

EVALUACIÓN DE PROGENIES DE JITOMATE Y SUS PROGENITORES NATIVOS PROVENIENTES DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO

Jaime Canul-Ku, Enrique González-Pérez, Edwin Javier Barrios-Gómez, José Luis Anaya-López, Eleodoro Hernández-Meneses y Sandra Eloísa Rangel-Estrada

RESUMEN

El centro y sur de México alberga germoplasma nativo de jitomate con una diversidad genética útil para el mejoramiento. Ante la escasez de materiales mejorados de origen mexicano, en el programa de hortalizas del INIFAP se ha implementado la mejora genética de esta especie a partir de germoplasma nativo. Con el objetivo de identificar germoplasma con potencial para el mejoramiento, se evaluó el comportamiento agronómico de progenitores e híbridos de jitomates nativos del centro y sur de México bajo las condiciones agroclimáticas de Zacatepec, Morelos. En cuatro progenitores nativos (P1: parental masculino; P2-P4: parentales femeninos) y tres híbridos F_1 , bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, se evaluaron caracteres de rendimiento y sus componentes. El diámetro de tallo, número de frutos por racimo, diámetro polar y ecuatorial en dos frutos por planta del

primer (R1) y segundo racimo (R2), y rendimiento por planta (frutos en ambos racimos). Se realizaron análisis de varianza, comparación de medias, de conglomerados y estimación de heterosis. Se observaron diferencias significativas entre genotipos. En rendimiento y número de frutos, las progenies P2XP1 y P3XP1 fueron sobresalientes; P4XP1 en diámetro de tallo; mientras que el progenitor P1 destacó en número de frutos, y los progenitores P2 y P3 en tamaño de fruto. La heterosis fluctuó de -78,68% a 141,71%, y fue positiva para rendimiento y número de frutos, pero negativa para el tamaño de fruto. Los híbridos F_1 mostraron respuesta intermedia en tamaño de fruto y rendimiento, respecto a los progenitores. La variabilidad identificada en el germoplasma nativo puede ser útil para establecer un esquema de cruzamientos enfocados a acrecentar el rendimiento y caracteres agronómicos.

Introducción

La tendencia actual en el mundo es el consumo de

alimentos sanos, nutritivos y orgánicos. El objetivo es lograr una sociedad saludable y libre de padecimientos crónicos como

la diabetes, hipertensión, obesidad y cáncer (Campestrini *et al.*, 2019). Además, es fundamental garantizar la seguridad

alimentaria para una población con crecimiento exponencial (Egea *et al.*, 2022), y se estima que, en 2050, la población

PALABRAS CLAVE / Cruza / Hibridación / Mejora por Heterosis / Recurso Genético / Rendimiento /

Recibido: 09/05/2024. Modificado: 16/12/2024. Aceptado: 18/12/2024.

Jaime Canul-Ku (Autor de correspondencia). Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México. Maestro y Doctor en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Titular del Programa de Hortalizas, Campo Experimental Zacatepec, CIRPAS, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México. Dirección: Km 0.5 Carretera Zacatepec Galeana, Col. Centro, Zacatepec, Morelos, México. C.P. 62780. e-mail. canul.jaime@inifap.gob.mx.

Enrique González-Pérez. Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29, Tlaxcala, México. Maestro y Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Titular, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.
Edwin Javier Barrios-Gómez. Doctor en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Titular del Programa de Arroz y Bioenergía, Campo Experimental

Zacatepec, CIRPAS, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.
José Luis Anaya-López. Doctor en Ciencias en Biotecnología Molecular Agropecuaria, Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Investigador Titular, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

Eleodoro Hernández-Meneses. Doctor en Fisiología Vegetal, Colegio de Postgraduados, México. Profesor-Investigador Titular del Tecnológico Nacional de México, Campus Región Sierra, Tabasco, México.
Sandra Eloísa Rangel-Estrada. Doctora en Fisiología Vegetal, Colegio de Postgraduados, México. Investigadora Titular del Programa de Plantas Ornamentales, Campo Experimental Zacatepec, CIRPAS, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

EVALUATION OF TOMATO PROGENIES AND THEIR NATIVE PROGENITORS FROM CENTRAL AND SOUTHERN MEXICO

Jaime Canul-Ku, Enrique González-Pérez, Edwin Javier Barrios-Gómez, José Luis Anaya-López, Eleodoro Hernández-Meneses and Sandra Eloísa Rangel-Estrada

SUMMARY

Central and southern Mexico is home to native tomato germplasm with genetic diversity useful for breeding. Given the scarcity of improved materials of Mexican origin, the INIFAP vegetable program has implemented genetic improvement of this species using native germplasm. With the aim of identifying germplasm with potential for improvement, the agronomic behavior of parents and hybrids of tomatoes native to central and southern Mexico was evaluated under the agroclimatic conditions of Zacatepec, Morelos. The performance traits and their components were evaluated in four native parents (P1: male parent; P2-P4: female parents) and three F_1 hybrids, under a completely randomized experimental design with three repetitions. Stem diameter, number of fruits per cluster, polar and equatorial diameters in two fruits per plant from the

first (R1) and second clusters (R2), and yield per plant (fruits in both clusters) were measured. Analysis of variance, mean comparisons, cluster analysis, and heterosis estimation were performed. Significant differences between genotypes were observed. In yield and number of fruits, the $P2 \times P1$ and $P3 \times P1$ progenies were outstanding; $P4 \times P1$ in stem diameter; while the parent P1 stood out in number of fruits, and the parents P2 and P3 in fruit size. Heterosis ranged from -78.68% to 141.71%, and was positive for yield and number of fruits, but negative for fruit size. The F_1 hybrids showed an intermediate response in fruit size and yield compared to the parents. The variability identified in the native germplasm can be useful in establishing a crossbreeding scheme focused on increasing yield and agronomic traits.

AVALIAÇÃO DE PROGENIES DE JITOMATE E SEUS PROGENITORES NATIVOS PROVENIENTES DO CENTRO E SUL DO MÉXICO

Jaime Canul-Ku, Enrique González-Pérez, Edwin Javier Barrios-Gómez, José Luis Anaya-López, Eleodoro Hernández-Meneses e Sandra Eloísa Rangel-Estrada

RESUMO

O centro e o sul do México abrigam germoplasma nativo de tomate com diversidade genética útil para o melhoramento. Dada a escassez de materiais melhorados de origem mexicana, o programa de hortaliças do INIFAP implementou o melhoramento genético dessa espécie a partir de germoplasma nativo. Com o objetivo de identificar germoplasma com potencial para o melhoramento, foi avaliado o comportamento agrônomo de progenitores e híbridos de tomates nativos do centro e sul do México, sob as condições agroclimáticas de Zacatepec, Morelos. Foram avaliados caracteres de desempenho e seus componentes em quatro progenitores nativos (P1: parental masculino; P2-P4: parentais femininos) e três híbridos F_1 , sob um delineamento experimental completamente aleatório com três repetições. Diâmetro do caule, número de frutos por cacho, diâmetro polar e equatorial em dois frutos por planta do primeiro (R1) e

segundo cacho (R2), e rendimento por planta (frutos em ambos os cachos) foram medidos. Foram realizadas análise de variância, comparação de médias, análise de agrupamentos e estimativa de heterose. Foram observadas diferenças significativas entre genótipos. Em rendimento e número de frutos, as progenies $P2 \times P1$ e $P3 \times P1$ se destacaram; $P4 \times P1$ no diâmetro do caule; enquanto o progenitor P1 se destacou no número de frutos, e os progenitores P2 e P3 no tamanho do fruto. A heterose variou de -78,68% a 141,71%, sendo positiva para rendimento e número de frutos, mas negativa para o tamanho do fruto. Os híbridos F_1 mostraram resposta intermediária no tamanho do fruto e no rendimento, em comparação com os progenitores. A variabilidade identificada no germoplasma nativo pode ser útil para estabelecer um esquema de cruzamentos focado no aumento do rendimento e de caracteres agrônômicos.

mundial alcanzará varios miles de millones.

La superficie cultivada a nivel mundial se ha estancado e incluso ha sufrido una reducción debido a la escasez de agua, al incremento de la temperatura (Gonzalo *et al.*, 2022), al desgaste nutricional de los suelos (Rajendran *et al.*, 2022), la pérdida de biodiversidad y la presencia de enfermedades más dañinas y crónicas, así como la resistencia de plagas y enfermedades (Hassan *et al.*,

2022). Ante esta condición, una de las estrategias será generar nuevas variedades de alto rendimiento, con alto contenido nutricional y características fenotípicas y genéticas que respondan a esta situación.

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una especie cultivada en gran parte del mundo (Chaudhary *et al.*, 2019). Es la segunda hortaliza de mayor importancia económica después de la papa. Se considera una excelente fuente

de licopeno, vitamina A, vitamina C, fibras, azúcares y minerales (Choi *et al.*, 2014).

En México, existe un grupo numeroso de poblaciones nativas y ecotipos de jitomate cultivados por pequeños agricultores en sistemas agrícolas tradicionales, para el mercado local y autoconsumo (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2019). Durante largos periodos, este germoplasma ha estado en manos de estos agricultores, por lo que su evolución ha sido en

condiciones restrictivas de suelo y temperatura, aunado a los altos costos de insumos empleados en su cultivo. Este germoplasma posee genes valiosos para la mejora genética de la especie y contiene alelos de resistencia a factores bióticos y abióticos. Los jitomates tipo cereza, arriñonados, entre otros, poseen amplia variación representada en las distintas formas, sabores y propiedades nutricionales (Magallanes-López *et al.*, 2020; Pérez-Díaz

et al., 2020; Valencia-Juárez *et al.*, 2024). Diversos estudios de diversidad genética y caracterización de germoplasma nativo han reportado la existencia de accesiones con genes valiosos que son factibles de incorporarse a los programas de mejoramiento genético (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016; Salgado-Meraz *et al.*, 2018).

Para realizar el mejoramiento genético de cualquier especie vegetal es fundamental partir de una amplia variación genética, así como identificar sus atributos fenotípicos y genéticos, y conocer los métodos de mejora genética más apropiados a la especie de interés. México, como centro de domesticación (Blanca *et al.*, 2022) y diversificación del jitomate (Canul-Ku *et al.*, 2022; Valencia-Juárez *et al.*, 2024), posee germoplasma valioso para emprender este proceso. La recombinación genética mediante el cruzamiento de jitomate nativo es una opción para ampliar la variación genética, incorporar características de interés e incrementar la tolerancia a plagas y enfermedades, entre otros atributos que se pueden incorporar en el aspecto de calidad (Valencia-Juárez *et al.*, 2024).

En México, la producción de semilla híbrida de jitomate es realizada por empresas extranjeras. El apoyo intermitente por parte del gobierno para financiar programas de mejoramiento genético utilizando como base el germoplasma nacional ha limitado la obtención de variedades e híbridos mexicanos. Los programas existentes reciben financiamiento muy limitado de las instituciones de investigación. Uno de los ejemplos es el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuya meta es generar variedades mejoradas de especies cultivadas, empleando como base genética el germoplasma de origen nacional, como es el caso del jitomate (González-Pérez *et al.*, 2021). Actualmente, el INIFAP dispone de una colección de germoplasma procedente de la zona

centro y sur del país (Canul-Ku *et al.*, 2022).

En un programa de mejoramiento genético de jitomate, la evaluación de los materiales es fundamental para identificar germoplasma con potencial para el mejoramiento y estimar su valor (Ramzan *et al.*, 2014). El rendimiento y sus componentes son el principal objetivo del mejoramiento. Además, se requieren genotipos precoces con períodos prolongados tanto de cosecha como de vida post-cosecha de frutos.

La mejora por heterosis permite incrementar el rendimiento y la calidad de frutos de jitomate (Rasheed *et al.*, 2023). Por lo tanto, es primordial conocer las diferentes relaciones entre los progenitores y su progenie para determinar el potencial de rendimiento. Con el objetivo de identificar germoplasma con potencial para el mejoramiento, se evaluó el comportamiento agronómico de progenitores e híbridos de jitomates nativos del centro y sur de México bajo las condiciones agroclimáticas de Zacatepec, Morelos.

Materiales y Método

Lugar del experimento

El estudio se realizó durante los meses de agosto a diciembre de 2021, en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos, México, bajo condiciones protegidas. Se utilizó un invernadero modificado con techo plástico y paredes laterales cubiertas por malla antiáfidos, ubicado en las coordenadas 18°39'16"LN y 99°11'54.7"LO, a una altitud de 911msnm y que forma parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). En el invernadero, la temperatura interior promedio fue de 20°C y la humedad relativa promedio de 79,1%. El clima predominante de Zacatepec es cálido subhúmedo (Aw0), con lluvias en verano y precipitación pluvial promedio anual de 800mm (García, 2004).

Material genético

El material genético consistió en un progenitor masculino y tres progenitores femeninos, así como en sus respectivas generaciones F₁. La selección de progenitores se realizó con base en su distinta procedencia geográfica y características morfológicas del fruto. El progenitor masculino fue una población con fruto tipo cherry (P1) colectada en Zozocolco de Hidalgo, Veracruz, mientras que los progenitores femeninos fueron tres poblaciones: 1) jitomate con forma de fruto tipo chino criollo (P2) procedente de Altepexi, Puebla; 2) jitomate con fruto tipo medio riñón (P3) de Dzitbalché, Campeche; y 3) jitomate con fruto tipo medio saladette (P4) de Tlacolula, Oaxaca.

Polinización en cruza

Los híbridos se formaron en 2019 mediante cruza manuales. El proceso comenzó con la emasculación realizada en tres flores en estado de botón de tres plantas, en las que se eliminaron los estambres con pinzas de disección, dejando las estructuras femeninas, que enseguida se cubrieron con bolsas de papel encerado para evitar la polinización natural con polen de otras plantas. Transcurridos de tres a cinco días después de la emasculación, al observarse los estigmas receptivos, se aplicó directamente el polen previamente recolectado de flores abiertas del progenitor masculino y se volvió a cubrir el estigma con la misma bolsa. Cuando los frutos de cada cruza alcanzaron su madurez fisiológica, se cosecharon y se almacenaron hasta completar la maduración, posteriormente se extrajo la semilla y se almacenó en condiciones controladas a 4°C (Canul-Ku *et al.*, 2023).

Diseño experimental y manejo del cultivo

Los cuatro progenitores y las tres generaciones filiales F₁ se evaluaron en condiciones de

invernadero en el ciclo otoño-invierno 2021-2022, bajo un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental constó de ocho plantas establecidas en macetas individuales de plástico.

Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 50 cavidades con sustrato comercial Sunshine Mix® No. 3. Cuando las plántulas mostraron la cuarta hoja verdadera (28 días después de la siembra, 8 de septiembre), se trasplantaron a macetas de plástico de 30,4m de diámetro y 24cm de altura, conteniendo sustrato a base de ocochal (hojarasca de ocote descompuesta), atocle (suelo de vega de río) y polvillo de coco en bloque ³/₄ Pelemix®, en proporción 60:20:20v/v/v. La planta se condujo a un solo tallo mediante el uso de tutores para apoyar el soporte de los frutos. El control de mosca blanca se realizó con la aplicación de 1,5mg·l⁻¹ de Imidacloprid. También se aplicó de forma preventiva sulfato de cobre (4g·l⁻¹ de agua) para el control de tizón. El riego de las plantas fue a través de un sistema por goteo cuatro veces al día durante un minuto cada dos horas a partir de las 10:00 hr. Para nutrir la planta, se aplicó una solución nutritiva a base de nitrato de potasio (0,22g·l⁻¹), fosfato monopotásico (0,21g·l⁻¹), Kelatex® (0,032g·l⁻¹) y ácido nítrico (0,25ml·l⁻¹).

Caracteres evaluados

Los datos de las variables evaluadas se registraron en cinco plantas por repetición. Con un vernier digital (Mitutoyo Digimatic Absolute 150mm/6puL, Japón), se midió el diámetro de tallo (DT; mm), diámetro polar (DPF1, DPF2; cm) y ecuatorial (DEF1, DEF2; cm) de dos frutos por planta. En estos mismos frutos se registró el peso (PF1, PF2; g) con una balanza digital (Ohaus®, Parsippany, New Jersey, EE.UU.). El rendimiento por planta (RTO; g) se consideró como el peso total de

frutos en el primero y segundo racimo. También se contabilizó el número de frutos por racimo en cada planta.

Análisis estadístico

Los datos registrados se sometieron a un análisis de varianza. La comparación de medias fue a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Con los promedios estandarizados de las variables evaluadas se realizó análisis de conglomerados usando el método de Ward. El número de grupos formados en el dendrograma se determinó con la pseudoestadística t^2 de Hotelling (Johnson, 2000). Todos los análisis se hicieron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2016).

La estimación de la heterosis media se realizó con respecto al promedio de los progenitores mediante la fórmula:

$$H = \{(F_1 - PM) / PM\} \times 100$$

donde H: heterosis porcentual (%); F_1 : media fenotípica de la población F_1 ; PM: $(P_i + P_j) / 2$, media fenotípica del progenitor medio; P_i , y P_j .

Resultados y Discusión

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,01$) en todos los caracteres evaluados,

con coeficientes de variación de 10,03% en diámetro polar del fruto y hasta 50,49% en rendimiento de frutos. Estas diferencias indican que existe variabilidad entre los progenitores y las cruza respectivas; por consiguiente, se infiere que el cruzamiento manual realizado entre los progenitores nativos de jitomate dio origen a genotipos con características contrastantes. Esta variabilidad observada representa una oportunidad para la generación de híbridos y variedades con características agronómicas sobresalientes. El uso de progenitores nativos con características contrastantes en fruto, precocidad y calidad (Hernández-Bautista *et al.*, 2014) y con diferente procedencia (Castañeda-Villa *et al.*, 2023) da origen a genotipos con amplia variabilidad en rendimiento y sus componentes. El aprovechamiento de esta variabilidad puede contribuir significativamente en la oferta de material mejorado de jitomate en el país.

Comparación de medias

Los resultados obtenidos indicaron que la progenie del híbrido P4XP1 presentó, en promedio, el diámetro de tallo de mayor tamaño, comportamiento que fue estadísticamente similar al observado en los progenitores P1 y P3; en cambio, el de menor diámetro se mostró en P4 (Tabla I). Valores de diámetro del tallo en la generación F_1 estadísticamente superiores a los parentales y a la población F_2 se han reportado en cruza entre *S. habrochaites* S.Knapp & D.M. Spooner con *S. lycopersicum* L. (Marín-Montes *et al.*, 2021), así como diferencias no significativas en diámetro de tallo entre las familias F_3 y F_4 obtenidas del cruzamiento entre *Solanum lycopersicum* y *S. habrochaites* (Cintora-Martínez *et al.*, 2021). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en nuestro estudio.

El mayor número de frutos producidos en el primer racimo se registró en la progenie P2XP1, P3XP1 y en el progenitor P1. Mientras que, en el segundo racimo, las tres progenies y el P1 tuvieron la mayor cantidad de frutos (Tabla I). Este resultado muestra el potencial del P1 en la aportación del número de frutos por racimo que, en consecuencia, propicia más frutos durante el periodo de cosecha. Un comportamiento similar se observó en una crusa interespecífica de un progenitor masculino *S. habrochaites* y las generaciones F_1 y F_2 (Marín-Montes *et al.*, 2021). En tanto que, en *S. lycopersicum* L., la crusa LOR97R superó en número de frutos al híbrido El Cid (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016). Con esto se infiere que el número de frutos puede ser un carácter heredable cuando un progenitor masculino posee este carácter.

En el primer racimo, los progenitores P2 y P3 exhibieron frutos con el mayor diámetro ecuatorial y en el segundo racimo fue el progenitor P3. Mientras tanto, el mayor diámetro polar lo presentó el progenitor P2 en ambos racimos. Las tres progenies produjeron frutos de tamaño intermedio (19,70 a 28,20 cm); mientras que, el progenitor P1 y P4XP1 mostraron el menor tamaño (Tabla I). En progenitores femeninos, se ha reportado mayor tamaño de fruto en comparación al progenitor masculino y a las generaciones F_1 y F_2 (Marín-Montes *et al.*, 2021), y en líneas y cruza experimentales se ha observado que el tamaño del fruto puede igualarse (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016). El tamaño de fruto obtenido en las progenies indica que este carácter no es heredable en los materiales nativos empleados como progenitores en nuestro estudio y abre la posibilidad de explorar un

TABLA I
COMPARACIÓN DE MEDIAS DE CARACTERES EVALUADOS EN CUATRO PROGENITORES DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) Y SUS TRES GENERACIONES F_1 . CAMPO EXPERIMENTAL ZACATEPEC, ESTADO DE MORELOS, MÉXICO. 2021

Var	P1	P2	P3	P4	P2XP1	P3XP1	P4XP1	DMS
DT	11,93 abc	10,23 dc	12,32 ab	9,74 d	11,15 bcd	10,28 bcd	13,51a	2,05
NF1	8,88 ab	2,33 c	4,5 c	2,88 c	11,40 a	9,7 a	5,22 bc	4,05
NF2	12,70 a	2,40 c	4,40 bc	2,90 c	11,40 ab	12,30 a	11,50 ab	7,20
DEF1	17,51 c	57,95 a	59,54 a	22,77 bc	23,34 bc	24,36 b	19,81 bc	6,10
DEF2	16,70 e	56,06 b	60,73 a	24,41 cd	25,51 cd	27,68 c	21,02 de	4,61
DPF1	16,64 e	62,20 a	39,43 b	22,08 d	27,64 c	22,01 d	19,70 de	3,80
DPF2	18,54 f	63,98 a	39,30 b	23,01 de	28,20 c	25,04 d	20,70 ef	2,96
PF1	4,59 b	110,25 a	98,98 a	9,58 b	14,85 b	11,04 b	6,30 b	17,83
PF2	5,17 b	106,98 a	95,68 a	11,01 b	15,07 b	12,51 b	6,50 b	14,12
RTO	304,53 cd	270,19 cd	545,35 abc	206,51 d	694,59 a	630,14 ab	393,31 bcd	299,2

Var: variables; P: progenitor; DT: diámetro de tallo (mm); NF1: número de frutos en racimo 1; NF2: número de frutos en racimo 2; DEF1: diámetro ecuatorial de fruto en racimo 1 (cm); DEF2: diámetro ecuatorial de fruto en racimo 2 (cm); DPF1: diámetro polar de fruto en racimo 1 (cm); DPF2: diámetro polar de fruto en racimo 2 (cm); PF1: peso de fruto en racimo 1 (g); PF2: peso de fruto en racimo 2 (g); RTO: rendimiento de fruto (g); DMS: diferencia mínima significativa. * Valores con la misma letra dentro de cada fila son estadísticamente iguales (Tukey α : 0,05).

mayor número de cruzamientos, así como el empleo de otros progenitores de diferente procedencia.

El mayor peso del fruto se expresó en los progenitores P2 y P3 en ambos racimos. En contraste, los progenitores P1 y P4 tuvieron menor peso sin diferencias estadísticas con los tres híbridos, lo que indica el efecto propio de cada progenitor en su progenie (Tabla I). Este efecto es notorio de manera negativa en el peso del fruto en la cruce P4XP1, y deja entrever que el progenitor masculino P1 (tipo cherry), que posee la característica de frutos de menor tamaño, es dominante sobre el progenitor femenino P4 (medio saladette). En híbridos experimentales se ha indicado que el peso de fruto puede igualar al expresado por los progenitores (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016), lo que en nuestro estudio no ocurrió en los cruzamientos evaluados por efecto del progenitor masculino utilizado.

El mayor rendimiento de fruto se obtuvo en los híbridos de los cruzamientos P2XP1 y P3XP1, aunque este rendimiento fue estadísticamente similar al obtenido en el progenitor P3. En cambio, el progenitor P4 tuvo el menor rendimiento (Tabla I). El híbrido P2XP1 superó en 43,8% al progenitor masculino y en 38,9% al femenino, lo que se atribuye al comportamiento intrínseco que muestran los híbridos obtenidos de cruzar parentales afines. Nuestros resultados confirman el mayor rendimiento observado en híbridos y en generaciones filiales obtenidas de cruces en *S. lycopersicum* L., en condiciones climáticas de tierras altas (Hernández-Leal *et al.*, 2019), y en híbridos (F₁) provenientes de cruzamientos entre líneas avanzadas S₅ de jitomate nativo y líneas avanzadas S₅ de fruto tipo “saladette” y sus respectivas generaciones F₂ (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2018).

Heterosis

La heterosis con respecto al progenitor medio en las

características evaluadas varió de -78,68 a 141,71%, lo que contrasta con la heterosis de -40,91 a 14,56% observada en líneas progenitoras y la F₁ de *Solanum lycopersicum* L. y *Lycopersicon pimpinellifolium* L. (Amaefula *et al.*, 2014).

En los caracteres de número de frutos y rendimiento se determinó heterosis positiva; en cambio, fue negativa en peso de frutos, diámetro ecuatorial y polar del fruto. En la progenie P2XP1 se presentó la mayor heterosis en el número de frutos y rendimiento. En P3XP1 y P4XP1 se observó baja heterosis en el número de frutos y rendimiento (Tabla II).

En diámetro de tallo se determinó heterosis positiva en la progenie P4XP1 (Tabla II). Esta misma respuesta se observó en una cruce entre dos especies de jitomate (Marín-Montes *et al.*, 2021): una línea S8 derivada de la colecta LOR95 (*S. lycopersicum* L.) y la accesión LA1223 de *S. habrochaites* Knapp & Spooner, la cual dio como resultado un incremento de 2 mm en el diámetro de tallo en la generación F₁ con respecto al mejor progenitor (Marín-Montes *et al.*, 2020).

El número de frutos por racimo presentó heterosis positiva, excepto en el primer

racimo de la progenie P4XP1 (Tabla II), lo cual confirma la heterosis positiva en este carácter observada en una cruce entre *S. habrochaites* S.Knapp & D.M. Spooner con *S. lycopersicum* L. (Marín-Montes *et al.*, 2021). El valor positivo de heterosis en número de frutos y el valor negativo en tamaño y peso de fruto indica incrementos en la cantidad de frutos, pero una reducción en su peso y tamaño. Esto sugiere que el progenitor P1 utilizado en nuestro estudio es una fuente potencial para ser integrado en un esquema de cruzamientos dentro de un programa de mejoramiento genético para desarrollar híbridos a partir de material nativo de jitomate (Martínez-Solis *et al.*, 2013), con enfoque en el aumento del número de frutos, aunque de tamaño reducido.

En tamaño de fruto la heterosis fue negativa (-38,14 a -0,36%); es decir, no hubo expresión de vigor híbrido (Tabla II). Este valor negativo se ha reportado en híbridos F₁ obtenidos de progenitores muy contrastantes (*S. pimpinellifolium* línea 11904 y *S. lycopersicum* línea LOR82) en tamaño de fruto presentan un comportamiento muy cercano a la media del progenitor de menor tamaño de fruto con valores de

-29,52% para largo y de -33,65% para ancho de fruto (Hernández-Bautista *et al.*, 2014). El empleo de progenitores con diferente tipo de fruto en nuestro estudio fortalece el conocimiento sobre el efecto de usar progenitores de diferente especie o de caracteres de frutos contrastantes, como se observó en nuestros cruzamientos.

El comportamiento negativo en la heterosis en el peso de fruto en todas las cruces varió de -78,68 a -11,08% (Tabla II). Valores similares fueron observados en los híbridos WxG (-95,59%) e InxG (-16,27%) obtenido de la cruce entre *Solanum lycopersicum* L. y *Lycopersicon pimpinellifolium*, con esto se infiere que la magnitud de la heterosis depende de la acumulación de alelos dominantes favorables en la población F₁ (Amaefula *et al.*, 2014). La heterosis negativa también se atribuye a la diferencia proporcional entre medias de los progenitores (Hernández-Bautista *et al.*, 2014). Aunque, se puede encontrar heterosis positiva (-13,3 a 80,7%) por efecto del manejo agronómico (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016).

Con los resultados obtenidos de menor tamaño y peso de los frutos en los híbridos con

TABLA II
HETEROSIS PORCENTUAL CON RESPECTO AL PROGENITOR MEDIO DE CARACTERES EVALUADOS EN CRUZAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CAMPO EXPERIMENTAL ZACATEPEC, ESTADO DE MORELOS, MÉXICO. 2021

Variabes	P2XP1	P3XP1	P4XP1
DT	0,63	-15,22	24,69
NF1	103,39	44,99	-11,22
NF2	50,99	43,86	47,44
DEF1	-38,14	-36,77	-1,64
DEF2	-29,88	-28,50	2,26
DPF1	-29,88	-21,49	1,76
DPF2	-31,65	-13,42	-0,36
PF1	-74,14	-78,68	-11,08
PF2	-73,13	-75,19	-19,65
RTO	141,71	48,29	53,93

DT: diámetro de tallo (mm); NF1: número de frutos en racimo 1; NF2: número de frutos en racimo 2; DEF1: diámetro ecuatorial de fruto en racimo 1 (cm); DEF2: diámetro ecuatorial de fruto en racimo 2 (cm); DPF1: diámetro polar de fruto en racimo 1 (cm); DPF2: diámetro polar de fruto en racimo 2 (cm); PF1: peso de fruto en racimo 1 (g); PF2: peso de fruto en racimo 2 (g); RTO: rendimiento de fruto (g).

respecto al progenitor medio se puede inferir un efecto dominante del parental masculino P1 (tipo cherry) que produce frutos de tamaño pequeño. Lo anterior sugiere que, con los progenitores evaluados, es factible mejorar el carácter número de frutos por planta, pero se tiene dificultad para incrementar el tamaño y peso de dichos frutos, por lo que, cruza dialélicas pueden ser una opción (Mendoza-de Jesús *et al.*, 2010).

En rendimiento de fruto la heterosis fue positiva en las tres cruza, el cual varió de 48,29% a 141,71% (Tabla II). Esta heterosis positiva coincide con el obtenido en híbridos F₂ de tomate respecto al comportamiento medio de los progenitores en rendimiento al quinto racimo (Pinacho-Hernández *et al.*, 2011), y en una cruza al utilizar como progenitor femenino al parental silvestre *Lycopersicon pimpinellifolium* L. (Amaefula *et al.*, 2014). Aunque también, se ha reportado en rendimiento de fruto heterosis negativa (-65.51%) debido al grado de dominancia que presentó la F₁ con respecto al parental *S. pimpinellifolium* línea 11904 y a la diferencia proporcional entre las medias de los progenitores (Hernández-Bautista *et al.*, 2014). El alto grado de heterosis observado en el rendimiento y número de frutos de los híbridos en nuestro estudio representan una oportunidad que debe ser explotada.

Análisis de agrupamiento

Los resultados del análisis de conglomerados permitieron agrupar los progenitores y las progenies en dos grandes grupos: 1) dos parentales (P2 y P3); y 2) dos parentales (P1 y P4) y los híbridos (Figura 1). Mientras que, con la pseudotestadística t² de Hotelling (datos no presentados), se confirmó la integración de los dos grupos, con una r² semiparcial de 0,18. La agrupación muestra la aportación del progenitor P1 en las tres progenies y se considera una fuente importante

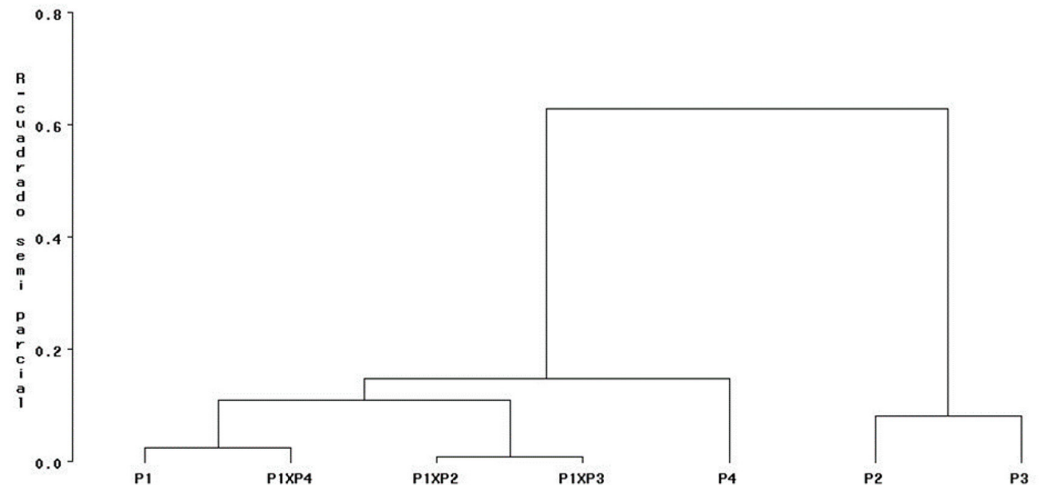


Figura 1. Dendrograma de agrupamiento de progenitores y progenies de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Campo Experimental Zacatepec, estado de Morelos, México. 2021.

para aumentar el número de frutos en cruzamientos dentro de un programa de mejoramiento genético. Las características del tipo de fruto propias de cada progenitor fueron determinantes en el agrupamiento obtenido (Valencia-Juárez *et al.*, 2024).

Conclusiones

La amplia variabilidad genética entre los progenitores mostró caracteres de importancia agronómica como rendimiento, número y tamaño de frutos que pueden ser aprovechados en generaciones filiales (F₁), con la expresión de la heterosis positiva en rendimiento y número de frutos, así como una respuesta intermedia respecto a sus progenitores. Por ello, es factible explotar dicha variabilidad y vigor híbrido para incrementar la producción de jitomate a partir del mejoramiento genético de estos valiosos materiales nativos mexicanos.

REFERENCIAS

Amaefula C, Agbo CU, Nwofia GE (2014) Hybrid vigor and genetic control of some quantitative traits of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Open Journal of Genetics* 4: 30-39. <https://doi.org/10.4236/ojgen.2014.41005>.

Blanca J, Sanchez-Matarredona D, Ziarsolo P, Montero-Pau J, Van der Knaap E, Díez MJ, Cañizares J (2022) Haplotype analyses reveal novel insights into tomato history and domestication driven by long-distance migrations and latitudinal adaptations. *Horticulture Research* 9: uhac030. <https://doi.org/10.1093/hortre/uhac030>.

Bonilla-Barrientos O, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Cruz-Izquierdo S, López-Romero G, Rodríguez-Guzmán E, Hernández-Leal E (2018) Depresión endogámica de híbridos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) derivados de progenitores con distinto grado de domesticación. *Agro Productividad* 11: 59-65.

Campestrini L H, Melo PS, Peres LE, Calhelha RC, Ferreira IC, Alencar SM (2019) A new variety of purple tomato as a rich source of bioactive carotenoids and its potential health benefits. *Heliyon* 5: e02831.

Canul-Ku J, González-Pérez E, Barrios-Gómez E J, Pons-Hernández J L, Rangel-Estrada S E (2022) Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45: 23-23.

Canul-Ku J, Morán-Girón D, Barrios-Gómez EJ, Hernández-Meneses E, Rangel-Estrada SE (2023) Cruza manual en tomate nativo (*Solanum lycopersicum* L.) de México como base para su mejora genética. *Brazilian Journal of Animal and*

Environmental Research 6: 2261-2272.

Carrillo-Rodríguez JC, Chávez-Servia J, Lobato-Ortiz R, Perales-Segovia C (2019) Generation and evaluation of heterogeneous genotypes of tomato for small-scale farmers. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 11: 91-99.

Castañeda-Villa AM, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Calderón-Zavala G, Hernández-Bautista A, López-Hernández A (2023) Identification of outstanding Saladette tomato lines with a widened genetic base. *Agrociencia*. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i6.2493>.

Cintora-Martínez EA, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Hernández-Rodríguez M, Rodríguez-Guzmán E y Cruz-Izquierdo S (2021) Generaciones avanzadas de una cruza de *Solanum lycopersicum* × *S. habrochaites* como portainjertos de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44: 15-24.

Chaudhary J, Alisha A, Bhatt V, Chandanshive S, Kumar N, Mir Z, Kumar A, Yadav SK, Shivaraj SM, Sonah H, Deshmukh R (2019) Mutation breeding in tomato: Advances, applicability, and challenges. *Plants* 8: 128. <https://doi.org/10.3390/plants8050128>.

Choi SH, Kim DS, Kozukue N, Kim HJ, Nishitani Y, Mizuno M, Levin CE, Friedman M (2014) Protein, free amino acid, phenolic, β-carotene, and lycopene content, and antioxidative and cancer cell inhibitory effects of

- 12 greenhouse-grown commercial cherry tomato varieties. *Journal of Food Composition and Analysis* 34: 115-127.
- Egea I, Estrada Y, Flores FB, Bolarín MC (2022) Improving production and fruit quality of tomato under abiotic stress: Genes for the future of tomato breeding for a sustainable agriculture. *Environmental and Experimental Botany* 204: 105086.
- García E (2004) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 5ª ed. (cd con el programa Modificado) Instituto de Geografía, UNAM, México. 98 pp.
- González-Pérez E, Ramírez-Meraz M, Canul-Ku J, Flores-López R, Macías-Valdez LM (2021) Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 25: 1-13.
- Gonzalo MJ, da Maia LC, Nájera I, Baixauli C, Giuliano G, Ferrante P, Granell A, Asins MJ, Monforte AJ (2022) Genetic Control of Reproductive Traits under Different Temperature Regimes in Inbred Line Populations Derived from Crosses between *S. pimpinellifolium* and *S. lycopersicum* Accessions. *Plants* 11: 1069. <https://doi.org/10.3390/plants11081069>
- Hassan AA, Abdel-Ati KE, Mahmoud A, Mohamed HA (2022) Potential adoption of the F2 generation of some TYLCV-resistant tomato hybrids for commercial production under natural field infection. *Egyptian Journal of Botany* 62: 59-72.
- Hernández-Bautista A, Lobato-Ortiz R, Cruz-Izquierdo S, Zavala JJG, Chávez-Servia JL (2014) Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruce interespecífica de jitomate. *Interciencia* 39: 327-332.
- Hernández-Leal E, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Hernández-Bautista A, Reyes-López D, Bonilla-Barrientos O (2019) Stability and breeding potential of tomato hybrids. *Chilean Journal of Agricultural Research* 79: 181-189.
- Johnson DE (2000) *Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos*. Thomson. México DF. México. 566 pp.
- Magallanes-López AM, Martínez-Damián MT, Sahagún-Castellanos J, Pérez-Flores LJ, Marín-Montes IM, Rodríguez-Pérez JE (2020) Calidad poscosecha de 40 poblaciones de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativas de México. *Agrociencia* 54: 779-796.
- Maldonado-Peralta R, Ramírez V, González H, Castillo G, Sandoval V, Livera M (2016) Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos. *Agro Productividad* 9: 68-75.
- Marín-Montes IM, Lobato-Ortiz R, Carrillo-Castañeda G, Rodríguez-Pérez JE, García-Zavala JJ, Hernández-Rodríguez M, Velasco-García ÁM (2020) Genetic parameters of an interspecific cross between *S. lycopersicum* L. and *S. habrochaites* Knapp & Spooner. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 26: 111-123. <https://doi.org/10.5154/rchsh.2020.01.003>
- Marín-Montes IM, Lobato-Ortiz R, Carrillo-Castañeda G, Rodríguez-Pérez JE, García-Zavala JJ, Hernández-Rodríguez M, Velasco-García ÁM (2021) Parámetros genéticos de la generación F₁ y F₂ del cruzamiento *Solanum lycopersicum* L. × *S. habrochaites* LA1223. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44: 503-510.
- Martínez-Solís J, Peña-Lomelí A, Rodríguez-Pérez JE, Sahagún-Castellanos J, Peña-Ortega MG (2013) Heterosis intervarietal en jitomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura* 19: 5-21.
- Martínez-Vázquez E, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, 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: 67-77.
- Mendoza-de Jesús V, Sahagún-Castellanos J, Rodríguez-Pérez JE, Legaria-Solano JP, Peña-Lomelí A, Pérez-Grajales M (2010) Heterosis intervarietal en jitomate de crecimiento indeterminado tipo saladete. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 16: 57-66.
- Pérez-Díaz F, Arévalo-Galarza M, Pérez-Flores LJ, Lobato-Ortiz R, Ramírez-Guzmán ME (2020) Crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 43: 89-99.
- Pinacho-Hernández A, José-José E, Carrillo-Rodríguez JC, Villegas-Aparicio Y, Chávez-Servia JL, Vera-Guzmán AM (2011) Heterosis interpoblacional de híbridos F₂ de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Journal of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 55: 74-77.
- Rajendran S, Bae JH, Park MW, Oh JH, Jeong HW, Lee YK, Park SJ (2022) Tomato yield effects of reciprocal hybridization of *Solanum lycopersicum* cultivars M82 and Micro-Tom. *Plant Breeding and Biotechnology* 10: 37-48.
- Ramzan A, Khan TN, Nawab NN, Hina A, Noor T, Jillani G (2014) Estimation of genetic components in F₁ hybrids and their parents in determinate tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Agricultural Research* 52: 65-75.
- Rasheed A, Ilyas M, Khan TN, Mahmood A, Riaz U, Chattha MB, Al Kashgry NAT, Binothman N, Hassan MU, Wu Z, Qari SH (2023) Study of genetic variability, heritability, and genetic advance for yield-related traits in tomato (*Solanum lycopersicum* MILL.). *Front. Genet.* 13: 1030309. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1030309>.
- Salgado-Meraz L, Lobato-Ortiz R, Pérez-Flores LJ, Cruz-Izquierdo S, Peña-Valdivia C, García-Zavala JJ (2018) Diversidad agronómica de poblaciones de jitomate tipo "Cherry" *S. lycopersicum* L. y *S. pimpinellifolium* L. con potencial en el mejoramiento genético. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 499-507.
- SAS Institute (Statistical Analysis System Institute) (2016) SAS/STAT User's Guide. (Release 9.1). SAS Institute Incorporated. Cary, CN, EE.UU.
- Valencia-Juárez MC, González-Pérez E, Villalobos-Reyes S, Núñez-Colín CA, Canul-Ku J, Anaya-López JL, Chiquito-Almanza E, Yáñez-López R (2024) Agromorphological Evaluation of Elite Lines of Native Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) from Central and Southern Mexico. *Agronomy* 14: 2829. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122829>.