Valoración de progenies híbridas de jitomates nativos en Morelos

Evaluation of hybrid progenies of native tomatoes in Morelos

Jaime Canul-Ku[1*], Enrique González-Pérez[2], Edwin Javier Barrios-Gómez[1], Eleodoro Hernández-Meneses[3], Sandra Eloísa Rangel-Estrada[1]

[1]Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 0.5 Carretera Zacatepec - Galeana. CP. 62780. Zacatepec, Morelos, México.
[2]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 6.5 Carretera Celaya - San Miguel de Allende. CP. 30110. Celaya, Guanajuato, México.
[3]Campus Región Sierra, Tecnológico Nacional de México. Km. 4.5 Carretera Teapa - Tacotalpa. CP. 86801. Teapa, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: canul.jaime@inifap.gob.mx

Nota científica

Recibida: 21 de octubre 2024
Aceptada: 14 de octubre 2026

RESUMEN. *Solanum lycopersicum* L. fue domesticado en México, lo que permite generar materiales mejorados para distintas condiciones de producción. El objetivo fue evaluar características de fruto y rendimiento en genotipos parentales e híbridos de jitomate nativo. Se cultivaron cuatro genotipos parentales (P1-P4) e híbridos (P1×P2, P1×P3, P1×P4) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se registraron el diámetro de tallo, número de frutos por racimo, peso, diámetro polar y ecuatorial de fruto y rendimiento. Los datos fueron analizados mediante ANOVA, análisis de conglomerados y Tukey ($P \leq 0.05$), y se estimó la heterosis. Se observaron diferencias en caracteres de fruto y rendimiento. P2 y P1×P2 presentaron mayor número de frutos; P4 y P1×P4 mayor tamaño y peso de fruto. El mayor rendimiento lo presentó P1×P2 (800.9 g planta^{-1}). La heterosis osciló entre -76.99 y 127.64%, positiva para número de frutos y rendimiento. Los genotipos parentales e híbridos formaron dos grupos, evidenciando caracteres útiles para la mejora genética.
Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., población nativa, fitomejoramiento, rendimiento, heterosis.

ABSTRACT. *Solanum lycopersicum* L. was domesticated in Mexico, allowing for the development of improved varieties for different production conditions. The objective was to evaluate fruit characteristics and yield in parental and hybrid genotypes of native tomato. Four parental genotypes (P1-P4) and their hybrids (P1×P2, P1×P3, P1×P4) were cultivated in a completely randomized design with three replicates. Stem diameter, number of fruits per cluster, fruit weight, polar and equatorial diameter, and yield were recorded. Data were analyzed using ANOVA, cluster analysis, and Tukey's test ($P \leq 0.05$), and heterosis was estimated. Significant differences were observed in fruit characteristics and yield. P2 and P1×P2 had the highest number of fruits; P4 and P1×P4 had the largest size and weight fruit. The highest yield was observed in P1×P2 (800.9 g plant^{-1}). Heterosis ranged from -76.99 to 127.64%, positive in fruit number and yield. The parental and hybrid genotypes formed two groups, demonstrating traits useful for genetic improvement.
Keywords: *Solanum lycopersicum* L., native population, plant breeding, yield, heterosis.

Como citar: Canul-Ku J, González-Pérez E, Barrios-Gómez EJ, Hernández-Meneses E, Rangel-Estrada SE (2026) Valoración de progenies híbridas de jitomates nativos en Morelos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(3): e4385. DOI: 10.19136/era.a13n3.4385.

INTRODUCCIÓN

México es centro de domesticación y diversidad de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), el cual es valorado en la gastronomía por poseer propiedades organolépticas y nutricionales únicas para la alimentación humana. Su popularidad se debe a los múltiples usos del fruto tanto en consumo directo (salsas, ingrediente de comidas típicas, ensaladas) como procesado (condimento, puré). Además, es una fuente rica en vitaminas, fibra, carotenoides, minerales y antioxidantes que contribuyen a mejorar la salud humana (Chandel *et al*. 2021). El contenido nutracéutico (licopeno) ayuda a fortalecer el sistema inmunológico humano y a proteger contra enfermedades infecciosas y degenerativas como el cáncer (Avdikos *et al*. 2021).

Durante décadas, el mejoramiento genético del jitomate se ha enfocado en el rendimiento de fruto y en caracteres asociados con el tamaño, número de frutos por planta y peso (Osei *et al*. 2020, Avdikos *et al*. 2021), así como en la resistencia a factores bióticos y abióticos. Sin embargo, los objetivos han cambiado para incluir mejoras en el contenido nutricional (Zörb *et al*. 2020) y el contenido de metabolitos secundarios (Egea *et al*. 2022). La producción comercial del jitomate se basa en el uso de híbridos cuya heterosis confiere alta productividad (Chandel *et al*. 2021) y uniformidad notable. Sin embargo, los consumidores señalan que los frutos carecen de sabor, aroma (Hagenguth *et al*. 2024) y color, características que les confieren alto valor alimenticio, nutricional y económico. A diferencia de los híbridos comerciales, el jitomate nativo de México posee propiedades únicas de sabor, color y contenido nutricional (Magallanes-López *et al*. 2020, Pérez-Díaz *et al*. 2020). Por estas cualidades tiene amplia demanda en la gastronomía, por lo que se comercializa con un sobreprecio en los mercados locales y regionales. Estos aspectos propician que la mejora genética de este germoplasma nativo tenga un futuro alentador con impacto en la salud humana y en la economía de los productores.

En varios estudios encaminados a explorar la variabilidad genética en poblaciones nativas de México (Marín-Montes *et al*. 2019, Canul-Ku *et al*. 2022), se han identificado genotipos sobresalientes con potencial para ser considerados como parentales en programas de mejoramiento genético enfocados en desarrollar variedades e híbridos con adaptación a las condiciones de producción en las distintas regiones del país. En este contexto, la selección de progenies es una de las etapas más importantes y trascendentales durante el proceso de mejoramiento genético (Anisa *et al*. 2022), por lo que la obtención de una excelente descendencia dependerá de la efectiva selección de progenitores (Liu *et al*. 2021). Para ello, es necesario considerar las características genéticas intrínsecas del genotipo, el grado de heterosis (Farwah *et al*. 2024), la divergencia genética (Castañeda-Villa *et al*. 2023) y la heredabilidad del rasgo que se desea transmitir. La selección adecuada de progenitores para la obtención de híbridos sobresalientes recae en el aprovechamiento de la heterosis que dará como resultado genotipos con características deseables que incluyen beneficios positivos en vigor, crecimiento y desarrollo, precocidad, productividad, contenido nutricional y tolerancia al estrés hídrico (Shende *et al*. 2012).

Los cruzamientos realizados entre genotipos de diferente procedencia e identidad genética (Castañeda-Villa *et al*. 2023) han evidenciado que con el uso de germoplasma nativo es factible desarrollar nuevas variantes con características genéticas sobresalientes. Sin embargo, los avances en el proceso de mejora genética del jitomate nativo de México no han promovido el registro de

algún material mejorado en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (SNICS 2024). Con base en estos antecedentes, el objetivo de este estudio fue evaluar características de fruto y rendimiento en progenitores e híbridos de jitomate nativo en Zacatepec, Morelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del experimento

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental Zacatepec, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Morelos, México, en las coordenadas 18° 39′ 16′′ LN y 99° 11′ 54.7′ LO, a 911 m de altitud. En esta localidad predomina el clima cálido subhúmedo (Aw_0), con lluvias en verano y precipitación pluvial promedio anual de 800 mm (García 2004). De agosto a diciembre de 2021 se cultivaron los progenitores e híbridos, dentro de una estructura metálica tipo invernadero con techo de plástico blanco lechoso, calibre 720 con 25% de sombra y paredes laterales cubiertas por malla antiáfidos color cristal 50 × 25 con 83% de transmitancia. Durante el ciclo del cultivo la temperatura promedio fue de 20 ± 3 °C y la humedad relativa promedio de 79.1 ± 5%.

Material genético

Se utilizó un genotipo parental masculino y tres femeninos con sus respectivos híbridos F_1. El genotipo parental masculino fue una población con fruto tipo medio riñón originaria de Dzitbalché, Campeche (P1). Los tres genotipos parentales femeninos fueron: 1) población con fruto tipo cherry colectada en Zozocolco de Hidalgo, Veracruz (P2); 2) población con fruto tipo medio saladette proveniente de Tlacolula, Oaxaca (P3); y 3) población con fruto tipo chino criollo nativa de Altepexi, Puebla (P4). Con estos parentales se formaron las cruzas: P1×P2, P1×P3 y P1×P4.

La formación de los híbridos inició con la emasculación y concluyó con la polinización (Canul-Ku *et al*. 2023). En los genotipos parentales femeninos P2, P3 y P4 se seleccionaron flores en estado de botón y con pinzas de disección se eliminaron los estambres dejando las estructuras femeninas que de inmediato fueron cubiertas con bolsas de papel encerado para evitar la polinización natural. El polen del genotipo parental P1 fue recolectado de flores abiertas en cajas de Petri de 5 cm de diámetro. La polinización se llevó a cabo entre el tercer y quinto día posteriores a la emasculación impregnando el polen directamente en el estigma receptivo, y se cubrieron las flores con la misma bolsa. Los frutos de cada cruza: P1×P2, P1×P3 y P1×P4, se cosecharon cuando alcanzaron la madurez fisiológica y se les extrajeron las semillas que fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C.

Manejo experimental de progenitores e híbridos

Las semillas de los genotipos parentales e híbridos F_1 fueron sembradas en charolas de poliestireno de 50 cavidades que contenían sustrato comercial Sunshine Mix® No. 3. Cuando las plántulas presentaron cuatro hojas verdaderas, se trasplantaron a macetas de plástico con una mezcla de ocochal (hojarasca de ocote descompuesta), atocle (suelo de vega de río) y polvillo de coco en block 3/4 Pelemix® en proporción 60:20:20 v/v/v como sustrato. Las plantas se establecieron en un diseño experimental completamente al azar con cuatro progenitores y las tres generaciones filiales F_1

(tratamientos) y tres repeticiones. Cada unidad experimental fue conformada por ocho plantas establecidas en macetas de plástico de 30.48 cm de diámetro y 24 cm de altura.

Las plantas se condujeron a un solo tallo y se tutoraron para sostener el peso de los frutos. El control de mosca blanca fue con la aplicación de 1.5 g L^{-1} de imidacloprid y para prevenir el tizón se asperjó 4.0 g L^{-1} de sulfato de cobre. La irrigación de las plantas se llevó a cabo mediante un sistema de riego por goteo. El agua se aplicó durante un minuto por evento, con una frecuencia de cuatro aplicaciones diarias a partir de las 10:00 h. Para nutrir la planta se aplicó una solución nutritiva a base de nitrato de potasio (0.22 g L^{-1}), fosfato monopotásico (0.21 g L^{-1}), Kelatex® (0.032 g L^{-1}) y ácido nítrico (0.25 g L^{-1}), la cual fue ajustada gradualmente con base en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Variables morfológicas y de rendimiento evaluadas

Se registró el diámetro de tallo (mm) medido en la base de la planta, dos meses después del trasplante. En dos frutos cosechados del primer y segundo racimo se midió el diámetro polar (mm) y ecuatorial (mm), y el peso (g) con una balanza digital (Ohaus®, Parsippany, New Jersey, EUA). El rendimiento por planta (g) fue estimado con la suma del peso total de frutos cosechados en los dos primeros racimos. Además, se contabilizó el número de frutos por planta en cada racimo.

Análisis estadístico

Los datos de cada variable evaluada se registraron en cinco plantas por repetición en competencia completa y fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$). Con los promedios estandarizados de las variables se realizó un análisis de conglomerados por el método de Ward y el número de grupos formados en el dendrograma se determinó con la pseudoestadística t^2 de Hotelling (Johnson 2000). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (SAS 2016). La heterosis con respecto al promedio de los progenitores se estimó con la fórmula: $H = (F_1\text{-}PM)/PM \times 100$; donde H: heterosis porcentual (%); F_1: media fenotípica de la población F_1; PM: progenitor medio [(Pi+Pj)/2]; Pi y Pj son las medias fenotípica de los progenitores i y j.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables morfológicas y de rendimiento

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos parentales y sus híbridos en caracteres de fruto y rendimiento. En cambio, no se encontraron diferencias en el diámetro de tallo (Tabla 1). El mayor número de frutos del primer racimo se obtuvo en el genotipo parental P2 (8.88) y en el híbrido P1×P2 (8.80). En el segundo racimo la mayor cantidad se cosechó en el genotipo parental P2 (12.7). En contraste, el genotipo parental P4 presentó la menor cantidad en ambos racimos (Tabla 1). El tamaño de fruto, medido en la porción ecuatorial, registró los valores más altos en ambos racimos para los genotipos parentales P1 (61.24 y 60.73 mm) y P4 (57.95 y 56.06 mm), así como para el híbrido P1×P4 (56.64 y 57.53 mm). En contraste, el genotipo parental P2 presentó el menor tamaño (16.70 a 17.51 mm). En el diámetro polar del fruto, el mayor tamaño se observó en el genotipo parental P4 y en el híbrido P1×P4, tanto en el primero como en el segundo

racimo; en cambio, el genotipo parental P2 mostró el menor diámetro polar. El mayor peso de fruto se registró en el genotipo parental P4, tanto en el primer racimo (110.25 g) como en el segundo (106.98 g). En rendimiento de fruto, el híbrido P1×P2 alcanzó el valor más alto (800.9 g), mientras que el menor correspondió al genotipo parental P3 con 206.5 g (Tabla 1).

Tabla 1. Respuesta de los caracteres evaluados en cuatro progenitores de jitomates nativos y sus tres híbridos F_1. Campo Experimental Zacatepec, estado de Morelos. 2021.

Variable	P1	P2	P3	P4	P1×P2	P1×P3	P1×P4
DT (mm)	*12.32^{a}	11.93^{a}	9.74^{a}	10.23^{a}	11.09^{a}	11.97^{a}	10.97^{a}
NF1	4.50^{bc}	8.88^{a}	2.88^{c}	2.33^{c}	8.80^{a}	8.40^{ab}	4.60^{bc}
NF2	4.40^{bc}	12.70^{a}	2.90^{bc}	2.40^{c}	8.70^{ab}	4.44^{bc}	3.90^{bc}
DEF1 (mm)	61.24^{a}	17.51^{d}	22.82^{cd}	57.95^{a}	27.04^{c}	40.59^{b}	56.64^{a}
DEF2 (mm)	60.73^{a}	16.70^{d}	24.41^{c}	56.06^{a}	26.87^{c}	41.87^{b}	57.53^{a}
DPF1 (mm)	40.09^{c}	16.64^{f}	22.08^{e}	62.20^{a}	24.12^{e}	31.26^{d}	46.29^{b}
DPF2 (mm)	39.30^{bc}	18.54^{d}	23.01^{d}	63.98^{a}	23.97^{d}	35.02^{c}	44.91^{b}
PF1 (g)	103.45^{a}	4.59^{c}	9.58^{c}	110.25^{a}	12.43^{c}	39.07^{b}	98.30^{a}
PF2 (g)	95.68^{ab}	5.17^{d}	11.01^{d}	106.98^{a}	13.37^{d}	41.07^{c}	84.55^{b}
RTO (g)	545.3^{ab}	304.5^{bc}	206.5^{c}	270.2^{bc}	800.9^{a}	539.0^{ab}	384.8^{bc}

* Medias que comparten al menos una letra dentro de cada fila no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). P = Progenitor; DT = Diámetro de tallo; NF1 = Número de frutos en racimo 1; NF2 = Número de frutos en racimo 2; DEF1 = Diámetro ecuatorial de fruto en racimo 1; DEF2 = Diámetro ecuatorial de fruto en racimo 2; DPF1 = Diámetro polar de fruto en racimo 1; DPF2 = Diámetro polar de fruto en racimo 2; PF1 = Peso de fruto en racimo 1; PF2 = Peso de fruto en racimo 2; RTO = Rendimiento de fruto (g planta^{-1}).

Las diferencias significativas en el número de frutos, tamaño, peso y rendimiento evidenciaron un comportamiento diferencial entre los genotipos parentales y los híbridos. Estas diferencias, excepto en el diámetro de tallo, se atribuyen a la amplia variabilidad genética de los genotipos evaluados (Soliman y Shehata 2023), lo cual constituye una oportunidad para incrementar el rendimiento y los rasgos asociados mediante selección (Rasheed *et al*. 2023). En consecuencia, el uso de genotipos parentales de distinta procedencia geográfica y con características fenotípicas contrastantes favorece la expresión diferencial en la descendencia (Paril *et al*. 2024), como se observó en los híbridos derivados de la recombinación de los genotipos parentales provenientes de los estados de Campeche y Puebla.

Los resultados correspondientes al tamaño y número de frutos producidos por planta fueron comparables entre los híbridos y los genotipos parentales evaluados en este estudio. Este comportamiento contrasta con lo reportado en poblaciones derivadas de cruzas dobles (Anisa *et al*. 2022) y en una cruza interespecífica cuyo progenitor femenino provenía de un híbrido comercial (Marín-Montes *et al*. 2021). Por ello, los hallazgos son relevantes, debido a que ambos caracteres son determinantes para la obtención de alto rendimiento en jitomate, en concordancia con lo señalado por Javed *et al*. (2022).

Heterosis

La heterosis estimada respecto al progenitor medio en las variables evaluadas osciló entre -76.99 y 127.64%. Se observó que la heterosis fue negativa para el diámetro ecuatorial y el peso del fruto en ambos racimos. En contraste, la heterosis fue positiva para el número de frutos, con mayor expresión en el primer racimo (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de heterosis con respecto al progenitor medio de caracteres evaluados en cruzas de jitomates nativos. Campo Experimental Zacatepec, estado de Morelos. 2021.

Variables	P1×P2	P1×P3	P1×P4
DT	-8.54	8.52	-2.71
NF1	31.54	127.64	34.70
NF2	1.75	21.64	14.71
DEF1	-31.33	-3.43	-4.96
DEF2	-30.60	-1.64	-1.48
DPF1	-14.97	0.56	-9.49
DPF2	-17.12	12.41	-13.03
PF1	-76.99	-30.87	-8.00
PF2	-73.49	-23.01	-16.56
RTO	88.49	43.39	-5.63

DT = Diámetro de tallo; NF1 = Número de frutos en racimo 1; NF2 = Número de frutos en racimo 2; DEF1 = Diámetro ecuatorial de fruto en racimo 1; DEF2 = Diámetro ecuatorial de fruto en racimo 2; DPF1 = Diámetro polar de fruto en racimo 1; DPF2 = Diámetro polar de fruto en racimo 2; PF1 = Peso de fruto en racimo 1; PF2 = Peso de fruto en racimo 2; RTO = Rendimiento de fruto (g planta^{-1}).

En el diámetro de tallo se observó heterosis positiva en el híbrido P1×P3. En el número de frutos por racimo se expresó heterosis positiva con mayor magnitud en el primer racimo respecto al segundo; el híbrido P1×P3 mostró el valor más alto y P1×P2 el más bajo. En el diámetro ecuatorial del fruto la heterosis fue negativa, lo que indica ausencia de vigor híbrido. En contraste, el diámetro polar del fruto mostró heterosis positiva en el híbrido P1×P3 en ambos racimos (Tabla 2). El peso de fruto presentó heterosis negativa en ambos racimos, y el híbrido P1×P2 registró el menor valor. Por su parte, el rendimiento de fruto mostró heterosis positiva en los híbridos P1×P2 y P1×P3; mientras que en P1×P4 fue negativa (Tabla 2).

La agrupación de los genotipos parentales con sus híbridos evidenció la formación de dos grupos. El mayor grado de aglomeración se observó entre los parentales P1 y P4 y su híbrido P1×P4 (Figura 1), lo que evidenció el grado de similitud entre los genotipos. En estudios relacionados se ha sugerido que la sobredominancia se manifiesta en cruzamientos recíprocos entre cultivares comerciales (Rajendran *et al*. 2022), práctica común en programas de mejoramiento (Hernández-Leal *et al*. 2019). Con base en los resultados obtenidos, se puede asumir que la herencia asociada con el tamaño y el número de frutos por planta es de tipo dominante. Esto concuerda con la

hipótesis de que los híbridos F_1 expresan, en cierta medida, caracteres favorables; sin embargo, sus ventajas respecto a variedades comerciales han sido menores que las observadas en cruzamientos naturales (Fentik 2017).

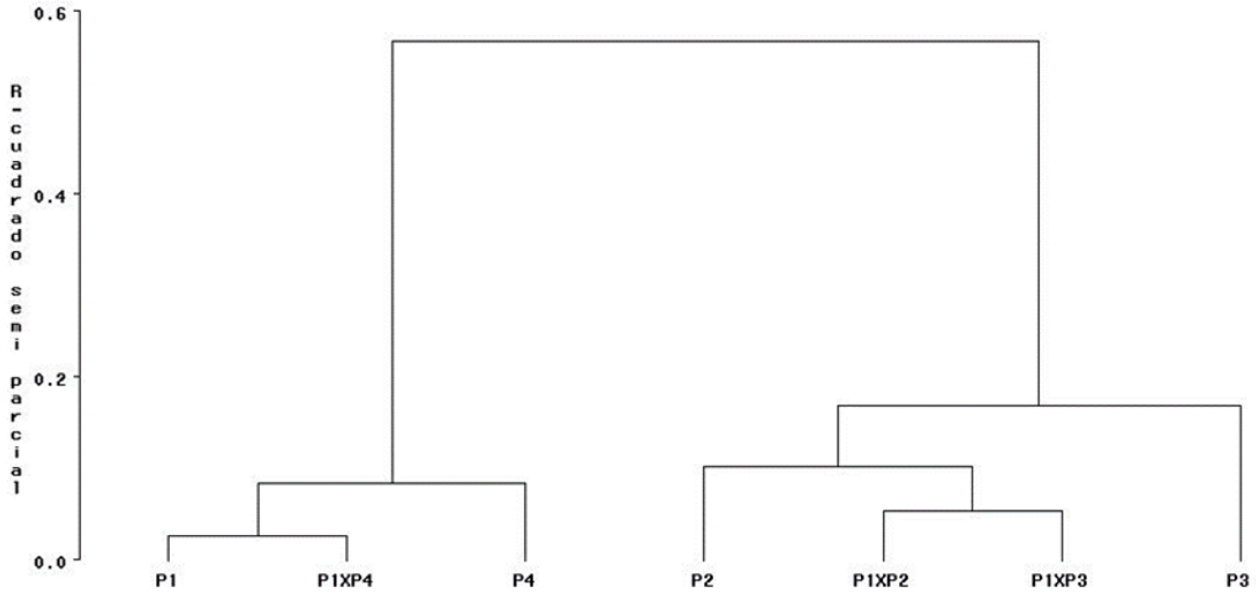


Figura 1. Dendrograma de agrupamiento de progenitores e híbridos de jitomates nativos evaluados en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos.

Los híbridos P1×P2 y P1×P3 mostraron mayor rendimiento de fruto y mejoras en las características asociadas. En este contexto, resulta fundamental incorporar nuevas variantes recombinantes, como las que poseen los jitomates nativos empleados en este estudio, los cuales exhiben alta heterosis en sus híbridos, evidenciada por características fenotípicas superiores a las de los genotipos parentales (Bai y Lindhout 2007, Mackay *et al*. 2021). Asimismo, sería deseable combinar estas características agronómicas con las propiedades nutracéuticas que poseen los jitomates nativos, en beneficio de una población mundial en constante crecimiento (Egea *et al*. 2022).

Los genotipos parentales empleados en este estudio provienen de distintas regiones de México y presentan tipos de frutos marcadamente contrastantes, por lo que su divergencia genética se asoció con una mayor expresión de heterosis, en concordancia con lo indicado por Paril *et al*. (2024). Estos resultados confirman la heterosis positiva descrita en cruzamientos entre *Solanum lycopersicum* L. × *S. habrochaites* LA1223, atribuida a la divergencia genética entre genotipos parentales (Marín-Montes *et al*. 2021). Asimismo, se ha reportado un patrón heterótico amplio para diversas características en cruzas F_1 (Farwah *et al*. 2024), así como magnitudes de heterosis de -69.30 a 17.6% (Ene *et al*. 2023). En el presente estudio, la heterosis varió de -76.99 a 127.64%, lo que resalta la influencia del factor parental en la obtención de híbridos con respuesta heterótica.

La heterosis obtenida para el número de frutos por planta en este estudio supera el intervalo de variación heterótica de -63.37 a 42.28% reportado en híbridos F_1 (Farwah *et al*. 2024), así como el de -31.91% a 64.15% (Soliman y Shehata 2023); sin embargo, contrasta con la heterosis negativa observada en cruzamientos entre cuatro líneas parentales y un donador de polen (Ene *et al*. 2023).

En el diámetro ecuatorial y polar del fruto, la heterosis negativa registrada coincide con los valores de -34.7 a -13.5% y de -48.8 a -26.8% reportados en la cruza de cuatro progenitores y un donador de polen (Ene *et al*. 2023, Soliman y Shehata 2023), pero difiere de la heterosis positiva descrita para líneas parentales y híbridos F_1 (Javed *et al*. 2022, Soliman y Shehata 2023). Esta heterosis negativa no es deseable, debido a que ambos diámetros se asocian directamente con el tamaño del fruto y, por tanto, con el rendimiento total.

La heterosis negativa observada en el peso de fruto en este estudio coincide con los valores de -68.65% (Farwah *et al*. 2024) y -22.67% (Soliman y Shehata 2023) reportados previamente; sin embargo, contrasta con la heterosis positiva de 1 a 64% descrita para otros híbridos (Javed *et al*. 2022). La ausencia de heterosis positiva podría atribuirse a la cancelación interna de sus componentes (Shende *et al*. 2012). En rendimiento, se han reportado valores de heterosis positiva de 55.48 a 83.67% (Soliman y Shehata 2023, Farwah *et al*. 2024), los que fueron superados por los obtenidos en el presente estudio. La heterosis positiva registrada en algunos caracteres evaluados confirma la importancia de seleccionar híbridos que expresen este tipo de respuesta (Chandel *et al*. 2021). Sin embargo, también se ha documentado heterosis negativa para rendimiento de fruto en híbridos derivados de la cruza de cuatro líneas parentales y un donador de polen (Ene *et al*. 2023), como se observó en la cruza P1×P4 del presente estudio.

La dirección de la heterosis (positiva o negativa) depende de la amplitud de la variación genética presente en el germoplasma utilizado. En este sentido, los resultados sugieren que la heterosis positiva constituye la alternativa más conveniente para mejorar el número, tamaño y peso del fruto con efecto directo sobre el rendimiento total. La integración de los genotipos parentales con sus respectivos híbridos F_1 se evidenció mediante la conformación de dos grupos principales. Este patrón permite inferir que los híbridos comparten información genética de ambos genotipos parentales; además, la procedencia de los genotipos parentales empleados en los cruzamientos permitió visualizar la magnitud de la heterosis y el comportamiento diferencial de los híbridos.

Los resultados confirman la relevancia de incorporar recursos fitogenéticos nativos destinados a la alimentación humana. Las variables evaluadas y las estimaciones de heterosis indican que el germoplasma nativo de jitomate es una fuente valiosa de genes de interés para el mejoramiento genético del jitomate en México.

Este estudio aporta evidencia para sustentar el uso de germoplasma nativo en el desarrollo de variedades e híbridos, con beneficios potenciales para productores y consumidores de diversos estratos de la población mexicana. Los resultados indicaron que los genotipos parentales y sus híbridos mostraron variación significativa en el número de frutos, tamaño, peso y rendimiento. El híbrido P1×P2 destacó por el mayor rendimiento de fruto. P1×P3 mostró una marcada expresión heterótica en el número de frutos. La heterosis negativa observada en tamaño y peso de fruto en algunas combinaciones evidencia la importancia de una selección específica de parentales en función del carácter de interés. En términos generales, el jitomate nativo es una fuente estratégica de genes para el desarrollo de híbridos con mayor productividad, mejores atributos de fruto, lo cual sustenta la continuidad de la evaluación y selección de estos materiales como base para generar variedades e híbridos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) el apoyo económico al proyecto Desarrollo y Liberación de Materiales Mejorados de Chile, Ajo y Jitomate, con número SIGI 16592536649.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

LITERATURA CITADA

Anisa WN, Afifah EN, Murti RH (2022) Selection of tomato breeding lines based on morphological traits associated with high yield potential in double-cross population. Biodiversitas Journal of Biological Diversity 23(6): 2973-2980. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230624

Avdikos ID, Tagiakas R, Tsouvaltzis P, Mylonas I, Xynias IN, Mavromatis AG (2021) Comparative Evaluation of Tomato Hybrids and Inbred Lines for Fruit Quality Traits. Agronomy 11: 609. https://doi.org/10.3390/agronomy11030609

Bai Y, Lindhout P (2007) Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? Annals of Botany 100: 1085-1094. https://doi.org/10.1093/aob/mcm150

Canul-Ku J, González-Pérez E, Barrios-Gómez EJ, Pons-Hernández JL, Rangel-Estrada SE (2022) Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. Revista Fitotecnia Mexicana 45(1): 23-31.

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(3): 2261-2272.

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 57(6): 1183-1203. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i6.2493

Chandel R, Sadashiva AT, Ravishankar KV, Das A, Rout BM, Singh S (2021) Genetic combining, heterosis analysis for horticultural traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using ToLCV-resistant lines and molecular validation of Ty genes. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization 19(6): 512-521. https://doi.org/10.1017/S1479262121000630

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. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105086

Ene CO, Abtew WG, Oselebe HO, Ozi FU, Ogah O, Okechukwu EC, Chukwudi UP (2023) Hybrid vigor and heritability estimates in tomato crosses involving *Solanum lycopersicum*× *S. pimpinellifolium* under cool tropical monsoon climate. International Journal of Agronomy 2023(1): 3003355. https://doi.org/10.1155/2023/3003355

Farwah S, Afroza B, Amin A, Zehra B, Anayat R, Rashid R, Shamma R (2024) Heterosis studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). International Journal of Statistics and Applied Mathematics 9(1): 228-231.

Fentik DA (2017). Review on genetics and breeding of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Advances Crop Science Technology 5: 306. https://doi10.4172/2329-8863.1000306

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. 91p.

Hagenguth J, Kanski L, Kahle H, Becker HC, Horneburg B (2024) Flavour improvement in early generations of fresh market tomatoes (*Solanum lycopersicum*): I. Identification of QTL for sensory attributes, physicochemical measurements and volatile compounds. Plant Breeding 143: 334–349. https://doi.org/10.1111/pbr.13168

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(2): 181-189. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000200181

Javed A, Nawab NN, Gohar S, Akram A, Javed K, Sarwar M, Tabassum MI, Ahmad N, Mallhi AR (2022) Genetic analysis and heterotic studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids for fruit yield and its related traits. SABRAO Journal of Breeding and Genetics 54(3): 492-501. https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.3

Johnson DE (2000) Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Thomson. México. 566p.

Liu Z, Jiang J, Ren A, Xu X, Zhang H, Zhao T, Jiang X, Sun Y, Li J, Yang H (2021) Heterosis and Combining Ability Analysis of Fruit Yield, Early Maturity, and Quality in Tomato. Agronomy 11: 807. https://doi.org/10.3390/agronomy11040807

Mackay IJ, Cockram J, Howell P, Powell W (2021) Understanding the classics: the unifying concepts of transgressive segregation, inbreeding depression and heterosis and their central relevance for crop breeding. Plant Biotechnology Journal 19(1): 26-34. https://doi:10.1111/pbi.13481

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(6): 779-796. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i6.2184

Marín-Montes IM, Lobato-Ortiz R, Carrillo-Castañeda G, Rodríguez-Pérez JE, García-Zavala JJ, Velasco-García ÁM (2019) Riqueza alélica de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) para el mejoramiento genético. Agrociencia 53(3): 355-370.

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 F_1 y F_2 del cruzamiento *Solanum lycopersicum* L.× *S. habrochaites* LA1223. Revista Fitotecnia Mexicana 44(4): 503-510.

Osei MK, Danquah E, Danquah A, Blay E, Adu-Dapaah H (2020) Hybridity testing of tomato F_1 progenies derived from parents with varying fruit quality and shelf life using single nucleotide polymorphism (SNPs). Scientific African 8, e00267. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00267

Paril J, Reif J, Fournier-Level A, Pourkheirandish M (2024) Heterosis in crop improvement. The Plant Journal, 117(1): 23-32. https://doi.org/10.1111/tpj.16488

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(1): 89-99.

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(1): 37-48. https://doi.org/10.9787/PBB.2022.10.1.37

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 lycopersicon* MILL.). Frontiers in Genetics 13: 1030309. https://doi:10.3389/fgene.2022.1030309

SAS (2016) User´s Guide of SAS (Statistical Analysis Systems). SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 550p.

Shende VD, Seth T, Mukherjee S, Chattopadhyay A (2012) Breeding tomato (*Solanum lycopersicum* L.) for higher productivity and better processing qualities. SABRAO Journal of Breeding and Genetics 44(2): 302-321.

SNICS (2024) Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México, Ciudad de México. 211p.

Soliman AAEK, Shehata ASA (2023) Exploring Hybrid Vigor, Inheritance Patterns, and Genetic Progress in Tomato. Horticulture Research Journal 1(4): 120-131. https://doi.org/10.21608/hrj.2023.347822

Zörb C, Piepho HP, Zikeli S, Horneburg B (2020) Heritability and variability of quality parameters of tomatoes in outdoor production. Research 2020: 6707529. https://doi.org/10.34133/2020/6707529