpio, número de lóculos, solidos solubles totales, diámetro de planta, altura de planta, y los más importantes como: número de frutos por planta, kilogramos por planta y rendimiento. L13 para peso medio de frutos,

L12 para largo y ancho de hoja, número de racimos, número de flores por racimo. Por lo anterior, la mejor línea es la L6 y puede ser aprovechada en un programa de mejoramiento genético para tomates tipo determinado principalmente para mejorar componentes de rendimiento y a su vez aprovechar los efectos aditivos de esta línea, cabe señalar que esta línea tiene buenos efectos maternos, lo cual la hace buen progenitor femenino y así aprovechar sus características.

Se observó que los progenitores con alta ACG en componentes de rendimiento, especialmente la línea L6, estuvieron involucrados en cruza destacadas, entre ellas L6×L12. La cruza directa con mayor ACE en las variables relacionadas al rendimiento (NFP, KG/P y REND) fue L9×L12 y la cruza recíproca con los valores más altos fue L12×L6.

Las mismas cruza mencionadas anteriormente obtuvieron los valores más altos en heterosis en variables relacionadas al rendimiento, la cruza L9×L12 sobresalió en número de lóculos, número de frutos por planta, kilogramos por planta, rendimiento, la cruza L12×L9 destacó en diámetro del fruto y grosor del mesocarpio.

En cuanto a la heterobeltiosis de igual forma la cruza L9×L12 destacó en variables relacionadas al rendimiento (NFP, KG/P, REND y NL).

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. M. A., Castillo, G. M. A., Andrade, R. M., Núñez, V. M. E., Perdomo, R. F. y Suárez, R. R. (2020). Aptitud combinatoria y potencial agronómico de líneas de maíz con diferente nivel de endogamia. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6:1-12. <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061023>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7–20.

- Alvarado, Y., Mendoza, R., Sandoval, A., & Juárez, A. (2016). Comparación de diferentes sistemas de producción sobre crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de fresa Cv. San Andreas. *Naturales y Agropecuarias*, 3(9), 26-35.
- Andrío-Enríquez, E., Cervantes-Ortiz, F., Rivera-Reyes, J. G., Guevara-Acevedo, L. P., Rodríguez-Herrera, S. A., Rodríguez- Perez, G., Rangel-Lucio, J. A. y Mendoza-Elos, M. (2015). Aptitud combinatoria y efectos maternos en razas de maíz mexicanas por el modelo I de Griffing. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 31(1), 5-14.
- Arévalo-Madrigal, M. (2018). Efecto de podas tempranas en tomate (*Solanum lycopersicum*) var. ramses para la formación de plantas con dos tallos. *Agro Productividad*, 11(10). <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i10.1245>
- Balbuena-Mascada, S., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Rodríguez-Guzmán, E. y Cruz-Izquierdo, S. (2025). Análisis dialélico de líneas de tomates de hábito de crecimiento indeterminado para rendimiento y calidad de fruto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 48(1), 33-33. <https://doi.org/10.35196/rfm.2025.1.33>
- Bravo, E. (2017). La concentración corporativa en la industria de semillas hortícolas. *Ecología política latinoamericana*, 2, 385-401.
- Cabrera, F. A. V. (2016). *Mejoramiento genético de plantas: Segunda Edición*. Universidad Nacional de Colombia.
- Camadro, E. L. (2000). *Mejoramiento genético de hortalizas*. Buenos aires, Argentina
- Camarena F, Chura J, Blas R. *Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas*. Perú: Colección Agrosaber del Banco Agropecuario; 2014
- Camposeco-Montejo, N., Robledo-Torres, V., & Flores-Naveda, A. (2020). Estimación de heterosis y heterobeltiosis en híbridos interpoblacionales de tomate de cáscara (*Physalis Ixocarpa* Brot.). *Revista Tecnología En Marcha*, 33(2), Pág. 91–101. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i3.630>
- Cervantes-Ortiz, F., Hernández-Esparza, J., García-Rodríguez, J. G., Rangel-Lucio, J. A., Andrío-Enríquez, E., Mendoza-Elos, M. y Rodríguez-Mercado, D. (2018). Aptitud combinatoria general y específica de caracteres agronómicos en líneas de maíz (*Zea mays* L.) de baja

- endogamia. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(1), 33-42.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000204>
- Chaudhary, P. L., Kumar, B., & Kumar, R. (2023). Analysis of heterosis and heterobeltiosis for earliness, yield and its contributing traits in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *International Journal of Plant and Soil Science*, 35(11), 84-98.
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255-271. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21904>
- Chaves, J. P. (2021). Biotecnología vegetal: mejoramiento de cultivos ante el cambio climático. *Investiga. TEC*, 14(42), 3-5.
- Chemonics, I. (2008). Programa de diversificación hortícola proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado agrícola. Manual del cultivo de tomate, 1(1), 1-32.
- Chuquiya, J. C., Pando, G. G. y Panizo, R. S. (2021). Aptitud combinatoria de la variedad de maíz (*Zea Mays* L.) Amiláceo PMD-638. In *Anales Científicos* (Vol. 82, No. 2, pp. 180-187). <https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1762>
- Cih-Dzul, I. R., Jaramillo-Villanueva, J. L., Tornero-Campante, M. A., & Schwentesius-Rindermann, R. (2011). Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill.) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 501-512
- Contreras-Medina, L. M., & Melo-Sabogal, D. V. (2022). ¿Cómo afecta la escasez de agua a la producción de tus alimentos y qué estrategias agrícolas se han implementado para reducir su impacto? (p. 20-28).
- Contreras, S. (2002). The international seed industry. In *Proceedings International Seed Seminar: Trade, Production and Technology*. Edts. M. McDonald and S. Contreras. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Vegetales (pp. 1-9).
- Dávila, M.G., Angulo-Vivas, I., y Ortiz-Bocanegra, M.A. (2020). Mejoramiento genético en plantas alógamas y autógamias. Universidad nacional de Colombia - sede Palmeira

- De la Cruz-Lázaro, E., Castañón-Najera, G., Brito-Manzano, N. P., Gómez-Vázquez, A., Robledo-Torres, V. y Lozano del Río, A. J. (2010). Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton (Buenos Aires)*, 79(1), 11-17.
- Délices, G. L., Ovalle, O. R., Mota-Vargas, C., Núñez, P. R., Gámez, P. R., Meza, P. A., & Serna-Lagunes, R. (2019). Biogeografía del tomate *Solanum lycopersicum var. cerasiforme (Solanaceae)* en su centro de origen (sur de América) y de domesticación (México). *Revista de Biología Tropical*, 67 (4), 1023-1036. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33754>
- De Matos, R. Vilela, R. J. T., Zeist, A. R., Corte, D. E. L., Da-Silva, P. R. and Zeffa, D. M. (2021) Performance of the double-cross tomato hybrids from a partial diallel. *Ciência e Agrotecnologia*. 45, e027320.
- Díaz-Juárez, R. D. L. C., Castillo-González, F., Santacruz-Varela, A., Gómez-Montiel, N. O., García-Zavala, J. J. y Muñoz-Orozco, A. (2023). Aptitud combinatoria de variedades y heterosis de cruas intervarietales divergentes de maíz de grano amarillo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(3). <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3790>
- Ek-Maas, J. N., López-Benítez, A., Espinoza-Velázquez, J., & Borrego-Escalante, F. (2017). Efectos genéticos en cruas de variedades de tomate y su reacción a *Fusarium*. *Agraria*, 14(2), 59-69.
- Escobar, H. y Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 180 p.
- Espinosa, T.E., Mendoza, C. M. C., Castillo, G. F., Ortiz, C. J. Delgado, A.A. (2010). Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. *Revista fitotecnia mexicana*. Vol. 33 (1): 11 – 19. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.1.11>
- Esquivel, E. G., Castillo, G. F., Hernández, C.J. M., Santacruz, V.A., García de los S.G., Acosta, G.J.A., & Ramírez, H. A. (2009). Aptitud combinatoria y heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 311-318. <https://doi.org/10.35196/rfm.2009.4.311>

- Essa, B. A. and Alwan, O. K. (2024). Impact evaluation combining ability of tomato hybrids and lines for production and fruit quality traits. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 57558. <https://dx.doi.org/10.15517/am.2024.57558>
- Eyhérabide, G. H. (2012). Mejoramiento genético de Maíz. Bases para el manejo del cultivo de maíz, 57-77.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2022). Cinco formas en las que el cambio climático intensifica las amenazas para la salud de las plantas. Consulta: mayo, 2025. Disponible en: <https://www.fao.org/newsroom/story/Five-ways-climate-change-is-intensifying-the-threats-to-plant-health/es>.
- FAOSTAT. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Consulta: marzo, 2025. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- Florido-Bacallao, M., Martínez-Zubiau, Y., Cruz-Gutiérrez, E, Hernández, J. G. C. & Álvarez-Gil, M. (2021). ‘Yessi’ nuevo cultivar de tomate resistente a begomovirus. *Cultivos Tropicales*, 42(2).
- Flores, F. G., Vega, F. K., Aguirre, L. R. y Valencia A. S. (2016). Hibridación y poliploidía en plantas <https://new.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/121/pdf/120A06.pdf>
- Fornaris, G. J. (2007). Características de la planta. Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate. Estación experimental agrícola. Universidad de Puerto Rico
- Gayosso, B. O. (2015). Potencial genético en tomate para rendimiento y resistencia a *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* (Fol) (SACC.) SNYDER Y HANSEN. Tesis maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 84 p.
- García, M. V. M., Chura, C. J. y Torres, J. (2020). Aptitud combinatoria y heterosis para el rendimiento, precocidad y altura en genotipos de maíz amarillo. *Rev. Fac. Agron.* 37(4):410-429.
- Gaviola, J. C. (2020). Producción de semillas hortícolas. Buenos Aires: Ediciones INTA.

- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9(4):463-493. <https://doi.org/10.1071/BI9560463>
- Guille, P. V. M., Sarmiento, A., Martínez – Herrera, O. E. (2024). Características y comparación de los sistemas de producción de plantas en campo, invernaderos y recintos cerrados con iluminación artificial y ambiente controlado. *Prisma Tecnológico*, 15(1), 3-9.
- Gómez, D. J. D., Flores, V. R., & Monterroso, R. A. I. (2020). Aptitud actual bajo escenarios de cambio climático para tres cultivos en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(4), 777-788.
- González-Pérez, E., Meraz, M. R., Ku, J. C., López, R. F., & Valdez, L. M. M. (2021). Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (25), 1-13. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2802>
- Guzmán, A., Corradini, F., Martínez, J. P., & Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate al aire libre. Disponible en: <https://sacaba.gob.bo/images/wsacaba/pdf/libros/agronomia/Manual-Tomate-Aire-Libre.pdf>
- Hernández, A.E. y De León, C.H. (2021). Comportamiento genético para componentes de rendimiento en una población de maíz enano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (26), 131-144. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2943>
- Hernández, M. R. (2013). Selección de genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con base en parámetros genéticos para rendimiento y resistencia a *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Fol) (Sacc.) Snyder y Hansen. Tesis maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Hernández, M. R., López B, A., Espinoza, V. J., Sánchez, A. D., Reyes, M. C. A., Alejandro, R. G. J., & Gordillo, M. F. A. (2016). Potencial genético y heterosis para rendimiento en líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 349-362.

- Hernández, P.J.L. (2019). Desarrollo tecnológico e integración comercial de los productores agrícolas de la Costa de Hermosillo en la globalización. *Región y sociedad*, 31, e1006. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1006>
- Hernández-Pérez, M., López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., López-Betancourt, S. R., & Ramírez-Meraz, M. (2011). Análisis dialéctico del rendimiento de Chile por el Método IV de Griffing. *Agronomía Mesoamericana*, 22 (1), 37-43.
- INTAGRI, Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. (2018). El Cultivo de Tomate. Serie Hortalizas. Núm. 14. Artículos Técnicos de INTAGRI. México.
- Inzunza-Ibarra, M.A., Catalán-Valencia, E.A., Villa-Castorena, M., López-López, R., & Sifuentes-Ibarra, E. (2017). Respuesta del tomate a tipos de acolchado plástico y niveles de riego con cinta. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 9-16. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.1.9-16>
- Kumar, S. S., Jha, R., Padaey, S., Mohan, C., Ghosh, S., Singh, S. K., ... & Singh, A. (2025). Artificial intelligence-based tools for next-generation seed quality analysis. *Crop Design*, 100094.
- León-Velasco, H., Mendoza-Onofre, L. E., Castillo-González, F., Cervantes-Santana, T., & Martínez-Garza, Á. (2009). Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis. *Agrociencia*, 43(6), 609-623.
- López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., Zamora-Villa, V. M. y Guerra-Zitlalapa, L. (2012). Estimación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agraria*, 9(3), 87-94. <https://doi.org/10.59741/agraria.v9i3.494>
- López, E., Gabriel, J., Angulo, A., Magne, J., La Torre, J., & Crespo, M. (2015). Herencia y Relación Genética Asociados al Rendimiento, Madurez en Híbridos de Tomate (*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)). *Agronomía Costarricense*, 39(1), 107-119.
- López-López, C., Tadeo-Robledo, M., García-Zavala, J. J., Espinosa-Calderón, A. y Mejía-Contreras, J. A. (2021). Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales

- de maíz amarillo de baja endogamia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(4), 699-711. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2786>
- López, M.L. 2017. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica. 127 p. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>. (Abril, 2025).
- Marín-Montes, I. M., Lobato-Ortiz, R., Carrillo-Castañeda, G., Rodríguez-Pérez, J. E., García-Zavala, J. J., Hernández-Rodríguez, M. y Velasco, G. Á.M. (2020). Parámetros genéticos de un cruce interespecífico entre *S. lycopersicum* L. y *S. habrochaites* Knapp & Spooner. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.01.003>
- Martínez-Díaz, F. S., García-Zavala, J. J., Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Lobato-Ortiz, R., y Ambrosio-Gil, E. (2025). Aptitud combinatoria general y específica de maíz palomero para los Valles Altos de México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 16(1), e3064. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3064>
- Martínez-Vázquez, E. A., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., & Reyes-López, D. (2016). Heterosis de cruces entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo mexicano tipo pimiento y líneas tipo saladette. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(1), 67-77. Recuperado en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000100011&lng=es&tlng=es.
- Martínez-Solís, J., Peña-Lomelí, A., Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., y Peña-Ortega, M. G. (2013). Heterosis intevarietal en jitomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(4), 5-21 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027152X2013000400001&lng=es&tlng=es.
- Martínez, V. E. A. (2014). Aptitud combinatoria de líneas de jitomate nativo tipo pimiento de Puebla y Oaxaca. Colegio de postgraduados. Tesis maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. México. 126 p.
- Mejía-Betancourt, F. Á., Sánchez, C. F., Moreno-Pérez, E. C., & González-Molina, L. (2023). Esquejes enraizados, una alternativa para la producción de jitomate bajo invernadero en

- ciclos cortos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(3), 389-399.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3038>
- Mendoza-de Jesús, V., Sahagún-Castellanos, J., Rodríguez-Pérez, J. E., Legaria-Solano, J. P., Peña-Lomelí, A. and Pérez-Grajales, M. (2010). Intervarietal heterosis in indeterminate saladette tomato. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(1), 57-66.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60929310001>
- Montaño, M. I. E., Valenzuela, P. I. N., & Villavicencio, L. K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(7), 1185-1197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>
- Núñez-Terrones, E., Mendoza-Castillo, M., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., y Sánchez-Ramírez, F. J. (2019). Análisis genético de componentes nutricionales en cruza simples de maíz de grano blanco. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 163-172.
- Olabisi O. and Nofiu A. (2022). Principles for the Production of Tomatoes in the Greenhouse. In *Tomato-From Cultivation to Processing Technology*.
- Onyeneke, R. U., Agyarko, F. F., Onyeneke, C. J., Osuji, E. E., Ibeneme, P. A. y Esfahani, I. J. (2023). ¿Cómo afecta el cambio climático a la producción de tomate y okra? Pruebas de Nigeria. *Plantas*, 12 (19), 3477. <https://doi.org/10.3390/plants12193477>
- Palomo, I., Moore-Carrasco, R., Carrasco, G., Villalobos, P., & Guzmán, L. (2010). El consumo de tomates previene el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Idesia (Arica)*, 28(3), 121-129.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000300016>.
- Pandiarana, N., Chattopadhyay, A., Seth, T., Shende, V. D., Dutta, S., & Hazra, P. (2015). Heterobeltiosis, potence ratio and genetic control of processing quality and disease severity traits in tomato. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 43(4), 282-293.
- Pech, M. A. M., Castañón, N. G., Tun, S. J. M., Mendoza, E. M., Mijangos, C. J. O., Pérez, G. A. & Latournerie, M. L. (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 33(4), 353-360.

- Pedro, J., Blas, W., Reyes, D., Rodríguez, L., Rosales, S., Ruíz, J., Salas, F., Sánchez, M., Vásquez, L., Varas, J., Ventura, E., Villena, W., & Yabar, Y. (2021). Mejoramiento genético en plantas autóгамas. *REBIOL*, 41(1):136-153
- Picón-Rico, R., Preciado-Ortiz, R. E., Cervantes-Ortiz, F., Covarrubias-Prieto, J., & Ibarra, A. T. (2018). Efectos genéticos en líneas doble haploides de maíz de grano amarillo y alto contenido de aceite. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(3), 301-310.
- PROFECO. Procuraduría Federal del Consumidor. (2020). Jitomate, versátil y nutritivo. Consulta: agosto, 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/jitomate-versatil-y-nutritivo?state=published>.
- Ribeiro, A., Katz, I., De Pádua, A. & Martinez, R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *IDESIA*, 33(2), 97-105. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292015000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rodríguez-Pérez, G., García-Ramírez, A., Cervantes-Ortiz, F. y Enríquez, E. A. (2023). Componentes genéticos bajo el diseño Carolina del Norte II en maíz (*Zea mays* L.) en el sur de Sonora, México. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 39(1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaa39-1cgge40001>
- Rodríguez, P. G., Treviño Ramírez, J. E., Ojeda Zacarias, M. D. C., Cervantes Ortiz, F., Avila Perches, M. A., y Gámez Vázquez, A. J. (2020). Parámetros genéticos y aptitud combinatoria de líneas de maíz para grano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1867-1878. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2085>
- Rodríguez-Pérez, G., Zavala-García, F., Treviño-Ramírez, J. E., Ojeda-Zacarias, C., Mendoza-Elos, M., Cervantes-Ortiz, F., y Torres-Flores, J. L. (2019). Estimación de componentes genéticos en líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 53(2), 245-258. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1782/1779>
- Rodríguez-Pérez, G., Zavala-García, F., Treviño-Ramírez, J. E., Ojeda-Zacarias, C., Mendoza-Elos, M., Rodríguez Herrera, SA, & Cervantes Ortiz, F. (2016). Aptitud combinatoria y heterosis entre líneas de dos tipos de maíz para grano. *Interciencia*, 41 (1), 47-54.

- Saavedra, G., Jana, C. y Kehr, E. (2019). Hortalizas para procesamiento agroindustrial. Temuco, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín N° 411. pp 7-15.
- SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). Excelente para el corazón, el jitomate. Consulta: septiembre, 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/excelente-para-el-corazon-el-jitomate>.
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. Consulta: marzo, 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es>.
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Maximizando el Potencial Agrícola: Cultivos en Invernadero. Consulta: septiembre, 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maximizando-el-potencial-agricola-cultivos-en-invernadero>.
- Safiuddin, B. M., Nahidul, I., Kumer, N., Hasan, T. M., Al, N. M. A., & Mohi-Ud-Din, M. (2024). Postharvest physicochemical and nutritional properties of Tomato fruit at different maturity stages affected by physical impact. *Applied Food Research*, 4(2), 100636.
- SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Consulta: septiembre, 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- Sánchez, A. D., Borrego, E. F., Zamora, V. V. M., Murillo, S. M. M., Benavides, M. A., y Robledo, T. V. (2010). Efectos genéticos y heterosis de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en campo e invernadero para rendimiento y calidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(4), 455-467
- Sánchez-Ramírez, F. J., Mendoza-Castillo, M., Castillo-González, F., Cruz-Izquierdo, S., & Castro-Nava, S. (2017). Aptitud combinatoria de líneas endogámicas para la producción de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de cruza simple en condiciones de riego. *Agrociencia*, 51(4), 393-407.

- Sandoval, C. M. G. (2018). Rendimiento y calidad de fruto en tomates nativos mexicanos (*Solanum lycopersicum* L.) y análisis de expresión génica en la síntesis de carotenoides. Tesis maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 96 pág.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consulta: marzo, 2025. Disponible es: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consulta: septiembre, 2025. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SINASEM, Sistema Nacional de Semillas. (2021). Política nacional de semillas. Consulta: julio, 2025. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/652647/Politica_Nacional_de_Semillas_Interactiva.pdf
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2018). Publica el CONACYT: Hibridación de echeverias en la UNAM. Consulta: 28 de octubre del 2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics/prensa/publica-el-conacyt-hibridacion-de-echeverias-en-la-unam?idiom=es#:~:text=La%20hibridaci%C3%B3n%20de%20plantas%20es,combine%20caracter%C3%ADsticas%20de%20sus%20parentales.>
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección, Certificación y Comercio de semillas. (2023). Normatividad para la calificación de semillas. Consulta: agosto, 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/normatividad-para-la-calificacion-de-semillas>
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección, Certificación y Comercio De Semillas. (2020). Política nacional de semillas. Consulta: agosto, 2025. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/652647/Politica_Nacional_de_Semillas_Interactiva.pdf

- Solleiro, R.J.L., Castañón I. R., Torres, Á.A., Guillén V.A.D., Hernández C.S.B., Mejía, C. A. O. (2022). Impactos y beneficios derivados del mejoramiento vegetal en México. Primera edición.
- Sprague, G. F., and A. Tatum L. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-32
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Tuxtla-Andrade, M.D.R.M., Magaña-Lira, N., Peña-Lomelí, A., Lozoya-Saldaña, H., Leyva-Mir, S.G., y Peña-Ortega, M.G. (2022). Compatibilidad de cruza entre poblaciones silvestres tolerantes a virus y cultivadas de tomate de cáscara. *Revista fitotecnia mexicana*, 45(1), 43-53. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.43>
- Torgemam, S. y Zamir, D. (2022). Epistatic QTLs for yield heterosis in tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(14), e2205787119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2205787119>
- Ubias-Serafin, E., Raya-Pérez, J. C., Aguirre-Mancilla, C. L., Gámez-Vázquez, A. J., Frías-Pizano, J., y Covarrubias-Prieto, J. (2024). Aptitud combinatoria en líneas de maíz derivadas del quinto ciclo de selección masal estratificada. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(4-A), 451-451. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.4a.451>
- Vallejo, C. F. A. y Estrada, S. E. I. (2002). Mejoramiento genético de plantas. Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira. 402 p
- Velázquez, J. F., & Bustamante, W. O. Consideraciones agronómicas para el diseño de invernaderos típicos de México. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/libro-invernaderos-de-mexico.pdf
- Zhang, X., Yu, H., Yan, J. y Meng, X. (2025). Estudio sobre la detección del contenido de clorofila en hojas de tomate basado en imágenes RGB. *Horticulturae*. 11 (6), 593. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060593>
- Zhang, Y., Kang, M. S., and Lamkey, K. R. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. J.* 97:1097- 1106.

