

Universidad Autónoma Chapingo

"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

Departamento de Fitotecnia

Instituto de Horticultura

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POBLACIONES F₂ Y
HETEROSIS INTERVARIETAL EN JITOMATE (*Lycopersicon
esculentum* MILL.) CULTIVADO A UN RACIMO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

PRESENTA:

NATANAEL MAGAÑA LIRA

Chapingo, México. Junio de 2006.



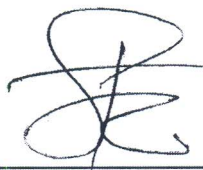
Instituto de Horticultura

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POBLACIONES F₂ Y HETEROSIS
INTERVARIETAL EN JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* MILL.)
CULTIVADO A UN RACIMO**

Tesis realizada por Natanael Magaña Lira bajo la dirección del Comité Asesor indicado,
aprobada por el mismo, y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

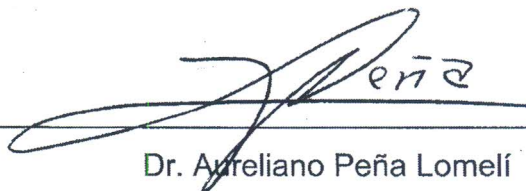
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



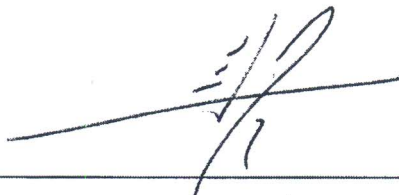
Dr. Felipe Sánchez del Castillo

CODIRECTOR:



Dr. Aureliano Peña Lomelí

ASESOR:



Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez.

Chapingo, México. Junio de 2006.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

DATOS BIOGRÁFICOS

Originario del municipio de Puruándiro, Michoacán, el autor realizó estudios profesionales en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo durante el periodo 1998-2002, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia en octubre de 2002.

En 2003 se desempeñó como ejecutivo de ventas de en Plásticos del Futuro, S.A. de C.V., en el área de plásticos agrícolas. De abril de 2003 a la fecha ha desarrolla labores como auxiliar técnico del Programa Universitario de Investigación en Olericultura de la Universidad Autónoma Chapingo. De marzo de 2006 a la fecha forma parte del grupo encargado realizar la “Guía para descripción varietal de tomate de cáscara” para la Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales (UPOV).

Durante 2004 y 2005 realizó estudios de posgrado en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, con formación enfocada al mejoramiento genético de hortalizas y horticultura protegida.

DEDICATORIA

A **Dios**, por darme el don de la vida

A mis **Padres** Felipe y Antonia, con todo mi amor y respeto.

A mi **Novia** Alma Cristina, con el amor que nos mantiene juntos.

A la memoria de mis **Abuelos** paternos Luís y Ernestina.

A mis **Abuelos** maternos Juan y María.

A mis **Hermanos**: Elisa, María Guadalupe, Tobías, Esther, María Salomé y Rebeca,
por el impulso que me brindan en la realización de mis metas.

Al Ph.D. **Jaime** Sahagún Castellanos, con admiración.

“Sólo existe un tipo de hombre perfecto: aquel
que reconociendo su imperfección humana
lucha día tras día por superarla” NML, 1998

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por incluirme en su programa de formación de científicos y tecnólogos.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi *alma mater*, por su contribución invaluable en mi formación académica y personal.

A los Doctores Felipe Sánchez del Castillo, Aureliano Peña Lomelí y Juan Enrique Rodríguez Pérez, por el desinteresado apoyo intelectual, moral y económico en la planeación, ejecución y culminación de ésta investigación.

Al Doctor Jaime Sahagún Castellanos, por sus acertados consejos en el análisis estadístico y el abstract.

A los maestros del Instituto de Horticultura, por su invaluable contribución en mi formación académica.

A mi familia, por la confianza depositada en mi persona.

A los señores Gabriel, Víctor, Gumaro y Eusebio, y todos aquellos cuya ayuda hizo posible la culminación de la presente investigación.

A mis compañeros de la generación 2004-2005 de la maestría en horticultura y 2004-2006 del doctorado en horticultura, por brindarme su amistad, en especial al M.C. Jorge Moisés Rosas Ramos y el M.C. Juan José Ponce Valerio.

A la familia Contreras Estrada, amigos incondicionales.

A los miembros del *Cacarizos Le Club*, por su amistad y apoyo moral.

Al Sr. Vicente Trujano, por su esfuerzo y dedicación en el empastado de las tesis.

Sinceramente, Natanael

CONTENIDO

Pág.

ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
RESUMEN GENERAL.....	iv
GENERAL ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. COMPARACIÓN PRODUCTIVA DE VARIEDADES COMERCIALES DE JITOMATE Y SUS RESPECTIVAS POBLACIONES F_2	7
2.1. RESUMEN	7
2.2. ABSTRACT	8
2.3. INTRODUCCIÓN	9
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.4.1. Obtención de semilla F_2	12
2.4.2. Evaluación de híbridos y generaciones F_2	13
2.4.3. Análisis estadísticos	14
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
2.5.1. Prueba de contrastes	16
2.5.2. Comparación de varianzas.....	20
2.5.3. Vida poscosecha	23
2.7. LITERATURA CONSULTADA.....	27
3. HETEROSIS INTERVARIETAL EN JITOMATE	29
3.1. RESUMEN	29
3.2. ABSTRACT	30
3.3. INTRODUCCIÓN	31
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.4.1. Cruzas dialélicas	40
3.4.2. Evaluación del dialélico	41
3.4.3. Análisis del dialélico	42
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
3.5.1. Análisis de varianza	46
3.5.2. Comparación de medias	48
3.5.3. Análisis de progenitores	49
3.5.4. Análisis de las cruzas	53
3.6. CONCLUSIONES.....	66
3.7. LITERATURA CONSULTADA.....	67
4. DISCUSIÓN GENERAL.....	73
5. CONCLUSIONES GENERALES	75
6. LITERATURA GENERAL CONSULTADA.....	77

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Híbridos de jitomate tipo bola utilizados en el trabajo de investigación.....	12
Cuadro 2.2. Cuadrados medios del análisis de varianza de caracteres evaluados en siete híbridos comerciales de jitomate y su respectiva F_2 para los caracteres evaluados en jitomate tipo bola cultivado a un racimo	17
Cuadro 2.3. Medias de producción de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2) cultivado a un racimo, mostrando el porcentaje de reducción (R) para rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), dos (RTOC2) y total por planta (RTP).....	18
Cuadro 2.4. Medias de producción de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2) cultivado a un racimo, mostrando el porcentaje de reducción (R) para número de frutos en corte uno (NFC1), dos (NFC2) y total por planta (NF).	18
Cuadro 2.5. Medias de producción de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2) cultivado a un racimo, mostrando el porcentaje de reducción (R) para peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), dos (PPFC2) y por planta (PPF).....	19
Cuadro 2.6. Comparación de varianzas para rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), dos (RTOC2) y total por planta (RTP) de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2), cultivado a un racimo.....	21
Cuadro 2.7. Comparación de varianzas para número de frutos en corte uno (NFC1), dos (NFC2) y total por planta (NF) de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2), cultivado a un racimo.....	22
Cuadro 2.8. Comparación de varianzas para peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), dos (PPFC2) y por planta (PPF) de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2), cultivado a un racimo.....	22
Cuadro 2.9. Comparación de proporciones binomiales entre F_1 y F_2 para proporción de frutos firmes 45 días después del corte.	23
Cuadro 3.1. Híbridos de jitomate tipo bola utilizados como progenitores del dialélico realizado mediante el diseño I de Griffing.	40
Cuadro 3.2. Cuadrados medios del análisis de varianza con el método I de cruas dialélicas de Griffing (1956) para caracteres evaluados	47
Cuadro 3.3. Promedios de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.	48

Cuadro 3.4. Medias de producción de nueve caracteres de las cruas del dialélico I de Griffing ($P_i \times P_j$) hecho con siete híbridos comerciales de jitomate, cultivado a un racimo..	50
Cuadro 3.5. Aptitud combinatoria general (ACG) de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.	51
Cuadro 3.6. Efectos maternos (EM) de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.	52
Cuadro 3.7. Heterosis varietal (HV) y heterosis media ($\bar{h}$) de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.	53
Cuadro 3.8. Aptitud combinatoria general (ACG) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($ACG_{ij} = ACG_{ji}$).	54
Cuadro 3.9. Aptitud combinatoria específica (ACE) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($ACE_{ij} = ACE_{ji}$).	55
Cuadro 3.10. Efectos maternos (EM) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($EM_{ij} = -EM_{ji}$).	56
Cuadro 3.11. Efectos recíprocos (ER) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($ER_{ij} = -ER_{ji}$).	57
Cuadro 3.12. Heterosis absoluta respecto al progenitor medio (HA_p) de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.	58
Cuadro 3.13. Heterosis porcentual respecto al progenitor medio ($H\%_p$) de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.	59
Cuadro 3.14. Heterosis absoluta respecto al mejor progenitor (HA_{mp}) de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.	60
Cuadro 3.15. Heterosis porcentual respecto al mejor progenitor ($H\%_{mp}$) de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.	61
Cuadro 3.16. Heterosis específica de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.	63

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POBLACIONES F_2 Y HETEROSIS
INTERVARIETAL EN JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* MILL.)
CULTIVADO A UN RACIMO**

RESUMEN GENERAL

La presente investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo con el propósito de evaluar la conveniencia del uso de la segunda generación filial de variedades de jitomate para producción (experimento 1) y la posibilidad de usar las mismas variedades como progenitores en un programa de mejoramiento genético enfocado a sistemas intensivos de producción bajo invernadero, mediante la evaluación de las cruzas dialélicas (método I de Griffing) obtenidas a partir de híbridos comerciales (experimento 2).

En ambos se evaluó rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), corte dos (RTOC2) y total (RTP), número de frutos por planta en corte uno (NFC1), corte dos (NFC2) y total (NF), y peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), en corte dos (PPFC2) y en el ciclo (PPF). En las poblaciones F_2 se midió la proporción de frutos firmes 45 días después del corte (PFF) como indicador de vida de anaquel.

La F_2 de 'Badro' rindió 57.3 % más que la variedad original, debido un incremento de 69.7 % en NFC2, reflejado en 122.9 % mayor RTOC2; en el resto de las variedades no se encontraron diferencias para RTP. La vida de anaquel sólo presentó diferencias entre generaciones en 'Lorena', donde la PFF fue menor en la F_2 . 'Monte Verde' y 'Caimán' presentaron los comportamientos más homogéneos entre generaciones para las variables evaluadas.

Por sus valores de aptitud combinatoria general, 'Badro' fue el progenitor más promisorio y sus cruzas con 'Charleston', 'Caimán' y 'Lorena' pueden ser utilizadas como base en un programa de mejoramiento genético por selección. Los valores más altos de aptitud combinatoria específica y heterosis para producción temprana se encontraron en la craza 'Monte Verde' x 'Gabriela' y para producción total los valores más altos correspondieron a la craza 'Sedona' x 'Caimán'.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: poblaciones F_2 , mejoramiento de jitomate, cruzas dialélicas, aptitud combinatoria, heterosis.

**PRODUCTIVE PERFORMANCE OF F₂ POPULATIONS AND INTERVARIETAL
HETEROSIS IN TOMATO (*Lycopersicon esculentum* MILL.)
FIRST FRUIT CLUSTER**

GENERAL ABSTRACT

This investigation was carried out at Universidad Autónoma Chapingo, in order to evaluate the convenience of using F₂ variety generations in tomato production (Experiment 1), and the possibility of using the same varieties as parents in a breeding program focused to intensive under greenhouse production systems, through the evaluation of diallel crosses (Griffing's method I) obtained from commercial hybrids (Experiment 2).

In both projects the evaluated variables were plant yield at first harvest (RTOC1), second harvest (RTOC2), and total (RTP), fruit number per plant at first harvest (NFC1), second harvest (NFC2), and total (NF), fruit average weight at first harvest (PPFC1), second harvest (PPFC2), and through cycle (PPF). In the F₂ populations firm fruit rate 45 days after harvest (PFF), as an indicator of shelf life, was additionally measured.

'Badro's F₂ excelled the original variety by 57.3 % due to a 69.7 % NFC2 increase, reflected in a 122.9 % RTOC2 increase, in the other varieties differences in RTP were not found. For shelf life, statistical differences between generations were observed only in 'Lorena', with a F₂ PFM lesser than the original variety. 'Monte Verde' and 'Caimán' showed the most homogeneous performance between generations for the evaluated variables.

Because of its general combining ability values, 'Badro' was the most promising parent, and the crosses 'Badro' x 'Charleston', 'Badro' x 'Caimán', 'Lorena' x 'Badro' and 'Caimán' x 'Badro' can be used as a base population in a selection breeding program. The highest specific general combining ability and heterosis values for early production were found in the cross 'Monte Verde' x 'Gabriela', and for total production the highest values corresponded to the cross 'Sedona' x 'Caimán'.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Lycopersicon esculentum* Mill., F₂ populations, vegetables' breeding, diallel crosses, combining ability, heterosis.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú) y donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres; México está considerado a nivel mundial como su centro más importante de domesticación. La palabra tomate proviene de la voz nahuatl “tomatl” (Valadez, 1998).

A nivel mundial, durante el año 2005 se cultivaron 4.5 millones de hectáreas de jitomate, con una producción de 124.7 millones de toneladas, para un rendimiento promedio de 27.7 t ha^{-1} . Entre las hortalizas ocupa el cuarto lugar en superficie cultivada y volumen de producción. Los principales países productores son China, Estados Unidos, Turquía, India, Egipto e Italia, que en conjunto producen el 57.1 % del jitomate del mundo. México ocupa el décimo lugar con apenas el 1.7 % de la producción mundial (FAO, 2006).

En el plano nacional, en 2005 la superficie cosechada fue de 67,084 ha, que suma una producción de 2,148,130 toneladas, con un rendimiento medio de 32.02 t ha^{-1} (FAO, 2006). Está situado en el segundo lugar entre las hortalizas en lo que se refiere a superficie cultivada, y el primero en volumen de producción. Los principales estados productores son Sinaloa, Baja California, Michoacán, San Luís Potosí y Baja California Sur, los que suman el 75.8 % de la producción nacional (SIIAP, 2005). Ocupa el primer lugar por su valor de producción, exportación y consumo *per capita*, así como el mayor generador de empleos y divisas; en éste cultivo se usa la mejor tecnología de producción, tanto a campo abierto como en invernadero (ASERCA, 1998).

Atendiendo a la evolución del mercado de éste cultivo, se ha buscado un incremento en su productividad mediante desarrollos tecnológicos para una producción más intensiva como sistemas con riego por goteo, acolchados y bajo invernaderos, y programas de mejoramiento genético. En México, la producción en sistemas hidropónicos bajo invernadero se desarrolla en más de 1,000 ha, y la mayoría de las grandes empresas utiliza desarrollos tecnológicos de otros países, sin embargo éstos han sido costosos y no son accesibles al productor promedio. Pequeñas y medianas empresas, principalmente familiares, han optado por la tecnología nacional, muchas veces con invernaderos de autoconstrucción, sustratos regionales y sin automatización (Sánchez *et al.*, 1992.), sin embargo, siguen haciendo uso de variedades importadas, las cuales incrementan sus costos (Juárez *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2005a).

Actualmente se encuentran en el mercado una amplia gama de variedades mejoradas de jitomate, principalmente híbridos. El mejoramiento genético no ha sido enfocado únicamente a incrementar el rendimiento, ya que se han incorporado características de tamaño y forma de fruto, resistencia a enfermedades y plagas, tolerancia a estrés, larga vida de anaquel y otros aspectos de calidad (Grandillo *et al.*, 1999). La gran mayoría de los híbridos se encuentra concentrada en manos de unas cuantas compañías semilleras transnacionales, cuyos programas de mejoramiento han sido costosos, lo que incrementa los precios de la semilla. Ante ésta situación, y con el fin de reducir los costos, algunos productores han optado por la utilización de la segunda generación filial de los híbridos (Martínez *et al.*, 2005a), o bien, recurren a la reproducción vegetativa por medio de los brotes axilares (Juárez *et al.*, 2000).

En México, el organismo que se ha encargado del mejoramiento del jitomate es el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), en Culiacán, Sinaloa (Pérez *et al.*, 1998); y recientemente en la Universidad Autónoma Chapingo se ha iniciado un programa de mejoramiento genético, enfocado principalmente a la producción bajo invernadero (Martínez, 2004).

Los métodos más usados en el mejoramiento genético de jitomate, como para otras autógamas, son: Pedigrí, Retrocruza, Hibridación y Selección Uniseminal (Pérez *et al.*, 1998). Sin embargo, más que utilizar un solo método, se ha optado por la combinación de Pedigrí y Selección uniseminal como métodos de mejoramiento: De F2 a F4 se usa Pedigrí, porque en las primeras generaciones hay poca heredabilidad (mayor heterocigosis); De F5 en adelante se usa Selección Uniseminal porque hay alta heredabilidad en las generaciones avanzadas (alta homocigosis).

Otra alternativa para el mejoramiento del jitomate corresponde a la aplicación de mejoramiento poblacional, debido a la facilidad de obtención de cruzas con alto número de semillas. Un ejemplo es el sistema de enriquecimiento de poblaciones jerárquicas abiertas, diseñado para ampliar significativamente la diversidad genética en poblaciones que se mejoran manteniendo la calidad del germoplasma requerido para producir líneas que puedan ser usadas como progenitores de híbridos. El sistema involucra al menos dos patrones heteróticos, cada uno con cuatro niveles de poblaciones seleccionadas y acomodadas jerárquicamente, de acuerdo a su comportamiento agronómico en bajo, intermedio, alto y élite. Diferentes grupos heteróticos permiten el desarrollo por separado de líneas que al hibridarse producirán niveles aceptables de heterosis. Cada complejo de genes permite el movimiento del germoplasma a niveles jerárquicos

mayores así como la introgresión de nuevo germoplasma con el propósito de crear variabilidad en los niveles bajos. La culminación del sistema ocurre al desarrollar líneas de nivel élite, las cuales pueden ser empleadas en la generación de híbridos o como variedades homocigóticas (Kannenberg y Falk, 1995). Tigchelaar (1986) menciona que en invernadero es posible obtener hasta tres ciclo anuales, mientras que Sánchez y Ponce (1998) mencionan que incluso se pueden obtener cuatro ciclos por año, lo que garantizaría un avance de tres a cuatro generaciones por año.

La variabilidad genética utilizada en los cultivos modernos es limitada debido al proceso de domesticación, el mejoramiento de nuevos cultivares fuera de la región de origen y las presiones de selección por las que han pasado. El jitomate es una de las especies autógamas cultivadas que presentan esta problemática, y en la cual se buscan alternativas de mejoramiento mediante la ampliación de la base genética utilizando cruzas de los genotipos existentes (Saavedra *et al.*, 2001).

Después de varios trabajos de investigación (Cancino *et al.*, 1991; Hernández, 1993; Sánchez y Corona, 2004; Sánchez y Ponce, 1998; Juárez *et al.*, 2000; Gómez y Sánchez, 2003) y varias experiencias a escala comercial con productores, se han generado y validado nuevos sistemas o "paquetes tecnológicos" de producción de jitomate en hidroponía caracterizados por ser factibles técnica y económicamente, además de tener altos rendimientos y calidad de fruto. Consisten en despuntar las plantas (eliminar la yema apical) cuando apenas tienen uno, dos o tres racimos, pero incrementando la densidad de población, en función del nivel de despunte. Para compensar el menor rendimiento por planta con mayor densidad de población, lo cual es posible por la menor área foliar de las planta despuntadas a temprana edad. Su

principales ventajas son: concentración de la cosecha en intervalos muy cortos de tiempo, mayor tamaño de fruto, uso eficiente del invernadero, ciclos de producción muy cortos, dando la posibilidad de incrementar el rendimiento anual al tener varios ciclos por año, escape a enfermedades, escape a heladas, bajas temperaturas u otros fenómenos meteorológicos y eliminación de la labor de tutoreo, por lo que son aplicables tanto en pequeña como en gran escala.

La principal desventaja del sistema es que se requiere de tres a seis veces más semilla que en los sistemas convencionales, lo cual impacta fuertemente los sistemas de producción, sobre todo al usar los híbridos cuyos rendimientos por racimo son más altos y su calidad más apreciada en el mercado de jitomate de invernadero. Éstos cultivares alcanzan precios superiores a un peso por semilla y en un sistema de despuntes tempranos y altas densidades de población se llega a usar 180,000 semillas por hectárea por ciclo, y hasta cuatro ciclos al año, lo que representa un gasto en éste rubro del orden de 6 a 24 veces más (dependiendo del nivel de despunte y densidad de población) respecto a los sistemas convencionales basados en un ciclo al año y 30,000 plantas por hectárea (Sánchez y Ponce, 1998; Juárez *et al.*, 2000).

Por las virtudes del sistema, se justifica desarrollar un programa de mejoramiento genético para encontrar genotipos *ad hoc*. Si además se logra que la semilla sea de bajo costo de producción, se elevará la rentabilidad del sistema y se favorecerá a empresas con baja capacidad de inversión. Martínez *et al.* (2005a) realizaron una comparación productiva entre híbridos comerciales y su segunda generación filial, y no encontraron diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, Martínez (2004) hizo híbridos de de cruza doble usando como progenitores híbridos comerciales,

encontrando que es posible por éste medio identificar algunos superiores a sus progenitores. Ambas alternativas, probadas en un sistema de producción diferente, presentan resultados promisorios para atacar la carencia de variedades para el sistema de producción en altas densidades de población con despuntes tempranos.

En función de lo anterior, en la presente investigación se desarrollaron dos estudios paralelos, bajo los siguientes objetivos: a) comparar la producción y vida poscosecha de híbridos comerciales de jitomate con su respectiva segunda generación filial; y b) evaluar la heterosis intervartietal entre híbridos comerciales de jitomate.

Cada capítulo corresponde a un estudio, estructurado como un artículo independiente. Se hace al final una discusión general para los dos estudios, culminando en las conclusiones generales del proyecto de investigación.

2. COMPARACIÓN PRODUCTIVA DE VARIEDADES COMERCIALES DE JITOMATE Y SUS RESPECTIVAS POBLACIONES F₂

2.1. RESUMEN

Con el objetivo de estudiar el comportamiento productivo de siete variedades comerciales (F₁) de jitomate y su respectiva segunda generación filial (F₂), bajo un sistema superintensivo de producción, fueron establecidas en hidroponía bajo invernadero, con densidad de 25 plantas m⁻² útil (18 plantas m⁻² de invernadero) despuntadas para dejar un racimo por planta. Se evaluó el rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), corte dos (RTOC2) y total (RTP); el número de frutos por planta en corte uno (NFC1), corte dos (NFC2) y total (NF); el peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), en corte dos (PPFC2) y en el ciclo (PPF), y proporción de frutos firmes 45 días después del corte (PFF) como una forma de medir vida de anaquel. En RTP se encontraron seis variedades que no cambiaron significativamente su comportamiento de una generación filial a la siguiente. La F₂ de 'Badro' rindió 57.3 % más que la variedad original, debido al incremento de 69.7 % en NFC2, reflejado en 122.9 % mayor RTOC2. Con respecto a la vida de anaquel, la única variedad que presentó diferencias entre generaciones fue 'Lorena', donde la PFF fue menor en la F₂. 'Monte Verde' y 'Caimán' presentaron los comportamientos más homogéneos entre generaciones en las variables evaluadas.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Lycopersicon esculentum* Mill., mejoramiento de jitomate, evaluación bajo invernadero.

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF TOMATO VARIETIES AND THEIR F₂ POPULATIONS

2.2. ABSTRACT

In order to study the productive performance between F₁ and its respective F₂ generations of tomato varieties, seven varieties (F₁) and their F₂ were grown in hydroponics under greenhouse, using a 25 plants m⁻² density, decapitated to have only one cluster per plant. The evaluated variables were plant yield at first harvest (RTOC1), second harvest (RTOC2), total plant yield (RTP), fruit number per plant at first harvest (NFC1), second harvest (NFC2), and total fruit number per plant (NF), fruit average weight at first harvest (PPFC1), second harvest (PPFC2), total fruit average weight (PPF), and firm fruit rate 45 days after harvest (PFF), as an indicator of shelf life. For RTP, six varieties did not significantly change its performance between generations. The yield of the F₂ generation of 'Badro' was 57.3 % higher than the original variety, is due to 69.7 % NFC2 increase, shown in a 122.9 % RTOC2 increase. For shelf life, only 'Lorena' showed differences between generations, with a F₂ PFF lesser than F₁. 'Monte Verde' and 'Caimán' showed the most homogeneous performance between generations for all evaluated variables.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Lycopersicon esculentum* Mill., tomato breeding, under greenhouse evaluation.

2.3. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas más importantes del mundo en superficie cultivada y volumen de producción (FAO, 2006), ha presentado una gran evolución tecnológica, tanto en sistemas de producción como en mejoramiento genético (Grandillo *et al.*, 1999).

A nivel mundial, ha pasado de 2.4 millones de hectáreas con una producción de 52.7 millones de toneladas y un rendimiento de 21.5 t ha^{-1} en 1980, a 4.5 millones de hectáreas con una producción de 124.7 millones de toneladas y un rendimiento de 27.5 t ha^{-1} en 2005. México no ha sido ajeno a éste crecimiento, ya que en él se cultivó durante 1980 una superficie de 88,286 ha, con una producción de 1.48 millones de toneladas, para un rendimiento de 16.8 t ha^{-1} , y en 2005 se cultivaron 67,084 ha, con una producción de 2.14 millones de toneladas, para un rendimiento medio de 32.0 t ha^{-1} (FAO, 2006). Como se puede apreciar, en México se ha reducido la superficie cultivada, sin embargo, la producción ha incrementado; esto es posible gracias a los desarrollos tecnológicos como agricultura protegida y uso de híbridos de alta productividad, que prácticamente han duplicado el rendimiento promedio.

Dentro de las técnicas de producción que permiten los más altos volúmenes de producción por unidad de superficie está el cultivo bajo invernadero con hidroponía. En México existen básicamente dos sistemas para la producción de jitomate bajo invernadero con hidroponía. En el sistema convencional se utilizan híbridos de crecimiento indeterminado, con densidades bajas (2.5 a 3 plantas m^{-2}) y producción continua durante ciclos largos (de 8 a 11 meses). Empresas grandes que tienen

contratos con un precio rentable garantizado durante todo el ciclo pueden hacer uso de éste sistema de forma rentable. El segundo sistema consiste en incrementar la densidad de población y la interrupción temprana del crecimiento de la planta mediante la eliminación de la yema principal y los brotes laterales, esto concentra la producción en épocas de altos precios y reduce en gran medida el ciclo de cultivo (menos de cuatro meses). La densidad es inversamente proporcional al número de racimos que se dejan en cada planta. Pérez y Castro (1999) recomiendan una densidad de población de 5 plantas m^{-2} y diez racimos por planta, donde no se logra del todo la concentración de la cosecha, aunque sí una reducción del ciclo. En el extremo, Sánchez y Ponce (1998) recomiendan una densidad de población de 25 plantas m^{-2} con un racimo por planta, acortando el ciclo y concentrando al máximo la cosecha. Un problema que presenta éste segundo sistema de producción es el alto costo de la semilla al seguir utilizando los mismos híbridos usados en el enfoque convencional, pero a mucho mayor densidad.

El desarrollo de híbridos ha contribuido en el incremento de la producción, sin embargo, en los últimos años el rendimiento no ha sido el enfoque principal del mejoramiento. Incluso se ha presentado una ligera reducción en el rendimiento, a cambio de mejorar aspectos de resistencia enfermedades y aspectos de calidad, como la vida poscosecha (Grandillo *et al.*, 1999). Los híbridos de jitomate que se cultivan en la actualidad están concentrados en manos de unas cuantas empresas transnacionales, las cuales han hecho fuertes inversiones en sus programas de mejoramiento. La semilla híbrida es cara, no sólo por el costo de los programas de mejoramiento, sino por el proceso de producción en sí, que implica polinización manual entre las líneas progenitoras (Duvick, 1999).

El sistema de altas densidades de población demanda de grandes cantidades de semilla, y si se usan los híbridos utilizados en el enfoque convencional, los costos por concepto de semilla se elevan. Ante esta situación, se han buscado alternativas que permitan reducir los costos en éste rubro. Un intento ha sido la propagación vegetativa por medio de los brotes axilares que son eliminados de las plantas durante las labores de poda (Juárez *et al.*, 2000). Por otro lado, algunos productores han recurrido al uso de la segunda generación filial (F_2) de los híbridos, esperando obtener una producción similar a la de los híbridos (Martínez *et al.*, 2005a).

Teóricamente la segregación de la segunda generación de los híbridos provoca una reducción del rendimiento y pérdida de algunas otras características de calidad por reducirse el grado de heterocigocis a la mitad (Poehlman y Allen, 2003). Sin embargo, en diversos trabajos de investigación se ha encontrado que para jitomate la teoría no se cumple del todo, posiblemente por que no son de alta heterocigocidad, encontrándose frutos con la misma apariencia en la segunda generación filial, algunas F_2 con frutos más grandes y rendimientos superiores a los de sus respectivos híbridos (F_1), e incluso conservan algunas resistencias a ciertas enfermedades (De Vicente y Tanksley, 1993; Mohamed, 1988; Foolad *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2005a).

Con base en lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo comparar la producción y vida poscosecha de híbridos comerciales de jitomate tipo bola con respecto sus respectivas generaciones F_2 , cultivados a un racimo.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Obtención de semilla F₂

En un trabajo previo, en el cual fueron evaluados 38 híbridos comerciales de jitomate tipo bola cultivados a un racimo¹, se seleccionaron siete híbridos (Cuadro 2.1) con base en su rendimiento, y se cultivaron en hidroponia bajo invernadero en el ciclo otoño - invierno 2004 - 2005 en los invernaderos del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México. El ciclo de cultivo se realizó de acuerdo las recomendaciones de Pérez y Castro (1999), utilizando un sistema de riego automatizado. Se cultivaron trece plantas de cada híbrido. Se cosecharon al azar dos frutos por planta polinizados naturalmente.

Cuadro 2.1. Híbridos de jitomate tipo bola utilizados en el trabajo de investigación.

Variedad	Hábito de Crecimiento	Maduración	Tamaño de fruto ¹	Vida de Anaquel ²	Resistencia/Tolerancia ³
1. Gabriela	Indeterminado	Tardía	G y M	LVA	N, F1, F2, V y VMT
2. Sedona	Indeterminado		G		
3. Monte Verde	Determinado	Intermedia	G		F1, F2 y V
4. Badro	Indeterminado	Precoz	G		N, F1, F2, V y VMT
5. Charleston	Indeterminado	Precoz	G y M	LVA	N, F1, F2, V y VMT
6. Lorena	Indeterminado	Tardía	M		N, F1, F2, V, VMT y P
7. Caimán	Indeterminado		MG		F2, V, Cl y TSWV

¹MG: muy grande; G: grande; y M: mediano. ²LVA: larga vida de anaquel. ³N: 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. **Fuente:** Elaboración propia con información de catálogos comerciales.

¹ Comunicación personal: Efraín Contreras Magaña. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Tel. (595) 952 1500 Ext. 1642

Posteriormente, en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, se extrajo la semilla de forma manual, dejando fermentar en la pulpa durante tres días. Posteriormente se lavó la semilla con agua corriente para limpiar el mucílago y se dejó secar sobre papel secante por 48 horas a temperatura ambiente.

2.4.2. Evaluación de híbridos y generaciones F₂

De abril a agosto de 2005, en un invernadero cubierto con polietileno del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (CAEUACH), se realizó el ciclo de evaluación de los híbridos y sus generaciones F₂. La siembra se llevó a cabo la última semana de abril. Se sembró en charolas de poliestireno de 200 cavidades usando como sustrato Peat Moss® y Vermiculita en proporción 3:1. Treinta y cinco días después de la siembra se realizó el trasplante, en tinas de 1.2 m de ancho y 40 cm de profundidad conteniendo tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. El trasplante se realizó en seis hileras de plantas por tina con una distancia de 20 cm entre hileras y 20 cm entre plantas para una densidad de 25 plantas m⁻² útil. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 24 plantas, donde la parcela útil fueron las 12 plantas que no estaban en contacto con la unidad experimental contigua. Las plantas fueron conducidas a un solo racimo, de acuerdo al sistema de altas densidades y despuntes tempranos (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Ponce, 1998). Se irrigaron con la solución nutritiva recomendada por Sánchez y Escalante (1988). Se utilizó un sistema de tutoreo individual por medio de rafia.

La cosecha se realizó en dos cortes, a los 75 y 85 días después del trasplante, en el primero se cosecharon frutos en madurez comercial y en el segundo el total de los frutos restantes. 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 por planta (NF); y peso promedio por fruto (g) en el corte uno (PPFC1), corte dos (PPFC2) y en el ciclo (PPF).

Una vez evaluadas las variables correspondientes al corte uno, se tomó al azar un fruto por planta, etiquetándolo y colocándolo en una bolsa de polietileno. Las muestras fueron almacenadas dentro de cajas de madera dentro de una bodega a temperatura ambiente, durante 45 días, al final de los cuales se evaluó 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 tuvo apariencia comercial el día de la evaluación.

2.4.3. Análisis estadísticos

Los datos correspondientes a las variables de cosecha fueron sometidas a un análisis de varianza, realizando contrastes entre los híbridos y su respectiva F_2 . Además se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p = 0.05$) y se compararon las varianzas de las dos poblaciones (híbrido vs su respectiva F_2) bajo el supuesto de distribución normal mediante la prueba de F ($p \leq 0.05$). La proporción de frutos firmes fue analizada mediante comparación de proporciones binomiales (Infante y Zárate, 1984), usando el estadístico de prueba:

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_i - \hat{p}_j}{\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n_i} + \frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n_j}}}$$

Donde:

$\hat{p}_i$ = estimador de la i-ésima proporción a comparar

$\hat{p}_j$ = estimador de la j-ésima proporción a comparar

n_i = número de observaciones en el estimador de la i-ésima proporción

n_j = número de observaciones en el estimador de la j-ésima proporción

$$\hat{p} = \frac{n_i \hat{p}_i + n_j \hat{p}_j}{n_i + n_j}$$

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza que incluyó a los siete híbridos y sus siete poblaciones F_2 detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todos los caracteres evaluados (Cuadro 2.2).

En la comparación de medias de rendimiento por planta, 'Badro' fue superada por su F_2 en el segundo corte (RTOC2), mientras que el número de frutos en el segundo corte de 'Gabriela' fue inferior a su F_2 . En el resto de las variables no se encontraron diferencias significativas (Cuadros 2.3, 2.4 y 2.5), a pesar de que en el análisis de varianza todas las variables fueron significativas y de que se observan reducciones o incrementos superiores al 50 % para variables como rendimiento total por planta (RTP) y número de frutos por planta (NF), lo cual es explicado por los altos coeficientes de variación encontrados.

Al realizarse la comparación sólo entre cada variedad (F_1) con su respectiva F_2 no es posible detectar las diferencias entre variedades. La DMS está calculada para hacer comparaciones entre todas las variedades, por lo que no es del todo efectiva para hacer comparaciones por pares, por lo que se recurrió a realizar contrastes.

2.5.1. Prueba de contrastes

Al realizar la prueba de contrastes del grupo de la variedades (F_1) contra sus respectivas F_2 , se encontró significancia con $p \leq 0.1$ en los contrastes correspondientes a las variables rendimiento por planta en el corte uno (RTOC1) y dos (RTOC2), número de frutos por planta en el corte dos (NFC2) y total por planta (NF).

Cuadro 2.2. Cuadrados medios del análisis de varianza de caracteres evaluados en siete híbridos comerciales de jitomate y su respectiva F_2 para los caracteres evaluados en jitomate tipo bola cultivado a un racimo

Fuente de Variación	GL	RTOC1	NFC1	RTOC2	NFC2	RTP	NF	GL	PPFC1	GL	PPFC2	GL	PPF
Repetición	2	113299*	4.46*	43277	1.76	178985	0.78	2	8156	2	13141*	2	5409
Variedad	13	141223**	8.02**	176924**	13.35**	134973*	18.35**	13	32195**	13	8409**	13	15881**
Error	451	35480	1.31	46746	3.05	63200	3.10	279	4811	383	3107	451	3631
Total	466							294		398			466
Media		189.19	1.23	215.62	2.24	404.81	3.47		165.40		94.00		122.16
CV (%)		99.56	93.43	100.27	77.86	62.10	50.74		41.94		59.30		49.33

GL: grados de libertad; *Significancia a una $p \leq 0.05$; **Significancia a una $p \leq 0.01$; CV: coeficiente de variación. 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 2.3. Medias de producción de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2) cultivado a un racimo, mostrando el porcentaje de reducción (R) para rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), dos (RTOC2) y total por planta (RTP).

Nombre	RTOC1			RTOC2			RTP		
	F_1	F_2	R(%)	F_1	F_2	R(%)	F_1	F_2	R(%)
Gabriela	228.44	169.50	25.8	159.78	284.75	-78.2*	388.22	454.25	-17.0
Sedona	216.71	132.47	38.9	139.53	210.82	-51.1	356.24	343.29	3.6
Monte Verde	78.06	93.11	-19.3	298.67	231.33	22.5	376.73	324.44	13.9
Badro	175.73	160.00	9.0	177.60	395.89	-122.9**	353.33	555.89	-57.3**
Charleston	291.77	208.71	28.5	136.47	239.53	-75.5	428.24	448.24	-4.7
Lorena	250.75	172.44	31.2	194.00	218.44	-12.6	444.75	390.89	12.1
Caimán	295.50	183.72	37.8*	160.50	157.24	2.0	456.00	340.97	25.2
DMS	155.90			178.9			208		

DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey, $p = 0.05$). *Significativo en la prueba de contrastes con $p \leq 0.05$.

**Significativo en la prueba de contrastes con $p \leq 0.01$.

Cuadro 2.4. Medias de producción de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2) cultivado a un racimo, mostrando el porcentaje de reducción (R) para número de frutos en corte uno (NFC1), dos (NFC2) y total por planta (NF).

Nombre	NFC1			NFC2			NF		
	F_1	F_2	R(%)	F_1	F_2	R(%)	F_1	F_2	R(%)
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
DMS	0.95			1.44			1.45		

DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey, $p = 0.05$). *Significativo en la prueba de contrastes con $p \leq 0.05$.

**Significativo en la prueba de contrastes con $p \leq 0.01$.

Cuadro 2.5. Medias de producción de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2) cultivado a un racimo, mostrando el porcentaje de reducción (R) para peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), dos (PPFC2) y por planta (PPF).

Nombre	PPFC1			PPFC2			PPF		
	F_1	F_2	R(%)	F_1	F_2	R(%)	F_1	F_2	R(%)
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
DMS	76.58			50.11			49.86		

DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey, $p = 0.05$). *Significativo en la prueba de contrastes con $p \leq 0.05$.

**Significativo en la prueba de contrastes con $p \leq 0.01$.

En las variables número de frutos en el corte uno (NFC1) y peso promedio por fruto (PPF) se obtuvo significancia con $p \leq 0.05$. En las variables peso promedio por fruto en el corte uno (PPFC1) y dos (PPFC2) y rendimiento total por planta (RTP) no se encontró significancia entre ambos grupos de variedades.

En el híbrido 'Gabriela' el contraste entre generaciones fue significativo ($p \leq 0.01$) para las variables NFC2 y NF, en ambos casos se presentaron valores superiores en la F_2 . En la variable RTOC2 el contraste fue también significativo ($p \leq 0.05$), donde el valor superior en la F_2 obedece principalmente al incremento en NFC2. En 'Sedona' el contraste fue significativo ($p \leq 0.05$) para PPF, donde la F_2 tuvo frutos más pequeños. 'Badro' presentó contrastes significativos ($p \leq 0.01$) para NFC2, NF, RTOC2 y RTP, con valores superiores en la F_2 ; es evidente que el incremento en rendimiento en la F_2 de

‘Badro’ se debe a que tuvo mayor número de frutos, manteniendo el tamaño. En ‘Charleston’ el contraste entre generaciones fue significativo ($p \leq 0.01$) para NFC1, PPFC1 y PPF; la F_2 presentó reducción en NFC1, sin embargo los frutos fueron de mayor tamaño, lo que compensó el rendimiento. En ‘Lorena’ los contrastes fueron significativos ($p \leq 0.01$) para PPFC1 y PPF, en ambos casos hubo una reducción en la F_2 con respecto a la F_1 . En el cultivar ‘Caimán’ sólo hubo significancia ($p \leq 0.01$) en RTOC1, presentándose disminución del rendimiento temprano en la F_2 . No se encontró ninguna variable con un contraste significativo para ‘Monte Verde’.

2.5.2. Comparación de varianzas

Al hacer la comparación de varianzas por medio de la prueba de F (Cuadros 2.6, 2.7 y 2.8), con el propósito de verificar si las poblaciones difieren en su homogeneidad, se encontró que la F_2 de ‘Gabriela’ presentó mayor varianza en RTOC2, NFC2 y NF, que fueron los mismos caracteres para los que se encontraron diferencias en la prueba de contrastes. En ‘Sedona’, la varianza de la F_2 fue superior para RTOC2, NFC1 y NFC2, inferior en el caso de PPFC2, en las tres primeras variables el resultado es normal, puesto que las F_2 de híbridos con alta heterocigocidad en teoría tienen mayor variación, sin embargo, la última presenta un comportamiento inusual al presentar menor variación en la F_2 . ‘Monte Verde’ sólo presentó incremento de la varianza en F_2 para PPFC1. En ‘Badro’ se encontraron varianzas superiores en la F_2 para RTOC2, RTP y NFC1. ‘Charleston’ mostró mayor varianza en la F_2 en las variables RTOC2 y NFC2, y no se encontraron diferencias significativas entre varianzas de generaciones en el resto de las variedades. En el caso de ‘Lorena’ hubo un incremento en la varianza de la F_2 en NFC2,

no obstante en PPF la varianza fue mayor en la F_1 . ‘Caimán’ no presentó diferencias entre varianzas en ninguna de las variables estudiadas.

Cuadro 2.6. Comparación de varianzas para rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), dos (RTOC2) y total por planta (RTP) de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2), cultivado a un racimo.

Nombre	RTOC1			RTOC2			RTP		
	F_1	F_2	F_c	F_1	F_2	F_c	F_1	F_2	F_c
Gabriela	41660	32361	1.29	21970	91098	0.24*	65402	83480	0.78
Sedona	26319	28300	0.93	17323	63410	0.27*	32241	55166	0.58
Monte Verde	21468	27180	0.79	43871	35746	1.23	44285	69564	0.64
Badro	34527	49446	0.70	30735	126657	0.24*	44827	93366	0.48*
Charleston	44522	47718	0.93	22214	64077	0.35*	70292	67326	1.04
Lorena	32176	20873	1.54	25873	41109	0.63	47628	35577	1.34
Caimán	52455	44478	1.18	30166	36980	0.82	112239	72528	1.55

F_c : Estadístico de prueba de la distribución F; *Significancia a una $p \leq 0.05$.

Las variables que tuvieron segregación en la F_2 de la mayoría de las variedades fueron RTOC2 y NFC2. En la mayoría de los casos en que se encontraron diferencias entre varianzas correspondan con F_2 de mayor varianza que la F_1 . Se encontraron dos casos en que el comportamiento fue inverso, esto no concuerda con lo esperado bajo el supuesto de híbridos heterocigotos para un gran número de loci, los cuales al segregar en la siguiente generación incrementan la variación. Es necesario acotar que las varianzas observadas no son exclusivamente varianzas genéticas, sino varianzas totales, aunque bajo el supuesto de homogeneidad de bloques, todas las variedades deben presentar efectos iguales correspondientes a varianza ambiental. Aún así, pudo haber situaciones fuera del alcance del investigador que propiciaran modificaciones en el ambiente, causando un incremento en la varianza ambiental para algunos

tratamientos, aspecto que podría explicar el comportamiento inusual de las variables PPFC2 para 'Sedona' y PPF en 'Lorena'.

Cuadro 2.7. Comparación de varianzas para número de frutos en corte uno (NFC1), dos (NFC2) y total por planta (NF) de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2), cultivado a un racimo.

Nombre	NFC1			NFC2			NF		
	F_1	F_2	F_c	F_1	F_2	F_c	F_1	F_2	F_c
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

F_c : Estadístico de prueba de la distribución F; *Significancia a una $p \leq 0.05$.

Cuadro 2.8. Comparación de varianzas para peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), dos (PPFC2) y por planta (PPF) de jitomate híbrido (F_1) tipo bola y su respectiva generación filial dos (F_2), cultivado a un racimo.

Nombre	PPFC1			PPFC2			PPF		
	F_1	F_2	F_c	F_1	F_2	F_c	F_1	F_2	F_c
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	12937	9557	1.35	3642	3762	0.97	5301	7634	0.69

F_c : Estadístico de prueba de la distribución F; *Significancia a una $p \leq 0.05$.

2.5.3. Vida poscosecha

Al comparar la vida poscosecha medida como proporción de frutos firmes 45 días después del corte (Cuadro 2.9), sólo se encontraron diferencias significativas para 'Lorena', donde la frecuencia de frutos firmes se redujo considerablemente en la F_2 . En el resto de las variables no se encontraron diferencias, lo que indica que la prueba realizada no detectó segregación. Tal vez sea necesario diseñar otra prueba que implique muestreos periódicos para tener una mayor precisión en el estudio de la vida poscosecha, para que en su caso puedan encontrarse las diferencias entre generaciones como producto de la segregación.

Cuadro 2.9. Comparación de proporciones binomiales entre F_1 y F_2 para proporción de frutos firmes 45 días después del corte.

Nombre	Proporción de Frutos Firmes		
	F_1	F_2	Z_c
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

Z_c : Estadístico de prueba de la distribución Z; *Significancia a una $p \leq 0.05$.

Cabe la posibilidad de que los híbridos en que no se presentó segregación para vida de anaquel hayan sido producidos por progenitores portadores de los genes responsables de éste carácter.

De las siete variedades evaluadas, se encontraron dos casos ('Monte Verde' y 'Caimán') en los que el comportamiento de la F_2 fue prácticamente igual, lo que puede deberse a dos causas. Una de ellas es que no se trate de híbridos, sino de líneas élite que se venden como variedades comerciales; 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 RTOC2, lo cual pudo deberse más aun 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) 'Caimán' podría ser considerada también como línea, o bien puede tratarse de un híbrido formado por isolíneas, en el cual se presenta segregación para pocos caracteres, en éste caso uno de nueve. De cualquier manera, ambas demostraron que pueden ser una buena opción para utilizar la F_2 en la producción comercial.

Si el productor sólo busca mantener rendimiento dejando de lado tamaño y uniformidad, o bien, si se justifica el posible decremento en los ingresos por la reducción en costos, se puede usar la F_2 de cualquiera de las variedades aquí probadas. Es de destacar el comportamiento de 'Badro', pues la F_2 incrementó su RTOC2 y RTP como producto de un mayor NFC2, manteniendo el peso de fruto constante entre generaciones.

La utilización de la F_2 de un híbrido comercial deberá ser decidida en última instancia por el productor, en función de los recursos económicos disponibles y el mercado al que se desee acceder. Habrá casos en los que podrá sacrificar el tamaño o la uniformidad, dado que lo importante es lograr el mismo rendimiento. Incluso debe hacerse un estudio

de factibilidad financiera para determinar si las eventuales reducciones en ingresos por decremento en producción y calidad se justifican por el costo inferior de la semilla F_2 .

2.6. CONCLUSIONES

Tomando como parámetro el rendimiento, no existe inconveniente en la utilización de la F_2 de ninguna de las variedades evaluadas, aun cuando aumenta la heterogeneidad en tamaño y número de frutos, sin embargo, la variable vida poscosecha descarta la posibilidad de usar 'Lorena'.

'Monte Verde' y 'Caimán' presentaron los comportamientos más homogéneos entre generaciones para las variables evaluadas.

La F_2 de 'Badro' rindió 57.3 % más que la variedad original, debido un incremento de 69.7 % en número de frutos en el corte dos que se vio reflejado en 122.9 % mayor rendimiento en el mismo corte.

2.7. LITERATURA CONSULTADA

- Cancino B., J.; F. Sánchez Del C.; P. Espinosa R. 1991. Efectos del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Revista 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: Coors, J.D.; S. Pandey (eds.). Genetics and exploitation of heterosis in crops. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 295-304.
- FAO. 2006. The FAO statistical database. In: <http://faostat.fao.org/faostat>.
- 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(2): 291-297.
- Grandillo, S.; D. Zamir; S. D. Tanksley. 1999. Genetic improvement of processing tomatoes: a 20 years perspective. Euphytica 110(2): 85-97.
- Juárez L., G.; F. Sánchez Del C.; E. Contreras M. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 19-23.
- Infante G., S.; G. P. Zárate L. 1984. Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Trillas. México, D. F. 643 p.
- Martínez S., J.; A. Peña L.; J.E. Rodríguez P.; C. Villanueva V.; J. Sahagún C.; M.G. Peña O. 2005a. Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2): 299-307.

- Mohamed, M. F. 1998. Characteristics and inheritance of natural facultative-partenocarpic fruit set in 'Nadja' tomato under low temperature conditions. *Euphytica* 103(2): 211-217.
- 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.
- Poehlman, J. M.; D. S. Allen. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed. Limusa. México, D.F. 511 p.
- Sánchez del C., F.; E. R. Escalante R. 1988. Hidroponia. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Patronato. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez del C., F.; J. Ponce O. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 89-94.
- Villand, 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 Science* 38(5): 1339-1347.

3. HETEROSIS INTERVARIETAL EN JITOMATE

3.1. RESUMEN

Con el fin de evaluar la posibilidad de usar variedades de jitomate como progenitores en un programa de mejoramiento genético enfocado a sistemas intensivos de producción bajo invernadero, se realizaron las cruas dialélicas entre siete variedades usando el método I de Griffing, se evaluaron en hidroponia bajo invernadero, con densidad de 25 plantas m⁻² útil (18 plantas m⁻² de invernadero) despuntadas para dejar un racimo por planta.

Se estudiaron las variables rendimiento por planta en corte uno (RTOC1), corte dos (RTOC2) y total (RTP); número de frutos por planta en corte uno (NFC1), corte dos (NFC2) y total (NF); y peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1), en corte dos (PPFC2) y en el ciclo (PPF). Los parámetros estimados fueron aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), efectos maternos (EM) y recíprocos (ER), así como heterosis.

Se encontraron efectos significativos de ACG y ACE para PPFC1, RTOC2, NFC2, RTP y PPF, para RTOC1 sólo se encontraron efectos significativos de ACG. Los EM y ER no fueron significativos para ninguna variable. Por sus valores de ACG 'Badro' es el progenitor más promisorio y sus cruas 'Badro' x 'Charleston', 'Badro' x 'Caimán', 'Lorena' x 'Badro' y 'Caimán' x 'Badro' pueden ser utilizadas como base en un programa de mejoramiento genético por selección.

Los valores más altos de ACE y heterosis para producción temprana se encontraron en la crua 'Monte Verde' x 'Gabriela' y para producción total los valores más altos correspondieron a la crua 'Sedona' x 'Caimán'.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Lycopersicon esculentum* Mill., cruas dialélicas, aptitud combinatoria.

INTERVARIETAL HETEROSIS IN TOMATO

3.2. ABSTRACT

In order to evaluate the possibility of using tomato varieties as parents in a breeding program focused to intensive under greenhouse production systems, diallel crosses between seven tomato varieties, corresponding to Griffing's method I, were made and evaluated in hydroponics under greenhouse, using a 25 plants m⁻² density, decapitated to have only one cluster per plant.

The evaluated variables were plant yield at first harvest (RTOC1), second harvest (RTOC2), and total (RTP), fruit number per plant at first harvest (NFC1), second harvest (NFC2), and total (NF), fruit average weight at first harvest (PPFC1), second harvest (PPFC2), and trough cycle (PPF). The estimated parameters were general combining ability (ACG), specific combining ability (ACE), maternal effects (EM), reciprocal (ER) effects and heterosis.

ACG and ACE statistically significant effects for PPFC1, RTOC2, NFC2, RTP and PPF were found, for RTOC1 only ACG significant effects were found. EM and ER were not statistically significant in any variable. Because of its ACG values, 'Badro' is the most promising parent, and the crosses 'Badro' x 'Charleston', 'Badro' x 'Caimán', 'Lorena' x 'Badro' and 'Caimán' x 'Badro' can be used as a base population in a selection breeding program.

The highest ACE and heterosis values for early production were found in the cross 'Monte Verde' x 'Gabriela', and for total production the cross 'Sedona' x 'Caimán' was the best.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Lycopersicon esculentum* Mill., diallel crosses, combining ability.

3.3. INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ha presentado una evolución interesante en el último cuarto de siglo. Se redujo la superficie cultivada de 88,286 ha en 1980 a 67,084 ha en 2005; sin embargo, en el mismo periodo, la producción creció de 1.48 a 2.14 millones de toneladas, gracias a los desarrollos tecnológicos como agricultura protegida y uso de híbridos de alta productividad, que permitieron incrementar el rendimiento promedio de 16.8 a 32.0 t ha⁻¹ (FAO, 2006). Desgraciadamente para los horticultores nacionales, existe una gran dependencia tecnológica en cuanto a híbridos se refiere, la totalidad de ellos se encuentran en manos de unas cuantas empresas trasnacionales, a precios elevados, aspecto que incrementa los costos a los productores. Con base en lo anterior, es necesario implementar un programa de mejoramiento acorde con las necesidades de los productores nacionales, como una alternativa que les proporcione semillas de alta calidad a bajos costos (Martínez, 2004).

En la mayoría de las especies cultivadas ha existido un proceso de mejoramiento que si bien ha incrementado el rendimiento y calidad de los productos, también ha propiciado una reducción en la variabilidad genética dentro de los programas de mejoramiento (Kannenberg y Falk, 1995), de tal manera que las variedades actuales poseen solamente una pequeña muestra de la amplia variabilidad existente, sobre todo en especies de autofecundación, donde la recombinación genética es prácticamente inexistente de manera natural (Zamir *et al.*, 1999). El jitomate no es ajeno a ésta problemática, durante años se ha realizado mejoramiento genético hasta llegar a híbridos altamente productivos y posteriormente se han incorporado resistencias a

enfermedades y características de calidad, sin embargo, el incremento en rendimiento se ha estancado e incluso ha habido decrementos marginales (Grandillo *et al.*, 1999).

Aunque los mejoradores tienen amplio conocimiento de ésta problemática, han hecho poco uso de la amplia variabilidad genética que se encuentra en los bancos de germoplasma y otras colecciones. La razón principal es que una introducción violenta de éstos materiales en un programa de mejoramiento diluiría la ganancia genética que se ha obtenido como resultado del proceso, de ahí la necesidad de diseñar estrategias para incorporar ésta variabilidad sin causar efectos negativos en la ganancia genética obtenida. (Kannenberg y Falk, 1995). En el caso del jitomate, se han hecho algunos intentos de utilizar no solamente la variabilidad de la especie resguardada en bancos, sino la introgresión de genes de especies silvestres del género *Lycopersicon* (Zamir *et al.*, 1999); además con el uso de marcadores moleculares se han encontrado resultados prometedores en contenido de sólidos solubles (De Vicente y Tanksley, 1993; Eshed y Zamir, 1994) y resistencia a enfermedades (Vulkova y Sotirova, 1993; Cassol y Clair, 1994; Chetelat y Stamova, 1999; Griffiths y Scott, 2001).

Si no se cuenta con las colectas de especies silvestres, será necesario recurrir a otras estrategias. Al respecto, Kannenberg y Falk (1995) mencionan que en un programa de mejoramiento se pueden usar poblaciones como razas o criollos, genotipos derivados por selección recurrente (líneas avanzadas) y genotipos que tienen uso actual en el mercado como híbridos, variedades y sintéticos. Sahagún y Villanueva (1997) consideraron la posibilidad de formar variedades sintéticas cuyos progenitores fueran híbridos de cruce simple.

Uno de los diseños genéticos mas conocidos, y uno de los que ofrece mayor información genética para el fitomejorador, es el sistema de apareamiento de cruzas dialélicas (Gardner y Eberhart, 1966; Gardner y Lonnquist, 1966.). A partir de 1940 comenzó el desarrollo de éste modelo en términos de acción génica y varianzas genéticas aditiva y de dominancia, por lo que se sugirieron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), que expresarían las varianzas aditiva y de dominancia, respectivamente (Gilbert, 1958).

Los conceptos de ACG y ACE fueron formalmente introducidos por Sprague y Tatum en 1942. La ACG es el comportamiento promedio de un progenitor en los híbridos que forma. El término ACE se usa para aquellos casos en los que ciertas combinaciones de progenitores (cruzas) son mejores o peores de lo esperado en función el comportamiento promedio de los progenitores involucrados (Griffing, 1956).

Cuando los progenitores provienen de una muestra aleatoria de una población se realiza el análisis usando el modelo aleatorio, y es posible hacer inferencias sobre la población de la cual se extrajo la muestra, que permite la estimación de componentes de varianza así como de los efectos de ACG y ACE. Si no se trata de una muestra aleatoria el análisis se hace usando el modelo fijo, y solamente pueden hacerse inferencias sobre los progenitores implicados, lo que imposibilita la estimación de componentes de varianza de la población (Baker, 1978; Wright, 1985).

Si se logra la estimación de las varianzas de los efectos de ACG y ACE, se puede llegar a la estimación de las varianzas aditiva y de dominancia (Martínez, 1988b). Su utilidad es básicamente como auxiliar en la definición de las estrategias de mejoramiento, que

se seguirán en función de los tipos de acción génica involucrados para cada carácter y en cada genotipo evaluado. Cuando los valores de ACG son mayores que los de ACE se infiere que son más importantes los efectos aditivos, si por el contrario se encuentran valores superiores de ACE, el carácter evaluado está determinado en su mayoría por efectos no aditivos (Peña *et al.*, 1999).

Dos conceptos adicionales a ACG y ACE son los de efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER). Se llama efecto materno al comportamiento diferencial que tiene un progenitor cuando se usa como hembra en relación a cuando es usado como macho. El término de efecto recíproco se usa para aquellos casos en los que ciertas combinaciones de progenitores (P) no se comportan de igual manera al hacer la cruce en forma directa ($P_i \times P_j$) que en forma recíproca ($P_j \times P_i$) (Mastache *et al.*, 1998b).

Existen diferentes técnicas para realizar cruces dialélicas que difieren en el ensayo de cruces recíprocas y los progenitores. Bajo sospecha o confirmación de existencia de efectos maternos deben estudiarse las cruces recíprocas. Cuando se desea estudiar el comportamiento de algunos genotipos *per se*, así como de las cruces entre ellos, se utilizan diseños dialélicos que incluyen a los progenitores. Griffing (1956) divide las p^2 combinaciones entre p progenitores en tres grupos: a) los p progenitores; b) las $p(p-1)/2$ cruces directas; y c) las $p(p-1)/2$ cruces recíprocas. El mismo autor plantea que, en función de los objetivos, hay cuatro métodos posibles usando combinaciones de éstos tres grupos: I) se ensayan los p progenitores, las $p(p-1)/2$ cruces directas y las $p(p-1)/2$ cruces recíprocas (p^2 combinaciones); II) se incluyen los p progenitores y un grupo de $p(p-1)/2$ cruces directas, ($p(p+1)/2$ combinaciones); III) se estudian las $p(p-1)/2$ cruces

directas y las $p(p-1)/2$ cruzas recíprocas ($p(p-1)$ combinaciones); y IV sólo se ensayan las $p(p-1)/2$ cruzas directas.

El análisis de los experimentos dialélicos es laborioso, precisa de conocimientos tanto genéticos como estadísticos, y cierta habilidad matemática. La teoría para el análisis de dialélicos ha sido ampliamente desarrollada por Dickinson y Jinks (1956), Griffing (1956), Hayman (1954a, 1954b, 1958, 1960), Kempthorne (1956) y Pooni *et al.* (1984), entre otros autores. Con la aparición de la computadora se ha facilitado el análisis de dialélicos, inicialmente se desarrollaron programas para realizar el análisis de varianza con diversos procedimientos en SAS (Martínez, 1988a, 1988b, 1991), posteriormente los esfuerzos se han enfocado a realizar las estimaciones de los efectos de ACG, ACE, EM y ER. Zhang y Kang (1997) desarrollaron un programa para un experimento con cinco progenitores, el cual es posible adaptar para un número mayor, solo que el procedimiento se complica. Ante ésta situación, se ha desarrollado una serie de programas que consideran los cuatro diseños de Griffing (1956), para cualquier número de progenitores, en los cuales se puede estimar los efectos de ACG, ACE, EM y ER, bajo el modelo fijo o aleatorio (Mastache *et al.*, 1998a, 1998b, 1999a, 1999b; Mastache y Martínez, 2003; Montesinos *et al.*, 2005), con lo que se tienen herramientas más precisas que ayudan a optimizar el tiempo en el análisis de experimentos con cruzas dialélicas.

Las cruzas dialélicas se utilizan también para el estudio de la heterosis. El concepto de heterosis se desarrolló para explicar el rendimiento superior de un híbrido con respecto a sus progenitores; fue introducido por Shull en 1914, en sustitución del término “heterocigosis” que era utilizado por algunos genetistas de aquel tiempo para explicar el

“vigor híbrido” (Shull, 1948). Stern (1948) revolucionó el concepto, al considerar que la heterosis podría ser también negativa.

Desde la aparición del concepto, varios han sido los intentos por explicar las causas de la heterosis y los mecanismos por los que actúa. East (1936) hace una recapitulación de las teorías que hasta esa fecha existían sobre las causas de la heterosis, donde unas desechan a las otras, dejando la puerta abierta a nuevas explicaciones. Después de una amplia explicación del concepto, Shull (1948) menciona la heterosis no es un fenómeno unitario, sino una serie de fenómenos, por lo que no se puede asumir que una causa o mecanismo particular la explique en su totalidad. Así, existen dos enfoques principales en la búsqueda de explicaciones sobre la heterosis, uno busca el tipo de acción génica principal involucrado y otro los mecanismos por los que se da en la planta.

Bajo el primer enfoque existen dos teorías, la primera atribuye la heterosis a efectos de sobredominancia, y la segunda a efectos de dominancia. Según la hipótesis de la sobredominancia, el heterocigoto es superior a cualquiera de los dos homocigotos, por lo que el vigor híbrido aumenta en proporción directa a la cantidad de heterocigosis. En la hipótesis de la dominancia se establece que el grado de heterosis depende del número de loci en condición dominante (Márquez, 1988). Li *et al.* (2001) y Luo *et al.* (2001) muestran preferencia por la teoría de la sobredominancia, mientras que Crow (1999) apoya la teoría de la dominancia, dejando a un lado la teoría planteada por el mismo en 1952, cuando se inclinaba firmemente por la sobredominancia. Tsafaris (1995) menciona que en algunos casos en que se asumía sobredominancia no se trata de ésta, sino de sobredominancia aparente debida a QTL's en condición heterocigótica

que se complementan, es decir, cada locus en particular es dominante, pero en conjunto aparentan sobredominancia, debido a ligamiento en repulsión.

El segundo enfoque ha analizado diversas posibilidades. Usando un experimento con nutrición controlada, Griffing (1990) prueba tres hipótesis: a) el metabolismo de la cruzas es más eficiente que el de sus progenitores, dando más producto con la misma entrada de nutrientes; b) para el caso de progenitores complementarios, la heterosis en el rendimiento resulta de la multiplicación de componentes del rendimiento que no la presentan; y c) el metabolismo de la cruzas es más eficiente que el de sus progenitores en el sentido de que produce una mayor tasa de crecimiento. Al respecto, las dos primeras hipótesis fueron desechadas, mientras que la tercera precisa de un estudio más profundo en busca de las causas de éste fenómeno. Menciona dos formas de atacar el problema, que consiste en estudiar los complejos enzimáticos y los reguladores de crecimiento con ayuda de la biología molecular. Advierte que ya se han estudiado tres sistemas enzimáticos: transferencia de energía durante el crecimiento de plántula, nitrato reductasa en el metabolismo del nitrógeno y la generación de energía en los cloroplastos, sin encontrar expresión de heterosis en ninguno de ellos. Stuber (1999) analiza los resultados de diversas investigaciones basadas en criterios moleculares, bioquímicos y fisiológicos en busca de alguno que explique la heterosis *per se*, concluyendo que la heterosis es un fenómeno afectado por todos éstos aspectos, que pueden ser utilizados para hacer más eficiente el mejoramiento, sin embargo no proporcionan individualmente una explicación del fenómeno. El uso de herramientas moleculares ha sido de utilidad en la definición de patrones heteróticos por medio de estudios de diversidad genética (Jain *et al.*, 1994) y marcadores moleculares asociados a caracteres específicos (Bekov, 1999).

Aunque los mecanismos de la heterosis no han sido clarificados aún, si se han desarrollado metodologías para estimar sus efectos. Gardner y Heberhart (1966) y Gardner (1967) proponen un modelo en el que consideran los efectos de cada progenitor y los efectos de la heterosis por separado, a su vez, los efectos de heterosis son divididos en tres rubros: a) la heterosis media, medida como la diferencia entre el promedio de los progenitores y el promedio de las cruzas; la heterosis varietal, que es la heterosis promedio con que contribuye un progenitor en las cruzas evaluadas en que participa; y c) la heterosis específica, que es la generada por cada combinación particular de progenitores. En éste modelo los efectos de heterosis son estimados con respecto al progenitor medio, la cual tiene sentido genético, aunque el mejorador estará más interesado en estimar heterosis con respecto al mejor progenitor como un indicador de la efectividad de la hibridación en el proceso de mejoramiento.

Los modelos de estudio de la heterosis han sido aplicados a diversas especies de hortalizas en distintos caracteres como herramientas auxiliares a programas de mejoramiento. Singh *et al.* (1973) y Martínez *et al.* (2005b) estudiaron la heterosis del rendimiento y sus componentes en chile. En tomate de cáscara, se han hecho estudios de heterosis inter e intravarietal (Peña *et al.*, 1998, 1999). En jitomate se han hecho estudios de heterosis intervarietal (Martínez, 2004) y para probar teorías sobre el mecanismo de acción de la heterosis (Griffing, 1990).

En algunas especies se ha recomendado el uso de cruzas entre híbridos F1 para formar híbridos de cuatro líneas con fines de producción, e incluso las poblaciones formadas pueden ser explotadas como base de un programa de selección (Villanueva *et al.*,

1994). Se ha desarrollado teoría sobre las variedades sintéticas cuyos progenitores sean híbridos de cruza simple o híbridos de cruza doble, llegando a una metodología para estimar el coeficiente de endogamia y predecir el rendimiento (Sahagún y Villanueva, 1997, 2003). Martínez (2004) probó realizar híbridos de cruza doble a partir de híbridos comerciales de jitomate, encontrando un gran potencial de uso de éste procedimiento en el mejoramiento de la especie.

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de estudiar las cruzas dialélicas entre variedades comerciales de jitomate, tanto en términos de aptitud combinatoria como de heterosis intervarietal, buscando definir una estrategia de mejoramiento enfocado al sistema de producción con altas densidades de población a un racimo por planta.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Cruzas dialélicas

En un trabajo previo, en el cual fueron evaluados 38 híbridos comerciales de jitomate tipo bola cultivados a un racimo², se seleccionaron siete híbridos (Cuadro 3.1) con base en su rendimiento, los cuales se cultivaron en hidroponia bajo invernadero en el ciclo otoño - invierno 2004 - 2005 en los invernaderos del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México.

Cuadro 3.1. Híbridos de jitomate tipo bola utilizados como progenitores del dialélico realizado mediante el diseño I de Griffing.

Progenitor	Hábito de Crecimiento	Maduración	Tamaño de fruto ¹	Vida de Anaquel ²	Resistencia /Tolerancia ³
1. Gabriela	Indeterminado	Tardía	G y M	LVA	N, F1, F2, V y VMT
2. Sedona	Indeterminado		G		
3. Monte Verde	Determinado	Intermedia	G		F1, F2 y V
4. Badro	Indeterminado	Precoz	G		N, F1, F2, V y VMT
5. Charleston	Indeterminado	Precoz	G y M	LVA	N, F1, F2, V y VMT
6. Lorena	Indeterminado	Tardía	M		N, F1, F2, V, VMT y P
7. Caimán	Indeterminado		MG		F2, V, CI y TSWV

¹MG: muy grande; G: grande; y M: mediano. ²LVA: larga vida de anaquel. ³N: 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. **Fuente:** Elaboración propia con información de catálogos comerciales.

El ciclo de cultivo se realizó de acuerdo las recomendaciones de Pérez y Castro (1999).

Se hicieron los cruzamientos correspondientes al diseño I de Griffing (1956), con la

² Comunicación personal: Efraín Contreras Magaña. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Tel. (595) 952 1500 Ext. 1642

metodología que para polinización controlada en jitomate proponen Pérez *et al.* (1998). Se polinizaron como mínimo diez flores por cada cruza, con el fin de obtener suficiente semilla.

En el Laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, se extrajo la semilla de forma manual, la cual se fermentó junto con la pulpa durante tres días. Posteriormente, se lavó la semilla con agua corriente para limpiar el mucílago y secar sobre papel secante por 48 horas a temperatura ambiente.

3.4.2. Evaluación del dialélico

El ciclo de evaluación de las 42 cruzas y sus progenitores se realizó de abril a agosto de 2005, en un invernadero del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (CAEUACH). La siembra se llevó a cabo la última semana de abril en charolas de poliestireno el sustrato fue Peat Moss[®] y Vermiculita en proporción 3:1; treinta y cinco días después se realizó el trasplante, en tinas de 1.2 m de ancho y 40 cm de profundidad conteniendo tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. El trasplante se realizó en seis hileras de plantas por tina con una distancia de 20 cm entre hileras y 20 cm entre plantas para una densidad de 25 plantas m⁻² útil. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 24 plantas, donde la parcela útil fueron las 12 plantas que no estaban en contacto con la unidad experimental contigua. Las plantas fueron conducidas a un solo racimo, de acuerdo al sistema de altas densidades y despuntes tempranos (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Ponce, 1998), y se irrigaron con la solución nutritiva recomendada por Sánchez y Escalante (1988). Se utilizó un sistema de tutoreo individual por medio de rafia.

La cosecha se realizó en dos cortes (75 y 85 días después del trasplante), en el primero se cosecharon frutos en madurez comercial y en el segundo el resto de los frutos. 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 por plantan (NF); y peso promedio por fruto (g) en el corte uno (PPFC1), corte dos (PPFC2) y en el ciclo (PPF).

3.4.3. Análisis del dialélico

Con el fin de estudiar la significancia de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER), se hizo el análisis de varianza con el modelo fijo del diseño I de Griffing (1956), mediante el programa desarrollado en el módulo IML del paquete Statistical Analysis System por Mastache y Martínez (2003), mismo que también fue utilizado para calcular los estimadores de ACG, ACE, EM y ER, bajo el modelo:

$$Y_{ij\bullet} = \mu + g_i + g_j + m_i - m_j + s_{ij} + r_{ij} + e_{ij\bullet}$$

Donde:

$Y_{ij\bullet}$ = Media de la cruza entre los progenitores i-ésimo y j-ésimo;

μ = Efecto general, común a todas las observaciones;

g_i = Efecto de ACG del i-ésimo progenitor;

m_i = Efecto materno del i-ésimo progenitor;

s_{ij} = Efecto de ACE de la cruza entre los progenitores i-ésimo y j-ésimo
($s_{ij} = s_{ji}$);

r_{ij} = Efecto recíproco de la cruza entre los progenitores i-ésimo y j-ésimo
($r_{ij} = -r_{ji}$); y

$e_{ij\bullet}$ = Error asociado a la media de la cruza entre los progenitores i-ésimo y j-ésimo

Se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($p = 0.05$) entre las cruzas (incluyendo progenitores). Adicionalmente, se hicieron pruebas de contrastes entre las cruzas y el progenitor medio, así como entre las cruzas y el mejor progenitor respectivo.

Para el estudio de la heterosis se utilizó el modelo de Gardner y Heberhart (1966) y Gardner (1967), el cual se presenta a continuación:

$$Y_{ij} = \mu_v + \left(\frac{(V_i + V_j)}{2} \right) + \theta h_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Media de un progenitor cuando $i = j$ y de una craza cuando $i \neq j$;

μ_v = Media de los progenitores, $\mu_v = \bar{Y}_v$;

V_i = Efecto del i -ésimo progenitor;

V_j = Efecto del j -ésimo progenitor;

θ = Coeficiente, $\theta = 0$ cuando $i = j$ y $\theta = 1$ cuando $i \neq j$; y

h_{ij} = Efecto de heterosis de la craza entre los progenitores i y j .

$$V_i = Y_i - \bar{Y}_v$$

Donde:

V_i = Efecto del i -ésimo progenitor, $\sum_{i=1}^n V_i = 0$

Y_i = Media del i -ésimo progenitor

$\bar{Y}_v$ = Media de los progenitores

$$h_{ij} = Y_{ij} - \left(\frac{Y_i + Y_j}{2} \right)$$

Donde:

h_{ij} = Efecto de heterosis de la cruce entre los progenitores i y j;

Y_{ij} = Media de la cruce entre los progenitores i y j;

Y_i = Media del i-ésimo progenitor;

Y_j = Media del j-ésimo progenitor.

$$h_{ij} = \bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}$$

Donde:

a) $\bar{h}$ = Heterosis Media

$$\bar{h} = \bar{Y}_H - \bar{Y}_V$$

Para:

$\bar{Y}_H$ = Media de todas las cruces realizadas;

$\bar{Y}_V$ = Media de todos los progenitores.

b) h_i = Heterosis Varietal

$$h_i = \left(\frac{n-1}{n-2} \right) (Y_i - \bar{Y}_H) - \left(\frac{Y_i - \bar{Y}_V}{2} \right)$$

Para:

n = Número de progenitores;

Y_i = Media de las cruces en que interviene el progenitor i;

$\bar{Y}_H$ = Media de todas las cruces realizadas;

Y_i = Media del progenitor i;

$\bar{Y}_V$ = Media de todos los progenitores.

c) s_{ij} = Heterosis Específica de la cruza entre las variedades i y j

$$s_{ij} = h_{ij} - \bar{h} - h_i - h_j$$

Para:

h_{ij} = Heterosis con respecto al progenitor medio de cada cruza i x j;

$\bar{h}$ = Heterosis media;

h_i = Heterosis de varietal del i-ésimo progenitor; y

h_j = Heterosis de varietal del j-ésimo progenitor;

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Análisis de varianza

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 3.2), el factor cruzas no causó modificaciones en número de frutos por planta en corte uno (NFC1), número de frutos total por planta (NF) y peso promedio por fruto en corte dos (PPFC2); en el resto de caracteres evaluados su efecto fue significativo: rendimiento por planta en corte uno (RTOC1) y rendimiento total por planta (RTP), rendimiento por planta en corte dos (RTOC2), número de frutos en corte dos (NFC2), peso promedio por fruto en corte uno (PPFC1) y peso promedio por fruto en el ciclo (PPF).

Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) fueron significativos para RTP, RTOC1, RTOC2, NFC2, PPFC1 y PPF. Los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) mostraron significancia en RTP y PPF, RTOC2, PPFC1 y NFC2. No se encontró efectos maternos (EM) ni efectos recíprocos (ER).

Si se dividen los efectos de cruzas en efectos de ACG, ACE, EM y ER, los resultados obtenidos fueron consistentes. Las variables que no presentaron significancia en cruzas tampoco los presentaron en ACG, ACE, EM y ER. Por otro lado, en RTOC2, RTP, NFC2, PPFC1 y PPF la significancia de los efectos de cruzas fue debida a efectos de ACG y ACE, al no haber significancia en los efectos de EM y ER; en tanto que la variable RTOC1 tuvo efectos significativos de cruzas debido a efectos de ACG, pues los efectos de ACE, EM y ER no fueron significativos.

Cuadro 3.2. Cuadrados medios del análisis de varianza con el método I de cruas dialélicas de Griffing (1956) para caracteres evaluados

Fuente de Variación	GL	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
Repetición	2	49351.08**	1.71	1172.05	31317.37**	1.90**	4664.18**	35553.98*	0.69	3059.81**
Cruzas	48	11834.42*	1.57	2870.98**	10662.35**	0.82**	477.32	12684.76*	1.54	863.77**
ACG	6	35077.81**	2.36	14434.83**	23364.99**	2.38**	420.85	22706.00*	2.43	3764.30**
ACE	21	9789.81	1.63	1887.46**	11739.66**	0.85**	617.53	14292.22*	1.69	713.14*
EM	6	7044.55	0.72	466.31	3675.29	0.09	260.87	7648.52	0.92	128.96
ER	15	7315.48	1.51	584.23	6867.88	0.44	390.21	8440.31	1.22	208.35
Error	96	6897.15	1.17	740.57	5701.14	0.34	377.42	8170.78	1.30	367.58
Total	146									
Media		226.24	1.61	160.32	173.43	1.91	86.52	399.67	3.52	120.78
CV (%)		36.71	67.46	16.97	43.54	30.66	22.45	22.62	32.40	15.87

GL: grados de libertad; ACG: aptitud combinatoria general; ACE: aptitud combinatoria específica; EM: efectos maternos; ER: efectos recíprocos; *Significancia a una $p \leq 0.05$; **Significancia a una $p \leq 0.01$; CV: coeficiente de variación. 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.

3.5.2. Comparación de medias

De acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p = 0.05$), entre los progenitores sólo hubo diferencias significativas para PPFC1, donde ‘Caimán’ superó a ‘Gabriela’, ‘Charleston’ y ‘Lorena’ (Cuadro 3.3), esto fue debido a que ‘Caimán’ es el progenitor con mayor tamaño de fruto (Cuadro 3.1). ‘Gabriela’, ‘Charleston’ y ‘Lorena’ tuvieron los frutos de menor tamaño.

Cuadro 3.3. Promedios de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.

Progenitor	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
Gabriela	228.4 a ¹	1.58 a	151.5 b	159.8 a	1.83 a	82.7 a	388.2 a	3.42 a	111.9 a
Sedona	214.8 a	1.29 a	167.0 ab	138.6 a	1.42 a	103.9 a	353.4 a	2.71 a	137.0 a
Monte Verde	78.1 a	0.42 a	184.8 ab	298.7 a	2.88 a	116.0 a	376.7 a	3.30 a	126.5 a
Badro	181.7 a	0.86 a	195.0 ab	169.5 a	1.57 a	103.4 a	351.2 a	2.44 a	151.3 a
Charleston	295.6 a	2.17 a	140.2 b	137.6 a	1.79 a	75.0 a	433.2 a	3.96 a	105.6 a
Lorena	251.6 a	1.73 a	150.8 b	191.3 a	2.20 a	85.2 a	442.9 a	3.93 a	118.7 a
Caimán	296.4 a	1.37 a	243.3 a	163.9 a	1.58 a	87.7 a	460.3 a	2.94 a	146.6 a
DMS	279.4	3.64	91.5	254.0	1.97	65.4	304.1	3.84	64.5

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. ¹Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa.

En lo referente a las cruzas, se encontraron diferencias significativas en NFC1, NF y PPFC1 (Cuadro 3.4). La craza ‘Caimán’ x ‘Lorena’ superó a 21 cruzas en NFC1 y a seis para NF. Puede observarse que el incremento en NF se debe en estricto a NFC1, pues para NFC2 no se presentan diferencias. Por su parte, ‘Badro’ x ‘Caimán’ y su recíproca superan a 11 cruzas en PPFC1, lo cual no es debido a que ‘Caimán’ es de fruto muy

grande y 'Badro' es de fruto grande. En general, todas las cruzas donde 'Caimán' está involucrado están dentro del primer grupo estadístico para PPFC1.

3.5.3. Análisis de progenitores

Para ACG, el mejor progenitor en RTCO1 fue 'Caimán' con un efecto positivo de 47.58 g (Cuadro 3.5), mientras que peor fue 'Monte Verde' que presentó un efecto negativo de 48.33 g. En la variable NFC1 'Lorena' y 'Caimán' fueron los mejores progenitores con un efecto positivo de 0.28 y 0.24 respectivamente, lo que explica que la craza con una mayor media para ésta variable corresponda a éstos progenitores; por otro lado, 'Badro' fue el peor progenitor con un efecto negativo de 0.35. En PPFC1 sobresalen 'Caimán' y 'Badro' con efectos positivos de 33.34 y 16.49 g, por lo que se entiende que la craza entre éstos progenitores sea la de mayor PPFC1, el resto de los progenitores se agruparon juntos. En la variable RTOC2 sobresale 'Badro' con un efecto positivo de 36.2 g, mientras que en el otro extremo se encuentra 'Caimán' con un efecto negativo de 34.88 g, Para NFC2 sólo 'Caimán' fue diferente significativamente, siendo la peor de todas. Los efectos de ACG no fueron significativos para PPFC2.

'Badro', 'Caimán' y 'Charleston' presentaron efectos superiores en RTP, con 21.96, 11.88 y 11.26 g respectivamente. En NF el mejor progenitor fue 'Lorena' con efecto positivo de 0.42. En lo que concierne a PPF, 'Caimán' es el que presenta el efecto superior. Se observa que los efectos de ACG de 'Caimán' son de precocidad, puesto que fue la mejor en todas las variables en el primer corte y presenta efectos negativos en el segundo corte.

Cuadro 3.4. Medias de producción de nueve caracteres de las cruzas del dialélico I de Griffing ($P_i \times P_j$) hecho con siete híbridos comerciales de jitomate, cultivado a un racimo.

P_i	P_j	RTOC1 (g)	NFC1	PPFC1 (g)	RTOC2 (g)	NFC2	PPFC2 (g)	RTP (g)	NF	PPF (g)
1	2	225.9a ¹	1.71 ab	140.6 abc	84.1 a	1.31 a	53.5 a	310.0 a	3.02 ab	109.7 a
1	3	121.9 a	0.89 b	142.4 abc	301.3 a	3.00 a	95.6 a	423.3 a	3.89 ab	108.0 a
1	4	142.9 a	0.95 b	167.1 abc	289.3 a	2.57 a	112.9 a	432.2 a	3.51 ab	128.8 a
1	5	232.4 a	1.89 ab	127.6 c	203.2 a	2.37 a	85.1 a	435.6 a	4.26 ab	108.0 a
1	6	157.9 a	1.43 b	118.8 c	175.9 a	2.53 a	73.1 a	333.8 a	3.96 ab	90.6 a
1	7	299.9 a	2.48 ab	137.5 abc	100.4 a	1.18 a	85.9 a	400.3 a	3.67 ab	112.3 a
2	1	165.4 a	1.22 b	165.0 abc	169.5 a	1.64 a	91.9 a	334.9 a	2.86 b	128.1 a
2	3	230.4 a	2.29 ab	110.6 c	118.7 a	1.48 a	68.5 a	349.1 a	3.77 ab	98.6 a
2	4	255.9 a	1.41 b	181.1 abc	287.9 a	2.32 a	113.0 a	543.9 a	3.73 ab	142.4 a
2	5	243.0 a	1.85 ab	133.3 bc	189.8 a	2.07 a	91.8 a	432.7 a	3.92 ab	109.0 a
2	6	294.4 a	2.25 ab	133.4 bc	147.2 a	1.63 a	78.3 a	441.6 a	3.88 ab	118.3 a
2	7	329.0 a	1.74 ab	197.6 abc	120.0 a	1.19 a	96.9 a	449.0 a	2.93 ab	154.4 a
3	1	319.1 a	2.44 ab	130.2 c	126.9 a	1.89 a	76.6 a	446.0 a	4.33 ab	106.3 a
3	2	206.5 a	1.68 ab	143.3 abc	98.4 a	1.40 a	70.8 a	304.9 a	3.08 ab	105.1 a
3	4	148.6 a	1.03 b	152.7 abc	188.4 a	2.30 a	82.5 a	337.0 a	3.33 ab	104.8 a
3	5	235.3 a	1.78 ab	131.1 c	130.4 a	1.42 a	90.0 a	365.8 a	3.19 ab	117.8 a
3	6	187.0 a	1.48 b	129.5 c	206.1 a	2.49 a	83.2 a	393.0 a	3.97 ab	101.0 a
3	7	175.0 a	1.34 b	138.7 abc	80.6 a	1.03 a	78.1 a	255.6 a	2.37 b	115.9 a
4	1	195.1 a	1.19 b	181.1 abc	255.3 a	2.68 a	101.7 a	450.4 a	3.87 ab	127.4 a
4	2	177.5 a	1.07 b	174.5 abc	242.1 a	2.86 a	80.1 a	419.6 a	3.93 ab	104.4 a
4	3	104.1 a	0.79 b	153.1 abc	181.8 a	1.99 a	89.1 a	285.9 a	2.78 b	103.8 a
4	5	275.3 a	1.84 ab	158.7 abc	265.8 a	2.35 a	93.7 a	541.1 a	4.19 ab	132.4 a
4	6	179.9 a	1.29 b	152.2 abc	183.8 a	1.88 a	91.0 a	363.7 a	3.17 ab	121.0 a
4	7	329.8 a	1.65 b	225.1 a	179.7 a	1.83 a	82.5 a	509.4 a	3.49 ab	149.0 a
5	1	231.2 a	1.67 ab	152.5 abc	217.1 a	2.66 a	81.3 a	448.3 a	4.33 ab	108.6 a
5	2	243.0 a	1.85 ab	133.3 bc	189.8 a	2.07 a	91.8 a	432.7 a	3.92 ab	109.0 a
5	3	247.7 a	1.70 ab	149.1 abc	82.0 a	1.24 a	65.9 a	329.7 a	2.94 ab	114.4 a
5	4	163.1 a	0.85 b	179.8 abc	197.2 a	2.20 a	81.9 a	360.3 a	3.05 ab	117.2 a
5	6	166.6 a	1.01 b	162.3 abc	212.0 a	2.26 a	99.5 a	378.6 a	3.27 ab	129.2 a
5	7	241.2 a	1.19 b	223.5 ab	116.0 a	1.37 a	83.9 a	357.2 a	2.56 b	152.0 a
6	1	214.0 a	1.78 ab	128.9 c	190.0 a	2.28 a	75.1 a	404.0 a	4.06 ab	98.4 a
6	2	208.6 a	1.51 b	140.9 abc	191.5 a	2.10 a	92.6 a	400.1 a	3.61 ab	118.4 a
6	3	210.9 a	1.86 ab	114.3 c	90.3 a	1.35 a	66.8 a	301.2 a	3.20 ab	96.4 a
6	4	296.3 a	2.12 ab	148.0 abc	207.3 a	2.26 a	80.2 a	503.6 a	4.38 ab	112.2 a
6	5	211.1 a	1.19 b	163.6 abc	244.4 a	2.46 a	97.3 a	455.4 a	3.65 ab	129.2 a
6	7	315.3 a	1.86 ab	183.7 abc	104.7 a	1.61 a	69.6 a	420.0 a	3.47 ab	135.5 a
7	1	299.9 a	2.48 ab	137.5 abc	100.4 a	1.18 a	85.9 a	400.3 a	3.67 ab	112.3 a
7	2	329.0 a	1.74 ab	197.6 abc	120.0 a	1.19 a	96.9 a	449.0 a	2.93 ab	154.4 a
7	3	165.8 a	0.84 b	193.0 abc	208.2 a	2.00 a	95.0 a	374.0 a	2.84 b	124.2 a
7	4	329.8 a	1.65 b	225.1 a	179.7 a	1.83 a	82.5 a	509.4 a	3.49 ab	149.0 a
7	5	192.8 a	0.95 b	200.9 abc	150.8 a	1.61 a	90.7 a	343.5 a	2.56 b	137.5 a
7	6	240.7 a	5.30 a	163.9 abc	111.3 a	1.45 a	83.3 a	352.0 a	6.76 a	126.0 a
DMS		279.4	3.64	91.5	254.0	1.97	65.4	304.1	3.84	64.5

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. ¹Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

Cuadro 3.5. Aptitud combinatoria general (ACG) de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.

Progenitor	RTOC1 (g)	NFC1	PPFC1 (g)	RTOC2 (g)	NFC2	PPFC2 (g)	RTP (g)	NF	PPF (g)
Gabriela	-6.90bc	0.06ab	-14.82b	5.79ab	0.13a	-2.19a	-0.49ab	0.21ab	-9.10c
Sedona	11.40ab	0.03ab	-4.28b	-14.38b	-0.20ab	1.86a	-3.26ab	-0.17b	2.66b
Monte Verde	-48.33c	-0.26ab	-11.27b	4.62ab	0.09a	-0.36a	-45.47b	-0.20b	-9.29c
Badro	-14.95bc	-0.35b	16.49a	36.20a	0.20a	6.11a	21.96a	-0.12ab	7.80ab
Charleston	9.15ab	0.00ab	-5.17b	0.88ab	0.05a	-1.22a	11.26a	0.05ab	-2.04bc
Lorena	2.06b	0.28a	-14.29b	1.76ab	0.14a	-3.68a	4.11ab	0.42a	-5.46bc
Caimán	47.58a	0.24a	33.34a	-34.88b	-0.41b	-0.52a	11.88a	-0.19b	15.42a

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.

Los EM no fueron significativos en ninguna de las variables (Cuadro 3.6). En la variable RTOC1 los EM oscilan entre -17.4 y 16.4 g, para RTOC2 se encuentran en el rango comprendido de -12.17 a 12.07 g, mientras que para RTP los valores van de -19.10 a 16.78 g. Los EM para NFC1 fueron estimados entre -0.17 y 0.19, de -0.04 a 0.08 para NFC2 y en el rango de -0.12 a 0.27 en NF. De igual forma, los EM para PPFC1 se estimaron entre -0.37 y 6.09 g, de -3.16 a 3.90 g para PPFC2 y en PPF entre -1.69 y 3.56 g.

‘Gabriela’, ‘Sedona’ y ‘Monte Verde’ no parecen ser buenos progenitores para un programa de mejoramiento por selección, pues sus efectos estimados de ACG no se encuentran entre los más altos, y sus efectos de heterosis varietal (HV) estimados no sobresale en ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 3.7). ‘Lorena’ presenta valores altos de ACG para NFC1 y NF, sin embargo no es suficiente para considerarlo un buen progenitor en un programa de selección, debido a que en el resto de las variables los efectos de ACG no sobresalen, o incluso son negativos, además de que presenta valores negativos de HV para RTOC1 y RTP.

Cuadro 3.6. Efectos maternos (EM) de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.

Progenitor	RTOC1 (g)	NFC1	PPFC1 (g)	RTOC2 (g)	NFC2	PPFC2 (g)	RTP (g)	NF	PPF (g)
Gabriela	-17.40	-0.10	-4.37	6.79	0.04	-0.46	-10.61	-0.06	-1.69
Sedona	9.12	0.09	-0.66	7.66	-0.04	3.90	16.78	0.04	3.56
Monte Verde	13.62	0.10	-2.64	-10.83	-0.04	0.02	2.79	0.06	0.39
Badro	-5.35	-0.01	-0.65	-2.94	0.01	-1.06	-8.30	0.00	-1.17
Charleston	-6.93	-0.09	6.09	-12.17	-0.03	-3.16	-19.10	-0.12	-0.24
Lorena	16.40	-0.17	1.38	-0.58	-0.01	-1.91	15.82	-0.19	0.28
Caimán	-9.45	0.19	0.85	12.07	0.08	2.67	2.62	0.27	-1.12

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.

Los efectos de ACG de ‘Charleston’ sobresalen para RTP, aunque la HV es negativa para RTOC1, éste progenitor puede ser una opción para casos en los que el interés del mejorador sea el rendimiento *per se*. ‘Caimán’ parece ser una buena opción para seleccionar rendimiento temprano, ya que presenta los más altos valores de ACG en las variables evaluadas en el primer corte, además es la que tiene efectos superiores en el peso promedio por fruto, aunque en rendimiento total no es el más alto, sus efectos de HV sobresalen para NFC1.

El progenitor mas promisorio para un programa de mejoramiento por selección es ‘Badro’, con los valores superiores de ACG en PPFC1, RTOC2 y RTP, además de tener los valore más altos de HV para RTOC2, NFC2 y RTP.

En lo referente a la heterosis media (h), ésta solo fue significativa para PPFC1, donde se observó un efecto negativo.

Cuadro 3.7. Heterosis varietal (HV) y heterosis media ($\bar{h}$) de nueve caracteres en siete progenitores de jitomate bola cultivado a un racimo.

Progenitor	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
Gabriela	-15.73	-0.08	-4.01	24.58	0.26	4.76	8.84	0.18	-1.47
Sedona	21.38	0.08	0.45	9.70	0.06	-5.06	31.08	0.15	-2.62
Monte Verde	34.13	0.29	-24.78	-84.91	-0.63	-17.56	-50.78	-0.34	-12.96
Badro	6.90	-0.15	11.13	64.21	0.57	1.65	71.10	0.42	-5.76
Charleston	-41.60	-0.61	20.27	34.17	0.16	12.05	-7.43	-0.45	14.28
Lorena	-19.62	0.14	-2.64	-6.07	-0.02	0.65	-25.68	0.11	-1.10
Caimán	14.55	0.34	-0.42	-41.68	-0.39	3.50	-27.14	-0.06	9.63
$\bar{h}$	6.19	0.30	-18.39**	-7.55	0.022	-8.04	-1.37	0.32	-8.69

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.

3.5.4. Análisis de las cruzas

Las variables NFC1, PPFC2 y NF no tuvieron efectos significativos de ACG, ACE, ER y EM. El RTOC1 los mayores efectos de ACE se encontraron en el dialelo 1x3, entre 'Gabriela' y 'Monte Verde' (Cuadro 3.9), mientras que los dialelos con efectos de ACG superiores son 1x7, 2x7, 5x7 y 6x7, todos ellos con 'Caimán' como progenitor común (Cuadro 3.8). Para PPFC1 los mayores valores de ACE corresponden a los dialelos 1x2 ('Gabriela' x 'Sedona') y 5x6 ('Charleston' x 'Lorena'), ambos entre progenitores de baja ACG, mientras que los valores superiores de ACG fueron estimados para los dialelos 2x7, 4x7 y 5x7, los que presentan como progenitor común a 'Caimán', que es el de mayor tamaño de fruto. En la variable RTOC2 los efectos estimados de ACE fueron superiores para los dialelos 2x4, 2x7 y 5x6, en dos de ellos presente 'Sedona' que presenta valores negativos de ACG; los valores superiores de ACG corresponden con los dialelos 1x4, 3x4, 4x5 y 4x6, en los que el progenitor común es 'Badro' que corresponde con el de mayor ACG para la variable en cuestión.

Cuadro 3.8. Aptitud combinatoria general (ACG) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($ACG_{ij} = ACG_{ji}$).

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	4.5	0.09	-19.1	-8.6	-0.07	-0.3	-3.8	0.04	-6.4
1	3	-55.2	-0.20	-26.1	10.4	0.22	-2.5	-46.0	0.00	-18.4
1	4	-21.9	-0.28	1.7	42.0	0.33	3.9	21.5	0.09	-1.3
1	5	2.2	0.06	-20.0	6.7	0.18	-3.4	10.8	0.26	-11.1
1	6	-4.8	0.35	-29.1	7.6	0.27	-5.9	3.6	0.63	-14.6
1	7	40.7	0.30	18.5	-29.1	-0.28	-2.7	11.4	0.02	6.3
2	3	-36.9	-0.23	-15.6	-9.8	-0.11	1.5	-48.7	-0.37	-6.6
2	4	-3.6	-0.32	12.2	21.8	0.00	8.0	18.7	-0.29	10.5
2	5	20.5	0.02	-9.5	-13.5	-0.15	0.6	8.0	-0.12	0.6
2	6	13.5	0.31	-18.6	-12.6	-0.06	-1.8	0.9	0.26	-2.8
2	7	59.0	0.27	29.1	-49.3	-0.61	1.3	8.6	-0.36	18.1
3	4	-63.3	-0.61	5.2	40.8	0.29	5.8	-23.5	-0.32	-1.5
3	5	-39.2	-0.27	-16.4	5.5	0.14	-1.6	-34.2	-0.15	-11.3
3	6	-46.3	0.02	-25.6	6.4	0.23	-4.0	-41.4	0.22	-14.7
3	7	-0.7	-0.02	22.1	-30.3	-0.32	-0.9	-33.6	-0.39	6.1
4	5	-5.8	-0.35	11.3	37.1	0.25	4.9	33.2	-0.07	5.8
4	6	-12.9	-0.06	2.2	38.0	0.34	2.4	26.1	0.30	2.3
4	7	32.6	-0.11	49.8	1.3	-0.21	5.6	33.8	-0.31	23.2
5	6	11.2	0.28	-19.5	2.6	0.19	-4.9	15.4	0.47	-7.5
5	7	56.7	0.23	28.2	-34.0	-0.36	-1.7	23.1	-0.14	13.4
6	7	49.6	0.52	19.0	-33.1	-0.27	-4.2	16.0	0.23	10.0

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. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

Para NFC2 los efectos superiores de ACE se presentan en los dialelos 2x4 y 2x7, en tanto que los dialelos 1x4, 3x4 y 4x6 son los de mayores efectos de ACG. La variable NFC2 presenta comportamiento similar a RTOC2, a su vez RTOC2 depende de NFC2, puesto que PPFC2 no presentó efectos significativos para ACG ni ACE. En RTP el único dialelo que sobresale en ACE es 1x3, mismo que sobresale también para RTOC1, con lo que se infiere que en éste caso en particular la ACE de RTP se debe a rendimiento temprano; en tanto, los dialelos con mayor ACG son 4x5, 4x6 y 4x7, en los tres casos con 'Badro' como progenitor común, que es el de mayor ACG para RTP.

Cuadro 3.9. Aptitud combinatoria específica (ACE) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruza dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($ACE_{ij} = ACE_{ji}$).

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	1	16.00	-0.15	20.81	-25.23	-0.35	0.56	-10.47	-0.52	9.35
1	2	-39.61	-0.32	30.67	-29.44	-0.31	-13.16	-69.73	-0.66	10.96
1	3	104.75	0.46	28.12	19.86	0.08	4.67	126.89	0.58	23.13
1	4	-13.51	0.03	10.46	14.90	0.05	12.94	-1.28	-0.01	9.94
1	5	1.05	0.06	19.71	23.37	0.24	3.49	20.71	0.26	9.75
1	6	-30.62	-0.69	21.78	-5.58	-0.05	-0.68	-38.03	-0.77	2.84
1	7	-7.67	0.28	-59.83	-14.88	-0.18	4.81	-22.15	0.11	-21.14
2	2	-34.25	-0.37	15.20	-6.04	-0.10	13.60	-39.73	-0.48	10.85
2	3	66.09	0.85	-2.29	-45.38	-0.26	-19.87	24.78	0.64	-5.67
2	4	-2.44	0.27	-6.95	47.97	0.68	-5.90	44.66	0.88	-18.29
2	5	-24.35	0.20	-8.10	43.32	0.46	4.01	17.05	0.64	-12.99
2	6	-1.67	-0.35	13.96	21.15	0.07	2.57	19.45	-0.29	3.17
2	7	-15.19	-0.39	-20.80	45.06	0.49	7.66	32.06	0.13	-2.53
3	3	-51.52	-0.66	46.98	115.99	0.78	30.19	67.99	0.19	24.27
3	4	26.66	0.52	-17.85	-70.00	-0.35	-12.25	-41.24	0.18	-13.49
3	5	93.67	0.67	12.62	-78.24	-0.86	-5.42	16.47	-0.14	17.93
3	6	65.26	0.02	12.73	-38.02	-0.45	-3.47	30.17	-0.37	7.40
3	7	-54.32	-0.47	-38.60	31.46	0.24	1.74	-17.71	-0.13	-13.00
4	4	-14.63	-0.05	1.73	-76.36	-0.74	4.69	-92.41	-0.85	14.93
4	5	4.55	0.44	-13.72	-16.10	-0.13	-8.49	-15.44	0.24	-7.53
4	6	37.67	0.22	-14.62	-53.85	-0.51	-5.78	-18.19	-0.35	-8.90
4	7	38.27	0.26	-34.94	3.59	0.34	-15.18	42.08	0.58	-18.26
5	5	51.02	0.57	-9.78	-37.60	-0.22	-9.11	10.95	0.35	-11.10
5	6	-59.82	-1.07	41.58	49.48	0.07	21.66	-13.40	-1.00	23.39
5	7	-122.71	-1.00	-4.47	27.94	0.29	4.23	-95.59	-0.68	-2.79
6	6	21.26	-0.44	19.09	14.29	0.01	6.02	34.97	-0.43	8.87
6	7	-47.50	0.93	-24.60	0.78	0.16	-1.67	-45.67	1.13	-9.99
7	7	-25.00	-0.72	16.29	60.23	0.48	2.24	36.88	-0.20	-5.06

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. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

Para la variable PPF el dialelo 1x3 es sobresaliente por su ACE, en tanto que 2x7 y 4x7 fueron los dialelos con mayor ACG. Los efectos maternos y recíprocos no fueron significativos para ninguna de las variables evaluadas, sin embargo se estimaron por ser parte del modelo de análisis (Cuadros 3.10 y 3.11).

Cuadro 3.10. Efectos maternos (EM) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($EM_{ij} = -EM_{ji}$).

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	-26.52	-0.19	-3.71	-0.87	0.09	-4.36	-27.39	-0.10	-5.25
1	3	-31.02	-0.20	-1.73	17.62	0.08	-0.48	-13.40	-0.12	-2.08
1	4	-12.05	-0.09	-3.71	9.74	0.04	0.60	-2.31	-0.05	-0.52
1	5	-10.48	-0.01	-10.46	18.96	0.08	2.70	8.49	0.06	-1.45
1	6	-33.80	0.07	-5.75	7.37	0.06	1.45	-26.43	0.13	-1.97
1	7	-7.95	-0.30	-5.21	-5.28	-0.03	-3.12	-13.24	-0.33	-0.57
2	3	-4.50	-0.01	1.98	18.49	0.00	3.87	13.99	-0.02	3.17
2	4	14.47	0.10	-0.01	10.61	-0.05	4.96	25.08	0.05	4.73
2	5	16.04	0.17	-6.75	19.84	-0.01	7.06	35.88	0.16	3.80
2	6	-7.28	0.26	-2.04	8.25	-0.03	5.81	0.96	0.23	3.28
2	7	18.57	-0.11	-1.51	-4.41	-0.12	1.23	14.16	-0.23	4.68
3	4	18.97	0.11	-1.99	-7.88	-0.05	1.09	11.09	0.07	1.55
3	5	20.54	0.19	-8.73	1.35	0.00	3.18	21.89	0.18	0.63
3	6	-2.78	0.27	-4.02	-10.24	-0.02	1.93	-13.02	0.25	0.11
3	7	23.07	-0.09	-3.48	-22.90	-0.11	-2.64	0.17	-0.21	1.50
4	5	1.57	0.08	-6.74	9.23	0.04	2.10	10.80	0.12	-0.92
4	6	-21.75	0.16	-2.03	-2.36	0.02	0.85	-24.12	0.18	-1.44
4	7	4.10	-0.20	-1.50	-15.02	-0.07	-3.73	-10.92	-0.27	-0.05
5	6	-23.33	0.09	4.71	-11.59	-0.02	-1.25	-34.91	0.07	-0.52
5	7	2.52	-0.28	5.25	-24.25	-0.11	-5.83	-21.72	-0.39	0.87
6	7	25.85	-0.37	0.53	-12.66	-0.09	-4.57	13.19	-0.46	1.39

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. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

En heterosis con respecto al progenitor medio (HA_p) (Cuadros 3.12 y 3.13), la cruza 3x1 fue la única que presentó efecto significativo para RTOC1 (165.86 g, 108 %). En la variable NFC1 el único caso de heterosis significativa fue en la cruza 7x6 (3.75, 242 %). Para PPFC1 no se presentaron casos de heterosis significativa positiva, los casos significativos corresponden con reducciones en el tamaño de fruto, lo cual es posible de acuerdo con Stern (1948). La variable RTOC2 presentó comportamiento mixto, pues se encuentran tanto casos de heterosis negativa como positiva en las cruzas 1x4 (124.67 g, 76 %), 2x4 (133.89 g, 87 %) y 4x5 (112.26 g, 73 %). En el carácter NFC2 sobresalieron las cruzas 1x4 (0.86, 50 %), 4x1 (0.98, 58 %), 4x2 (1.37, 92 %) y 5x1 (0.85, 47 %), aunque presentó

algunos casos de heterosis negativa. En RTP, la heterosis con respecto del progenitor medio fue significativa y positiva en las cruzas 2x4 (191.56, 54 %) y 4x5 (148.94 g, 38 %). En NF sólo presentó heterosis significativa para la cruza 7x6 (3.32, 97 %).

Cuadro 3.11. Efectos recíprocos (ER) para siete caracteres de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola ($ER_{ij} = -ER_{ji}$).

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	30.28	0.25	-12.20	-42.72	-0.17	-19.20	-12.44	0.08	-9.20
1	3	-98.58	-0.78	6.10	87.22	0.56	9.51	-11.36	-0.22	0.83
1	4	-26.09	-0.12	-7.00	16.98	-0.06	5.56	-9.11	-0.18	0.71
1	5	0.57	0.11	-12.43	-6.90	-0.15	1.89	-6.33	-0.04	-0.31
1	6	-28.00	-0.17	-5.03	-7.05	0.13	-0.97	-35.05	-0.05	-3.87
1	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3	11.96	0.30	-16.35	10.16	0.04	-1.17	22.12	0.34	-3.24
2	4	39.23	0.17	3.31	22.90	-0.27	16.45	62.13	-0.10	18.98
2	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	6	42.91	0.37	-3.77	-22.14	-0.23	-7.19	20.77	0.13	-0.03
2	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4	22.28	0.12	-0.17	3.28	0.16	-3.30	25.55	0.28	0.48
3	5	-6.20	0.04	-8.99	24.24	0.09	12.05	18.04	0.13	1.69
3	6	-11.98	-0.19	7.60	57.88	0.57	8.22	45.90	0.38	2.30
3	7	4.61	0.25	-27.16	-63.80	-0.49	-8.46	-59.20	-0.24	-4.18
4	5	56.13	0.50	-10.55	34.29	0.08	5.93	90.42	0.57	7.61
4	6	-58.19	-0.41	2.13	-11.74	-0.19	5.36	-69.94	-0.60	4.38
4	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	6	-22.23	-0.09	-0.66	-16.16	-0.10	1.12	-38.39	-0.19	0.02
5	7	24.24	0.12	11.33	-17.41	-0.12	-3.38	6.83	0.00	7.26
6	7	37.30	-1.72	9.91	-3.30	0.08	-6.82	34.00	-1.64	4.74

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. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

En lo referente a heterosis con respecto al mejor progenitor (H_{mp}), sólo se encontraron cuatro casos donde fue significativa y positiva (Cuadros 3.14 y 3.15): La cruza 7x6 para NFC1 (3.57, 206 %) y NF (2.82, 72 %), la cruza 4x2 (1.29, 82 %) para NFC2, y la cruza 2x4 (190.44, 54 %) en RTP.

Cuadro 3.12. Heterosis absoluta respecto al progenitor medio (HA_p) de los híbridos intervarietales formados por las cruza dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	4.30	0.27	-18.64	-65.12	-0.32	-39.77**	-60.83	-0.04	-14.78
1	3	-31.31	-0.11	-25.76	72.11	0.64	-3.75	40.80	0.53	-11.24
1	4	-62.14	-0.28	-6.14	124.67*	0.86*	19.80	62.53	0.59	-2.80
1	5	-29.64	0.01	-18.23	54.56	0.55	6.24	24.91	0.57	-0.82
1	6	-82.09	-0.23	-32.32	0.39	0.52	-10.82	-81.71	0.29	-24.70
1	7	37.51	1.01	-59.86**	-61.48	-0.52	0.70	-23.97	0.49	-16.96
2	1	-56.27	-0.22	5.76	20.31	0.01	-1.37	-35.95	-0.20	3.62
2	3	83.99	1.43	-65.28**	-99.96	-0.67	-41.44**	-15.96	0.76	-33.10*
2	4	57.67	0.33	0.11	133.89*	0.82	9.38	191.56**	1.16	-1.73
2	5	-12.20	0.12	-20.26	51.64	0.47	2.40	39.44	0.59	-12.23
2	6	61.19	0.74	-25.53	-17.73	-0.18	-16.25	43.45	0.56	-9.51
2	7	73.42	0.42	-7.48	-31.31	-0.31	1.09	42.11	0.11	12.67
3	1	165.86**	1.44	-37.96	-102.33	-0.47	-22.77	63.53	0.97	-12.90
3	2	60.08	0.83	-32.58	-120.29*	-0.75	-39.09**	-60.21	0.07	-26.63
3	4	18.72	0.39	-37.16	-45.71	0.08	-27.24	-26.99	0.46	-34.11*
3	5	48.53	0.48	-31.41	-87.69	-0.92*	-5.50	-39.16	-0.44	1.71
3	6	22.13	0.40	-38.27*	-38.89	-0.05	-17.39	-16.76	0.36	-21.62
3	7	-12.21	0.44	-75.32**	-150.72**	-1.20**	-23.81	-162.93*	-0.76	-20.65
4	1	-9.96	-0.03	7.86	90.70	0.98*	8.67	80.74	0.95	-4.22
4	2	-20.79	-0.01	-6.51	88.08	1.37**	-23.52	67.30	1.36	-39.70*
4	3	-25.83	0.15	-36.82	-52.26	-0.24	-20.64	-78.09	-0.09	-35.06*
4	5	36.68	0.33	-8.93	112.26*	0.67	4.53	148.94*	1.00	3.93
4	6	-36.73	-0.01	-20.70	3.40	0.00	-3.35	-33.33	-0.01	-14.07
4	7	90.72	0.54	5.88	12.97	0.26	-13.06	103.69	0.80	0.03
5	1	-30.78	-0.21	6.64	68.36	0.85*	2.46	37.57	0.64	-0.21
5	2	-12.20	0.12	-20.26	51.64	0.47	2.40	39.44	0.59	-12.23
5	3	60.93	0.40	-13.43	-136.18*	-1.10**	-29.59*	-75.25	-0.69	-1.67
5	4	-75.58	-0.67	12.18	43.68	0.52	-7.32	-31.90	-0.15	-11.29
5	6	-106.98	-0.94	16.80	47.62	0.26	19.42	-59.37	-0.68	17.03
5	7	-54.74	-0.57	31.78	-34.78	-0.31	2.54	-89.53	-0.89	25.93
6	1	-26.09	0.12	-22.26	14.49	0.26	-8.88	-11.60	0.38	-16.96
6	2	-24.63	0.00	-17.99	26.54	0.29	-1.87	1.92	0.29	-9.45
6	3	46.09	0.78	-53.47**	-154.65**	-1.19**	-33.84*	-108.57	-0.41	-26.22
6	4	79.66	0.82	-24.96	26.89	0.38	-14.07	106.55	1.19	-22.84
6	5	-62.53	-0.76	18.13	79.94	0.46	17.18	17.41	-0.30	16.99
6	7	41.32	0.31	-13.33	-72.91	-0.28	-16.83	-31.59	0.03	2.82
7	1	37.51	1.01	-59.86**	-61.48	-0.52	0.70	-23.97	0.49	-16.96
7	2	73.42	0.42	-7.48	-31.31	-0.31	1.09	42.11	0.11	12.67
7	3	-21.43	-0.06	-21.00	-23.11	-0.22	-6.89	-44.53	-0.28	-12.29
7	4	90.72	0.54	5.88	12.97	0.26	-13.06	103.69	0.80	0.03
7	5	-103.23	-0.82	9.12	0.04	-0.08	9.30	-103.19	-0.90	11.41
7	6	-33.29	3.75**	-33.16	-66.30	-0.43	-3.19	-99.59	3.32**	-6.66

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. *Significativo a una $p \leq 0.05$; **Significativo a una $p \leq 0.01$. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

Cuadro 3.13. Heterosis porcentual respecto al progenitor medio ($H\%_p$) de los híbridos intervarietales formados por las cruza dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	2%	19%	-12%	-44%	-20%	-43%**	-16%	-1%	-12%
1	3	-20%	-11%	-15%	31%	27%	-4%	11%	16%	-9%
1	4	-30%	-23%	-4%	76%*	50%*	21%	17%	20%	-2%
1	5	-11%	1%	-12%	37%	30%	8%	6%	15%	-1%
1	6	-34%	-14%	-21%	0%	26%	-13%	-20%	8%	-21%
1	7	14%	68%	-30%**	-38%	-31%	1%	-6%	15%	-13%
2	1	-25%	-15%	4%	14%	1%	-1%	-10%	-7%	3%
2	3	57%	167%	-37%**	-46%	-31%	-38%**	-4%	25%	-25%*
2	4	29%	31%	0%	87%*	55%	9%	54%**	45%	-1%
2	5	-5%	7%	-13%	37%	29%	3%	10%	18%	-10%
2	6	26%	49%	-16%	-11%	-10%	-17%	11%	17%	-7%
2	7	29%	32%	-4%	-21%	-21%	1%	10%	4%	9%
3	1	108%**	143%	-23%	-45%	-20%	-23%	17%	29%	-11%
3	2	41%	97%	-19%	-55%*	-35%	-36%**	-16%	2%	-20%
3	4	14%	61%	-20%	-20%	4%	-25%	-7%	16%	-25%*
3	5	26%	37%	-19%	-40%	-39%*	-6%	-10%	-12%	1%
3	6	13%	37%	-23%*	-16%	-2%	-17%	-4%	10%	-18%
3	7	-7%	49%	-35%**	-65%**	-54%**	-23%	-39%*	-24%	-15%
4	1	-5%	-2%	5%	55%	58%*	9%	22%	32%	-3%
4	2	-10%	-1%	-4%	57%	92%**	-23%	19%	53%	-28%**
4	3	-20%	23%	-19%	-22%	-11%	-19%	-21%	-3%	-25%*
4	5	15%	22%	-5%	73%*	40%	5%	38%*	31%	3%
4	6	-17%	-1%	-12%	2%	0%	-4%	-8%	0%	-10%
4	7	38%	48%	3%	8%	17%	-14%	26%	30%	0%
5	1	-12%	-11%	5%	46%	47%*	3%	9%	17%	0%
5	2	-5%	7%	-13%	37%	29%	3%	10%	18%	-10%
5	3	33%	31%	-8%	-62%*	-47%**	-31%*	-19%	-19%	-1%
5	4	-32%	-44%	7%	28%	31%	-8%	-8%	-5%	-9%
5	6	-39%	-48%	12%	29%	13%	24%	-14%	-17%	15%
5	7	-18%	-32%	17%	-23%	-18%	3%	-20%	-26%	21%
6	1	-11%	7%	-15%	8%	13%	-11%	-3%	10%	-15%
6	2	-11%	0%	-11%	16%	16%	-2%	0%	9%	-7%
6	3	28%	72%	-32%**	-63%**	-47%**	-34%*	-26%	-11%	-21%
6	4	37%	63%	-14%	15%	20%	-15%	27%	37%	-17%
6	5	-23%	-39%	12%	49%	23%	21%	4%	-8%	15%
6	7	15%	20%	-7%	-41%	-15%	-19%	-7%	1%	2%
7	1	14%	68%	-30%**	-38%	-31%	1%	-6%	15%	-13%
7	2	29%	32%	-4%	-21%	-21%	1%	10%	4%	9%
7	3	-11%	-7%	-10%	-10%	-10%	-7%	-11%	-9%	-9%
7	4	38%	48%	3%	8%	17%	-14%	26%	30%	0%
7	5	-35%	-46%	5%	0%	-5%	11%	-23%	-26%	9%
7	6	-12%	242%**	-17%	-37%	-23%	-4%	-22%	97%**	-5%

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. *Significativo a una $p \leq 0.05$; **Significativo a una $p \leq 0.01$. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

Cuadro 3.14. Heterosis absoluta respecto al mejor progenitor (HA_{mp}) de los híbridos intervarietales formados por las cruas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	-2.53	0.13	-26.36	-75.70	-0.52	-50.34**	-78.23	-0.40	-27.28
1	3	-106.50	-0.69	-42.39	2.67	0.12	-20.39	35.06	0.47	-18.51
1	4	-85.51	-0.64	-27.90	119.82	0.73	9.43	44.01	0.09	-22.48
1	5	-63.20	-0.28	-23.88	43.47	0.53	2.37	2.45	0.29	-3.99
1	6	-93.68	-0.30	-32.66	-15.35	0.33	-12.05	-109.03	0.03	-28.10
1	7	3.53	0.90	-105.76**	-63.54	-0.65	-1.81	-60.01	0.25	-34.27*
2	1	-63.09	-0.36	-1.96	9.74	-0.19	-11.94	-53.35	-0.56	-8.89
2	3	15.62	1.00	-74.19**	-179.98**	-1.40**	-47.51**	-27.62	0.46	-38.33*
2	4	41.13	0.12	-13.94	118.46	0.74	9.17	190.44*	1.02	-8.91
2	5	-52.57	-0.32	-33.64	51.12	0.28	-12.04	-0.42	-0.04	-27.91
2	6	42.78	0.51	-33.60	-44.05	-0.57	-25.59	-1.27	-0.05	-18.62
2	7	32.61	0.38	-45.66	-43.95	-0.39	-6.97	-11.34	-0.01	7.86
3	1	90.67	0.86	-54.59	-171.78**	-0.99*	-39.41	57.78	0.92	-20.18
3	2	-8.29	0.39	-41.49	-200.31**	-1.48**	-45.16**	-71.86	-0.22	-31.86*
3	4	-33.10	0.17	-42.30	-110.30	-0.58	-33.52*	-39.76	0.03	-46.52**
3	5	-60.22	-0.39	-53.70	-168.22**	-1.46**	-26.01	-67.37	-0.77	-8.73
3	6	-64.65	-0.25	-55.24	-92.60	-0.39	-32.80*	-49.83	0.04	-25.49
3	7	-121.38	-0.03	-104.59**	-218.10**	-1.85**	-37.94*	-204.72**	-0.94	-30.69
4	1	-33.33	-0.39	-13.91	85.85	0.85	-1.70	62.22	0.46	-23.90
4	2	-37.33	-0.22	-20.55	72.65	1.29**	-23.73	66.18	1.22	-46.88**
4	3	-77.65	-0.07	-41.95	-116.85	-0.89	-26.92	-90.86	-0.52	-47.47**
4	5	-20.25	-0.33	-36.35	96.32	0.56	-9.70	107.95	0.23	-18.93
4	6	-71.69	-0.44	-42.81	-7.48	-0.32	-12.48	-79.17	-0.76	-30.36
4	7	33.37	0.29	-18.24	10.19	0.26	-20.91	49.13	0.54	-2.34
5	1	-64.34	-0.50	0.99	57.27	0.83	-1.41	15.11	0.37	-3.38
5	2	-52.57	-0.32	-33.64	51.12	0.28	-12.04	-0.42	-0.04	-27.91
5	3	-47.82	-0.47	-35.71	-216.71**	-1.64**	-50.10**	-103.46	-1.02	-12.11
5	4	-132.50	-1.32	-15.24	27.74	0.41	-21.55	-72.88	-0.91	-34.14*
5	6	-128.95	-1.16	11.49	20.79	0.06	14.32	-64.23	-0.69	10.47
5	7	-55.17	-0.98	-19.77	-47.94	-0.42	-3.84	-103.11	-1.40	5.45
6	1	-37.68	0.05	-22.60	-1.25	0.08	-10.11	-38.92	0.12	-20.36
6	2	-43.04	-0.22	-26.05	0.23	-0.10	-11.21	-42.81	-0.32	-18.56
6	3	-40.69	0.12	-70.44**	-208.36**	-1.53**	-49.25**	-141.64	-0.73	-30.10
6	4	44.70	0.38	-47.06	16.01	0.06	-23.20	60.71	0.45	-39.12*
6	5	-84.50	-0.98	12.81	53.12	0.26	12.07	12.56	-0.31	10.42
6	7	18.92	0.13	-59.57**	-86.58	-0.59	-18.10	-40.32	-0.46	-11.10
7	1	3.53	0.90	-105.76	-63.54	-0.65	-1.81	-60.01	0.25	-34.27*
7	2	32.61	0.38	-45.66	-43.95	-0.39	-6.97	-11.34	-0.01	7.86
7	3	-130.60	-0.53	-50.27	-90.49	-0.88	-21.03	-86.33	-0.46	-22.33
7	4	33.37	0.29	-18.24	10.19	0.26	-20.91	49.13	0.54	-2.34
7	5	-103.66	-1.22	-42.43	-13.12	-0.19	2.92	-116.77	-1.41	-9.07
7	6	-55.69	3.57**	-79.39**	-79.97	-0.75	-4.47	-108.32	2.82**	-20.58

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. *Significativo a una $p \leq 0.05$; **Significativo a una $p \leq 0.01$. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

Cuadro 3.15. Heterosis porcentual respecto al mejor progenitor ($H\%_{mp}$) de los híbridos intervarietales formados por las cruza dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	-1%	8%	-16%	-47%	-28%	-48%**	-20%	-12%	-20%
1	3	-47%	-44%	-23%	1%	4%	-18%	9%	14%	-15%
1	4	-37%	-40%	-14%	71%	40%	9%	11%	3%	-15%
1	5	-21%	-13%	-16%	27%	29%	3%	1%	7%	-4%
1	6	-37%	-17%	-22%	-8%	15%	-14%	-25%	1%	-24%
1	7	1%	57%	-43%**	-39%	-35%	-2%	-13%	7%	-23%*
2	1	-28%	-23%	-1%	6%	-10%	-11%	-14%	-16%	-6%
2	3	7%	78%	-40%**	-60%**	-49%**	-41%**	-7%	14%	-28%*
2	4	19%	9%	-7%	70%	47%	9%	54%*	38%	-6%
2	5	-18%	-15%	-20%	37%	16%	-12%	0%	-1%	-20%
2	6	17%	29%	-20%	-23%	-26%	-25%	0%	-1%	-14%
2	7	11%	28%	-19%	-27%	-25%	-7%	-2%	0%	5%
3	1	40%	54%	-30%	-58%**	-34%*	-34%	15%	27%	-16%
3	2	-4%	30%	-22%	-67%**	-51%**	-39%**	-19%	-7%	-23%*
3	4	-18%	20%	-22%	-37%	-20%	-29%*	-11%	1%	-31%**
3	5	-20%	-18%	-29%	-56%**	-51%**	-22%	-16%	-19%	-7%
3	6	-26%	-14%	-30%	-31%	-14%	-28%*	-11%	1%	-20%
3	7	-41%	-2%	-43%**	-73%**	-64%**	-33%*	-44%**	-28%	-21%
4	1	-15%	-25%	-7%	51%	46%	-2%	16%	13%	-16%
4	2	-17%	-17%	-11%	43%	82%**	-23%	19%	45%	-31%**
4	3	-43%	-8%	-22%	-39%	-31%	-23%	-24%	-16%	-31%**
4	5	-7%	-15%	-19%	57%	31%	-9%	25%	6%	-13%
4	6	-28%	-25%	-22%	-4%	-15%	-12%	-18%	-19%	-20%
4	7	11%	21%	-7%	6%	16%	-20%	11%	18%	-2%
5	1	-22%	-23%	1%	36%	45%	-2%	3%	9%	-3%
5	2	-18%	-15%	-20%	37%	16%	-12%	0%	-1%	-20%
5	3	-16%	-22%	-19%	-73%**	-57%**	-43%**	-24%	-26%	-10%
5	4	-45%	-61%	-8%	16%	23%	-21%	-17%	-23%	-23%*
5	6	-44%	-53%	8%	11%	3%	17%	-15%	-17%	9%
5	7	-19%	-45%	-8%	-29%	-23%	-4%	-22%	-35%	4%
6	1	-15%	3%	-15%	-1%	4%	-12%	-9%	3%	-17%
6	2	-17%	-13%	-16%	0%	-5%	-11%	-10%	-8%	-14%
6	3	-16%	7%	-38%**	-70%**	-53%**	-42%**	-32%	-19%	-24%
6	4	18%	22%	-24%	8%	3%	-22%	14%	11%	-26%*
6	5	-29%	-45%	8%	28%	12%	14%	3%	-8%	9%
6	7	6%	8%	-24%**	-45%	-27%	-21%	-9%	-12%	-8%
7	1	1%	57%	-43%	-39%	-35%	-2%	-13%	7%	-23%*
7	2	11%	28%	-19%	-27%	-25%	-7%	-2%	0%	5%
7	3	-44%	-39%	-21%	-30%	-31%	-18%	-19%	-14%	-15%
7	4	11%	21%	-7%	6%	16%	-20%	11%	18%	-2%
7	5	-35%	-56%	-17%	-8%	-11%	3%	-25%	-36%	-6%
7	6	-19%	206%**	-33%**	-42%	-34%	-5%	-24%	72%**	-14%

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. *Significativo a una $p \leq 0.05$; **Significativo a una $p \leq 0.01$. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

En la estimación de heterosis específica (HE), sobresalió la cruza 3x1 para RTOC1 con 141.27 g (Cuadro 3.16). En NFC1 el efecto mayor de HE correspondió a la cruza 7x6 (2.98), aunque cabe destacar también la cruza 3x1, donde se incrementó la media en casi un fruto por planta, lo que explica en gran medida su alta HE para RTOC1. En PPFC1 la cruza que tuvo mayor HE fue 5x7 con 30.31 g. En las variables RTOC2 y NFC2 sobresale la cruza 1x3, con una HE de 139.99 g y 1.00 respectivamente. Una vez más, al igual que para el corte uno, se observa que el mayor rendimiento se debe a la presencia de un mayor número de frutos, que se presenta en el mismo dialelo pero ahora en la cruza directa. En PPFC2 las cruzas 1x4 y 2x4 presentan HE positiva de magnitud considerable (21.42 y 20.81 g).

El carácter RTP en la cruza 3x1 presentó el mayor valor de HE, con 106.82 g, muy cercano a los 90.75 g de 2x4. En NF el valor superior de HE lo tuvo la cruza 7x6 (2.94). En ambos casos, el comportamiento de la HE es el mismo que en las variables correspondientes en el corte uno, por lo que se infiere que el comportamiento productivo de la planta se vio influenciado por el RTOC1 y éste a su vez por el NFC1.

Para RTOC1 sobresalió la cruza 3x1 ('Monte Verde' x 'Gabriela'), aunque no se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias, presentó heterosis positiva y significativa con respecto al progenitor medio, y positiva del 40 % con respecto del mejor progenitor, debida principalmente a heterosis específica. Aunque los efectos de ACG del dialelo 1x3 son negativos, al igual que la heterosis de 'Gabriela', presenta el más alto valor de ACE. En la misma variable se encontraron dos dialelos sobresalientes para ACG (2x7 y 4x7) sin embargo, no presentaron heterosis significativa.

Cuadro 3.16. Heterosis específica de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ($P_i \times P_j$) de siete híbridos comerciales de jitomate tipo bola.

P_i	P_j	RTOC1	NFC1	PPFC1	RTOC2	NFC2	PPFC2	RTP	NF	PPF
1	2	-7.53	-0.03	3.31	-91.85	-0.66	-31.44	-99.38	-0.69	-2.00
1	3	-55.90	-0.63	21.42	139.99	1.00	17.07	84.10	0.37	11.87
1	4	-59.49	-0.34	5.13	43.43	0.01	21.42	-16.06	-0.33	13.12
1	5	21.51	0.41	-16.11	3.36	0.11	-2.53	24.87	0.52	-4.94
1	6	-52.93	-0.58	-7.28	-10.57	0.26	-8.19	-63.50	-0.33	-13.44
1	7	32.51	0.46	-37.04	-36.83	-0.41	0.48	-4.31	0.04	-16.43
2	1	-68.10	-0.52	27.71	-6.41	-0.33	6.96	-74.51	-0.85	16.39
2	3	22.30	0.75	-22.56	-17.19	-0.12	-10.79	5.10	0.63	-8.84
2	4	23.22	0.10	6.91	67.53	0.17	20.81	90.75	0.27	15.33
2	5	1.84	0.35	-22.60	15.32	0.22	3.44	17.16	0.57	-15.21
2	6	53.24	0.21	-4.95	-13.82	-0.24	-3.81	39.43	-0.02	2.89
2	7	31.30	-0.30	10.88	8.23	0.00	10.67	39.53	-0.30	14.34
3	1	141.27	0.93	9.22	-34.45	-0.11	-1.95	106.82	0.81	10.20
3	2	-1.61	0.15	10.15	-37.52	-0.20	-8.45	-39.14	-0.06	-2.37
3	4	-28.48	-0.06	-5.12	-17.47	0.12	-3.30	-45.95	0.06	-6.71
3	5	49.80	0.50	-8.51	-29.40	-0.46	8.04	20.41	0.03	9.08
3	6	1.43	-0.33	7.54	59.63	0.59	7.54	61.05	0.26	1.12
3	7	-67.07	-0.49	-31.74	-16.58	-0.19	-1.72	-83.65	-0.68	-8.63
4	1	-7.31	-0.10	19.13	9.46	0.13	10.29	2.15	0.03	11.70
4	2	-55.24	-0.24	0.29	21.72	0.71	-12.09	-33.52	0.47	-22.64
4	3	-73.03	-0.29	-4.78	-24.02	-0.19	3.30	-97.05	-0.49	-7.66
4	5	65.20	0.79	-21.95	21.43	-0.08	-1.13	86.63	0.71	4.10
4	6	-30.19	-0.29	-10.80	-47.19	-0.57	2.37	-77.39	-0.87	1.47
4	7	63.09	0.05	13.56	-2.01	0.06	-10.18	61.08	0.11	4.85
5	1	20.37	0.19	8.76	17.17	0.41	-6.31	37.53	0.60	-4.33
5	2	1.84	0.35	-22.60	15.32	0.22	3.44	17.16	0.57	-15.21
5	3	62.20	0.42	9.47	-77.88	-0.64	-16.05	-15.68	-0.22	5.69
5	4	-47.06	-0.20	-0.84	-47.15	-0.23	-12.98	-94.21	-0.44	-11.12
5	6	-51.95	-0.77	17.56	27.07	0.11	14.75	-24.89	-0.66	12.54
5	7	-33.88	-0.60	30.31	-19.72	-0.10	-4.97	-53.60	-0.70	10.72
6	1	3.08	-0.23	2.78	3.53	0.00	-6.26	6.61	-0.23	-5.70
6	2	-32.57	-0.52	2.60	30.45	0.23	10.57	-2.11	-0.29	2.95
6	3	25.39	0.05	-7.66	-56.13	-0.56	-8.90	-30.75	-0.51	-3.49
6	4	86.19	0.53	-15.06	-23.71	-0.19	-8.34	62.49	0.34	-7.30
6	5	-7.50	-0.59	18.88	59.39	0.30	12.51	51.89	-0.28	12.49
6	7	40.20	-0.46	8.12	-17.61	0.12	-12.94	22.59	-0.35	2.97
7	1	32.51	0.46	-37.04	-36.83	-0.41	0.48	-4.31	0.04	-16.43
7	2	31.30	-0.30	10.88	8.23	0.00	10.67	39.53	-0.30	14.34
7	3	-76.29	-0.99	22.59	111.03	0.78	15.20	34.74	-0.21	-0.27
7	4	63.09	0.05	13.56	-2.01	0.06	-10.18	61.08	0.11	4.85
7	5	-82.36	-0.84	7.65	15.10	0.13	1.79	-67.27	-0.71	-3.80
7	6	-34.40	2.98	-11.71	-11.01	-0.04	0.69	-45.41	2.94	-6.51

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. 1. Gabriela; 2. Sedona; 3. Monte Verde; 4. Badro; 5. Charleston; 6. Lorena; 7. Caimán.

En la variable NFC1 la cruza 7x6 ('Caimán' x 'Lorena') presentó un valor superior, tanto en media, heterosis con respecto al progenitor medio, heterosis con respecto al mejor progenitor y específica. Éste dialelo presenta individualmente los más altos valores de ACG y ACE, y sus dos progenitores tienen heterosis varietal positiva. Para PPFC1 el valor superior de la cruza 7x4 ('Caimán' x 'Badro') corresponde a un alto valor de ACG, pues no se encontró heterosis significativa y los efectos de ACE del dialelo no son los mas altos.

No se encontraron diferencias significativas en la prueba de medias para RTOC2, sin embargo, la cruza 2x4 ('Sedona' x 'Badro') mostró heterosis positiva significativa con respecto al progenitor medio y los más altos efectos de ACE, mientras que las cruzas 1x4 ('Gabriela' x 'Badro') y 4x5 ('Badro' x 'Charleston'), que también presentaron heterosis positiva con respecto al progenitor medio, tuvieron altos valores de ACG.

A pesar de no encontrar diferencias en la prueba de medias, para NFC2 se observó heterosis positiva y significativa con respecto del mejor progenitor en la cruza 4x2 ('Badro' x 'Sedona'), dialelo en el cual los efectos de ACE sobresalen. Para PPFC2 no se encontraron diferencias significativas en la prueba de comparación de medias ni en los efectos estimados.

En la variable RTP se encontró heterosis positiva y significativa respecto del mejor progenitor para la cruza 2x4 ('Sedona' x 'Badro'), que también presentó alta heterosis específica y un valor positivo de magnitud considerable de ACE. Aunque no se encontró heterosis en con respecto al progenitor medio en la cruza 3x1 ('Monte Verde' x 'Gabriela'), en ella se observó el mayor efecto de heterosis específica, y el dialelo

correspondiente mostró los mayores valores de ACE. Los dialelos 4x5, 4x6 y 4x7 ('Badro' x 'Charleston', 'Lorena' y 'Caimán' respectivamente) expresaron los valores más elevados de ACG, lo que se vio reflejado en los valores de RTP para las cruzas 4x5, 4x7, 6x4 y 7x4.

En la variable NF la craza 7x6 ('Caimán' x 'Lorena') presentó el valor más alto: media, heterosis con respecto al progenitor medio, heterosis con respecto al mejor progenitor y específica. Éste dialelo expresó además los más altos valores de ACG y ACE. En PPF no se encontraron diferencias significativas en la prueba de comparación de medias ni en los efectos estimados.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético, es importante considerar los efectos de ACG, ACE y heterosis para decidir el mejor método de mejoramiento. En un programa de mejoramiento por selección se deben utilizar progenitores con alta AGG, en cambio para hibridación se requieren progenitores cuyas cruzas expresen altos valores de ACE y heterosis.

En la presente investigación se identificaron progenitores potenciales para un programa de mejoramiento genético de jitomate por selección con base en sus valores de ACG, y para hacer hibridación por los valores de AGE y heterosis de sus cruzas. Además, se identificaron dos cruzas con potencial para ser utilizadas como híbridos de cuatro líneas.

3.6. CONCLUSIONES

Las estimaciones de aptitud combinatoria específica, aptitud combinatoria general y heterosis permitieron identificar progenitores potenciales para un programa de mejoramiento genético de jitomate enfocado sistemas intensivos bajo invernadero.

En un programa de mejoramiento por selección el progenitor mas promisorio es 'Badro', pues presentó el mejor comportamiento en términos de aptitud combinatoria general.

Las cruzas 'Badro' x 'Charleston', 'Badro' x 'Caimán', 'Lorena' x 'Badro' y 'Caimán' x 'Badro' pueden ser utilizadas para conformar una población que pueda ser utilizada como base en un programa de mejoramiento genético por selección.

Si se decide hacer hibridación, los progenitores de la craza 'Monte Verde' x 'Gabriela' tienen potencial para ser usados en busca producción temprana, mientras que para producción total pueden usarse los progenitores de la craza 'Sedona' x 'Caimán'.

Es posible formar híbridos de craza doble con fines de producción mediante las cruzas 'Monte Verde' x 'Gabriela' y 'Sedona' x 'Caimán'.

3.7. LITERATURA CONSULTADA

- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Science* 18(4): 533-536.
- Bekov, R. 1999. Usage of genetic marks by tomato selection of the perspective varieties and heterosis hybrids. *Acta Horticulturae* 487: 373-376.
- Cancino B., J.; F. Sánchez Del C.; P. Espinosa R. 1991. Efectos del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. *Revista chapingo* 73-74: 26-30.
- Cassol, T.; D. A. St. Clair. 1994. Inheritance of resistance to blackmold (*Alternaria alternate* (Fr.) Keissler) in two interspecific crosses of tomato (*Lycopersicon esculentum* x *L. cheesmanii* f. *typicum*). *Theoretical and Applied Genetics* 88: 581-588.
- Chetelat R. T.; L. Stamova. 1999. Tolerance to *Botrytis cinerea*. *Acta Horticulturae* 487: 313-316.
- Crow, J.F. 1999. Dominance and overdominance. *In*: Coors, J.D.; S. Pandey (eds.) *Genetics and exploitation of heterosis in crops*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 49-58.
- De Vicente, M.C.; S.D. Tanksley. 1993. QTL analysis of transgressive segregation in an interspecific tomato cross. *Genetics* 134: 585-596.
- Dickinson, A. G.; J. L. Jinks. 1956. A generalized analysis of diallel crosses. *Genetics* 41(1): 65-78.
- East, E. M. 1936. Heterosis. *Genetics* 21: 375-397.
- Eshed, Y.; D. Zamir. 1994. Introgressions from *Lycopersicon pennellii* can improve the soluble-solids yield of tomato hybrids. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 891-897.

FAO. 2006. The FAO statistical database. *In*: <http://faostat.fao.org/faostat>.

Gardner, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnia Latinoamericana* 4(2): 1-12.

Gardner, C. O.; S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22(3): 439-452.

Gardner, C. O.; J. H. Lonquist. 1966. Teoría genético-estadística y procedimientos útiles para el estudio de las variedades y cruzamientos inter-varietales de maíz. CIMMYT. Folleto de investigación No. 2. 37 p.

Grandillo, S.; D. Zamir; S. D. Tanksley. 1999. Genetic improvement of processing tomatoes: a 20 years perspective. *Euphytica* 110(2): 85-97.

Gilbert, N.E. 1958. Diallel cross in plant breeding. *Heredity* 12: 477-492.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Jour. Biol. Sci.* 9: 463-493.

Griffing, B. 1990. Use of a controlled-nutrient experiment to test heterosis hypotheses. *Genetics* 126(11): 753-767.

Griffiths, P. D.; J. W. Scott. 2001. Inheritance and linkage of Tomato Mottle Virus resistance genes derived from *Lycopersicon chilense* accession LA 1932. *J. Amer. Soc. Hor. Sci.* 126(4): 462-467.

Hayman, B. I. 1954a. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics* 10: 235-244.

Hayman, B. I. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39(6): 789-809.

Hayman, B. I. 1958. The theory and analysis of diallel crosses II. *Genetics* 43(1): 63-85.

Hayman, B. I. 1960. The theory and analysis of diallel crosses III. *Genetics* 45(2): 155-172.

- Jain, A.; S. Bhatia; S. S. Banga; S. Prakash. 1994. Potential use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) technique to study the genetic diversity in Indian mustard (*Brassica juncea*) and its relationship to heterosis. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 116-122.
- Kannenbergh, L. W.; D. E. Falk. 1995. Models for activation of plant genetic resources for crop breeding program. *Canadian Journal of Plant Science* 75: 45-53.
- Kempthorne, O. 1956. The theory of the diallel cross. *Genetics* 41(4): 452-459.
- Li, Z.-K.; L. J. Luo; H. W. Mei; D. L. Wang; Q. Y. Shu; R. Tabien; D. B. Zhong; C. S. Ying; J. W. Stansel; G. S. Khush; A. H. Paterson. 2001. Overdominant epistatic loci are the primary genetic basis of inbreeding depression and heterosis in rice. I. Biomass and grain yield. *Genetics* 158: 1737–1753.
- Luo, L. J.; Zhi-Kang Li; H. W. Mei; Q. Y. Shu; R. Tabien; D. B. Zhong; C. S. Ying; J. W. Stansel; G. S. Khush; A. H. Paterson. 2001. Overdominant epistatic loci are the primary genetic basis of inbreeding depression and heterosis in rice. II. Grain yield components. *Genetics* 158: 1755–1771.
- Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría y resultados*. Tomo II. AGT Editor, S.A. México, D.F. 665 p.
- Martínez G., A. 1988a. Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento MATRIX de SAS. *Comunicaciones en Estadística y Computo* 7(1) 1-32.
- Martínez G., A. 1988b. Análisis de los experimentos de Griffing usando algoritmos computacionales para el análisis de experimentos factoriales. *Comunicaciones en Estadística y Computo* 7(2): 1-35.
- Martínez G., A.; 1991. Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento IML de SAS. *Comunicaciones en Estadística y Computo* 10(2): 1-36.

- Martínez S., J. 2004. Heterosis intervarietal y uso de generaciones F_2 de híbridos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. 88 p.
- Martínez Z., G.; J.R.A. Dorantes G.; M. Ramírez M.; A. de la Rosa L.; O. Pozo. C. 2005b. Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. Revista Fitotecnia Mexicana 28(4): 327-332.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1998a. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en experimentos dialélicos parciales sin efectos maternos. Revista Fitotecnia Mexicana 21: 49-60.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1998b. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en experimentos dialélicos parciales con efectos maternos. Revista Fitotecnia Mexicana 21: 171-184.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1999a. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en los diseños dos y cuatro de Griffing. Agrociencia 33(1): 81-90.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1999b. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en los diseños uno y tres de Griffing. Agrociencia 33(3): 349-359.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G. 2003. Un algoritmo para el análisis, estimación y predicción en experimentos dialélicos balanceados. Revista Fitotecnia Mexicana 26(3): 191-200.
- Montesinos L., O. A.; A. Martínez G.; A. A. Mastache L.; G. Rendón S. 2005. Mejor predictor lineal e insesgado para aptitud combinatoria específica de los diseños dos y cuatro de Griffing. Revista Fitotecnia Mexicana 28(4): 369-376.
- 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 Cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 4(1): 31-37.

- Peña L., A.; J.D. Molina G.; J. Ortiz C.; T. Cervantes S.; F. Márquez S.; J. Sahagún C. 1999. Heterosis intravarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Fitotecnia Mexicana 22: 199-213.
- 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.
- Pérez G., M.; F. Márquez S.; A. Peña L. 1998. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Mundi Prensa. México, D.F. 380 p.
- Pooni, H. S.; J. L. Jinks; R. K. Singh. 1984. Methods of analysis and the estimation of the genetics parameters of a diallel set of crosses. Heredity 52(2): 243-253.
- Sahagún C., J.; C. Villanueva V. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de cruas simples. Revista Fitotecnia Mexicana 20: 69-79.
- Sahagún C., J.; C. Villanueva V. 2003. Coeficiente de endogamia de las variedades sintéticas de cruas dobles. Agrociencia 37(6): 641-655.
- Sánchez del C., F.; E. R. Escalante R. 1988. Hidroponia. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Patronato. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez del C., F.; J. Ponce O. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia. Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 89-94.
- Shull, G. H. 1948. What is "heterosis"? Genetics 33: 439-446.
- Singh, A.; H. N. Singh; R. K. Mital. 1973. Heterosis in chilies. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 33(3): 398-400.
- Stern, C. 1948. Negative heterosis and decreased effectiveness of alleles in heterozygotes. Genetics 33: 215.

- Tsaftaris, S. A. 1995. Molecular aspects of heterosis in plants. *Physiologia Plantarum* 94: 362-370.
- Villanueva V., C.; F. Castillo G.; J.D. Molina G. 1994. Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: análisis de progenitores y cruas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 17: 175-185.
- Vulkova, Z. V.; V. G. Sotirova. 1993. Study of the three-genome hybrid *Lycopersicon esculentum* Mill.-*L. chilense* Dun.-*L. peruvianum* var. 'humifusum' Mill. and its use as a source for resistance. *Theoretical and Applied Genetics* 87: 337-342.
- Wright, A. J. 1985. Diallel designs, analysis, and reference populations. *Heredity* 54: 307-311.
- Zamir, D.; S. Grandillo; S. D. Tanksley. 1999. Genes from wild species for the improvement of yield and quality of processing tomatoes. *Acta Horticulturae* 487: 285-288.
- Zhang, Y.; M. S. Kang. 1997. Diallel-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses. *Agronomy Journal* 89(2): 176-182.

4. DISCUSIÓN GENERAL

En las variedades incluidas en el estudio no se encontraron reducciones significativas en rendimiento total por planta para la segunda generación filial (F_2), por el contrario, la F_2 de 'Badro' presentó un incremento del 57.3 %, y sólo la F_2 de 'Lorena' presentó reducción en la vida poscosecha. Aunque el rendimiento se mantiene, en algunos casos, el comportamiento entre generaciones no es exactamente el mismo. La F_2 de 'Gabriela' presentó un incremento en rendimiento en el corte dos como producto de un mayor número de frutos en dicho corte, que a su vez se vio reflejado en un incremento en el número de frutos total, pero no en rendimiento total por planta, en todos los casos los incrementos fueron acompañados de una mayor varianza. Las F_2 de 'Sedona', y 'Lorena' presentaron reducciones en peso promedio por fruto, mientras que la de 'Charleston' tuvo un incremento para la misma variable. Las F_2 de 'Monte Verde' y 'Caimán' se comportaron de manera casi idéntica que las variedades originales. El incremento en RTP que presenta la F_2 de 'Badro' obedece principalmente a un incremento en NF, manteniendo constante el PPF, no obstante se incrementa la varianza de NFC1 y RTOC2.

Se encontraron, entre las variedades evaluadas, progenitores potenciales para un programa de mejoramiento genético de jitomate enfocado a sistemas intensivos de producción bajo invernadero. Los mayores valores de aptitud combinatoria general correspondieron a 'Badro', y a sus cruzas con 'Charleston', 'Lorena' y 'Caimán', por lo que es factible utilizarlas para conformar una población que pueda ser eventualmente utilizada como base en un programa de mejoramiento genético por selección. La craza 'Monte Verde' x 'Gabriela' presentó valores altos de aptitud combinatoria específica y

heterosis en el comportamiento productivo temprano. Para producción total, la cruza 'Sedona' x 'Caimán' expresó mayor heterosis y presentó los mayores defectos de ACE. Se identificaron así dos pares de progenitores potenciales para un programa de mejoramiento por hibridación, el primero si se busca rendimiento temprano, y el segundo para rendimiento total.

Se encontraron dos alternativas viables para productores de jitomate de bajos recursos, que utilicen sistemas intensivos de producción bajo invernadero, las cuales podrán contribuir en la reducción de costos por concepto de semilla. La primera consiste en la utilización de la segunda generación filial de los híbridos 'Badro', 'Monte Verde' o 'Caimán', dependiendo del mercado objetivo. La segunda opción es la formación de un híbrido de cruza doble entre 'Monte Verde' y 'Gabriela', o bien entre 'Sedona' y 'Caimán'.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético, se identificaron progenitores potenciales para selección e hibridación, mismos que deberán ser estudiados con mayor detalle.

5. CONCLUSIONES GENERALES

El uso de la segunda generación filial de variedades comerciales de jitomate es una opción factible para reducir costos por concepto de semilla, aun cuando en algunos casos aumenta la heterogeneidad en tamaño y número de frutos.

'Monte Verde' y 'Caimán' presentaron los comportamientos más homogéneos entre generaciones para rendimiento en corte uno, corte dos y total, número de frutos en corte uno, corte dos y total, peso promedio de fruto en corte uno, corte dos y en el ciclo, y proporción de frutos maduros 45 días después del corte. Mientras que La F₂ de 'Badro' rindió 57.3 % más que la variedad original.

Se identificaron progenitores potenciales para un programa de mejoramiento genético de jitomate enfocado sistemas intensivos bajo invernadero en función de estimaciones de aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica y heterosis.

'Badro' es el progenitor mas promisorio para un programa de mejoramiento por selección, pues presentó el mejor comportamiento en términos de aptitud combinatoria general.

Las cruzas 'Badro' x 'Charleston', 'Badro' x 'Caimán', 'Lorena' x 'Badro' y 'Caimán' x 'Badro' tienen potencial para conformar una población que pueda ser eventualmente utilizada como base en un programa de mejoramiento genético por selección.

Si se opta por hibridación, los progenitores de la cruza 'Monte Verde' x 'Gabriela' tienen potencial para ser usados en busca producción temprana, mientras que para producción total pueden usarse los progenitores de la cruza 'Sedona' x 'Caimán'. Las mismas cruzas pueden ser usadas como híbridos de cruza doble.

6. LITERATURA GENERAL CONSULTADA

- ASERCA. 1998. El jitomate, hortaliza de excelencia de exportación. *In: Claridades agropecuarias*. No. 64, octubre de 1998. Pp. 3-18.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Science* 18(4): 533-536.
- Bekov, R. 1999. Usage of genetic marks by tomato selection of the perspective varieties and heterosis hybrids. *Acta Horticulturae* 487: 373-376.
- Cancino B., J.; F. Sánchez Del C.; P. Espinosa R. 1991. Efectos del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. *Revista chapingo* 73-74: 26-30.
- Cassol, T.; D. A. St. Clair. 1994. Inheritance of resistance to blackmold (*Alternaria alternate* (Fr.) Keissler) in two interspecific crosses of tomato (*Lycopersicon esculentum* x *L. cheesmanii* f. *typicum*). *Theoretical and Applied Genetics* 88: 581-588.
- Chetelat R. T.; L. Stamova. 1999. Tolerance to *Botrytis cinerea*. *Acta Horticulturae* 487: 313-316.
- Crow, J.F. 1999. Dominance and overdominance. *In: Coors, J.D.; S. Pandey (eds.) Genetics and exploitation of heterosis in crops*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 49-58.
- De Vicente, M.C.; S.D. Tanksley. 1993. QTL analysis of transgressive segregation in an interspecific tomato cross. *Genetics* 134: 585-596.
- Dickinson, A. G.; J. L. Jinks. 1956. A generalized analysis of diallel crosses. *Genetics* 41(1): 65-78.
- Duvick, D.N. 1999. Commercial strategies for exploitation of heterosis. *In: Coors, J.D.; S. Pandey (eds.) Genetics and exploitation of heterosis in crops*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 295-304.

- East, E. M. 1936. Heterosis. *Genetics* 21: 375-397.
- Eshed, Y.; D. Zamir. 1994. Introgressions from *Lycopersicon pennellii* can improve the soluble-solids yield of tomato hybrids. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 891-897.
- FAO. 2006. The FAO statistical database. *In*: <http://faostat.fao.org/faostat>.
- Gardner, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnia Latinoamericana* 4(2): 1-12.
- Gardner, C. O.; S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22(3): 439-452.
- Gardner, C. O.; J. H. Lonquist. 1966. Teoría genético-estadística y procedimientos útiles para el estudio de las variedades y cruzamientos inter-varietales de maíz. CIMMYT. Folleto de investigación No. 2. 37 p.
- Grandillo, S.; D. Zamir; S. D. Tanksley. 1999. Genetic improvement of processing tomatoes: a 20 years perspective. *Euphytica* 110(2): 85-97.
- Gilbert, N.E. 1958. Diallel cross in plant breeding. *Heredity* 12: 477-492.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Jour. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Griffing, B. 1990. Use of a controlled-nutrient experiment to test heterosis hypotheses. *Genetics* 126(11): 753-767.
- Griffiths, P. D.; J. W. Scott. 2001. Inheritance and linkage of Tomato Mottle Virus resistance genes derived from *Lycopersicon chilense* accession LA 1932. *J. Amer. Soc. Hor. Sci.* 126(4): 462-467.
- Gómez H., T.; F. Sánchez Del C. 2003. Soluciones hidropónicas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Terra* 21(1): 57-63.
- Hayman, B. I. 1954a. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics* 10: 235-244.

- Hayman, B. I. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39(6): 789-809.
- Hayman, B. I. 1958. The theory and analysis of diallel crosses II. *Genetics* 43(1): 63-85.
- Hayman, B. I. 1960. The theory and analysis of diallel crosses III. *Genetics* 45(2): 155-172.
- Hernández G., A. 1993. Evaluación de tres densidades y dos tipos de poda en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.
- Infante G., S.; G. P. Zárate L. 1984. Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Trillas. México, D. F. 643 p.
- Jain, A.; S. Bhatia; S. S. Banga; S. Prakash. 1994. Potential use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) technique to study the genetic diversity in Indian mustard (*Brassica juncea*) and its relationship to heterosis. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 116-122.
- Juárez L., G.; F. Sánchez Del C.; E. Contreras M. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(1): 19-23.
- Kannenbergh, L. W.; D. E. Falk. 1995. Models for activation of plant genetic resources for crop breeding program. *Canadian Journal of Plant Science* 75: 45-53.
- Kempthorne, O. 1956. The theory of the diallel cross. *Genetics* 41(4): 452-459.
- Li, Z.-K.; L. J. Luo; H. W. Mei; D. L. Wang; Q. Y. Shu; R. Tabien; D. B. Zhong; C. S. Ying; J. W. Stansel; G. S. Khush; A. H. Paterson. 2001. Overdominant epistatic loci are the primary genetic basis of inbreeding depression and heterosis in rice. I. Biomass and grain yield. *Genetics* 158: 1737-1753.
- Luo, L. J.; Zhi-Kang Li; H. W. Mei; Q. Y. Shu; R. Tabien; D. B. Zhong; C. S. Ying; J. W. Stansel; G. S. Khush; A. H. Paterson. 2001. Overdominant epistatic loci are the

primary genetic basis of inbreeding depression and heterosis in rice. II. Grain yield components. *Genetics* 158: 1755–1771.

Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría y resultados*. Tomo II. AGT Editor, S.A. México, D.F. 665 p.

Martínez G., A. 1988a. Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento MATRIX de SAS. *Comunicaciones en Estadística y Computo* 7(1) 1-32.

Martínez G., A. 1988b. Análisis de los experimentos de Griffing usando algoritmos computacionales para el análisis de experimentos factoriales. *Comunicaciones en Estadística y Computo* 7(2): 1-35.

Martínez G., A.; 1991. Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento IML de SAS. *Comunicaciones en Estadística y Computo* 10(2): 1-36.

Martínez S., J. 2004. Heterosis intervarietal y uso de generaciones F₂ de híbridos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. 88 p.

Martínez S., J.; A. Peña L.; J.E. Rodríguez P.; C. Villanueva V.; J. Sahagún C.; M.G. Peña O. 2005a. Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11 (2): 299-307.

Martínez Z., G.; J.R.A. Dorantes G.; M. Ramírez M.; A. de la Rosa L.; O. Pozo. C. 2005b. Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(4): 327-332.

Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1998a. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en experimentos dialélicos parciales sin efectos maternos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 21: 49-60.

Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1998b. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en experimentos dialélicos parciales con efectos maternos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 21: 171-184.

- Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1999a. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en los diseños dos y cuatro de Griffing. *Agrociencia* 33(1): 81-90.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G.; A. Castillo M. 1999b. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en los diseños uno y tres de Griffing. *Agrociencia* 33(3): 349-359.
- Mastache L., A. A.; A. Martínez G. 2003. Un algoritmo para el análisis, estimación y predicción en experimentos dialélicos balanceados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(3): 191-200.
- Mohamed, M. F. 1998. Characteristics and inheritance of natural facultative-partenocarpic fruit set in 'Nadja' tomato under low temperature conditions. *Euphytica* 103(2): 211-217.
- Montesinos L., O. A.; A. Martínez G.; A. A. Mastache L.; G. Rendón S. 2005. Mejor predictor lineal e insesgado para aptitud combinatoria específica de los diseños dos y cuatro de Griffing. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(4): 369-376.
- 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 Cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 31-37.
- Peña L., A.; J.D. Molina G.; J. Ortiz C.; T. Cervantes S.; F. Márquez S.; J. Sahagún C. 1999. Heterosis intravarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 22: 199-213.
- 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.
- Pérez G., M.; F. Márquez S.; A. Peña L. 1998. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Mundi Prensa. México, D.F. 380 p.

- Poehlman, J. M.; D. S. Allen. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed. Limusa. México, D.F. 511 p.
- Pooni, H. S.; J. L. Jinks; R. K. Singh. 1984. Methods of analysis and the estimation of the genetics parameters of a diallel set of crosses. *Heredity* 52(2): 243-253.
- Saavedra, G; W. Spoor; L. Harrier; C. Dore; F. Dosba; C. Baril. 2001. Molecular markers and genetic based broadening in *Lycopersicon spp.* *Acta Horticulturae* 546: 503-507.
- Sahagún C., J.; C. Villanueva V. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de cruas simples. *Revista Fitotecnia Mexicana* 20: 69-79.
- Sahagún C., J.; C. Villanueva V. 2003. Coeficiente de endogamia de las variedades sintéticas de cruas dobles. *Agrociencia* 37(6): 641-655.
- Sánchez Del C., F.; T. Corona S. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un sistema hidropónico de producción a base de despuntes y altas densidades. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 1(2): 109-114.
- Sánchez del C., F.; E. R. Escalante R. 1988. Hidroponia. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Patronato. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez Del C., F.; P. Espinosa R.; E. R. Escalante R. 1992. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. *Avances de investigación. Revista chapingo* 78: 62-68.
- Sánchez del C., F.; J. Ponce O. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 89-94.
- Shull, G. H. 1948. What is "heterosis"? *Genetics* 33: 439-446.
- SIIAP. 2005. Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON). In: http://w3siap.sagarpa.gob.mx:8080/siiap_apb/

- Singh, A.; H. N. Singh; R. K. Mital. 1973. Heterosis in chilies. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 33(3): 398-400.
- Stern, C. 1948. Negative heterosis and decreased effectiveness of alleles in heterozygotes. Genetics 33: 215.
- Tigchelaar, E. C. 1986. Tomato breeding. In: Breeding vegetable crops. Bassett, M. J. (ed). Vegetable Crops Department. University of Florida. AVI Publishing Company. Gainesville, Florida. pp 135-171.
- Tsaftaris, S. A. 1995. Molecular aspects of heterosis in plants. Physiologia Plantarum 94: 362-370.
- Villand, 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 Science 38(5): 1339-1347.
- Villanueva V., C.; F. Castillo G.; J.D. Molina G. 1994. Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: análisis de progenitores y cruas. Revista Fitotecnia Mexicana 17: 175-185.
- Vulkova, Z. V.; V. G. Sotirova. 1993. Study of the three-genome hybrid *Lycopersicon esculentum* Mill.-*L. chilense* Dun.-*L. peruvianum* var. 'humifusum' Mill. and its use as a source for resistance. Theoretical and Applied Genetics 87: 337-342.
- Wright, A. J. 1985. Diallel designs, analysis, and reference populations. Heredity 54: 307-311.
- Zamir, D.; S. Grandillo; S. D. Tanksley. 1999. Genes from wild species for the improvement of yield and quality of processing tomatoes. Acta Horticulturae 487: 285-288.
- Zhang, Y.; M. S. Kang. 1997. Diallel-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses. Agronomy Journal 89(2): 176-182.