

# DEPRESIÓN ENDOGÁMICA DE HÍBRIDOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DERIVADOS DE PROGENITORES CON DISTINTO GRADO DE DOMESTICACIÓN

## INBREEDING DEPRESSION OF TOMATO HYBRIDS (*Solanum lycopersicum* L.) DERIVED FROM PROGENITORS WITH DIFFERENT DEGREE OF DOMESTICATION

Bonilla-Barrientos, O.<sup>1</sup>; Lobato-Ortiz, R.<sup>1\*</sup>; García-Zavala, J.J.<sup>1</sup>; Cruz-Izquierdo, S.<sup>1</sup>; López-Romero, G.<sup>2</sup>;  
Rodríguez-Guzmán, E.<sup>3</sup>; Hernández-Leal, E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. <sup>3</sup>Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.

\*Autor de correspondencia: rlobato@colpos.mx.

### ABSTRACT

In Mexico, the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding programs are developed by transnational companies, so the seeds of commercial varieties available in the national market are imported, which makes them expensive, since they are quoted in dollars or euros. The objectives of this study were: i) to evaluate fruit quality characteristics and hybrids performance, and ii) to estimate the effects of inbreeding depression on the F<sub>2</sub> generation. During the evaluation, a total of 23 hybrids (F<sub>1</sub>), obtained from the crossing between 9 advanced lines S<sub>5</sub> of native tomato and three S<sub>5</sub> saladette lines advanced from commercial hybrids, were evaluated, as well as their respective generations F<sub>2</sub> and a commercial control. The experiment was performed in the 2016 in the greenhouses of the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, in Texcoco, Estado de Mexico. We performed a variance analysis and a means comparison using the Tukey test (P≤0.05), and a contrast analysis to compare the averages of the F<sub>1</sub> vs. F<sub>2</sub>. Inbreeding depression (DEP, in %) was estimated using (F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub>)/F<sub>1</sub>\*-1. The analysis of variance showed significant differences for all variables between the F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> generations for 23 tomato crosses. The values of inbreeding depression in total fruit weight ranged from 0 to 28.6%. The crosses as LOR85 \* L, LOR103 \* L, LOR95 \* L, had values of 68.2%, 3.1% and 3.6% respectively, exceeding F<sub>1</sub>. For days to maturation only eight crosses had a percentage reduction in their F<sub>2</sub>, while the rest of the crosses their F<sub>2</sub> exceeded their F<sub>1</sub>. Intervarietal crosses can be a viable alternative for tomato production for small and medium producers since they show a low inbreeding depression in quality and yield characteristics.

**Key words:** *Solanum lycopersicum*, inbreeding depression, intervarietal crosses.



## RESUMEN

En México, los programas de mejoramiento genético de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) son desarrollados por empresas transnacionales, por lo que las semillas de variedades comerciales disponibles en el mercado nacional son de importación lo cual las encarece, pues se cotizan en dólares o euros. El presente estudio tuvo como objetivos: i) evaluar características de calidad de fruto y el rendimiento de los híbridos, y ii) estimar efectos de depresión endogámica presentes en la generación  $F_2$ . Para la evaluación se utilizaron 23 híbridos ( $F_1$ ) provenientes del cruzamiento entre 9 líneas avanzadas  $S_5$  de jitomate nativo y tres líneas avanzadas  $S_5$  tipo "saladette" y sus respectivas generaciones  $F_2$  y un testigo comercial. El experimento se estableció en el ciclo Primavera-Verano de 2016 en los invernaderos del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México. Se realizó un análisis de varianza y las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), y un análisis de contrastes para comparar los promedios de las cruzas  $F_1$  vs.  $F_2$ . La depresión endogámica (DEP, en %) se estimó con las diferencias  $[(F_1 - F_2)/F_1] * -1$ . El análisis de varianza mostró diferencias significativas para todas las variables entre las generaciones  $F_1$  y  $F_2$  en 23 cruzas de jitomate. Los valores de depresión endogámica en peso total de fruto fueron de 0 hasta 28.6%. Las cruzas como LOR85\*L, LOR103\*L, LOR95\*L, tuvieron valores positivos de 68.2%, 3.1% y 3.6% respectivamente, superando la  $F_1$ , lo que indica que hubo segregación transgresiva positiva. Para días a maduración solo ocho cruzas tuvieron una reducción porcentual en su  $F_2$ , mientras que el resto de las cruzas su  $F_2$  superó a su  $F_1$ . Las cruzas intervarietales pueden ser una alternativa viable para la producción de jitomate para pequeños y medianos productores, ya que muestran una baja depresión endogámica en características de calidad y rendimiento.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, depresión endogámica, cruzas intervarietales.

aceleradamente durante los últimos años, debido al uso de cultivares híbridos que han destacado por su mayor rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad de fruto, y vida de anaquel (Gur y Zamir, 2004). A nivel mundial, el mejoramiento genético de jitomate es desarrollado principalmente por empresas transnacionales, por lo que las semillas obtienen un alto valor dependiendo de cada casa comercial. Por lo que a la mayoría de los pequeños y medianos productores se les dificulta obtener semillas híbridas de empresas extranjeras por su alto costo. Esta situación obliga a estos productores a recurrir al uso de la segunda generación filial ( $F_2$ ) para ahorrar dinero, suponiendo que el rendimiento es similar al del híbrido. Mohamed (1998) menciona que en la segunda generación filial pueden aparecer plantas de jitomate con la misma apariencia que los híbridos y con mayor peso, estas últimas debido a la segregación transgresiva (De Vicente y Tanksley, 1993; Pohelman y Allen, 2003). Esta previa situación explica por qué algunos agricultores obtienen rendimientos en la generación  $F_2$  similares a los de la  $F_1$ .

Los grados de la depresión endogámica y segregación transgresiva varían de población en población debido a que no siempre se observan los mismos porcentajes de reducción e incremento. Martínez-Solís *et al.* (2005) estudiaron el efecto de la depresión endogámica en 37 híbridos comerciales de jitomate y observaron que la mayoría de las poblaciones  $F_2$  exhibieron bajos valores de depresión endogámica ( $<10\%$ ) en rendimiento, mientras que la segregación transgresiva mostró valores cercanos a 35%. Por su parte, Shalaby (2013) encontró una reducción promedio en el

## INTRODUCCIÓN

**El jitomate** (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo, rebasa los 3 millones de hectáreas cosechadas anualmente, con una producción promedio de 88 millones de toneladas al año (FAO 2014). Los principales países productores de jitomate son Estados Unidos y China con el 15 % de la producción mundial (Wijnands, 2003). México ocupa la décima posición y es el tercer país exportador de esta hortaliza, principalmente a Estados Unidos que sigue demandando el 90 % (FAO, 2014), en la temporada invernal (De Giglio, 2003).

Este cultivo es de suma importancia económica para nuestro país, ocupando el segundo lugar entre las hortalizas, y representa una de las fuentes de empleo rural más importantes, debido al uso de mucha mano de obra. El SIAP (2015) reportó que la producción de jitomate en México fue de 2.7 millones de toneladas. Por lo que la producción de esta hortaliza se ha incrementado

rendimiento del 23 % en una población  $F_2$  originada de la cruce entre CastleRock $\times$ CLN2498E. En contraste, Hernández-Leal et al. (2013) evaluaron siete híbridos de jitomate tipo 'Saladette' y sus  $F_2$ s, y reportaron reducciones en el rendimiento superiores al 50% e incrementos debidos a segregación transgresiva de hasta 10%.

Una manera de obtener material genético mejorado en el corto y mediano plazo para los productores es el uso de cruces intervarietales entre materiales elite por nativos o entre variedades locales. De esta forma se pudiera aprovechar la amplia variabilidad genética presente en los materiales nativos y así obtener híbridos con altos rendimientos y características novedosas (Shah et al., 2014). Por otra parte, el efecto de la depresión endogámica en híbridos comerciales de jitomate ha sido previamente estudiado extensamente (Martínez-Solís et al., 2005; Magaña-Lira et al., 2013). Sin embargo, los efectos en híbridos derivados entre material élite y nativo es limitado. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivos: i) evaluar características de calidad de fruto y el rendimiento de los híbridos, y ii) estimar los efectos de la depresión endogámica presentes en la generación  $F_2$  de cada híbrido intervarietal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético estuvo constituido por 23 híbridos ( $F_1$ ) provenientes del cruzamiento entre nueve líneas avanzadas  $S_5$  de jitomate nativo (LOR-79, LOR-81, LOR-82, LOR-85, LOR-91, LOR-95, LOR-97, LOR-103 y LOR-111) y dos líneas avanzadas  $S_5$  tipo "saladette" derivadas de híbridos comerciales, más una tercera línea avanzada, la cual solo fue cruzada con LOR-79, LOR-81, LOR-91, LOR-

95, LOR-103. Las líneas nativas tipo "pimiento o cuadrado" fueron generadas por medio de autofecundación y selección individual (Bonilla-Barrientos et al., 2014), mientras que las líneas tipo "saladette" fueron derivadas bajo la metodología de pedigrí (Hernández-Leal et al., 2013). En el experimento también fueron incluidas las respectivas generaciones  $F_2$  y el híbrido comercial 'El Cid' como testigo.

El experimento se estableció en el ciclo de cultivo de Primavera-Verano de 2016 en un invernadero del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México (19° 30" N y 98° 53" O, a una altitud de 2250 m). La siembra se realizó el 3 de febrero y el trasplante el 18 de marzo del 2016 (45 d después de la siembra).

### Diseño experimental

Los 59 genotipos se evaluaron con un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Tres individuos por repetición para las líneas y las  $F_1$ s y cinco individuos por repetición para las  $F_2$ s. Se realizaron dos cortes, uno en junio y otro en agosto de 2016. Las plantas se manejaron a un solo tallo y se tutoraron con hilo de rafia.

### Variables medidas

Durante el ciclo del cultivo se registró información del peso total de frutos por planta (PTF, en g), número total de frutos por planta (NTF), peso promedio de fruto (PPF, en g), diámetro (DF, en mm) y longitud de fruto (LF, en mm), contenido de sólidos solubles totales (SST, en °Bx), y firmeza del fruto (FIR, en Newtons -N-), esta última fue medida con un texturómetro universal marca FORCEFIVE<sup>®</sup> con un puntal cónico de 0.8 mm, modelo FDV-30 (Greenwich, EEUU). Las variables PPF, DF, LF, SST y FIR se obtuvieron de una muestra de tres frutos representativos por planta. Los sólidos solubles totales se midieron con un refractómetro digital marca PAL-1<sup>®</sup> (Tokio, Japón) de rango 0.0 a 53.0 °Brix.

### Análisis estadístico

Para cada variable se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) usando el programa estadístico SAS<sup>®</sup> V.9.0 (SAS Institute Inc., 2002). El modelo estadístico estuvo establecido de acuerdo con el diseño experimental de bloques completos al azar, mediante el modelo lineal general (PROC GLM), y con el procedimiento CONTRAST se compararon los promedios de las cruces  $F_1$  vs. sus respectivas generaciones  $F_2$ . La depresión endogámica (DEP, en %) se estimó con los promedios de las diferencias  $(F_1 - F_2)/F_1$ , expresadas en porcentaje, y multiplicada por (-1) para indicar una disminución de la magnitud de la variable a evaluar.

### Manejo del cultivo

Se aplicó la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984) modificándola según las etapas fenológicas de los genotipos, primero a una concentración de 50% por planta antes de la floración, posteriormente se incrementó la concentración al 100%, realizando cuatro fertirriegos al día durante el ciclo y el pH de la solución se mantuvo entre 5.5 y 6.0. Para la prevención y control

de mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) y paratíozia (*Bactericera cockerelli*) se realizaron aplicaciones periódicas de Confidor® (imidacloprid) y Ampligo® (lambda cialotrina y clorantraniliprol). Para enfermedades fungosas como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) se realizaron aplicaciones periódicas de Captan® (captan), cupravit® (oxicloruro de cobre) y Ridomil Gold® (Metalaxil).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contrastes ortogonales detectaron pocas diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las generaciones filiales para cada variable (Cuadro 1). La cruzada LOR85\*L presentó diferencias significativas para peso total (PT), número de frutos (NF) y diámetro del fruto (DF). LOR91\*L solo tuvo significancia para días a maduración del tercer racimo y sólidos solubles, mientras que LOR95\*L para días a floración del tercer racimo. La cruzada LOR82\*L presentó solo diferencia significativa para peso promedio de fruto. De igual forma, en la variable número de lóculos solo se detectó

significancia en una sola cruzada (LOR111\*L). La cruzada LOR91\*C mostró significancia para número de frutos y longitud de frutos, mientras que LOR82\*C, LOR111\*C, LOR91\*R, LOR103\*R, LOR81\*R solo fueron significativas en una variable.

Los valores más altos de los coeficientes de variación se observaron en variables como peso total de frutos (21.7), número de frutos (15.9), peso promedio de frutos (14.7) y firmeza del fruto (13.2). Aunque la mayoría de las variables indicaron una desviación por debajo de la media poblacional la cual corresponde al 20%, solo la variable de peso total fue la que se encontró por encima de la media poblacional.

En la comparación de medias de los contrastes se observaron diferencias significativas para la mayoría de las variables entre las generaciones F<sub>1</sub> y sus respectivas F<sub>2</sub>s en las 23 cruces de jitomate (Cuadro 2). Para la variable PT las cruces que sobresalieron fueron LOR82\*CF<sub>1</sub> y LOR103\*R F<sub>1</sub> con valores de 4.3 y 4.2 kg por planta, respectivamente, mientras que los valores más bajos se observaron en las cruces LOR111\*LF<sub>2</sub> y LOR97\*CF<sub>2</sub> con 2.9 y 1.8 kg por planta respectivamente. Sin embargo, en PPF las cruces sobresalientes fueron LOR82\*LF<sub>2</sub> (151 g) LOR82\*CF<sub>1</sub> (136.2 g), mientras que LOR97\*CF<sub>2</sub> obtuvo el valor más bajo (71.3 g). La variable NF presentó mayor número de frutos en la cruzada LOR81\*RF<sub>1</sub> con 51.5 frutos, la cruzada LOR82\*LF<sub>2</sub> mostró el valor más bajo con 29.2 frutos. Para las variables de precocidad se encontraron cruces (LOR91\*RF<sub>1</sub>) con 39.7 días a la floración y 97.8 días a la maduración (LOR91\*LF<sub>2</sub>). Cabe resaltar que estos valores fueron tomados a partir del trasplante.

En general, las cruces derivadas del probador L, tales como: LOR85\*L, LOR91\*L, LOR81\*L, LOR82\*L, LOR97\*L, LOR95\*C, y LOR81\*C, resultaron ser las más estables de una generación a otra, debido a que la depresión en-

**Cuadro 1.** Cuadrados medios de los contrastes para las variables de rendimiento y calidad en 23 cruces de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus respectivas generaciones filiales.

GENOTIPOS	DFR3	DMR3	PT	NF	DF	LF	PPF	BRIX	LUCU	FIR
LOR85*L F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	29.0	21.7	3.5**	208.9*	41.08*	2.04	478.8	0	0	0
LOR91*L F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	2.5	36.5*	0.015	2.5	5.23	10.14	8.4	0.88**	0.14	0.04
LOR95*L F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	144.1**	0.96	0.015	25.6	47.6*	58.9	360.4	0.027	0.027	0.04
LOR82*L F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	30.4	3.8	0.026	117.04	162.2	29.5	3441.6**	0.0017	0.082	0.06
LOR91*C F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	35.5	3.5	1.6	276.1**	19.4	294.0**	37.5	0.43	0	0.007
LOR95*C F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	79.9*	1.3	0.13	0.24	1.12	34.6	321.2	0.33	0.042	0.0017
LOR82*C F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	1.3	1.3	1.04	55.2	2.53	0.24	194.9	0.0417	0.06	0.11*
LOR111*C F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	1.0	2.9	0.015	33.6	0.37	0.17	51.6	0.015	0.0067	0.17*
LOR91*R F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	21.7	4.9	0.2	9.8	1.7	2.94	436.9	0.06	0.38*	0.007
LOR103*R F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	26.5	63.4	2.53*	38.0	7.04	7.71	261.4	0.0017	0.027	0.015
LOR81*R F <sub>1</sub> vsF <sub>2</sub>	2.9	3.7	0.28	28.2	1.31	7.93	2.8	0.082	0.11	0.17*
C.V.	7.5	2.9	21.7	15.9	5.5	7.5	14.7	6.5	10.02	13.2

\*, \*\* Significativo a  $P \leq 0.05$ ) y a  $P \leq 0.01$ , respectivamente. DFR3=días a floración del tercer racimo; DMR3=días a maduración del tercer racimo; PT=peso total de frutos por planta (g); NF=número total de frutos por planta; PPF=peso promedio del fruto (g); DF=diámetro de fruto (mm); LF=longitud de fruto (mm); SST=contenido de sólidos solubles totales (°Brix); LOCU=número de lóculos; FIR=firmeza del fruto; C.V.=Coeficiente de variación.

**Cuadro 2.** Comparación de medias en 23 híbridos provenientes del cruzamiento entre líneas S<sub>5</sub> de jitomate nativo contra líneas avanzadas S<sub>5</sub> de jitomate tipo "saladette" y sus respectivas F<sub>2</sub>. Texcoco, Estado de México, México.

GENOTIPOS	PT	NF	PPF	DF	LF	DFR3	DMR3	BRIX	LUCU	FIR
LOR91*L F <sub>1</sub>	3.8 ab	37.2 ab	131.0 a-e	54.3 a-h	77.5 a-c	45.1 ab	102.8 ab	4.0 a-c	2.2 de	0.93 b
LOR91*L F <sub>2</sub>	3.7 ab	35.9 ab	133.4 a-d	56.1 a-g	74.9 a-c	46.4 ab	97.8 b	4.8 a	2.5 a-e	1.1 ab
LOR95*L F <sub>2</sub>	3.3 ab	34.2 ab	116.8 a-f	53.9 a-i	68.5 a-e	52.1 a	104.9 ab	4.3 a-c	2.4 b-e	1.1 ab
LOR82*L F <sub>1</sub>	3.0 ab	38.0 ab	103.1 a-f	48.1 e-i	72.8 a-d	42.7 ab	103.6 ab	4.3 a-c	2.9 a-e	1.5 a
LOR82*L F <sub>2</sub>	2.9 ab	29.2 b	151.0 a	58.5 ab	77.2 a-c	47.2 ab	105.2 ab	4.3 a-c	3.1 a-d	1.3 ab
LOR111*L F <sub>2</sub>	2.5 ab	31.3 ab	105.6 a-f	48.6 c-i	75.9 a-c	42.0 ab	106.0 ab	4.6 ab	2.2 e	1.3 ab
LOR97*L F <sub>2</sub>	3.1 ab	36.8 ab	105.6 a-f	47.8 e-i	86.6 a	46.7 ab	108.3 ab	4.6 ab	2.7 a-e	1.4 ab
LOR85*C F <sub>1</sub>	3.8 ab	46.0 ab	112.4 a-f	55.1 a-h	69.3 a-e	42.3 ab	105.8 ab	3.6 c	2.6 a-e	1.2 ab
LOR81*C F <sub>1</sub>	3.8 ab	42.3 ab	108.7 a-f	54.7 a-h	63.7 b-e	42.3 ab	104.5 ab	4.1 a-c	2.5 b-e	0.93 b
LOR79*C F <sub>2</sub>	3.0 ab	36.5 ab	114.1 a-f	55.8 a-g	62.9 c-e	46.7 ab	108.7 a	3.7 bc	2.4 b-e	1.2 ab
LOR82*C F <sub>1</sub>	4.3 a	42.1 ab	136.2 a-c	59.7 a	64.4 b-e	42.3 ab	99.9 ab	3.8 ba	3.2 ab	0.97 b
LOR82*C F <sub>2</sub>	3.5 ab	36.1 ab	124.8 a-f	58.4 a-c	64.8 b-e	41.4 ab	100.9 ab	4.0 a-c	3.4 a	1.2 ab
LOR97*C F <sub>2</sub>	1.8 b	38.2 ab	71.3 f	48.6 d-i	51.8 e	41.3 ab	104.7 ab	4.4 a-c	2.8 a-e	1.2 ab
LOR91*R F <sub>1</sub>	3.4 ab	48.4 ab	95.8 b-f	47.00 f-i	74.3 a-d	39.7 b	103.8 ab	3.9 a-c	2.3 c-e	1.1 ab
LOR95*R F <sub>2</sub>	3.1 ab	48.2 ab	81.2 ef	44.4 i	74.5 a-c	43.4 ab	101.7 ab	4.4 a-c	2.5 a-e	1.3 ab
LOR103*RF <sub>1</sub>	4.2 a	46.6 ab	110.1 a-f	49.3 b-i	78.6 a-c	42.3 ab	98.2 b	3.9 a-c	2.7 a-e	1.5 ab
LOR81*R F <sub>1</sub>	3.7 ab	51.5 a	94.6 b-f	46.6 g-i	71.8 a-d	41.0 ab	104.1 ab	3.9 a-c	2.4 b-e	1.5 ab
DHS	2.4	21.5	54.6	9.8	18.3	11.2	10.6	0.92	0.89	0.55

\*, \*\* Significativo a  $P \leq 0.05$  y a  $P \leq 0.01$ , respectivamente. Medias con la misma letra en columna entre tratamientos, son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ); R=reducciones porcentuales. PT=peso total de frutos por planta (g); NF=número total de frutos por planta; PPF=peso promedio del fruto (g); DF=diámetro de fruto (mm); LF=longitud de fruto (mm); DFR3=días a floración del tercer racimo; DMR3=días a maduración del tercer racimo; SST=contenido de sólidos solubles totales (°Brix); LOCU=número de lóculos; FIR=firmeza del fruto; DHS=Diferencia honesta significativa.

dogámica afectó un menor número de variables. Por otro parte, los híbridos conformados por las líneas R y C fueron afectados en las variables de precocidad, calidad (sólidos solubles totales y número de lóculos) y algunas variables de tamaño de fruto (longitud y diámetro del fruto) (Cuadro 3).

En este estudio se observaron valores de depresión endogámica en peso total de fruto (PT) de 0 hasta 28.6%. Tal resultado indicó que el efecto de la depresión endogámica no fue tan notorio en comparación con otros estudios, como los realizados por Hernández Leal et al. (2013), quienes evaluaron siete genotipos comerciales y sus respectivas F<sub>2</sub>s, y encontraron que la depresión endogámica para PT fue entre 17.5 a 66.1%. Por otra parte,

Martínez-Solís et al. (2005) evaluaron 9 híbridos comerciales y sus respectivas F<sub>2</sub>s, encontrando valores similares a los nuestros para peso total de frutos de 0.6 a 22.8. Tales diferencias de magnitudes entre poblaciones pudieran ser explicadas por el diferente grado de disminución de la heterocigosidad, la cual es afectada por el incremento de la frecuencia de loci homocigóticos (Poehlman y Allen, 2003). En el presente estudio, no todas las cruas presentaron un efecto adverso por la depresión endogámica. Las cruas como LOR85\*L, LOR103\*L, LOR95\*L, no mostraron un abatimiento para PT, por el contrario la F<sub>2</sub> superó a la F<sub>1</sub> ya que tuvieron valores de 68.2%, 3.1% y 3.6%, respectivamente. Al respecto, valores similares fueron reportados por Martínez-Solís et al. (2005) con

porcentajes de 0.5 a 4.8%, para la variable de peso total.

La depresión endogámica para el número total de frutos fue de 3.5% hasta 29.1% para la mayoría de las cruas; Charlesworth y Willis (2009) sostienen que se debe a que la eficiencia fisiológica de la planta disminuye (tasa de crecimiento, tamaño, vigor y susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades) en plantas por efecto de la depresión por endogamia. Siete cruas no presentaron depresión ya que la F<sub>2</sub> fue superior a su F<sub>1</sub> con valores que fueron de 0.7 hasta 37.1%.

Para peso promedio de fruto se encontró que LOR 85\*L (18.1%), LOR91\*L (1.8%), LOR95\*L (15.3%), LOR103\*L (0.8%), LOR81\*L (3.6%), LOR82\*L (46.5%), LOR97\*L (14.9%),

**Cuadro 3.** Reducción porcentual en 23 híbridos provenientes del cruzamiento entre líneas S<sub>5</sub> de jitomate nativo contra líneas avanzadas S<sub>5</sub> de jitomate tipo "saladette" y sus respectivas F<sub>2</sub>. Texcoco, Estado de México, México.

GENOTIPOS	PT	NF	PPF	DF	LF	DFR3	DMR3	BRIX	LUCU	FIR
LOR85*L	68.2	37.1	18.1	11.1	1.5	-9.2	-3.6	0	0	0
LOR91*L	-2.6	-3.5	1.8	3.3	-3.4	2.9	-4.9	5	13.6	18.3
LOR95*L	3.1	-10.7	15.3	11.6	-8.4	23.2	-0.9	4.9	-7.7	-15.4
LOR103*L	3.6	10.3	0.8	2.2	-2.4	-8.6	-0.3	5	-10.7	0
LOR81*L	-11.4	0.7	3.6	2.6	1.3	0	-1.4	2.3	0	-9.1
LOR79*L	-24.3	-18.6	-12.5	-4	-4.5	9.7	4.4	2.4	0	-13.3
LOR82*L	-3.3	-23.2	46.5	21.6	6	10.5	1.5	0	6.9	-13.3
LOR111*L	-28.6	-24.4	-14.4	-8.8	1.5	-4.3	3.1	4.5	-22.2	30
LOR97*L	0	-3.7	14.9	2.6	5.7	5.4	2.1	7	12.5	27.3
LOR85*C	-21.1	-21.3	2	2.9	-3.2	0.9	-1.4	5.6	-3.8	-8.3
LOR91*C	-24.4	-29.1	-3.8	-6.3	21.4	11.7	1.4	12.5	0	-8.3
LOR95*C	-11.5	1.1	-14.1	-1.7	7.8	17.1	0.9	12.8	9.1	0
LOR103*C	-14.7	-12	0.9	-6.4	0	4.1	1.8	-2.4	-11.5	8.3
LOR81*C	-18.4	-4.3	-16.8	0.7	10.5	9	1.6	2.4	0	18.3
LOR79*C	-16.7	-9.7	-6.7	-3.5	0.5	6.9	1.6	2.7	4.3	-7.7
LOR82*C	-18.6	-14.3	-8.4	-2.2	0.6	-2.1	1	5.3	6.2	23.7
LOR111*C	-3.4	14.9	5.5	-0.9	0.6	-1.7	1.4	2.7	4	-26.7
LOR97*C	-14.5	4.9	-24.9	-8	-7.8	3.2	3.6	2.3	7.7	-7.7
LOR91*R	-8.8	-5.2	-17.8	-2.3	1.9	9.6	1.7	5	21.7	9.1
LOR95*R	-18.4	2.3	-18.6	-6.1	0.3	5.1	-2.3	15.8	-7.4	0
LOR103*R	-31	-10.9	-12	-4.3	-2.8	9.9	6.6	0	-3.7	-6.7
LOR81*R	-10.8	-8.5	-1.4	1.9	3.2	3.4	-1.5	5.1	12.5	-26.7
LOR79*R	-6.5	-11.6	6.9	7	1.9	4.7	3.2	4.9	-3.8	-15.4

\*, \*\* Significativo a P≤0.05) y a P≤0.01, respectivamente. R=reducciones porcentuales. PT=peso total de frutos por planta (g); NF=número total de frutos por planta; PPF=peso promedio del fruto (g); DF=diámetro de fruto (mm); LF=longitud de fruto (mm); DFR3=días a floración del tercer racimo; DMR3=días a maduración del tercer racimo; SST=contenido de sólidos solubles totales (°Brix); LOCU=número de lóculos; FIR=firmeza del fruto.

LOR85\*C (2%), LOR103\*C (0.9%), LOR111\*C (5.5%) y LOR79\*R (6.9%) no tuvieron reducciones, si no que su F<sub>2</sub> incrementó el PPF. Este aumento debido a la segregación transgresiva es muy común en algunas especies como el jitomate.

Para las variables de precocidad (días a maduración y días a floración) solo ocho cruza tuvieron una reducción porcentual en días a maduración en su F<sub>2</sub>, pero solo fue de 0.3 hasta 4.9%, el resto de las cruza F<sub>2</sub>s superaron a sus progenitores (F<sub>1</sub>). Esto se debe a que la depresión endogámica en especies autógamas como el jitomate es relativamente pequeña en comparación con las especies alógamas (Charlesworth y Charlesworth, 1987), debido a que en las especies autógamas el proceso de autofecundación recurrente tiene un efecto depurador de alelos recesivos deletéreos. En la variable días a floración, solo cinco cruza (LOR85\*L, LOR103\*L, LOR111\*L, LOR82\*C, LOR111\*C) presentaron una reducción con valores de 1.7 a 9.2 %, sin embargo, en las otras 18 cruza las F<sub>2</sub>s fueron superiores con valores que fueron de 0 a 23.2 %.

Berry y Uddin (1991) mencionan que durante la selección de plantas, además del rendimiento y la adaptabilidad, también se deben considerar el desarrollo de cultivares con alta calidad de fruta, incluyendo el color (Chalukova y Manuelyan, 1991). Por otra parte, Gonzalez *et al.* (2004) mencionan que la firmeza, sólidos solubles totales y pH del fruto determinan la calidad del jitomate, ya que influyen en la percepción de la calidad del fruto por el consumidor. Para sólidos solubles totales, en la mayoría de las cruza se observó una ganancia en sus F<sub>2</sub>s, con valores de 0 hasta 15.8%, y solamente LOR103\*C



tuvo una reducción (2.4%); estos valores coinciden con los reportados por Hernández Leal et al. (2013). En la variable firmeza, se encontraron valores negativos (%) en LOR95\*L (-15.4), LOR81\*L (-9.1), LOR79\*L y LOR95\*L (-13.3), LOR85\*C y LOR91\*C (-8.3), LOR79\*C (-7.7), LOR111\*C y LOR81\*R (-26.7), LOR97\*C (-7.7), LOR103\*R (-6.7), y LOR79\*R, en el resto de las cruzas sus F<sub>2</sub>s superaron a la F<sub>1</sub> con valores entre 0 y 27.3%, siendo LOR97\*L la que expresó el mayor valor. Los resultados de depresión endogámica en este estudio resultaron ser bajos en comparación con otros trabajos, donde se ha encontrado depresión endogámica por encima del 50%, Esto nos indica que estos materiales son ideales para avanzar a la segunda generación filial en cruzas como LOR85\*L, LOR95\*L, LOR81\*L, LOR81\*L LOR97\*L, LOR95\*C, LOR81\*C, obteniendo rendimientos y variables de calidad aceptables.

## CONCLUSIONES

Las generaciones avanzadas de cruzas intervarietales de jitomate pueden ser una alternativa viable para la producción para pequeños y medianos productores, ya que muestran una baja depresión endogámica en la F<sub>2</sub> para características de calidad y rendimiento. La línea L fue la que resultó más estable de generación en generación en las cruzas realizadas de material nativo por élite, sobresaliendo en el peso total de frutos y algunos otros componentes de rendimiento.

La depresión endogámica observada en las cruzas expresó valores pequeños en comparación con la reducción porcentual que se manifiesta en generaciones avanzadas de materiales híbridos, los cuales son por encima del 50 %, en este caso la depre-

sión endogámica en las variables evaluadas fue menor al 29.1%. Lo encontrado en ese estudio es importante ya que se encontró germoplasma sobresaliente para seguir avanzando y explorando nuevas fuentes de variación genética.

## LITERATURA CITADA

- Berry S. Z., Uddin M. R. 1991. Breeding tomato for quality and processing attributes. *In: Genetic Improvement of Tomato Monographs Theoretical and applied Genetics*. Ed. Kalloo, G. Vol. 14. Berlin: Springer. 197 p.
- Bonilla-Barrientos O., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J.J., Cruz-Izquierdo S., Reyes-López D., Hernández-Leal E., Hernández-Bautista A. 2014. Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimienta de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 129-139.
- Chalukova M., Manuelyan H. 1991. Breeding for carotenoid pigments in tomato. *In: Genetic Improvement of Tomato Monographs Theoretical and Applied Genetics*. Ed. Kalloo, G. Vol. 14. Berlin: Springer. 179 p.
- Charlesworth D., Charlesworth B. 1987. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 18: 237-268.
- Charlesworth D., Willis J.H. 2009. The genetics of inbreeding depression. *Nature Reviews Genetics* 10: 783-796.
- De Giglio M.A. 2003. Growth of the fresh greenhouse tomato market in the USA. *Acta Horticulturae* 611: 91-92.
- De Vicente M.C., Tanksley S. D. 1993. QTL analysis of transgressive segregation in an interespecific tomato cross. *Genetics* 134: 585-589.
- FAO. 2014. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: [www.apps.fao.org](http://www.apps.fao.org). (Marzo 2017).
- Gonzalez C.A., Salas S.M.C, Urrestarazu C.M. 2004. Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. *In: Tratado de Cultivos sin Suelo*. Urrestarazu Gavilán M. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 703-747.
- Gur A., Zamir D. 2004. Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *Plos One Biology* 2:e245.
- Hernández-Leal E., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J.J., Reyes-López D., Méndez-López A., Bonilla-Barrientos O., Hernández-Bautista A. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F<sub>2</sub> de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 209-215.
- Magaña-Lira N., Peña-Lomelí A., Sánchez del Castillo F., Rodríguez-Pérez J.E., Moreno-Pérez E.D.C. 2013. Comportamiento productivo de híbridos F<sub>1</sub> de tomate y sus poblaciones F<sub>2</sub>. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 371-379.
- Martínez-Solís J., Peña L. A., Rodríguez P. J. E., Villanueva V. C., Sahagún C. J., Peña O. M. G. 2005. Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F<sub>2</sub>. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2: 299-307.
- Mohamed M. F. 1998. Characteristics and inheritance of natural facultative parthenocarpic fruit-set in 'Nadja' tomato under low temperature conditions. *Euphytica* 103: 211-217.
- Poehlman J. M., Allen D. S. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa. México, D.F. pp: 172-176.
- SIAP. 2015. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo "Modalidad riego + temporal". <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccionagricola-por-cultivo/> (Enero 2017).
- SAS Institute (2002) User's Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p.
- Shalaby T. A., El-Banna A. 2013. Molecular and horticultural characteristics of *in vitro* induced tomato mutants. *Journal of Agricultural Science* 5: 155-163.
- Shah K. H., Nostramo R., Zhang B., Varia S. N., Klett B. M., Herman P. K. 2014. Protein Kinases Are Associated with Multiple, Distinct Cytoplasmic Granules in Quiescent Yeast Cells. *Genetics* 198: 1495-1512.
- Steiner A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture*. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.
- Wijnands J. 2003. The international competitiveness of fresh tomatoes, peppers and cucumbers. *Acta Horticulturae* 611: 79-90.