

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE HIBRIDOS F_1 DE TOMATE Y SUS POBLACIONES F_2

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF F_1 TOMATO HYBRIDS AND THEIR F_2 POPULATIONS

Natanael Magaña-Lira¹, Aureliano Peña-Lomeli^{2*}, Felipe Sánchez-del Castillo²,
Juan E. Rodríguez-Pérez² y Esaú del C. Moreno-Pérez²

¹Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 13.5 Carr. Los Reyes-Texcoco. 56250. Coatlincán, Edo. de México. ²Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230. Chapingo, Edo. de México. Tel./Fax. 595 952 1642.

*Autor para correspondencia (aplomeli@correo.chapingo.mx)

RESUMEN

En México se han desarrollado sistemas súper intensivos de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) que demandan altas cantidades de semilla. La semilla de los híbridos comerciales de tomate es cara, por lo que es necesario explorar alternativas que ayuden a reducir los costos de semilla para esos sistemas de producción. El objetivo del presente estudio fue analizar el comportamiento productivo de siete híbridos comerciales (F_1) de tomate tipo "bola" y de sus respectivas segundas generaciones filiales (F_2), en un sistema súper intensivo de producción. El experimento se estableció con hidroponía bajo invernadero. Se utilizó una densidad de 25 plantas/m² y se aplicó una poda para dejar un racimo por planta. Se evaluó rendimiento, número de frutos por planta, peso promedio por fruto en dos cortes, peso total, y la proporción de frutos firmes a los 45 d después del corte, como un indicador de vida poscosecha. Seis híbridos no cambiaron significativamente su rendimiento total de una generación filial a la siguiente. La F_2 de 'Badro' rindió 57 % más que la F_1 . Con base en el rendimiento total por planta, es posible utilizar semilla de la F_2 de las variedades 'Sedona', 'Monte Verde', 'Badro', 'Charleston' y 'Lorena', aun cuando aumenta la heterogeneidad en tamaño y número de frutos. En vida poscosecha, el único híbrido que presentó diferencias entre generaciones fue 'Lorena', cuya proporción de frutos firmes fue menor en la F_2 que en F_1 . Los híbridos 'Monte Verde' y 'Caimán' presentaron los comportamientos más homogéneos entre las dos generaciones.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum*, agricultura protegida, producción intensiva, semilla F_2 .

SUMMARY

Super-intensive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) systems have been developed in México; these systems demand high quantities of seed. The seed of commercial tomato hybrids is expensive, and reduction of seed cost requires exploration of alternatives in those production systems. The productive performance of F_1 and its respective F_2 generations from diverse tomato varieties, was studied. Seven varieties (F_1) and their F_2 were grown in hydroponics under greenhouse conditions, using a 25 plants/m² density, pruned to one flower cluster per plant. Recorded variables were plant yield at first and second harvests, total plant yield, fruit number per plant at first and second harvests, total fruit number per plant, average fruit weight at first and second harvest, total average fruit weight, and ratio of firm fruits at 45 d after harvest as an indicator of shelf life. For total yield, six varieties did not significantly change its performance between

generations. Fruit yield of the F_2 generation of 'Badro' was 57.3 % higher than the original variety F_1 . Based on total yield per plant, it is possible to use the seed of the F_2 of 'Sedona', 'Monte Verde', 'Badro', 'Charleston' and 'Lorena' varieties, even though size and fruit number heterogeneity increases. For shelf life, only 'Lorena' showed differences between generations; its firm fruit ratio was lower in F_2 than in F_1 . Hybrids 'Monte Verde' and 'Caimán' showed the most homogeneous performance between the two generations.

Index words: *Lycopersicon esculentum*, protected agriculture, intensive production system, F_2 seed.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas más importantes del mundo en superficie cultivada y volumen de producción (FAO, 2011). Su cultivo ha tenido una gran evolución tecnológica, tanto en sistemas de producción como en mejoramiento genético (Grandillo *et al.*, 1999).

En el ámbito mundial, de 1980 a 2010 la superficie cultivada se incrementó en 88 % (de 2.4 a 4.5 millones de hectáreas); la producción en 136 % (de 52.7 a 124.7 millones de toneladas), y el rendimiento en 28 % (de 21.5 a 27.5 t ha⁻¹). En el mismo periodo, en México la superficie cultivada se redujo 24 % (de 88 286 a 67 084 ha), pero la producción y el rendimiento se incrementaron 45 % (de 1.48 a 2.14 millones de toneladas) y 90 % (de 16.8 a 32.0 t ha⁻¹), respectivamente (FAO, 2011). Lo anterior fue posible debido al desarrollo tecnológico de la agricultura protegida y al uso de híbridos con alto potencial de rendimiento (Grandillo *et al.*, 1999).

El cultivo del tomate en invernadero con hidroponía es una técnica de producción que permite obtener volúmenes más altos de producción por unidad de superficie. En México se aplican básicamente dos sistemas de producción. El sistema convencional, ideal para empresas grandes que tienen contratos con un precio rentable garantizado durante

todo el ciclo de cultivo, donde se utilizan híbridos de crecimiento indeterminado, con densidades de población bajas (2.5 a 3 plantas/m²), y producción continua durante ciclos largos (de 8 a 11 meses). El segundo sistema consiste en incrementar la densidad de población combinada con la interrupción temprana del crecimiento de la planta mediante la eliminación de la yema principal y de los brotes laterales, lo cual permite concentrar la producción en épocas de precios altos y el ciclo de cultivo se reduce a menos de cuatro meses (Cancino *et al.*, 1991; Sánchez y Ponce, 1998; Gómez y Sánchez, 2003). Una desventaja que presenta el segundo sistema de producción con respecto al convencional es el costo alto de la semilla, debido a que se utilizan densidades de población altas.

La densidad de plantas es inversamente proporcional al número de racimos que se dejan en cada planta. Pérez y Castro (1999) recomiendan una densidad de población de cinco plantas/m² y diez racimos por planta, que aun cuando no se logra del todo concentrar la cosecha, con esta densidad se obtiene una reducción del ciclo. Sánchez y Ponce (1998) recomiendan una densidad de población de 25 plantas/m² con un racimo por planta, lo que acorta el ciclo y concentra al máximo la cosecha.

El desarrollo y uso de híbridos de tomate ha contribuido también al incremento de la producción. En los últimos años, el énfasis en el mejoramiento genético ha sido incrementar la resistencia a enfermedades, la calidad del fruto y la vida poscosecha (Grandillo *et al.*, 1999). Los híbridos de tomate que se cultivan actualmente en México son producidos por pocas empresas transnacionales, las cuales han hecho inversiones fuertes en sus programas genotécnicos. La semilla híbrida de tomate es cara, no sólo por el costo de los programas de fitomejoramiento, sino por el proceso de producción que implica la polinización manual entre las líneas progenitoras (Duvick, 1999). Los precios de los híbridos en el mercado oscilan de 0.05 a 0.15 dólares americanos por semilla (Ahern, 2010) ya que el mercado nacional se abastece de semilla de importación, y no siempre hay semilla disponible.

El sistema de altas densidades de población demanda grandes cantidades de semilla, lo que aumenta el costo de cultivo. Para reducir el costo de la semilla algunos productores recurren a la propagación vegetativa, por medio de los brotes axilares que son eliminados de las plantas durante las labores de poda, y al uso de la segunda generación filial (F₂) de los híbridos con la que esperan obtener una producción de fruto similar a la de la generación original F₁ (Martínez *et al.*, 2005).

En teoría, la segregación de la F₂ de los híbridos ocasiona reducción del rendimiento y pérdida de algunas características de calidad, debido a la reducción de la heterocigosis

en 50 % (Márquez, 1988). Sin embargo, en tomate existen resultados que describen un comportamiento diferente. En aspecto del fruto, en la F₂ se han identificado frutos con la misma apariencia que en la F₁. Asimismo, algunas poblaciones F₂ producen frutos más grandes y rendimiento superior que el de sus respectivos híbridos en F₁, e incluso conservan la resistencia a ciertas enfermedades (De Vicente y Tanksley, 1993; Foolad *et al.*, 2002). Por su parte, Martínez *et al.* (2005) compararon la F₁ vs. la F₂ de 37 híbridos comerciales, que incluían dos tipos, “bola” y “saladette”. Ambos tipos eran de hábito de crecimiento determinado e indeterminado, cultivados en hidroponía bajo invernadero con el sistema convencional de producción, y en la mayoría de los casos no encontraron diferencias significativas entre generaciones para rendimiento por planta y número de frutos. En un estudio similar, Hernández-Leal *et al.* (2013) no encontraron diferencias significativas entre generaciones F₁ y F₂ de siete híbridos de tomate tipo “saladette” para peso por fruto, que está directamente relacionado con el rendimiento.

El presente estudio tuvo como objetivo comparar, en invernadero y con un sistema de hidroponía, la producción y vida poscosecha de siete híbridos comerciales de tomate (F₁) tipo “bola” con respecto a sus respectivas generaciones F₂, cultivados a un racimo en el sistema de altas densidades de población y despuntes tempranos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En un trabajo previo, Contreras (2007; Com. pers.¹) evaluó 38 híbridos comerciales de tomate (F₁) tipo “bola” cultivados a un racimo. De este grupo, con base en su rendimiento de fruto, se seleccionaron siete híbridos (Cuadro 1), los cuales se cultivaron en el ciclo agrícola de otoño-invierno 2004–2005, con el sistema de hidroponía en un invernadero en Chapingo, Estado de México (19° 29' 35.40" LN, 98° 53' 7.01" LO, y 2257 m de altitud).

El manejo de cultivo se hizo con base en las recomendaciones de Pérez y Castro (1999), mediante un sistema de riego automatizado. Se utilizaron 13 plantas de cada híbrido, cuyas flores se cubrieron con bolsas de papel “glassine” para garantizar la autopolinización, y se cosecharon al azar dos frutos autopolinizados por planta. Posteriormente, se efectuó la extracción manual de la semilla F₂ de cada híbrido. Se dejó fermentar la pulpa durante 3 d, luego se lavó la semilla con agua corriente para limpiar el mucílago, y se dejó secar sobre papel secante durante 48 h a temperatura ambiente.

¹Contreras M E (2007) Efecto del ambiente de crecimiento de plantas de jitomate sobre el número de flores y producción de fruto. Tesis de Doctorado en Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 90 p.

Cuadro 1. Híbridos de tomate tipo “bola” utilizados.

Híbrido	Hábito de crecimiento	Maduración	Tamaño de fruto	LVA	Resistencias o tolerancias
‘Gabriela’	Indeterminado	T	G y M	Sí	N, F1, F2, V y VMT
‘Sedona’	Indeterminado	SD	G	SD	SD
‘Monte Verde’	Determinado	I	G	SD	F1, F2 y V
‘Badro’	Indeterminado	P	G	SD	N, F1, F2, V y VMT
‘Charleston’	Indeterminado	P	G y M	Sí	N, F1, F2, V y VMT
‘Lorena’	Indeterminado	T	M	SD	N, F1, F2, V, VMT y P
‘Caimán’	Indeterminado	SD	MG	SD	F2, V, Cl y TSWV

LVA = larga vida de anaquel; T = tardía; I = intermedia; P = precoz; MG = muy grande; G = grande; M = mediano; N = tolerancia a nemátodos; F1 y F2 = resistencia a *Fusarium* razas uno y dos, respectivamente; V = resistencia a *Verticillium*; P = resistencia a *Pseudomonas*; VMT = resistencia a virus del mosaico del tabaco; TSWV = resistencia al virus del moteado del tomate; SD = sin datos. Fuente: Elaboración propia con información de catálogos comerciales.

De abril a agosto de 2005 se evaluaron los híbridos (F_1) y sus generaciones F_2 , en un invernadero (cubierto con polietileno) ubicado también en Chapingo. La siembra se hizo la última semana de abril en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con una mezcla de “peat moss” y vermiculita en proporción 3:1 como sustrato.

El trasplante se hizo 35 d después de la siembra, en tinas de 1.2 m de ancho por 14.4 m de largo y 40 cm de profundidad rellenas con tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro como sustrato. El trasplante se hizo en seis hileras de plantas por tina, con 20 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, para una densidad de 25 plantas/m² de tina.

El diseño experimental fue uno de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 24 plantas (1.20 m x 80 cm) y la parcela útil consistió de las 12 plantas no adyacentes con la unidad experimental contigua (60 x 80 cm). Las plantas se manejaron a un solo racimo, de acuerdo con el sistema de altas densidades y despuntes tempranos (Cancino *et al.*, 1991; Sánchez y Ponce, 1998; Gómez y Sánchez, 2003). Se irrigaron con la solución nutritiva recomendada por Sánchez y Escalante (1988) y se utilizó un sistema de tutores individuales con rafia como sostén.

La cosecha se efectuó en dos cortes, a los 75 y 85 d después del trasplante, dado que solamente se obtuvo un racimo por planta. Durante el desarrollo del experimento murieron 37 plantas, por lo que sólo se tuvieron datos de 467 plantas. En el primer corte sólo se cosecharon frutos de 295 plantas que presentaron frutos en madurez comercial. Para el segundo corte sólo tuvieron fruto 399 plantas, pues 68 fueron cosechadas de manera total en el primer corte. Las variables evaluadas fueron rendimiento por planta (g) en el corte uno (RTOC1), corte dos (RTOC2) y total por planta (RTP); número de frutos en el corte uno (NFC1), corte dos (NFC2) y total de frutos por planta (NF); peso promedio por fruto (g) en el corte uno (PPFC1), corte dos (PPFC2) y

en el ciclo (PPF). Con los datos por planta obtenidos se calcularon las medias y varianzas tanto de la F_1 , como de la F_2 .

Una vez evaluadas las variables correspondientes al corte uno, se tomó al azar un fruto por planta, el cual fue etiquetado y colocado en una bolsa de polietileno. Las muestras se colocaron en cajas de madera y se almacenaron en una bodega, a temperatura ambiente, durante 45 d. Posteriormente se determinó la proporción de frutos firmes (PPF) por tratamiento, como un indicador de la vida poscosecha. Se consideró como fruto firme aquel que no presentó daño alguno y aún tenía apariencia comercial el día de la evaluación.

Con base en el número de plantas totales evaluadas en el experimento (467), las cosechadas en el primer corte (295) y las cosechadas en el segundo corte (399), se hicieron análisis de varianza para las características de cosecha, y contrastes ortogonales entre los híbridos F_1 y su respectiva F_2 . En las variables RTOC1, NFC1, RTOC2, NFC2, RTP, NF y PPF se analizó el total de plantas evaluadas. Dado que no todas las plantas tuvieron frutos en ambos cortes, para las variables PPFC1 y PPFC2 sólo se tomaron en cuenta los datos de las plantas cosechadas en cada corte. La situación anterior condujo a que estas dos últimas variables tuvieran diferentes grados de libertad entre sí, y con respecto al primer grupo de variables. Asimismo, se compararon las varianzas de las dos poblaciones (híbridos F_1 vs. su respectiva F_2), bajo el supuesto de distribución normal, mediante la prueba de F descrita por Infante y Zárate (1984) para igualdad de varianzas ($P \leq 0.05$), lo cual implica que la proporción de varianzas (Fc) puede ser igual a uno si las varianzas son iguales, mayor a uno si la varianza del numerador es mayor que la del denominador, o bien menor que uno si la varianza del numerador es menor que la del denominador.

La PPF se calculó como el cociente de los frutos firmes el día de la evaluación (45 d después del corte) entre el total de frutos evaluados, por lo que se analizó mediante

comparación de proporciones binomiales, bajo la hipótesis de igualdad de proporciones. Según Infante y Zárate (1984), en dicha prueba se utiliza la distribución normal estándar para determinar si la diferencia de dos proporciones es igual o diferente de cero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza que incluyó a los siete híbridos y sus siete poblaciones F₂ se detectaron diferencias significativas (P ≤ 0.05) en todos las variables medidas (Cuadro 2).

En la prueba de contrastes entre híbridos (F₁) versus sus generaciones F₂, hubo significancia estadística (P ≤ 0.05) en las variables rendimiento por planta en los cortes uno (RTOC1) y dos (RTOC2), número de frutos en los cortes uno (NFC1) y dos (NFC2), número de frutos total por planta (NF), y peso promedio por fruto (PPF). En cambio, en las variables peso promedio por fruto en los cortes uno (PPFC1) y dos (PPFC2) y en rendimiento total por planta (RTP) no hubo diferencia significativa entre ambas generaciones filiales (Cuadros 3, 4 y 5). Los resultados obtenidos para RTP concuerdan con lo observado por Martínez *et al.* (2005) en los híbridos de ‘Pik Ripe’, ‘Sunmaster’, ‘Zaden’ y ‘W 489’ de tomate tipo “bola”, al igual que con lo encontrado por Hernández-Leal *et al.* (2013) para el híbrido de tomate tipo “saladette” ‘Loreto’, quienes reportaron que no hubo diferencias significativas para rendimiento total entre

los híbridos mencionados y sus respectivas generaciones filiales dos.

En el análisis por híbrido, el contraste entre las generaciones F₁ vs. F₂ del híbrido ‘Gabriela’ fue significativo (P ≤ 0.05) en las variables RTOC2, NFC2 y NF; en todos los casos las diferencias fueron negativas, lo que indica un valor superior en la F₂ (Cuadros 3 y 4). Las diferencias en RTOC2 se explican porque el NFC2 de la F₂ fue mayor que el de la F₁ (Cuadros 3 y 4). En el caso de ‘Sedona’, sólo hubo diferencias significativas (P ≤ 0.05) en PPF, donde la generación F₂ tuvo frutos más pequeños que la F₁ (Cuadro 5). En el híbrido ‘Badro’ hubo diferencias significativas (P ≤ 0.05) en RTOC2, RTP, NFC2 y NF, y los valores de la F₂ fueron mayores que los de la F₁ (Cuadros 3 y 4); el incremento en rendimiento en la generación F₂ de ‘Badro’ se debe a que tuvo mayor número de frutos y a que éstos mantuvieron su tamaño. Este mismo comportamiento fue observado por Martínez *et al.* (2005) para el híbrido de tomate tipo “bola” ‘Ginan’, en el cual la F₂ superó a la F₁ en número de frutos y rendimiento total. Al respecto, de Vicente y Tanksley (1993) mencionaron que entre la descendencia de los híbridos de tomate es probable encontrar plantas que superen a los progenitores debido a la segregación transgresiva, lo que explicaría que algunos híbridos sean superados por sus generaciones F₂.

En el híbrido ‘Charleston’ las diferencias entre F₁ vs. F₂ fueron significativas (P ≤ 0.05) en NFC1, PPFC1 y PPF

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza de caracteres evaluados en siete híbridos comerciales de tomate tipo “bola” cultivados a un racimo, y su respectiva F₂.

Fuente de variación	GL	RTOC1	NFC1	RTOC2	NFC2	RTP	NF	PPF
Repetición	2	113 299*	4.46*	43 277	1.76	178 985	0.78	5409
Variedad	13	141 223**	8.02**	176 924**	13.35**	134 973*	18.35**	15 881**
Error	451	8480	0.31	10 746	1.05	43 200	3.1	3631
Total	466							
Media		189.19	1.23	215.62	2.24	404.81	3.47	122.16
CV (%)		49	45	48	46	51	51	49
		GL	PPFC1	GL	PPFC2			
Repetición		2	8156	2	13 141*			
Variedad		13	32 195**	13	8409**			
Error		279	4811	383	3107			
Total		294		398				
Media			165.4		94			
CV (%)			42		59			

*** Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; CV = coeficiente de variación. GL = grados de libertad; RTOC1, RTOC2 y RTP = rendimiento por planta en corte uno, corte dos y total, respectivamente; NFC1, NFC2 y NF = número de frutos por planta en el corte uno, corte dos y total, respectivamente; PPFC1, PPFC2 y PPF = peso promedio por fruto en corte uno, corte dos y para el ciclo, respectivamente.

Cuadro 3. Medias de rendimiento por planta (g) de tomates híbridos (F₁) tipo “bola”, y sus correspondientes generaciones filiales dos (F₂) cultivados a un racimo, y porcentajes de reducción (Red) de F₁ a F₂ en corte uno (RTOC1), corte dos (RTOC2) y total por planta (RTP).

Híbrido	RTOC1			RTOC2			RTP		
	F ₁	F ₂	Red (%)	F ₁	F ₂	Red (%)	F ₁	F ₂	Red (%)
‘Gabriela’	228	170	25.8	160	285	-78.2*	388	455	-17.0
‘Sedona’	217	132	38.9	140	211	-51.1	357	343	3.6
‘Monte Verde’	78	93	-19.3	299	231	22.5	377	324	13.9
‘Badro’	176	160	9.0	178	396	-122.9*	354	556	-57.3*
‘Charleston’	292	209	28.5	136	240	-75.5	428	449	-4.7
‘Lorena’	251	172	31.2	194	218	-12.6	445	390	12.1
‘Caimán’	296	184	37.8*	160	157	2.0	456	341	25.2

*Significativo a 0.05 de probabilidad en la prueba de contrastes F₁ vs. F₂.**Cuadro 4. Medias de número de frutos por planta de tomate híbrido (F₁) tipo “bola”, y sus correspondientes generaciones filiales dos (F₂) cultivados a un racimo, y porcentajes de reducción (Red) de F₁ a F₂ en corte uno (NFC1), corte dos (NFC2) y total por planta (NF).**

Híbrido	NFC1			NFC2			NF		
	F ₁	F ₂	Red (%)	F ₁	F ₂	Red (%)	F ₁	F ₂	Red (%)
‘Gabriela’	1.58	1.53	3.3	1.83	3.56	-94.3*	3.42	5.09	-49.1*
‘Sedona’	1.29	1.03	20.5	1.41	2.12	-50.0	2.71	3.15	-16.3
‘Monte Verde’	0.42	0.47	-11.3	2.88	2.53	12.2	3.30	3.00	9.2
‘Badro’	0.83	0.97	-16.6	1.63	2.77	-69.7*	2.47	3.74	-51.7*
‘Charleston’	2.15	1.12	47.9*	1.79	2.47	-37.7	3.94	3.59	9.0
‘Lorena’	1.72	1.67	3.0	2.19	2.89	-32.1	3.91	4.56	-16.6
‘Caimán’	1.38	0.97	29.8	1.56	1.59	-1.5	2.94	2.55	13.1

*Significativo a 0.05 de probabilidad en la prueba de contrastes F₁ vs. F₂.**Cuadro 5. Medias de peso promedio por fruto (g) de tomate híbrido (F₁) tipo “bola”, sus correspondientes generaciones filiales dos (F₂) cultivados a un racimo, y porcentajes de reducción (Red) de F₁ a F₂ en corte uno (PPFC1), corte dos (PPFC2) y por planta (PPF).**

Híbrido	PPFC1			PPFC2			PPF		
	F ₁	F ₂	Red (%)	F ₁	F ₂	Red (%)	F ₁	F ₂	Red (%)
‘Gabriela’	150.03	116.60	22.3	82.93	72.21	12.9	111.94	90.30	19.3
‘Sedona’	165.29	128.59	22.2	107.11	89.74	16.2	138.60	109.05	21.3*
‘Monte Verde’	179.20	212.40	-18.5	115.47	91.47	20.8	126.48	103.36	18.3
‘Badro’	205.05	175.27	14.5	114.82	125.95	-9.7	151.63	150.04	1.1
‘Charleston’	143.10	198.35	-38.6*	73.13	101.87	-39.3	104.62	143.40	-37.1*
‘Lorena’	150.64	107.83	28.4	86.61	72.15	16.7	119.93	87.94	26.7*
‘Caimán’	236.99	205.17	13.4	91.74	89.88	2.0	145.64	135.16	7.2

*Significativo a 0.05 de probabilidad en la prueba de contrastes F₁ vs. F₂.

(Cuadros 3 y 4); aunque en la F₂ se redujo el número de frutos, éstos fueron de mayor tamaño, lo que al final compensó el rendimiento con respecto a la generación F₁. En el híbrido ‘Lorena’ hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en PPF, donde los valores obtenidos en la generación F₂ fueron menores que en la F₁ (Cuadro 5). En ‘Caimán’ sólo hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en RTOC1, donde la generación F₂ rindió menos que la F₁ (Cuadro 3). Finalmente, en el híbrido ‘Monte Verde’ no se detectaron diferencias estadísticas en variable alguna (Cuadros 3, 4 y 5).

Al comparar las varianzas de los híbridos F₁ con sus respectivas F₂, se encontró que en ‘Gabriela’ la varianza en la generación F₂ fue significativamente mayor que en F₁ para RTOC2, NFC2 y NF (Cuadros 6 y 7). En ‘Sedona’, la varianza de la F₂ fue mayor que en la F₁ y significativa en las variables RTOC2, NFC1 y NFC2 (Cuadros 6 y 7); sin embargo, la varianza en F₂ fue significativamente menor que en la F₁ en la variable PFFC2 (Cuadro 8). En las tres primeras variables el resultado es acorde con lo esperado, puesto que en

teoría la generación F₂ de híbridos con alta heterocigosidad tiene mayor variación; sin embargo, la última presenta un comportamiento inusual al tener menor variación en la F₂ en los cultivares ‘Monte Verde’ y ‘Badro’. En el primero sólo se incrementó la varianza en forma significativa en la generación F₂ para la variable PFFC1, mientras que en ‘Badro’ las varianzas sólo fueron superiores y significativas en las variables RTOC2, RTP y NFC1.

En ‘Charleston’ la mayor varianza significativa en la F₂ se obtuvo en las variables RTOC2 y NFC2, y no hubo diferencias significativas entre varianzas de generaciones en el resto de los cultivares (Cuadros 6 y 7). En el caso de ‘Lorena’ hubo un incremento en la varianza de la F₂ en el NFC2 (Cuadro 7), pero en el PPF la varianza fue mayor en la F₁ (Cuadro 8). En el cultivar ‘Caimán’ no se detectaron diferencias significativas entre las varianzas de las generaciones F₁ y F₂ para variable alguna.

En casi todas las variedades se observó mayor variación

Cuadro 6. Comparación de varianzas para rendimiento por planta (g) en los cortes uno (RTOC1), dos (RTOC2) y total por planta (RTP), de tomates híbridos (F₁) tipo “bola” y sus respectivas generaciones filiales dos (F₂), cultivados a un racimo.

Híbrido	RTOC1			RTOC2			RTP		
	F ₁	F ₂	Fc	F ₁	F ₂	Fc	F ₁	F ₂	Fc
‘Gabriela’	41 660	32 361	1.29	21 970	91 098	0.24*	65 402	83 480	0.78
‘Sedona’	26 319	28 300	0.93	17 323	63 410	0.27*	32 241	55 166	0.58
‘Monte Verde’	21 468	27 180	0.79	43 871	35 746	1.23	44 285	69 564	0.64
‘Badro’	34 527	49 446	0.70	30 735	126 657	0.24*	44 827	93 366	0.48*
‘Charleston’	44 522	47 718	0.93	22 214	64 077	0.35*	70 292	67 326	1.04
‘Lorena’	32 176	20 873	1.54	25 873	41 109	0.63	47 628	35 577	1.34
‘Caimán’	52 455	44 478	1.18	30 166	36 980	0.82	112 239	72 528	1.55

*Significativo a 0.05 de probabilidad; Fc = estadístico de prueba de la distribución F.

Cuadro 7. Comparación de varianzas para número de frutos en los cortes uno (NFC1), dos (NFC2) y total por planta (NF), de tomates híbridos (F₁) tipo “bola” y sus respectivas generaciones filiales dos (F₂), cultivados a un racimo.

Híbrido	NFC1			NFC2			NF		
	F ₁	F ₂	Fc	F ₁	F ₂	Fc	F ₁	F ₂	Fc
‘Gabriela’	1.68	2.58	0.65	1.63	9.16	0.18*	2.94	8.15	0.36*
‘Sedona’	0.64	1.30	0.49*	1.58	3.20	0.49*	2.09	1.64	1.27
‘Monte Verde’	0.56	0.71	0.79	4.23	2.83	1.50	3.97	2.57	1.54
‘Badro’	0.56	1.62	0.34*	1.62	3.30	0.49	1.77	2.37	0.75
‘Charleston’	2.07	1.20	1.73	1.56	4.62	0.34*	3.03	4.07	0.74
‘Lorena’	1.43	1.83	0.78	1.90	4.10	0.46*	3.12	3.57	0.87
‘Caimán’	1.15	1.18	0.97	1.16	1.54	0.75	1.93	1.97	0.98

*Significativo a 0.05 de probabilidad; Fc = estadístico de prueba de la distribución F.

Cuadro 8. Comparación de varianzas para peso promedio por fruto (g) en los cortes uno (PPFC1), dos (PPFC2) y por planta (PPF), de tomates híbridos (F_1) tipo "bola" y sus respectivas generaciones filiales dos (F_2), cultivados a un racimo.

Híbrido	PPFC1			PPFC2			PPF		
	F_1	F_2	Fc	F_1	F_2	Fc	F_1	F_2	Fc
'Gabriela'	3548	2872	1.24	1523	1261	1.21	2176	1368	1.59
'Sedona'	3032	3410	0.89	6860	2163	3.17*	5071	2838	1.79
'Monte Verde'	1443	6355	0.23*	3340	3662	0.91	3248	5011	0.65
'Badro'	4826	7531	0.64	4923	3762	1.31	5001	3854	1.30
'Charleston'	3384	7009	0.48	3359	3486	0.96	2313	5199	0.44*
'Lorena'	2082	1637	1.27	2008	1138	1.76	1800	912	1.97*
'Caimán'	12 937	9557	1.35	3642	3762	0.97	5301	7634	0.69

*Significativo a 0.05 de probabilidad; Fc = estadístico de prueba de la distribución F.

en la generación F_2 para las variables de rendimiento y número de frutos en el segundo corte, RTOC2 y NFC2.

Asimismo, en casi todos los casos en que hubo diferencias entre varianzas, la generación F_2 tuvo mayor varianza que la F_1 , salvo en el cultivar 'Sedona' para el tamaño del fruto en el corte dos, PPFC2 (Cuadros 6, 7 y 8). Los casos en los que la varianza de la generación F_2 es menor que en la F_1 no están de acuerdo con la hipótesis planteada, pues los híbridos son poblaciones homogéneas heterocigóticas para un gran número de loci. Esto último podría deberse a que las varianzas analizadas son fenotípicas, y a pesar del supuesto de homogeneidad de bloques pudo haber varianza ambiental fuera del alcance del investigador que no fue controlada, misma que podría explicar el comportamiento inusual de las variables PPFC2 en 'Sedona' y PPF en 'Lorena'.

Al comparar la vida poscosecha, medida como proporción de frutos firmes a los 45 d después del corte (Cuadro 9), sólo se encontraron diferencias significativas en el híbrido 'Lorena', en el que la frecuencia de frutos firmes se redujo significativamente en la F_2 . En el resto de los híbridos no hubo diferencias entre las generaciones F_1 y F_2 . Sin embargo, el híbrido 'Caimán' mostró un comportamiento indeseable para esta característica, ya que en ambas generaciones tuvo la menor proporción de frutos firmes. No obstante, para confirmar los resultados en esta variable de poscosecha se requiere diseñar una metodología que implique muestreos periódicos y el uso de otro método más apropiado para medir la firmeza del fruto, como el basado en un penetrómetro, para así aumentar precisión en los datos y que las diferencias significativas en la segregación entre las generaciones F_1 y F_2 puedan ser detectables. También convendría explorar la posibilidad de que los híbridos que no presentaron diferencias en la vida de anaquel entre las generaciones F_1 y F_2 sean portadores de los genes *rin* y *nor* responsables de esta característica (Harriman *et al.*, 1991).

De los siete híbridos hubo dos casos, 'Monte Verde' y 'Caimán', en los que el comportamiento de la F_2 fue prácticamente igual al de la F_1 , lo que puede deberse a dos causas: la primera es que no se trate de híbridos sino de líneas élite que se venden como variedades comerciales, y la segunda es que sean híbridos formados por isolíneas derivadas de un ancestro común cercano, producto de la poca variabilidad genética de los programas de investigación (Villand *et al.*, 1998). En el caso de 'Monte Verde' es probable que se trate de una línea élite, dado que sólo presentó diferencias en varianza para el rendimiento de fruto en el segundo corte, RTOC2, lo cual pudo deberse más a un efecto ambiental no controlado en el experimento que a variación genética, dado el comportamiento del resto de las variables. De no ser por una reducción notable del rendimiento temprano (RTOC1), el híbrido 'Caimán' podría ser considerada también como línea. De cualquier manera, ambas variedades demostraron que pueden ser una buena opción para utilizar la F_2 en la producción comercial. Al evaluar siete híbridos de tomate tipo "saladette", Hernández-Leal *et al.* (2013) reportaron que no hubo diferencias entre el híbrido 'Loreto' y su generación F_2 para diversas características de rendimiento y calidad, por lo que también recomiendan el uso de la semilla F_2 de este híbrido en producción comercial.

Si el productor sólo buscara mantener rendimiento sin importarle el tamaño y la uniformidad de los frutos, o si se compensara el posible decremento en los ingresos por la reducción en costos, puede usarse la generación F_2 de cualquiera de las variedades evaluadas. Aquí es importante destacar el comportamiento del cultivar 'Badro', cuya generación F_2 incrementó su rendimiento del corte dos y total, RTOC2 y RTP, debido a un mayor número de frutos en el segundo corte, NFC2, y a que el peso de fruto se mantuvo constante entre generaciones, razón por la cual es necesario seguir estudiando este cultivar para confirmar este resultado.

Cuadro 9. Comparación de proporciones binomiales entre los tomates híbridos (F₁) tipo “bola” y sus respectivas generaciones filiales dos (F₂) para proporción de frutos firmes a los 45 días después del corte.

Híbrido	Proporción de frutos firmes		
	F ₁	F ₂	Zc
‘Gabriela’	0.19	0.22	-0.247
‘Sedona’	0.24	0.29	-0.550
‘Monte Verde’	0.15	0.25	-1.016
‘Badro’	0.23	0.20	0.326
‘Charleston’	0.29	0.18	1.144
‘Lorena’	0.47	0.17	2.691*
‘Caimán’	0.09	0.00	1.691
Total	0.24	0.19	1.249

*Significativo a 0.05 de probabilidad; Zc = estadístico de prueba de la distribución Z.

El uso de la generación F₂ de un híbrido comercial es una alternativa ante la escasez de semilla o el elevado costo de la misma, aunque deberá ser evaluada en función de los recursos económicos disponibles y el mercado al que el productor desee acceder. Habrá casos en que la meta de producción sea el rendimiento total, por lo que podría sacrificarse el tamaño o la uniformidad del fruto. Pero antes se requiere hacer un análisis económico para determinar si la reducción en el costo de la semilla por el uso de la generación F₂ justifica la reducción en ingresos por decremento en la producción y calidad del fruto. En el caso de que el agricultor adoptara el uso de la semilla de la generación F₂ de los híbridos, se le debe capacitar en la técnica de extracción y conservación de la semilla; lo cual involucra la selección de frutos maduros y el lavado adecuado de la semilla para la eliminación correcta del mucílago, así como obtener un secado rápido y eficiente para evitar que la semilla se deteriore durante el periodo de almacenamiento.

CONCLUSIONES

Con base en el rendimiento total por planta, podría utilizarse semilla de la generación F₂ de las variedades híbridas ‘Sedona’, ‘Monte Verde’, ‘Badro’, ‘Charleston’ y ‘Lorena’, siempre y cuando en el mercado no sea importante la variación en tamaño y número de frutos encontrada en la generación F₂.

De los siete cultivares evaluados en poscosecha, ‘Lorena’ presentó la disminución más alta de proporción de frutos firmes, mientras que ‘Caimán’ tuvo la menor proporción de frutos firmes tanto en la generación F₁ como en la F₂.

Los cultivares ‘Monte Verde’ y ‘Caimán’ tuvieron el comportamiento más homogéneo entre las generaciones F₁ y F₂ para las variables evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

Ahern (2010) Catálogo de productos de Ahern International Seeds, Inc. <http://www.ahernseeds.com>. (Enero 2011).

Cancino B J, F Sánchez C, P Espinosa R (1991) Efectos del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Rev. Chapingo 73-74:26-30.

De Vicente M C, S D Tanksley (1993) QTL analysis of transgressive segregation in an interspecific tomato cross. Genetics 134:585-596.

Duvick D N (1999) Commercial strategies for exploitation of heterosis. In: Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. J D Coors, S Pandey (eds). Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA. pp:295-304.

FAO, Food and Agriculture Organization (2011) The FAO statistical database. In: <http://faostat.fao.org/faostat>. (Noviembre 2011).

Foolad M R, P Subbiah, G S Ghangas (2002) Parent-offspring correlation estimate of heritability for early blight resistance in tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. Euphytica 126:291-297.

Gómez H T, F Sánchez C (2003) Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. Terra Latinoam. 21:57-63.

Grandillo S, D Zamir, S D Tanksley (1999) Genetic improvement of processing tomatoes: a 20 years perspective. Euphytica 110:85-97.

Harriman R W, D M Tieman, A K Handa (1991) Molecular cloning of tomato pectin methylesterase gene and its expression in Rutgers, ripening inhibitor, nonripening, and never ripe tomato fruits. Plant Physiol. 97:80-87.

Hernández-Leal E, R Lobato-Ortiz, J J García-Zavala, D Reyes-López, A Méndez-López, O Bonilla-Barrientos, A Hernández-Bautista (2013) Comportamiento agronómico de poblaciones F₂ de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicon* L.). Rev. Fitotec. Mex. 36:209-215.

Infante G S, G P Zárate L (1984) Métodos Estadísticos. Un Enfoque Interdisciplinario. Ed. Trillas. México, D. F. 643 p.

Márquez S F (1988) Genotecnia Vegetal. Tomo II. Editorial AGT. México, D. F. 657 p.

Martínez S J, A Peña L, J E Rodríguez P, C Villanueva V, J Sahagún C, M G Peña O (2005) Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. Rev. Chapingo Ser. Hort. 11:299-307.

Pérez G M, R Castro B (1999) Guía para la Producción Intensiva de Jitomate en Invernadero. Boletín de Divulgación # 3. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 58 p.

Sánchez C E, E R Escalante R (1988) Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Patronato. Chapingo, México. 194 p.

Sánchez C E, J Ponce O (1998) Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Rev. Chapingo Ser. Hort. 4:89-94.

Villard J, P W Skroch, T Lai, P Hanson, C G Kuo, J Nienhuis (1998) Genetic variation among tomato accessions from primary and secondary centers of diversity. Crop Sci. 38:1339-1347.