

Estimación de Heterosis y Heterobeltiosis en Híbridos Interpoblacionales de Tomate de Cáscara (*Physalis Ixocarpa Brot.*)

Estimation of Heterosis and Heterobeltiosis in Interpoblational Hybrids of Husk Tomato (*Physalis ixocarpa Brot.*)

Neymar Camposeco-Montejo¹, Valentín Robledo-Torres²,
Antonio Flores-Naveda³

Camposeco-Montejo, N; Robledo-Torres, V; Flores-Naveda, A. Estimación de Heterosis y Heterobeltiosis en Híbridos Interpoblacionales de Tomate de Cáscara (*Physalis Ixocarpa Brot.*). *Tecnología en Marcha*. Vol. 33-2. Abril-Junio 2020. Pág 91-101.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4339>

Fecha de recepción: 25 de mayo de 2019
Fecha de aprobación: 17 de setiembre de 2019



- 1 Profesor investigador del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Correos electrónicos: neym_33k@hotmail.com, naveda26@hotmail.com. Autor de correspondencia.  <https://orcid.org/0000-0003-0638-2452>
- 2 Profesor investigador del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Correo electrónico: robledo3031@gmail.com.
- 3 Profesor investigador del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Correo electrónico: naveda26@hotmail.com

Palabras clave

Physalis ixocarpa Brot.; mejoramiento genético; efectos genéticos; cruzamientos; hibridación interpoblacional.

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar los progenitores y sus cruza, y estimar la heterosis y la heterobeltiosis en híbridos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). Los progenitores fueron UAN CC-S2 (1), un genotipo de *Physalis angulata* (2), UAN CP-S2 (3), Gran Esmeralda (4), UAN CJ-S2 (5), Rendidora (6) y UAN 133-05 (7). Los cruzamientos planta a planta fueron en invernadero, en otoño-invierno de 2012; la evaluación de cruza y progenitores se realizó en el municipio de General Cepeda, Coahuila, México, en primavera-verano de 2013, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. En cuanto a rendimiento, la cruza más rendidora fue 3*4, con rendimientos de 47.19 t.ha⁻¹, heterosis de 35.93% y heterobeltiosis de 20.85%; sin embargo, la cruza 1*6 presentó valores mayores de heterosis y heterobeltiosis, 117.91 y 117.62% respectivamente. Para número de frutos por planta, la cruza 7*3 mostró los valores de heterosis y heterobeltiosis mayores, 109.19 y 89.96% respectivamente. En cuanto a peso promedio del fruto, diámetro ecuatorial del fruto y diámetro polar del fruto, la mejor cruza fue la 3*4, que presentó heterosis de 41.17, 11.40 y 12.56% y heterobeltiosis de 37.99, 9.26 y 12.03% respectivamente, si bien la cruza 1*5 mostró valores de 115.91% de heterosis y 107.83% de heterobeltiosis en peso promedio del fruto. Entre las poblaciones estudiadas existe divergencia genética, puesto que presentaron altos valores de heterosis; además, los efectos maternos influyeron de forma significativa en las variables en estudio, indicando la mejor dirección de la cruza.

Keywords

Physalis ixocarpa Brot.; genetic improvement; genetic effects; crosses; interpopulation hybridation.

Abstract

The objective of the investigation was to evaluate progenitors and their crosses, and to estimate heterosis and heterobeltiosis in hybrid of husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot). The progenitors were UAN CC-S2 (1), a genotype of *Physalis angulata* (2), UAN CP-S2 (3), Gran Esmeralda (4), UAN CJ-S2 (5), Rendidora (6), and UAN 133- 05 (7). The crosses, plant to plant, were done under greenhouse conditions in autumn-winter of 2012; the evaluation of the crosses and the parents were done in the municipality of General Cepeda, Coahuila, Mexico, in the spring-summer of 2013, under a randomized block design with three repetitions. In yield, the best cross was 3*4, with yields of 47.19 t.ha⁻¹, heterosis of 35.93%, and heterobeltiosis of 20.85%; however the 1*6 cross presented the highest values of heterosis and heterobeltiosis, 117.91 and 117.62% respectively; in number of fruits per plant, crosses 7*3 showed the highest values of heterosis and heterobeltiosis, 109.19 and 89.96% respectively; in terms of average fruit weight, equatorial diameter of fruit, and polar diameter of fruit, the best cross was the 3*4, that presented heterosis of 41.17, 11.40, and 12.56%, and heterobeltiosis of 37.99, 9.26, and 12.03%, respectively, although cross 1*5 values of heterosis and heterobeltiosis in average weight were 115.91 and 107.83% respectively. Among the populations studied there is genetic divergence, since they presented high values of heterosis; in addition, the maternal effects significantly influenced the variables under study, indicating the best direction of the cross.

Introducción

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México actualmente ocupa el quinto lugar en superficie sembrada entre las hortalizas, con más de 43 000 hectáreas cultivadas, con una producción de 773 350 toneladas y un valor comercial de 3515 millones de pesos. Los estados que más aportan en la producción son Sinaloa, Puebla, Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Nayarit [1], aunque esta se distribuye en todos los estados de la República Mexicana, desde los 10 hasta los 2600 m.s.n.m. y crece en forma silvestre, cultivada y domesticada. Esta amplia variabilidad geográfica es consecuencia de que México es el centro de origen, por lo que existen amplia distribución y diversidad genética, que pueden ser útiles en los programas de mejoramiento genético [2]. En México el tomate verde se propaga principalmente con semilla de variedades criollas, aunque el uso de variedades mejoradas e híbridos va en aumento debido a las mejoras en el rendimiento,

El mejoramiento genético del tomate de cáscara se basa principalmente en selección masal, selección familiar de medios hermanos y selección combinada de medios hermanos, ya que la producción de líneas puras para generar híbridos está muy restringida [2], debido a que es una planta alógama obligada porque presenta autoincompatibilidad gametofítica [3] [4]. En tomate de cáscara existe una amplia diversidad genética, por lo tanto, diversidad en cuanto a formas, color, tamaño y tolerancia a factores adversos, por lo que es una fuente de germoplasma valiosa y presenta un largo camino por recorrer en el mejoramiento genético. Los rendimientos promedios de tomate de cáscara en 2012, en condiciones de campo abierto, fueron de 14.36 t.ha⁻¹, mientras que en 2017 fueron de 18.07 t.ha⁻¹, con un incremento de 25% en los últimos 5 años [1], lo que se debe a las innovaciones en la prácticas y técnicas de cultivo y al incremento en el uso de variedades mejoradas; sin embargo se consideran bajos en relación con rendimientos experimentales de hasta 47 t.ha⁻¹. Los bajos rendimientos pueden ser resultado de la falta de conocimiento respecto a ciertas variables y al todavía limitado uso de variedades mejoradas, además del uso de variedades poco adaptadas a las diferentes zonas y regiones de cultivo. Surge entonces la necesidad de trabajar en el mejoramiento genético de la especie, a fin de contribuir en el desarrollo de genotipos con potencial de rendimiento que supere los alcances medios de las variedades más rendidoras que se cultivan actualmente [5].

A pesar de que las variedades mejoradas de tomate de cáscara tienen mejores características agronómicas y son de mayor rendimiento que las nativas [6], la demanda creciente del mercado, requiere de nuevos materiales mejorados y con mayores rendimientos, como son los híbridos intervarietales, que en maíz rinden más que las variedades mejoradas [7] [8], principalmente los de cruza simple de líneas endogámicas [9]. En tomate de cáscara ha sido posible obtener híbridos sobresalientes cruzando progenitores derivados de variedades de las razas Puebla y Rendidora, pues entre estas razas se ha encontrado la mayor heterosis y se han obtenido híbridos planta a planta que superan al mejor progenitor [10] [11] [12]. Además, en cruza intervarietales de tomate de cáscara se han obtenido incrementos en el rendimiento de fruto de 14.3% [10], 40.6% [12] y hasta 138.7% en el primer corte [11]. Sin embargo, como la autoincompatibilidad gametofítica que existe en tomate de cáscara impide la formación de líneas endogámicas para hibridación clásica, en esta investigación se planteó como objetivo, la formación y evaluación de híbridos interpoblacionales de tomate de cáscara por cruza simple planta a planta, así como la estimación de su heterosis y heterobeltiosis, para determinar el potencial genético de los materiales seleccionados como parentales.

Materiales y métodos

El material genético que se utilizó en esta investigación fue proporcionado por el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, y es el resultado de colectas

realizadas en diferentes regiones de México y varios ciclos de selección, material como UAN CC-S2 (1), un genotipo de *Physalis angulata* (2), UAN CP-S2 (3), la variedad Gran Esmeralda (4), UAN CJ-S2 (5), la variedad Rendidora (6) y UAN 133-05 (7). Este material genético se utilizó para realizar las cruzas directas y recíprocas; sin embargo, no fue posible obtener todas las combinaciones, debido a problemas de compatibilidad entre progenitores y solo se obtuvieron 26 híbridos interpopulacionales.

Para la formación de los híbridos, los progenitores se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades; se usó como sustrato de germinación *Peat moss* + perlita, a razón de 80/20 %, y 35 días después de la siembra. Se trasplantaron 10 plántulas por genotipo en invernadero durante el ciclo otoño-invierno de 2012, en camas elevadas de 25 cm, con una distancia entre camas de 1.80 m. y entre plantas, de 60 cm. Las plantas se cultivaron bajo los procedimientos estándar del cultivo. Cuando se inició la floración, se realizaron las cruzas de forma manual planta a planta, a fin de obtener la mayor cantidad de semilla; las polinizaciones se realizaron diariamente de 9:00 a.m. a 12:00 p.m., tomando polen del genotipo que fungía como macho y colocándolo en el estigma de la flor de las plantas utilizadas como hembra. Estas fueron polinizadas nuevamente al siguiente día (las plantas utilizadas como progenitores son totalmente autoincompatibles, por lo tanto, las plantas hembras no requieren de emasculación). Cuando los frutos (F1) resultantes de las cruzas alcanzaron su madurez fisiológica, se cortaron y almacenaron de 10 a 15 días a la sombra y a temperatura ambiente, para favorecer la madurez de las semillas; luego se procedió a la extracción de la semilla. Estas se secaron a la sombra y a temperatura ambiente por siete días consecutivos y se conservaron en sobres de papel hasta su posterior evaluación.

La siembra de la semilla híbrida fue realizada de la misma forma que la de los progenitores. La evaluación de los progenitores e híbridos resultantes de las cruzas realizadas, se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano de 2013 en la localidad de General Cepeda, Coahuila, México, ubicada a 25° 22' 45" N y 101° 27' 18" O a una altitud de 1465 m.s.n.m. Las plántulas se trasplantaron a camas de cultivo, con acolchado plástico de color negro, con riego por goteo, a una distancia de 1.80 m entre camas, a doble hilera de plantas por cama, en forma de tresbolillo y a 60 cm entre plantas, lo que resultó en un total de 18 515 plantas por hectárea. Se determinó un arreglo experimental de bloques al azar con 3 repeticiones, una repetición por tratamiento y cada uno constituido por 12 plantas, y como parcela útil 8 plantas al centro de la parcela y con competencia completa para reducir el efecto de orilla. La fertilización total del cultivo fue de 180-120-240 kg.ha⁻¹. Para la prevención y control de plagas (mosca blanca, diabrotica y gusano del fruto), se realizaron aplicaciones semanales de metamidofos 48%, cipermetrina 21%, lambda cyalotrina 5% y dimetoato 38%, a razón de 1 ml.L⁻¹, rotando los productos, hasta 10 días antes de la primera cosecha; después de cada cosecha se realizó una aplicación de cipermetrina 21% + lambda cyalotrina 5%.

El primer corte se hizo a los 63 días después del trasplante y posteriormente se realizaron tres cortes de fruto con intervalos de 15 días. El rendimiento total de fruto (RTF, t.ha⁻¹), se estimó con el peso total de frutos por planta cuantificado con una balanza de precisión modelo TS 1352Q37 marca SARTORIUS y expresado en kg.planta⁻¹. El peso promedio de fruto (PPF) se calculó dividiendo el peso total de frutos por planta entre el número total de frutos de la planta, mientras que el diámetro polar y ecuatorial de fruto (DEF y DPF) se estimó tomando al azar cuatro frutos por planta, utilizando para ello un vernier digital marca Autotec®. El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó en los mismos frutos seleccionados al azar, para medir DEF y DPF; la estimación de sólidos solubles totales (SST) se hizo con un refractómetro de precisión marca Carl Zeiss® modelo 114280.

La estimación de heterosis se realizó mediante la fórmula siguiente, en porcentaje:

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

Donde

F1= híbrido de la primera cruza

P1= progenitor uno

P2= progenitor dos

La estimación de heterobeltiosis se realizó mediante la fórmula siguiente, en porcentaje:

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

Donde

F1= híbrido de la primera cruza

MP= el mejor progenitor

Resultados y discusión

El análisis de varianza para rendimiento total de fruto, número de frutos por planta y peso promedio de fruto muestra diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre cruza y progenitores (cuadro 1), lo cual coincide con lo encontrado por Sahagún *et ál* [11], quienes reportaron diferencias estadísticas altamente significativas en dichas variables. En las variables diámetro ecuatorial de fruto (DEF), diámetro polar de fruto (DPF) y sólidos solubles totales (SST) solo se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (cuadro 1); resultados similares encontraron Santiaguillo *et ál* [12] y Peña *et ál* [10] para los caracteres mencionados, excepto para contenido de SST.

Cuadro 1. Cuadrados medios de seis caracteres estimados en genotipos (cruzas y progenitores) de tomate de cáscara, estudiados en General Cepeda, Coahuila, México

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios					
		RTF (t.ha ⁻¹)	NFP	PPF (gr)	DEF (cm)	DPF (cm)	SST °brix
Genotipos	32	206.1 **	732.16 **	484.0 **	1.35 *	0.61 *	0.32 *
Bloques	2	63.18 *	1034.72 *	77.28 *	0.06 NS	0.03 NS	0.26 NS
Error	64	26.27	166.66	25.93	0.04	0.02	0.13
CV (%)		20.02	25.46	15.74	4.57	4.43	6.03

**= significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), NS = no significativo, RTF= rendimiento total de fruto, NFP= número de frutos por planta, PPF= peso promedio de frutos, DEF=diámetro ecuatorial de fruto, DPF= diámetro polar de fruto, SST= sólidos solubles totales, CV= coeficiente de variación

La comparación de medias de los progenitores y cruza (cuadro 2) muestra que la cruza más rendidora, aunque estadísticamente igual al híbrido Gran esmeralda, fue la 3*4, con un rendimiento comercial promedio de 47.19 t.ha⁻¹, superando con 8.14 t.ha⁻¹ al mejor progenitor

de la cruza, y un valor de heterosis de 35.93 % (cuadro 3), y de heterobeltiosis de 20.85 % (cuadro 4); de igual forma, en esta cruza se presentaron valores de heterosis y heterobeltiosis positivos en las variables PPF, DPF, DEF y SST, excepto en NFP, donde se presentó una heterobeltiosis negativa de -8.25%. Las cruzas 1*6, 3*1, 1*4, 4*3, 4*7, 7*6, 7*5, 4*5 tuvieron rendimientos comerciales promedios entre 30.51 y 38.01, superando el rendimiento medio nacional en más del 112%, y mostraron valores de heteróticos de 117.91, 42.90, 20.72, 1.57, 9.9, 75.67, 102.08 y 17.66 % (cuadro 3) y heterobeltiosis de 117.62, 12.41, -12.71, -9.7, -20.35, 75.24, 74.23 y -21.86 % respectivamente (cuadro 4). Las cruzas 1*6 y 7*5 mostraron los más altos valores de heterosis; sin embargo, solo las cruzas 1*6, 3*1, 7*5 y 7*6, presentaron rendimientos superiores a 30 t.ha⁻¹ y valores heteróticos, positivos. Resultados similares fueron reportados por Santiaguillo *et ál* [12], con incrementos en rendimiento de hasta un 40.6% respecto a su mejor progenitor, en la cruza de la variedad Verde Puebla * CHF1 Chapingo, mientras que Sahagún *et ál* [11] encontraron incrementos de 138.7% en rendimiento en el primer corte, en la variedad Salamanca*Rendidora. Por su parte Peña *et ál* [10] indicaron un 14.3% de incremento en rendimiento respecto al mejor progenitor en CHF-1 Chapingo * Verde Puebla. En la presente investigación el progenitor Rendidora presentó rendimientos de 17.46 t.ha⁻¹; sin embargo, fue superado por Gran Esmeralda en 126% que fue el mejor progenitor, mientras que el mejor híbrido superó a la variedad Rendidora en 170% y en 20% a Gran Esmeralda; este híbrido superó a la variedad Rendidora en todos los componentes del rendimiento de fruto evaluados, a pesar de que la variedad Rendidora a lo largo de los años se ha mantenido como un genotipo sobresaliente (cuadro 3). La cruza 7*5 presentó el mayor número de frutos por planta, con 100.33, superando a su mejor progenitor, con 47.51 frutos y los valores de heterosis y heterobeltiosis fueron de 109.19 y 89.96% respectivamente, valores significativamente superiores a los reportados por Peña *et ál* [10], quienes señalaron una heterosis media de 10.42% para las cruzas en este carácter. Los fenómenos de heterosis observados son consecuencia de efectos genéticos de dominancia y de aptitud combinatoria general en la expresión de estos caracteres [13] [10], además de que en jitomate, también se atribuye la presencia de heterosis en rendimiento a la divergencia genética existente debido al origen del material genético utilizado [14] [15], así como a efectos de aptitud combinatoria general [16] [17]. Por el contrario, en tomatillo, Santiaguillo *et ál* [12] y Sahagún *et ál* [11] atribuyen los efectos heteróticos de rendimiento a acción génica no aditiva.

En cuanto a peso promedio de fruto, la mejor cruza fue 3*4 con 68.18 g, superando a su mejor progenitor en 38%; esta presentó una heterosis y una heterobeltiosis de 41.17 y 37.99% respectivamente (cuadros 3 y 4), si bien, los mayores valores de heterosis y heterobeltiosis para este carácter los presentó la cruza 1*5, con 115.91 y 107.83% respectivamente, que difieren con lo encontrado por Santiaguillo *et ál* [12], quienes reportaron heterosis negativa para peso promedio de fruto, con -5.2 %, en las variedades de CHF1 Chapingo * Verde Puebla, heterosis que está dada por efectos de dominancia principalmente [11] [10]. Sin embargo, esta contrasta con la heterosis en jitomate, pues Moreira *et ál* [18] señalan que los efectos heteróticos en peso promedio de fruto son génicos, no aditivos.

Para diámetro ecuatorial y polar de fruto la mejor cruza fue 3*4, con 4.79 y 6.1 cm respectivamente, y además superó a su mejor progenitor en 38 y 14 % respectivamente, con valores de heterosis y heterobeltiosis de 11.40 y 9.26% en DEF, y 12.56 y 12.03 % en DPF respectivamente (cuadro 3 y 4). Sin embargo, los mayores valores de heterosis y heterobeltiosis en DEF los mostró la cruza 1*5, con 33.59 y 29.34% respectivamente, al igual que en DPF, con heterosis y heterobeltiosis de 27.25 y 24.81% respectivamente, lo que difiere de lo reportado por Santiaguillo *et ál* [12], quienes obtuvieron heterosis negativas de -1.7 y -0.7% respectivamente, para dichos caracteres en CHF1 Chapingo * Verde Puebla. En cuanto al contenido de sólidos solubles totales, la mejor cruza fue 2*6, con un valor medio de 6.87 °brix, y superó a su mejor progenitor cuyo contenido fue de 0.98 ° brix, y valores de heterosis y heterobeltiosis de 16.82 y 16.7% respectivamente, lo

cual probablemente se debió a una buena combinación de caracteres genéticos que controlan esta variable entre *Physalis angulata* y *Physalis ixocarpa* (Rendidora), que ha sido la variedad más cultivada a través del tiempo en México.

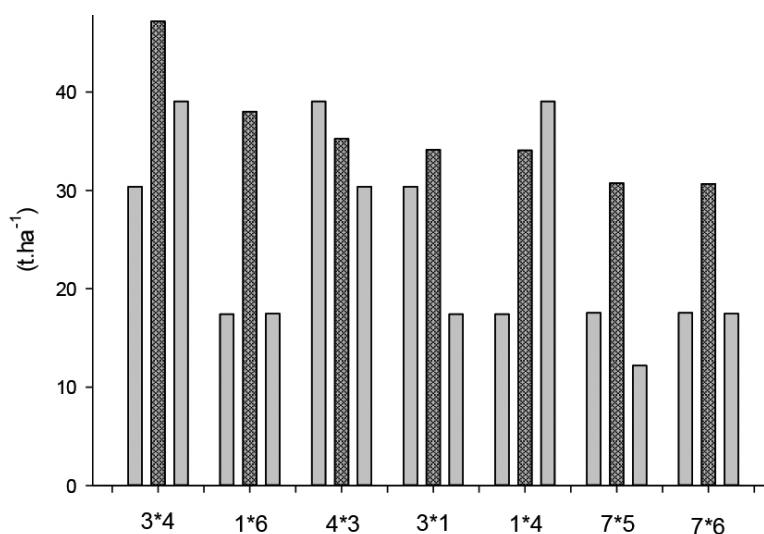


Figura 1. Gráfico de cruzas prometedoras para la variable rendimiento, *= F1 resultante de la cruz de dos progenitores ($X_1 * X_2$)

Los fenómenos de heterosis y heterobeltiosis se presentaron en la mayoría de las cruzas evaluadas en sentido positivo y en la mayoría de los caracteres evaluados; sin embargo, en algunos caracteres también se presentaron en sentido negativo (cuadro 3). La heterosis y la heterobeltiosis variaron ampliamente entre cruzas debido a la diversidad y a la divergencia genética entre progenitores probados, pues provenían de diferentes regiones agroclimáticas del país [19] y presentaban diferencias de aptitud combinatoria específica entre sus genotipos [12].

Dado que en el presente trabajo se presentaron cruzas directas y recíprocas, fue posible comparar los resultados en las variables estudiadas en ambos sentidos, por lo que se encontró diferencias entre estos, lo que indica que existen efectos maternos significativos, por lo que es importante definir la mejor dirección para una cruza interpoblacional, a fin de lograr mayores rendimientos y la calidad de fruto que demanda el mercado actual.

Cuadro 2. Promedios de seis caracteres evaluados en progenitores y cruzas de tomate de cáscara, en General Cepeda, Coahuila, México

Progenitores	RTF	NFP	PPF	DEF	DPF	SST
	(t.ha ⁻¹)		(gr)	(cm)	(cm)	(° Brix)
1)UAN CC-S2	17.42 jkl ^a	70.27 bc	15.42 r	3.77 p-r	3 qr	6.11 b-f
2)P. angulata	28.13 d-h	70.11 bc	23.95 m-q	4.33 m-o	3.36 m-p	5.89 c-f
3)UAN CP-S2	30.38 c-g	36.55 j-i	47.18 b-d	5.58 bc	4.27 bc	6.15 c-f
4)G. Esmeralda	39.05 ab	53.37 d-i	49.41 bc	5.37 b-e	4.23 bcd	5.93 c-f
5)UAN CJ-S2	12.81 l	52.82 c-i	14.26 r	3.53 r	2.88 r	6.09 c-f

Continúa...

Continuación

Progenitores	RTF	NFP	PPF	DEF	DPF	SST
	(t.ha ⁻¹)		(gr)	(cm)	(cm)	(° Brix)
7)UAN 133-05	17.55 j-l	43.14 f-k	24.36 m-q	4.47 l-n	3.42 l-o	6.16 b-e
Cruzas						
(1*3)	22.81 e-k	33.61 i-k	43.11 c-e	5.2 d-g	4.01 c-g	6.24 b-f
(1*4)	34.08 b-d	43.65 h-k	54.31 b	5.6 b	4.38 b	5.95 c-f
(1*5)	24.72 e-j	45.7 e-k	32.05 g-l	4.87 g-k	3.74 g-j	6.31 a-d
(1*6)	38.01 bc	62.52 b-g	39.37 d-g	5.25 bf	4.26 bc	5.71 d-f
(2*1)	29.85 c-g	51.17 c-j	34.92 e-i	5.15 d-g	3.99 d-h	5.68 ef
(2*5)	25.32 e-j	81.84 ab	19.42 o-r	4.23 no	3.44 l-o	5.91 c-f
(2*6)	16.33 kl	48.04 d-j	19.21 o-r	3.68 qr	3.13 p-r	6.87 a
(2*7)	18.45 j-l	40.76 h-k	29.12 i-n	4.67 j-m	3.47 k-o	6.27 a-e
(3*1)	34.15 b-d	43.65 f-k	42.23 c-f	5.6 bc	4.15 b-f	6.11 b-f
(3*4)	47.19 a	48.96 d-j	68.18 a	6.1 a	4.79 a	6.18 b-e
(3*7)	22.24 g-k	41.55 g-k	33.27 g-k	5.03 e-i	3.72 h-k	5.51 f
(4*1)	24.06 e-k	26.39 k	53.65 b	6.06 a	4.27 bc	5.7 ef
(4*3)	35.26 b-d	60.43 c-h	35.82 e-i	5.24 c-f	4.18 b-e	5.68 ef
(4*5)	30.51 c-g	63.49 b-f	26.18 j-o	4.71 i-l	3.88 g-i	5.99 c-f
(4*6)	25.43 e-j	42.85 f-k	34.45 f-i	4.98 f-j	3.69 i-l	6.14 b-e
(4*7)	31.1 b-e	43.78 f-k	40.15 d-g	5.4 b-d	3.9 f-i	6.46 a-c
(5*1)	27.79 d-i	59.38 c-h	25.53 k-o	4.7 i-l	3.57 j-n	6.46 a-c
(5*3)	15.8 kl	38.15 i-k	24.79 l-k	4.48 l-n	3.44 l-o	5.68 af
(5*7)	19.71 i-l	65.32 b-e	16.85 qr	4.04 op	3.32 n-p	5.95 c-f
(6*1)	28.19 d-h	46.48 e-k	37.7 e-h	5.16 d-g	4.01 c-g	6.34 a-c
(6*3)	20.88 h-l	37.92 i-k	32.97 g-k	5.09 d-h	3.92 e-i	6.7 ab
(6*4)	12.92 l	37.37 i-k	22.44 n-r	4.02 o-q	3.35 m-p	6.85 a
(6*5)	13.42 l	46.99 d-k	17.8 p-r	3.77 p-r	2.98 qr	6.4 a-c
(7*3)	22.35 f-k	41.01 h-k	29.92 h-n	4.59 l-n	3.73 h-k	6.19 b-e
(7*5)	30.68 c-f	100.33 a	18.1 o-r	4.1 op	3.21 o-q	5.91 c-f
(7*6)	30.75 b-e	67.62 b-d	25.61 k-p	4.61 k-m	3.6 j-m	5.92 c-f
C.V. %	20.02	25.46	15.74	4.57	4.43	6.03

&= medias seguidas de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales, DMS ($p \leq 0.05$); C.V.= coeficientes de variación, RTF= rendimiento total de fruto, NFP= número de frutos por planta, PPF= peso promedio de frutos, DEF=diámetro ecuatorial de fruto, DPF= diámetro polar de fruto, SST= sólidos solubles totales

Cuadro 3. Valores de heterosis mostrada por las cruzas de tomate de cáscara evaluadas en General Cepeda, Coahuila, México

Cruza	Heterosis (%)					
	RTF	NFP	PPF	DEF	DPF	SST
(1*3)	-4.56	-37.08	37.74	11.13	10.26	1.76
(1*4)	20.72	-34.22	67.56	22.62	21.23	-1.28
(1*5)	63.54	-25.74	115.91	33.59	27.25	3.40
(1*6)	117.91	23.54	54.12	23.99	24.33	0.02
(2*1)	31.08	-27.10	77.41	27.38	24.12	-0.98
(2*5)	23.67	33.15	1.66	7.66	10.22	-1.24
(2*6)	-28.35	-4.92	-35.55	-19.36	-11.39	16.82
(2*7)	-19.21	-28.01	20.56	6.01	2.38	4.15
(3*1)	42.90	-18.27	34.93	19.73	14.15	-0.28
(3*4)	35.93	8.91	41.17	11.40	12.56	2.34
(3*7)	-7.17	4.28	-6.99	0.05	-3.29	-10.42
(4*1)	-14.77	-57.31	65.53	32.71	18.13	-5.32
(4*3)	1.57	34.41	-25.84	-4.26	-1.69	-5.93
(4*5)	17.66	19.59	-17.77	5.85	9.03	-0.32
(4*6)	-9.98	1.66	-19.01	-1.99	-7.25	3.95
(4*7)	9.90	-9.28	8.85	9.70	1.95	6.80
(5*1)	83.82	-3.51	71.99	22.94	21.31	5.82
(5*3)	-26.86	-14.62	-19.31	-1.66	-3.77	-7.12
(5*7)	29.80	36.15	-12.78	1.19	5.38	-2.95
(6*1)	61.64	-8.16	47.57	20.70	19.27	5.81
(6*3)	-12.70	12.38	-20.40	-3.13	-3.81	13.61
(6*4)	-54.28	-11.34	-47.24	-20.89	-15.62	15.92
(6*5)	-11.36	12.20	-28.68	-9.35	-9.70	6.97
(7*3)	-6.73	2.93	-16.37	-8.75	-2.99	0.52
(7*5)	102.08	109.12	-6.30	0.21	0.37	-5.87
(7*6)	75.67	82.55	-14.68	-0.29	0.72	-1.70

RTF= rendimiento total de fruto, NFP= número de frutos por planta, PPF= peso promedio de frutos, DEF=diámetro ecuatorial de fruto, DPF= diámetro polar de fruto, SST= sólidos solubles totales

Cuadro 4. Valores de heterobeltiosis presentada por las cruzas de tomate de cáscara evaluadas en General Cepeda, Coahuila, México

Heterobeltiosis (%)						
	RTF	NFP	PPF	DEF	DPF	SST
(1*3)	-24.92	-52.18	-8.62	-6.95	-6.15	1.43
(1*4)	-12.71	-42.13	9.93	4.32	3.59	-2.72
(1*5)	41.94	-34.96	107.83	29.34	24.81	3.22
(1*6)	117.62	-11.03	10.37	10.82	12.30	-1.91
(2*1)	6.12	-27.18	45.81	19.04	17.54	-2.79
(2*5)	-10.00	16.74	-18.89	-2.37	2.49	-2.89
(2*6)	-41.94	-31.48	-46.14	-23.13	-15.73	16.70
(2*7)	-34.40	-41.86	19.53	4.44	-6.77	1.83
(3*1)	12.41	-37.88	-10.48	0.26	-2.83	-0.60
(3*4)	20.85	-8.25	37.99	9.26	12.03	0.53
(3*7)	-26.78	-3.68	-29.48	-9.95	-12.93	-10.50
(4*1)	-38.37	-62.44	8.60	12.91	0.95	-6.71
(4*3)	-9.70	13.24	-27.51	-6.09	-2.15	-7.60
(4*5)	-21.86	18.97	-47.01	-12.30	-8.31	-1.61
(4*6)	-34.86	-19.70	-30.27	-7.34	-12.84	3.45
(4*7)	-20.35	-17.97	-18.73	0.48	-7.83	4.82
(5*1)	59.54	-15.49	65.55	24.63	18.99	5.63
(5*3)	-48.00	-27.76	-47.46	-19.77	-19.38	-7.58
(5*7)	12.30	23.68	-30.86	-9.45	-2.85	-3.51
(6*1)	61.43	-33.86	5.68	7.88	7.73	3.77
(6*3)	-31.26	3.75	-30.11	-10.07	-10.01	11.06
(6*4)	-66.91	-29.97	-54.57	-25.21	-20.72	15.36
(6*5)	-23.16	-11.04	-50.08	-21.24	-19.83	5.09
(7*3)	-26.43	-4.93	-36.59	-17.87	-12.66	0.44
(7*5)	74.83	89.96	-25.72	-10.33	-7.47	-6.42
(7*6)	75.24	56.74	-28.20	-3.59	-3.35	-3.98

RTF= rendimiento total de fruto, NFP= número de frutos por planta, PPF= peso promedio de frutos, DEF=diámetro ecuatorial de fruto, DPF= diámetro polar de fruto, SST= sólidos solubles totales

Conclusión

En las poblaciones de tomate de cáscara utilizadas en la presente investigación se encontraron características genéticas deseables que favorecen la presencia de heterosis y heterobeltiosis positivas en los híbridos interpoblacionales resultantes de las cruzas y para los caracteres estudiados, lo que da la pauta para continuar con el mejoramiento genético de esta especie, con el objeto de desarrollar variedades superiores, con mejores atributos en calidad del fruto y mejor adaptadas a las condiciones agroclimáticas locales y regionales.

En las poblaciones de tomate de cáscara estudiadas se encontró que los efectos genéticos maternos tienen influencia significativa sobre las variables en estudio. Estos permiten definir el material parental y la mejor dirección de la cruce y del programa de mejoramiento genético.

Referencias

- [1] SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 2017.
- [2] L. A. Peña y F. Márquez, "Mejoramiento genético en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)", *Revista Chapingo*, Serie Horticultura, 71/72: 84-88, 1990.
- [3] P. Zamora, P. Vargas, M. Sánchez, and D. Cabrera, "Diversity and genetic structure of the husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) in Western Mexico," *Genet. Resour. Crop Evol.*, 62: 141-153, 2015. Doi:10.1007/s10722-014-0163-9.
- [4] K. Pandey, "Genetics of self-incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot. A new system," *American Journal of Botany*, 44: 879- 887, 1957. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1957.tb08275.x>
- [5] V. Robledo, F. Ramírez, R. Foroughbakhch, A. Benavides, G. Hernandez, and H. Reyes, "Development of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) autotetraploids and their chromosome and phenotypic characterization," *Breeding Science*, 61: 288-293, 2011. DOI: 10.1270/jsbbs.61.288
- [6] A. Peña, J. F. Santiaguillo, D. Montalvo y M. Pérez, "Intervalos de cosecha en la variedad CHF1- Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), *Revista Chapingo*, Serie Horticultura, 3(1): 31-38, 1997. <http://dx.doi.org/0000>
- [7] A. Russell, "Genetic improvement of maize yields," *Advances in Agronomy* 46: 245-398, 1991. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60582-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60582-9)
- [8] C. Hoegemeyer and R. Hallauer, "Selection among and within fullsib families to develop single-crosses of maize," 16(1): 76-81. 1976. doi:10.2135/cropsci1976.0011183X001600010019x
- [9] H. Weatherspoon, "Comparative yield of single, three-way and double crosses of maize," *Crop Science*, 10: 157-159, 1970. doi:10.2135/cropsci1970.0011183X001000020011x
- [10] A. Peña, J. Molina, T. Cervantes, S. Márquez, J. Sahagún y J. Ortiz. "Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)", *Revista Chapingo*, Serie Horticultura, 4(1): 31-37. 1998. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.1997.12.093>
- [11] J. Sahagún, F. Gómez y A. Peña. "Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)", *Revista Chapingo*, Serie Horticultura 5(1): 23-27, 1999. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.1998.07.050>
- [12] J. Santiaguillo, T. Cervantes y A. Peña. Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta * planta entre variedades de tomate de cáscara", *Rev. Fitotec. Mex.*, 27(1): 85-91, 2004. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-1/1a.pdf>
- [13] M. Moreno, A. Peña, J. Sahagun, J. Rodríguez y A. Mora, "Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)", 25(3): 231-237, 2002. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/25-3/1a.pdf>
- [14] S. Falconer, *Introducción a la genética cuantitativa* [trad. de F. Márquez S.], 2.a ed. México, D. F.: Editorial CECSA, 383 p., 1986.
- [15] H. Moll, H. Lonquist, F. Vélez, and C. Johnson, "The relationship of heterosis and genetic divergence in maize," *Genetics* 52: 139-144, 1965. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1210832/pdf/139.pdf>
- [16] E. Martínez, R. Lobato, J. J. García y D. Reyes, Heterosis de cruza entre líneas de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) nativo mexicano tipo pimienta y líneas tipo *saladette*", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(1): 67-77, 2016. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/39-1/8a.pdf>
- [17] V. Mendoza, J. Sahagun, J. Rodríguez, P. Legaria, A. Peña y M. Perez, "Heterosis intervarietal en jitomate de crecimiento indeterminado tipo *saladette*", *Revista Chapingo*, Serie Horticultura, 16(1): 57-66, 2010. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.007>
- [18] C. Moreira, A. Echandi y R. Méndez "Heterosis y habilidad combinatoria en líneas de tomate para mesa, con adaptación a altas temperaturas", *Revista Agrícola Tropical*, 33: 19-26, 2003. <https://www.metabase.net/docs/bn-cr-r/030534.html>
- [19] L. E. Valdivia, F. A. Rodríguez, J. Sánchez, and O. Vargas, "Phenology, agronomic and nutritional potential of three wild husk tomato species (*Physalis*, *Solanaceae*) from Mexico," *Sci. Hort.*, 200: 83-94, 2016. doi:10.1016/j.scienta.2016.01.005