

## SELECCIÓN PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE CRUZAS PLANTA x PLANTA ENTRE VARIETADES DE TOMATE DE CÁSCARA

### SELECTION FOR FRUIT YIELD AND QUALITY FROM PLANT x PLANT CROSSES BETWEEN HUSK TOMATO VARIETIES

José Francisco Santiaguillo Hernández<sup>1,2\*</sup>, Tarcicio Cervantes Santana<sup>1</sup> y Aureliano Peña Lomelí<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa en Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México- Texcoco. C.P. 56230 Montecillo, Edo. de México. Dirección Actual: Centro Regional Universitario de Occidente, Universidad Autónoma Chapingo. Manuel M. Dieguez No. 113. Sector Hidalgo, Colonia Moderna, C.P. 44680 Guadalajara, Jalisco. Tel y Fax: 01 (33)3615-1729. Correo electrónico: hersan03@hotmail.com. <sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México- Texcoco. C.P. 56230 Chapingo, Edo de México. Tel y Fax: 01 (595) 952-1642.

\* Autor responsable

#### RESUMEN

En este trabajo se hizo selección para rendimiento y calidad de fruto en 220 cruza planta x planta entre las variedades CHF1-Chapingo y Verde Puebla de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Las 220 cruza y las dos variedades se evaluaron en el año 2001 en Tecamac y Chapingo, México, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los caracteres medidos fueron: Rendimiento de fruto por planta (kg) en los cortes 1, 2 y 3 y en el total de cortes (RTF); peso individual (g), firmeza (kg cm<sup>-2</sup>), sólidos solubles totales (grados Brix) y diámetros polar (mm) y ecuatorial (mm) del fruto (PEF, FIF, SST, DPF y DEF, respectivamente), medidos en el corte 1. El rendimiento de fruto promedio de los progenitores se incrementó de 0.39 a 0.73 kg/planta al avanzar del corte 1 al 3, y el de las cruza también aumentó de 0.40 a 1.01. El rendimiento total de CHF1-Chapingo y Verde Puebla fue 2.02 y 1.34 kg/planta, respectivamente, y el de las cruza varió de 1.20 a 2.84, con media de 2.04 kg/planta (42.50 t ha<sup>-1</sup>). La heterosis promedio en las cruza se incrementó del corte 1 al 3 de 0.01 a 0.28 kg/planta y la heterobeltiosis en la mejor cruza de 0.48 a 0.76 kg/planta. En rendimiento total la heterosis promedio fue de 0.36 kg/planta (21.4 %) y la heterobeltiosis en la mejor cruza (C127) fue 0.82 kg/planta (40.6 %), la cual rindió 2.84 kg/planta. En los cinco caracteres de calidad de fruto (PEF, FIF, SST, DPF y DEF) la heterosis promedio fue negativa, pero la heterobeltiosis de la mejor cruza varió de 0.7 a 19.2 %.

**Palabras clave:** *Physalis ixocarpa* Brot., cruza planta x planta, divergencia genética, heterosis, heterobeltiosis.

#### SUMMARY

Fruit yield and quality of 220 plant-to-plant crosses between varieties CHF1-Chapingo and Verde Puebla of husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) were evaluated as selection criteria. The evaluation, including the two parental varieties, was done in 2001 at Tecamac and Chapingo, México, in a randomized complete block design with three replications. Measured traits were: fruit yield per plant (kg) in the 1st, 2nd and 3rd harvest and total yield (RTF); individual weight (g), firmness (kg cm<sup>-2</sup>), total soluble solids (Brix degrees) and polar and equatorial diameters (mm) of fruit (PEF, FIF, SST, DPF and DEF, respectively) were measured only in the first harvest. The mean fruit yield of parents increased from 0.39 to 0.73 kg/plant from the

1st to the 3rd harvest, as well as that of the crosses from 0.40 to 1.01 kg/plant. Total yield of CHF1-Chapingo and Verde Puebla were 2.02 and 1.34 kg/plant, respectively, and total yield of crosses varied from 1.20 to 2.84 kg/plant, with a mean of 2.04 kg/plant (42.50 t ha<sup>-1</sup>). The mean heterosis in the crosses increased from the 1st to the 3rd harvest from 0.01 to 0.28 kg/plant, and heterobeltiosis in the best cross increased from 0.48 to 0.76 kg/plant. In total yield the mean heterosis was 0.36 kg/plant (21.4 %) and heterobeltiosis in the best cross (C127) was 0.82 kg/plant (40.6 %), which yielded 2.84 kg/plant. In the five traits of fruit quality (PEF, FIF, SST, DPF and DEF), mean heterosis was negative, but the heterobeltiosis of the best cross varied from 0.7 to 19.2 %.

**Index words:** *Physalis ixocarpa* Brot., plant-to-plant crosses, genetic divergence, heterosis, heterobeltiosis.

#### INTRODUCCIÓN

La amplia variabilidad genética del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) tanto del silvestre como del domesticado, en México, y las evidencias arqueológicas existentes (Mac Neish, 1966), sugieren que es originario de este país, en donde según Bukasov (1963) se ha cultivado desde épocas prehispánicas para el consumo de su fruto en forma de salsa, macerado éste con el fruto de chile (*Capsicum spp.*). De las 80 especies del género *Physalis* que se encuentran en Asia, África y principalmente en América (Waterfall, 1967), únicamente *P. ixocarpa* y *P. peruviana* son cultivadas; esta última en Perú, Colombia, Haití y Costa Rica, en donde se consume como fruta (Menzel, 1951).

El alto consumo del fruto de tomate de cáscara en México condujo a cultivar 51 237 ha en el año 2000, con un rendimiento promedio de 12.3 y 9.3 t ha<sup>-1</sup> en riego y temporal, respectivamente (SAGARPA, 2002). La mayor superficie se cultiva con variedades nativas y la menor con mejoradas, obtenidas a partir de las nativas.

Para disponer de material mejorado de tomate de cáscara de alto rendimiento, se plantea la obtención de híbridos, que en especies como maíz (*Zea mays* L.) son de mayor rendimiento que las variedades mejoradas de polinización libre (Hoegemeyer y Hallauer, 1976), principalmente los de cruce simple entre líneas endogámicas (Weatherspoon, 1970).

*P. ixocarpa* es diploide ( $2n=24$ ) con flores hermafroditas, y presenta autoincompatibilidad producida por dos series alélicas, debido a que la autofecundación es infértil cuando uno o más alelos entran en homocigosis (Pandey, 1957). Esto la convierte en alógama y dificulta la obtención de líneas endogámicas para la hibridación clásica, que en maíz se efectúa con este tipo de líneas (Bernardo, 1994). Sin embargo, la hibridación en tomate de cáscara puede enfocarse a cruces intervarietales. Peña *et al.* (1998) encontraron entre cruces dialélicas de ocho variedades de tomate de cáscara, que la mejor cruce (CHF1-Chapingo x Verde Puebla) superó en 14.3 % al rendimiento de fruto de su mejor progenitor (Verde Puebla), que a su vez fue el mejor de todos los progenitores.

Como la heterosis en una cruce se incrementa al aumentar la divergencia genética entre los progenitores (Ghaderi *et al.*, 1984), para obtener híbridos intervarietales rendidores es necesario que los progenitores sean de alto rendimiento y genéticamente divergentes. En especies autoincompatibles, como el tomate de cáscara, el rendimiento de los híbridos intervarietales puede aumentarse si éstos se forman entre dos plantas  $S_0$  (sin endogamia) de dos variedades que cumplen con las características mencionadas, debido a la mayor aptitud combinatoria específica entre algunas plantas, la cual se expresa en alta heterosis. No obstante, en este tipo de híbridos se presenta el problema del mantenimiento y multiplicación de las líneas  $S_0$  para la producción comercial de la semilla  $F_1$ . Esto posiblemente puede resolverse mediante el cultivo de tejidos *in vitro* (Manzo *et al.*, 1998) y la clonación por enraizamiento de esquejes (García *et al.*, 2001).

El objetivo del presente trabajo fue formar y seleccionar para rendimiento y calidad de fruto, cruces planta x planta entre las variedades de tomate de cáscara CHF1-Chapingo y Verde Puebla, bajo la hipótesis de que entre estas variedades existe divergencia genética con potencial para dar una alta heterosis en la cruce intervarietal, la cual puede ser superada por algunas cruces planta x planta, debido a su mayor aptitud combinatoria específica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético estuvo constituido por las variedades de tomate de cáscara CHF1-Chapingo (Chapingo) y

Verde Puebla (Puebla), ambas pertenecientes al Banco de Germoplasma Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo. La variedad Chapingo se obtuvo por selección de la variedad Rendidora; es precoz, de alto rendimiento, hábito de crecimiento rastrero y fruto mediano de color verde (Peña *et al.*, 1997). Rendidora fue seleccionada entre 49 poblaciones del estado de Morelos (Saray *et al.*, 1978). La variedad Puebla se obtuvo por selección de una población de Tecamachalco, Pue.; es de ciclo tardío, rendimiento medio, hábito de crecimiento erecto y fruto grande de color verde (Peña *et al.*, 1998).

En el ciclo otoño-invierno 2000-2001 en Chapingo, México, bajo condiciones de invernadero e hidroponía, se hicieron cruces planta x planta de una planta de la variedad Chapingo con otra de la variedad Puebla, y viceversa, según la sincronía de floración que permitiera efectuar la cruce. La semilla de cada variedad se sembró en el sustrato comercial COSMOPEAT<sup>®</sup>, contenido en charolas de unicel de 200 cavidades. Se sembraron 30 charolas por variedad con cuatro a seis semillas por cavidad, y 7 d después de la siembra se aclaró a una planta por cavidad. El riego de las plantas fue por aspersión, diario en los primeros 7 d y cada tercer día durante los 28 siguientes. En este último periodo, con los riegos se aplicaron en forma alternada los fertilizantes foliares Fertiquel Combi<sup>®</sup> (2 g L<sup>-1</sup> de agua) y Bayfolan<sup>®</sup> (10 mL L<sup>-1</sup> de agua). Para la prevención de plagas y enfermedades, a los 21 y 28 d se asperjó la mezcla de Basudín<sup>®</sup> (1 mL L<sup>-1</sup> de agua) y Bavistín<sup>®</sup> (1 g L<sup>-1</sup> de agua). A los 35 d las plantas se trasplantaron a bolsas de polietileno negro de 0.45 x 0.45 m, llenas con tezontle de textura fina. Previa identificación, la superficie superior de la maceta se dividió en dos partes iguales; en cada mitad se trasplantaron cuatro plantas de cada variedad, seleccionadas por su mayor vigor, tallo grueso y sanidad. Las 560 macetas con ocho plantas cada una, se distribuyeron en el invernadero a una distancia de 1.0 m entre hileras y entre macetas.

Siete días después del trasplante se hizo un aclareo para dejar la mejor planta en cada maceta. Tres días después se inició el cruzamiento manual entre las dos plantas de cada maceta (cruce de Chapingo x Puebla), al tomar polen de flores abiertas de la variedad Chapingo y colocarlo en el estigma de botones florales a punto de abrir de la variedad Puebla, y viceversa. Los botones florales se abrieron con pinzas para exponer el estigma; una vez polinizados, se cubrieron con una bolsa de papel glassine de 15 cm de longitud y 3.5 cm de ancho, y se marcaron con un hilo de estambre atado al pedúnculo floral. La bolsa de glassine fue retirada cuando se constató que el fruto presentaba crecimiento normal. En cada par de plantas se polinizaron en promedio 12 botones florales. El periodo de cruzamiento

duró 45 d y las polinizaciones se realizaron de las 9:00 a las 12:00 h.

Los frutos de Chapingo y Puebla provenientes de la polinización manual en las dos plantas de cada maceta, se cosecharon conjuntamente, bajo el supuesto que en las cruza de tomate de cáscara no existen efectos maternos en rendimiento por planta y peso de fruto (Peña *et al.*, 1998). La cosecha se hizo cuando los frutos cambiaron de color verde a amarillo. Los frutos se almacenaron de 20 a 25 d en un contenedor de doble bolsa, una externa de papel y otra interna de plástico, para que llegaran a su madurez completa; luego se extrajo la semilla  $F_1$  de la cruza.

De las 560 cruza formadas sólo 220 fueron útiles; las restantes 340 se eliminaron debido a que una o las dos plantas de una cruza presentaron crecimiento raquíutico, deficiencias nutricionales, síntomas de enfermedades o de ataque de plagas, o bien, debido al bajo porcentaje de germinación de la semilla  $F_1$ , obtenido en la siembra previa a la evaluación experimental en campo.

Las 220 cruza y las variedades Chapingo y Puebla se evaluaron en Chapingo y Tecamac, México. Chapingo se localiza a 98° 53' LW, 19° 29' LN y 2250 m de altitud (García, 1987), y Tecamac a 98° 55' LW, 19° 43' LN y 2260 m de altitud (INEGI, 1996). El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental fue de un surco de 3.60 m de longitud, con distancia entre surcos de 1.20 m y entre matas de 0.40 m, para una densidad de población de 20 833 plantas/ha.

En cada localidad el experimento se estableció con plántulas desarrolladas en invernadero, y trasplante en suelo húmedo a una planta por mata. El trasplante se hizo el 5 y 6 de abril de 2001 en Chapingo y Tecamac, respectivamente. La fertilización se hizo con la fórmula 180N-90P-90K, de la cual la mitad del nitrógeno (Urea) y potasio (Cloruro de potasio), y la totalidad del fósforo (Superfosfato de calcio triple) se aplicaron en el primer cultivo; el resto del nitrógeno y potasio se aplicó en el segundo cultivo. El primer riego se proporcionó tres días después del trasplante, y los posteriores cada semana. Las plagas que se presentaron fueron pulga saltona (*Epitrix cucumerina*), diabroticas (*Diabrotica spp.*), mayate del fruto (*Lema trilineata*) y gusano del fruto (*Heliothis sp.*), las cuales se controlaron con aplicaciones cada siete días de Paratión metílico® (5 mL L<sup>-1</sup> de agua) y Lannate® (2 g L<sup>-1</sup> de agua), para el caso de las dos primeras y las dos últimas, respectivamente. La enfermedad con mayor incidencia al final del ciclo fue cenicilla polvorienta (*Erisiphe sp.*), la cual se

controló con dos aplicaciones de Bayleton® (0.5 g L<sup>-1</sup> de agua) a un intervalo de siete días.

Los caracteres medidos fueron: Rendimiento de fruto (en kg por planta) en cada uno de tres cortes (RF1, RF2 y RF3) y en el total de los tres cortes (RTF), que se estimó del rendimiento de fruto por parcela dividido entre el número de plantas de ésta; peso del fruto individual (PEF), en g, calculado de una muestra aleatoria de 13 frutos por parcela; firmeza de fruto (FIF), en kg cm<sup>-2</sup>, la cual se midió en tres frutos con un penetrómetro de mano marca R-Lusa®; sólidos solubles totales (SST) en grados Brix, cuyo valor se obtuvo en los mismos tres frutos de FIF, con un refractómetro de precisión marca Carl Zeiss® modelo 114280; diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto (DPF y DEF), en mm, obtenidos en diez frutos mediante un vernier de precisión marca Uchida®, modelo MO-1. Los últimos cinco caracteres se midieron en el primer corte y sus valores se expresaron como promedios por fruto de la muestra aleatoria por parcela. Los cortes 1, 2 y 3 se efectuaron a los 77, 87 y 97 d, respectivamente, después de establecido el experimento en campo.

Para cada carácter se hizo un análisis de varianza por localidad y otro combinado de localidades, y la comparación de medias fue con la prueba de Tukey a 0.05 de probabilidad. Se hizo análisis de regresión lineal simple del rendimiento promedio de fruto de las cruza y de los progenitores sobre los cortes de fruto. Se calculó la heterosis como la diferencia de la  $F_1$  menos la media de los padres (Falconer y Mackay, 1996) por cruza y para el promedio de cruza, y la heterobeltiosis por cruza como la diferencia de la  $F_1$  menos el mejor progenitor (Joshi *et al.*, 2001). Se determinó el porcentaje de cruza superiores a la media de progenitores y al mejor progenitor. Se hizo análisis de correlación entre los nueve caracteres evaluados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza por localidad y combinado de localidades indicaron diferencias significativas entre genotipos, para rendimiento de fruto en los tres cortes y en el total de cortes, peso individual del fruto, firmeza, diámetro polar y ecuatorial de fruto, pero no en contenido de sólidos solubles totales, en Tecamac. Entre localidades hubo diferencias significativas en firmeza y sólidos solubles. La interacción genotipos por localidades únicamente fue significativa en el peso individual del fruto e indica que este carácter fue el menos estable a través de ambientes, tal como lo encontraron Peña *et al.* (1998) en un estudio similar.

En promedio de los dos ambientes (Chapingo y Tecamac), el rendimiento total de los 222 genotipos presentó

una amplitud de 1.20 kg/planta (25.00 t ha<sup>-1</sup>) a 2.84 kg/planta (59.17 t ha<sup>-1</sup>), correspondientes a las cruzas C30 y C127, respectivamente (Cuadro 1). Según la comparación de medias, 119 genotipos integraron el grupo superior con un rendimiento total mayor de 1.61 kg/planta, en el cual quedó incluida la variedad progenitora Chapingo con rendimiento de 2.02 kg/planta (42.08 t ha<sup>-1</sup>), aunque esta variedad no fue estadísticamente diferente de Puebla. La cruz C127 rindió 40.6 y 111.9 % más que Chapingo y Puebla (1.34 kg/planta = 27.92 t ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Antes, Peña *et al.* (1998) encontraron que la variedad Puebla rindió 4.9 % más que la variedad Chapingo, lo cual pudo ser el resultado del efecto de localidad y año, y de la mayor densidad de población (33 334 plantas/ha), en comparación con la del presente estudio (20/833 plantas/ha). Pérez *et al.* (1994) encontraron que la alta densidad de población redujo el peso y número de frutos por planta en el material SMIV-1 obtenido por selección de la variedad Rendidora, del cual se derivó la variedad Chapingo.

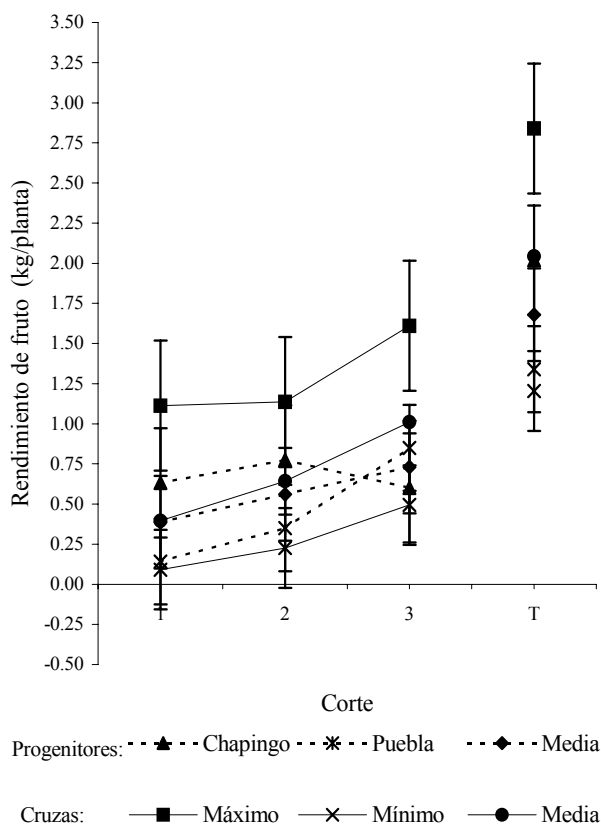


Figura 1. Rendimiento de fruto de progenitores y cruzas de tomate de cáscara, a través de los cortes 1, 2 y 3 y del total de cortes (T). Promedios de dos sitios en el Estado de México 2001.

Las variedades Chapingo y Puebla incrementaron su rendimiento del primero al segundo corte, pero sólo en el primero Chapingo superó a Puebla en rendimiento de fruto (Figura 1). En el tercer corte el rendimiento de Puebla se

incrementó, sin superar estadísticamente al de Chapingo que redujo su rendimiento de fruto por abajo al obtenido en el primer corte. El alto rendimiento de la variedad Chapingo en los dos primeros cortes y su disminución en el tercero indican que es una variedad precoz, de periodo reproductivo corto; en cambio, Puebla es tardía con periodo reproductivo largo, como lo habían señalado Santiaguillo y Peña (1997).

A través de cortes, el promedio de las cruzas mostró un incremento en rendimiento de fruto, correspondiente al coeficiente de regresión lineal  $b = 0.31$ , que no fue estadísticamente diferente de cero. Los progenitores también mostraron un incremento en rendimiento a través de cortes, con una  $b = 0.17$  significativa. Este comportamiento se atribuye a que el tomate de cáscara es de crecimiento indeterminado con ramificación pseudodicotómica (Peña *et al.*, 1997), que aumenta su rendimiento progresivamente hasta un límite para después descender, con variaciones entre genotipos. El mayor incremento del rendimiento en las cruzas pudo obedecer a que son de periodo reproductivo más largo y de mayor capacidad de rendimiento que Chapingo y Puebla; al respecto, los genotipos más rendidores son, en general, más tardíos, como lo encontraron Estrada *et al.* (1994) en familias de la variedad Rendidora de tomate de cáscara. El comportamiento en los tres cortes de los genotipos evaluados se reflejó en el rendimiento total, en el cual la media de las cruzas (2.04 kg/planta) fue superior en 21.4 % a la de los progenitores (1.68 kg/planta), aunque esta superioridad no fue significativa estadísticamente.

El fruto de Puebla tuvo igual contenido de sólidos solubles totales y firmeza que el de Chapingo, pero el primero tuvo mayor peso individual (84.5 g) y mayores diámetros polar (45 mm) y ecuatorial (58.5 mm). Esto concuerda con la variabilidad genética reconocida en tomate de cáscara, donde las variedades de la raza Puebla son las que producen frutos más grandes (Santiaguillo y Peña, 1997). Debido a las características de peso y tamaño, el fruto de la variedad Puebla tiene preferencia en el mercado nacional y de exportación.

En la producción comercial de tomate de cáscara, los agricultores generalmente hacen el número de cortes que le son rentables, que puede ser uno, dos o más. Para un corte las cruzas por seleccionar son C200, C127 y C140, cuyo rendimiento al primer corte fue de 1.11, 0.94 y 0.93 kg/planta, respectivamente. Estas cruzas también presentaron valores aceptables de tamaño (PEF, DPF y DEF), firmeza y sólidos solubles totales de fruto (Cuadro 1). Cuando el criterio de selección es el rendimiento total, la mejor cruz de las 220 evaluadas es la C127, que superó al

Cuadro 1. Promedios para nueve caracteres de 15 de 220 cruza planta x planta de la posición superior (+++), intermedia (++) e inferior (+) en rendimiento total de fruto y de los progenitores Chapingo y Puebla de tomate de cáscara. México. 2001.

Genotipo	RF1	RF2	RF3	RTF	PEF	FIF	SST	DPF	DEF
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(g)	(kg cm <sup>-2</sup> )	(°Brix)	(mm)	(mm)
C127	0.94	0.96	0.94	2.84 <sup>+++</sup>	70.0	7.6	5.4	42.0	54.0
C171	0.65	0.96	1.17	2.78 <sup>+++</sup>	65.9	7.7	5.0	38.1	53.3
C34	0.69	0.89	1.18	2.76 <sup>+++</sup>	54.6	7.6	5.3	38.9	49.2
C170	0.57	0.81	1.37	2.76 <sup>+++</sup>	64.9	6.8	4.7	39.9	54.0
C181	0.77	0.84	1.13	2.74 <sup>+++</sup>	79.4	7.6	4.9	42.5	56.3
C193	0.43	0.76	1.53	2.73 <sup>+++</sup>	72.5	7.9	5.3	42.0	55.2
C105	0.69	0.90	1.12	2.71 <sup>+++</sup>	65.0	6.2	5.3	38.4	52.8
C121	0.45	0.93	1.27	2.65 <sup>+++</sup>	70.6	7.2	5.1	42.6	55.6
C166	0.36	0.68	1.61	2.65 <sup>+++</sup>	83.4	7.1	5.2	41.7	58.9
C182	0.36	1.08	1.20	2.64 <sup>+++</sup>	60.4	7.4	5.7	39.6	50.7
C140	0.93	0.60	1.11	2.64 <sup>+++</sup>	64.9	6.6	5.3	39.8	53.4
C115	0.40	0.81	1.13	2.34 <sup>++</sup>	57.6	9.3	5.4	40.4	51.0
C200	1.11	0.62	0.49	2.23 <sup>++</sup>	67.2	7.03	5.4	41.0	52.9
Chapingo	0.63	0.77	0.60	2.02	51.2	6.6	5.6	36.3	48.6
C124	0.31	0.61	1.05	1.97 <sup>++</sup>	89.0	7.5	4.5	42.8	58.7
Puebla	0.14	0.35	0.85	1.34	84.5	7.8	5.3	45.0	58.5
C30	0.18	0.29	0.73	1.20 <sup>+</sup>	60.3	7.4	5.1	46.3	52.0
<b>DMS</b>	<b>0.41</b>	<b>0.65</b>	<b>1.04</b>	<b>1.22</b>	<b>21.5</b>	<b>3.2</b>	<b>1.6</b>	<b>8.0</b>	<b>8.5</b>

RF1, RF2, RF3 y RTF = Rendimiento de fruto por planta en el corte 1, 2, 3 y total, respectivamente; PEF = Peso individual de fruto; FIF = Firmeza de fruto; SST = Sólidos solubles totales de fruto; DPF y DEF = Diámetros polar y ecuatorial de fruto. DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05).

progenitor más rendidor (Chapingo) en 40.6 %, con un rendimiento de 17.09 t ha<sup>-1</sup>, que sería rentable para el productor. También pueden ser seleccionadas las cruza C171, C34, C181 y C193, cuyos rendimientos totales son 2.78, 2.76, 2.74 y 2.73 kg/planta, respectivamente, y también tienen valores aceptables en las características de calidad de fruto. Todas estas cruza superaron a la variedad Puebla en rendimiento total, pero ninguna la superó en calidad de fruto (PEF, FIF, SST, DPF y DEF). Además, la amplia variación entre cruza puede permitir la selección de algunas para fines específicos, como la C115 de máxima firmeza de fruto (9.3 kg cm<sup>-2</sup>) y la C124 con alto peso individual del fruto (89.0 g).

Debido a que el rendimiento promedio de los progenitores y de las cruza se incrementó a través de cortes (Cuadro 2), la heterosis promedio en las cruza aumentó de 0.01 a 0.36 kg/planta al pasar del corte 1 al rendimiento total, y la heterobeltiosis para la mejor cruza aumentó de 0.48 a 0.82 kg/planta. Sin embargo, los porcentajes de heterosis y heterobeltiosis fueron más altos en el tercer corte con 38.4 y 89.4 %, respectivamente, como también lo fueron los porcentajes de cruza superiores a la media de los progenitores y al mejor progenitor, con 88.6 y 75.0, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 2. Media y valores extremos de caracteres de progenitores y cruza de tomate de cáscara. Promedios de dos sitios en el Estado de México. 2001.

Carácter	Media de progenitores	Cruza		
		Media	Mínimo	Máximo
RF1 (kg/planta)	0.39	0.40	0.09	1.11
RF2 (kg/planta)	0.56	0.64	0.23	1.14
RF3 (kg/planta)	0.73	1.01	0.49	1.61
RTF (kg/planta)	1.68	2.04	1.20	2.84
PEF (g)	67.9	64.4	45.5	89.0
FIF (kg cm <sup>-2</sup> )	7.2	7.1	5.0	9.3
SST (°Brix)	5.5	5.3	4.4	6.0
DPF (mm)	40.7	40.4	35.2	46.3
DEF (mm)	53.6	52.7	46.0	58.9

RF1, RF2, RF3 y RTF = Rendimiento de fruto por planta en el corte 1, 2, 3 y total, respectivamente; PEF = Peso individual de fruto; FIF = Firmeza de fruto; SST = Sólidos solubles totales de fruto; DPF y DEF = Diámetros polar y ecuatorial de fruto.

La heterosis del rendimiento total en las 220 cruza varió de -0.48 (-28.6 %) a 1.16 (69.0 %) kg/planta, y el de la heterobeltiosis de -0.82 (-40.6 %) a 0.82 (40.6 %) kg/planta, lo que puede explicarse por la variabilidad genética entre los individuos de cada una de las variedades progenitoras Chapingo y Puebla. El porcentaje de heterosis máxima para el rendimiento total (69.0 %) fue superior al de la cruza intervarietal Chapingo x Puebla, representada por la heterosis promedio de las 220 cruza evaluadas (21.4 %). La máxima heterobeltiosis para rendimiento total (40.6 %), logrado en la cruza C127, también fue mayor al 14.3 % obtenido por Peña *et al.* (1998) en la cruza intervarietal Chapingo x Puebla. La alta heterosis alcanzada

Cuadro 3. Heterosis del promedio de cruzas (Heterosis), heterobeltiosis de la mejor cruza (Heterobeltiosis) y porcentaje de cruzas superiores a la media de progenitores y al mejor progenitor. Promedios de dos sitios en el Estado de México. 2001.

Carácter	Heterosis		Heterobeltiosis		Cruzas superiores (%)	
	Valor	%	Valor	%	Media de progenitores	Mejor progenitor
RF1 <sup>++</sup> (kg/planta)	0.01	2.6	0.48	76.2	47.3	11.8
RF2 <sup>++</sup> (kg/planta)	0.08	14.3	0.37	48.1	70.5	20.0
RF3 <sup>+</sup> (kg/planta)	0.28	38.4	0.76	89.4	88.6	75.0
RTF <sup>++</sup> (kg/planta)	0.36	21.4	0.82	40.6	85.0	53.6
PEF <sup>+</sup> (g)	-3.5	-5.2	4.5	5.3	30.0	1.4
FIF <sup>+</sup> (kg cm <sup>-2</sup> )	-0.1	-1.4	1.5	19.2	42.3	14.5
SST <sup>++</sup> (°Brix)	-0.2	-3.6	0.4	7.1	19.6	15.9
DPF <sup>+</sup> (mm)	-0.3	-0.7	1.3	2.9	44.1	0.9
DEF <sup>+</sup> (mm)	-0.9	-1.7	0.4	0.7	37.7	1.4

RF1, RF2, RF3 y RTF = Rendimiento de fruto por planta en el corte 1, 2, 3 y total, respectivamente; PEF = Peso individual de fruto; FIF = Firmeza de fruto; SST = Sólidos solubles totales de fruto; DPF y DEF = Diámetros polar y ecuatorial de fruto.

<sup>++</sup> y <sup>+</sup> = Progenitor superior Chapingo y Puebla, respectivamente.

en la cruza C127 y en las cruzas que le siguieron, se atribuye a una mayor aptitud combinatoria específica entre plantas, lo que permitió obtener híbridos con rendimiento total superior al del híbrido intervarietal, ya que en éste la heterosis se redujo por la participación de cruzas con pobre aptitud combinatoria específica. En este caso, en que todas las cruzas evaluadas provienen de los mismos dos progenitores, la selección de las mejores se puede efectuar con base en los valores más altos de heterosis o de heterobeltiosis del carácter de interés.

En los cinco caracteres de calidad de fruto (PEF, FIF, SST, DPF y DEF) la heterosis promedio fue negativa, pero el porcentaje de cruzas superiores a la media de los progenitores varió de 19.6 en sólidos solubles totales a 44.1 en diámetro polar de fruto (Cuadro 3). La heterobeltiosis fue positiva y sus valores indican que la expresión de los cinco caracteres se puede aumentar respecto al mejor progenitor, sobre todo en la firmeza de fruto (19.2 %). Con base en el porcentaje de cruzas superiores al mejor progenitor, el mejoramiento genético encaminado a formar híbridos tendría menor éxito para diámetro polar (0.9 %), diámetro ecuatorial (1.4 %) y peso individual del fruto (1.4 %) y mayor para firmeza del fruto (14.5 %) y sólidos solubles totales (15.9 %). La expresión del rendimiento total se pudo mejorar hasta en 40.6 % en relación al mejor progenitor, con 53.6 % de cruzas superiores a este progenitor (Cuadro 3).

Entre los caracteres evaluados en el primer corte, los diámetros polar y ecuatorial tuvieron una correlación con el peso individual del fruto de 0.59 y 0.83, respectivamente ( $p \leq 0.05$ ). La correlación entre ambos diámetros fue de 0.62.

## CONCLUSIONES

La variación en rendimiento de fruto entre las cruzas planta x planta fue amplia y permitió obtener híbridos superiores e inferiores en rendimiento y en algunas características de calidad de fruto, respecto a la media de los progenitores, al mejor progenitor y a la cruza intervarietal Chapingo x Puebla.

La heterosis y heterobeltiosis entre las cruzas varió ampliamente, debido a diferencias en aptitud combinatoria específica entre los pares de plantas progenitoras y por las diferencias entre los individuos de las variedades Chapingo y Puebla.

De acuerdo con los porcentajes de heterobeltiosis y de las cruzas superiores al mejor progenitor, entre los caracteres de calidad de fruto, los menores incrementos se obtuvieron en los diámetros y peso individual del fruto, y los mayores en firmeza y sólidos solubles totales del fruto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernardo R (1994) Prediction of maize single-cross performance using RFLPs and information from related hybrids. *Crop Sci.* 34:20-25.
- Bukasov S M (1963) Las Plantas Cultivadas de México, Guatemala y Colombia. Pub. Misc. No. 20 IICA, OEA. Lima, Perú. 261 p.
- Estrada T V, A Peña L, E Contreras M (1994) Evaluación de 28 familias de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo S. Hort.* 2:135-139.
- Falconer D S, T F C Mackay (1996) Introduction to Quantitative Genetics. 4th Ed. Longman, England. pp: 235-240.
- García E (1987) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. Cuarta Ed. México. 130 p.
- García L D, J W Jiménez J, A Peña L, J E Rodríguez P (2001) Propagación vegetativa de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*

- Brot.) mediante enraizamiento de esquejes. *Agric. Téc. Méx.* 27(1): 27-33.
- Ghaderi A, M W Adams, A M Nassib (1984)** Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry edible bean and faba bean. *Crop Sci.* 24:37-42.
- INEGI (1996)** Cuaderno Estadístico Municipal. Tecamac, Edo. de México. pp: 1-7.
- Hoegemeyer T C, A R Hallauer (1976)** Selection among and within full-sib families to develop single-crosses of maize. *Crop Sci.* 16(1):76-81.
- Joshi S P, S G Bhavé, K V Chowdari, G S Apte, B L Dhonukshe, K Lalitha, P K Ranjekar, V S Gupta (2001)** Use of DNA markers in prediction of hybrid performance and heterosis for a three-line hybrid system in rice. *Bioch. Genetics* 39(5-6):179-200.
- Mac Neish R S (1966)** A summary of the subsistence. *In: The Prehistory of the Tehuacan Valley. 1. Environment and Subsistence.* D S Byers (ed). University of Texas Press. Austin, Texas. USA. pp: 290-309.
- Manzo G A, A Ledesma H, J C Villatoro L, I Alvarez E, J L Rodríguez De la O, A Peña L (1998)** Regeneración *in vitro* de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo S. Hort.* 4(1):39-44.
- Menzel Y M (1951)** The cytotaxonomy and genetics of *Physalis*. *Proc. Amer. Philosophical Soc.* 95(2):132-183.
- Pandey K K (1957)** Genetics of self-incompatibility in *Physalis ixocarpa*, Brot. A new system. *Amer. J. Bot.* 44:879-887.
- Peña L A, J D Molina G, T Cervantes S, F Márquez S, J Sahagún C, J Ortiz C (1998)** Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo S. Hort.* 4(1):31-37.
- Peña L A, J F Santiaguillo H, D Montalvo H, M Pérez G (1997)** Intervalos de cosecha en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo S. Hort.* 3(1):31-38.
- Pérez G M, F Márquez S, J Sahagún C, A Peña L (1994)** Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.): Selección y evaluación para concentración y precocidad de cosecha. *Rev. Chapingo S. Hort.* 2:119-124.
- SAGARPA (2002)** Estadísticas Básicas Agropecuarias. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México.
- Santiaguillo H J F, A Peña L (1997)** Tomate de cáscara: Elija su variedad. *Rev. Agrocultura* 48:12-14.
- Saray M C R, A Palacios A, E Villanueva (1978)** Rendidora: una nueva variedad de tomate de cáscara. *El Campo* 54(1041):17-21.
- Waterfall U T (1967)** *Physalis* in México, Central America and the West Indies. *Amer. J. Bot.* 69(778):83-230.
- Weatherspoon J H (1970)** Comparative yield of single, three-way and double crosses of maize. *Crop Sci.* 10:157-159.