



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN  
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE  
*Capsicum pubescens* R. y P.**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

Presenta:

**ISMAEL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

Bajo la supervisión de:

**DR. MARIO PÉREZ GRAJALES**

Chapingo, Estado de México, junio 2019



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

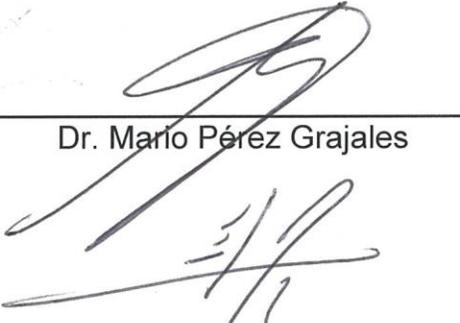


**APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE *Capsicum pubescens* R. y P.**

Tesis realizada por **ISMAEL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**, 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. Mario Pérez Grajales

Asesor:

  
Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

Asesor

  
Dr. Aureliano Peña Lomelí

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE APÉNDICES .....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DATOS BIOGRÁFICOS.....	vii
RESUMEN GENERAL.....	viii
GENERAL SUMMARY .....	ix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
OBJETIVOS .....	3
HIPÓTESIS .....	3
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Generalidades del chile manzano .....	4
2.1.1 Taxonomía .....	4
2.1.2 Origen y distribución.....	4
2.1.3 Características botánicas .....	5
2.1.4 Requerimientos agronómicos.....	6
2.1.5 Rendimiento .....	7
2.1.6 Calidad del fruto .....	9
2.2 Aptitud combinatoria y heterosis.....	10
2.3 Efectos maternos y efectos recíprocos.....	15
LITERATURA CITADA .....	16
CAPITULO III. APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE <i>Capsicum pubescens</i> R. y P. <sup>1</sup> .....	21
RESUMEN.....	21
ABSTRACT .....	22
3.1 INTRODUCCIÓN.....	23
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
3.2.1 Sitio experimental.....	25

3.2.2 Progenitores .....	25
3.2.3 Obtención de cruzas para el diseño dialélico. ....	26
3.2.4 Evaluación del diseño dialélico.....	26
3.2.5 Caracteres evaluados .....	26
3.2.6 Análisis estadístico .....	27
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
3.3.1 Análisis de varianza .....	29
3.3.2 Comparación de medias .....	30
3.3.3 Análisis de progenitores .....	37
3.3.4 Análisis de cruzas .....	40
3.4 CONCLUSIONES .....	47
3.5 LITERATURA CITADA .....	48
3.6 APÉNDICES .....	51

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Características de calidad de los cinco progenitores .....	25
<b>Cuadro 2.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza con el Método I de cruzas dialélicas de Griffing (1956) para los doce caracteres evaluados de frutos de chile manzano.....	32
<b>Cuadro 3.</b> Promedios de doce caracteres de fruto en cinco progenitores F7 de chile manzano. ....	33
<b>Cuadro 4.</b> Medias de doce caracteres de rendimiento y calidad de fruto de 20 híbridos obtenidas de las cruzas de cinco líneas progenitoras a través del Método I de Griffing (1956) ( $\sum P_i \times P_j$ ). ....	36
<b>Cuadro 5.</b> Aptitud combinatoria general (ACG) de doce caracteres de fruto en cinco progenitores de chile manzano. ....	38

<b>Cuadro 6.</b> Efectos maternos (EM) de doce caracteres en cinco progenitores de chile manzano. ....	38
<b>Cuadro 7.</b> Heterosis varietal (HV) y heterosis media ( $\bar{h}$ ) de doce caracteres en cinco progenitores de chile manzano. ....	39
<b>Cuadro 8.</b> Aptitud combinatoria específica (ACE) para doce caracteres de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano ( $ACE_{ij} = ACE_{ji}$ ). ....	42
<b>Cuadro 9.</b> Efectos recíprocos (ER) para doce caracteres de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano ( $ER_{ij} = ER_{ji}$ ). ....	43
<b>Cuadro 10.</b> Heterosis porcentual (%) respecto al mejor progenitor de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano. ....	44
<b>Cuadro 11.</b> Heterosis específica porcentual (%) de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano. ....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de distribución del chile manzano ( <i>Capsicum pubescens</i> R. y P.) en México (Montes, 2010). ....	5
---	---

## LISTA DE APÉNDICES

<b>Apéndice 1.</b> Heterosis respecto al mejor progenitor ( $H_{mp}$ ) de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano. ....	51
<b>Apéndice 2.</b> Heterosis específica (HE) de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano. ....	52

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haberme otorgado la beca que hizo posible lograr un grado más en mi formación profesional.

A la Universidad Autónoma Chapingo especialmente al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado.

A mi comité asesor: Dr. Mario Pérez Grajales, Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez y Dr. Aureliano Peña Lomelí del Departamento de Fitotecnia por su paciencia, asesoría, correcciones y contribuciones para realizar la presente investigación.

Al coordinador de posgrado Dr. José Oscar Mascorro Gallardo por su revisión y sugerencias en la redacción de la tesis.

A los profesores del posgrado de Horticultura por sus enseñanzas y aportaciones en mi formación académica.

Al personal administrativo Angie, Anita y Rogelio por las facilidades otorgadas y la orientación oportuna.

A los alumnos y tesisistas del programa de mejoramiento genético de jitomate y tomate de cáscara por su colaboración entusiasta en el establecimiento del experimento.

A los trabajadores del campo experimental Don Chebo, Sr. Jorge Luis Sánchez Galicia, Sr. Ángel Flores, Manuel Ponce y Sr. César Ayala, por su valioso apoyo durante el desarrollo de la fase de campo, por su compañía y amistad durante mi estancia.

Al Dr. Efraín Contreras, Dr. Jaime Sahagun y al M. C. Natanael Magaña por sus invaluable asesorías y consejos académicos y personales.

A mis compañeros y amigos Rebeca, Plácido, Cristian David, Claudia, César Barrera, Luis Fernando y Felipe (“Los gordos”) por el apoyo en la toma de datos y las sanas convivencias.

Con mucho cariño, respeto y admiración a mis padres y hermanos, por todo ese amor y apoyo incondicional en cada etapa de mis estudios y en cada paso de mi vida, por el esfuerzo, apoyo y palabras de aliento que me permitieron salir adelante, muchas gracias.

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

Nombre: Ismael Hernández Hernández

Fecha de nacimiento: 06 de diciembre de 1988

Lugar de nacimiento: Ixhuatlán de Madero, Veracruz

CURP: HEHI881206HVZRRS05

Profesión: Ingeniero Agrónomo

Cédula profesional: 8566853



### Desarrollo académico

Secundaria 2001–2004 Secundaria Técnica Agropecuaria No. 41

Bachillerato 2004 – 2007 Centro de Bachillerato Tecnológico y Agropecuario No. 57

Licenciatura 2009 – 2014 Instituto Tecnológico de Huejutla

Maestría 2017 – 2018 Departamento de Fitotecnia, UACH.

## RESUMEN GENERAL

### APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE *Capsicum pubescens* R. y P.<sup>1</sup>

En *C. pubescens* R. y P. la información relativa a la herencia de la calidad y rendimiento de fruto es muy escasa, la cual es requerida para generar estrategias eficientes para el mejoramiento genético de este cultivo. El objetivo de la presente investigación fue estimar efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específicas (ACE), así como los de heterosis en los componentes directos del rendimiento y la calidad física de fruto. Para ello, cinco líneas progenitoras junto con sus cruzas directas y recíprocas se establecieron bajo condiciones de hidroponía e invernadero, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La densidad de siembra fue de 0.61 plantas·m<sup>-2</sup>. Se usó el diseño I de Griffing para estimar los efectos de ACG y ACE, y el modelo de Gardner y Eberhart para la estimación de la heterosis. Se detectaron valores positivos de ACG para el rendimiento de fruto en los progenitores L3 y LVLC<sub>2</sub>; y en L1 y LVLC<sub>1</sub> para peso promedio y longitud del fruto. Fueron detectados efectos maternos en peso, volumen y número de semillas del fruto. En los caracteres evaluados la heterosis media fue significativa, a diferencia de la heterosis varietal. Los híbridos L2014xLVLC<sub>2</sub> y LVLC<sub>2</sub>xL1 tuvieron valores sobresalientes en ACE, heterosis con respecto al mejor progenitor y heterosis específica para número total de frutos y peso total de frutos. Debido a que en los caracteres evaluados los efectos de ACE fueron superiores a los de ACG y la heterosis con respecto al mejor progenitor fue significativa, la hibridación es la mejor estrategia para desarrollar el mejoramiento genético del chile manzano para el rendimiento y calidad física de fruto.

**Palabras clave:** Chile manzano, producción intensiva, diseños dialélicos, efectos genéticos.

---

<sup>1</sup>Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.  
Autor: Ismael Hernández Hernández  
Director de Tesis: Dr. Mario Pérez Grajales

## GENERAL SUMMARY

### COMBINING ABILITY AND HETEROSIS FOR YIELD AND FRUIT QUALITY OF *Capsicum pubescens* R. y P.<sup>2</sup>

In *C. pubescens* R. and P. the information regarding the inheritance of fruit quality and yield is very scarce, which is required to generate efficient strategies for the genetic improvement of this crop. The objective of the present investigation was estimate the effects of general (GCA) and specific (SCA) combinatorial aptitude, as well as those of heterosis in the direct components of the yield and the physical quality of the fruit. For this, five parent lines together with their direct and reciprocal crosses were established under hydroponics and greenhouse conditions, in a randomized complete block design with three replications. Planting density was 0.61 plants·m<sup>-2</sup>. Griffing design I was used to estimate the effects of ACG and SCA, and the Gardner and Eberhart model for estimating heterosis. Positive ACG values were detected for fruit yield in the L3 and LVLC2 progenitors; and in L1 and LVLC1 for average weight and length of the fruit. Maternal effects on weight, volume and number of seeds of the fruit were detected. In the characters evaluated, the mean heterosis was significant, unlike the varietal heterosis. The L2014xLVLC2 and LVLC2xL1 hybrids had outstanding values in SCA, heterosis with respect to the best progenitor and specific heterosis for total number of fruits and total fruit weight. Because in the evaluated characters the effects of SCA were superior to those of GCA and the heterosis with respect to the best progenitor was significant, the hybridization is the best strategy to develop the genetic improvement of the apple pepper for the yield and physical quality of fruit.

**Keywords:** Apple pepper, intensive production, diallelic designs, genetic effects.

---

<sup>2</sup>Thesis of Horticultural Sciences MSc program, Universidad Autónoma Chapingo.  
Author: Ismael Hernández Hernández  
Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Capsicum* posee una larga tradición en la dieta alimenticia de la población mexicana. Es uno de los atributos que la identifica y es un condimento apreciado y utilizado desde tiempos prehispánicos (Long, 1998). Es un elemento icónico en la historia y la cultura de México por lo que es común observarlo en mesas de las diferentes clases sociales (Pérez–Castañeda *et al.*, 2008).

México es el segundo productor de chile más importante a nivel mundial después de China. La producción nacional representa el 20 % de todas las hortalizas con un total de 3, 296,875 toneladas y una superficie sembrada y cosechada de 160,000 hectáreas. El rendimiento promedio es de 20.5 ton/ha<sup>-1</sup>. En el periodo que va de 2012 a 2017 se registró un aumento de producción a una tasa promedio anual de 6.7 %; siendo Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas los principales estados productores (SIAP, 2017).

El chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) es una especie que se produce en zonas templadas a frías en asociación con árboles frutales siempre y cuando no ocurran heladas. Su rendimiento oscila entre 7 y 8 ton-ha<sup>-1</sup> y la comercialización se realiza en el mercado nacional y también es exportado hacia Estados Unidos (Pérez *et al.*, 2004). En la actualidad existen sistemas de producción intensiva bajo condiciones de invernadero con rendimientos superiores a la producción de campo, pudiendo alcanzar hasta 80 tn-ha<sup>-1</sup> (Pérez *et al.*, 2004). Dichos sistemas conllevan la oportunidad de obtener un mejor rendimiento y calidad de fruto, constituyéndose como una alternativa viable para satisfacer la demanda de los distintos mercados (Pérez y Castro, 1998).

La variación genética de las variedades criollas generalmente utilizadas, disminuye de forma drástica el rendimiento y la calidad del producto. Por lo tanto, es indispensable identificar e implementar el uso de nuevas variedades con características sobresalientes para fines de mejoramiento genético y para la producción en campo y en invernadero (Narváez, 2002).

En los últimos años se ha registrado una demanda creciente por este producto, lo cual ha promovido el desarrollo de sistemas de producción intensiva, así como el uso de variedades mejoradas. Los métodos de fitomejoramiento tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población para generar nuevos con características sobresalientes

en rendimiento y calidad. El análisis de la progenie derivada de cruza simples mediante diseños dialélicos es una estrategia útil para estimar parámetros genéticos y componentes de varianza para definir el método de mejoramiento genético más adecuado.

Los híbridos intervarietales producto de la crusa de progenitores sobresalientes, pueden resultar como genotipos de alto rendimiento y calidad, incluso superior a sus parentales. Este fenómeno es conocido como heterosis o vigor híbrido y tiene origen principalmente en los efectos genéticos de dominancia o sobredominancia (Butcher *et al.*, 2013; Segovia y Romero, 2014).

El presente estudio se planteó con el propósito de mejorar los parámetros de calidad de fruto en líneas selectas de chile manzano como parte del programa de mejoramiento genético de esta especie en la Universidad Autónoma Chapingo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Estimar efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específicas (ACE), así como los de heterosis en los componentes directos del rendimiento y la calidad física de fruto en líneas de chile manzano a través del diseño dialélico de Griffing método I para identificar genotipos sobresalientes para el programa de mejoramiento genético de la UACH.

### **Objetivos particulares**

Determinar efectos maternos y recíprocos del rendimiento y calidad de fruto en líneas de chile manzano.

Calcular la heterosis de los híbridos respecto al mejor progenitor, la heterosis varietal, y la heterosis media de los progenitores.

## **HIPÓTESIS**

Existen genotipos de chile manzano sobresalientes en rendimiento y calidad de fruto por su aptitud combinatoria general, específica o heterosis.

## CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del chile manzano

#### 2.1.1 Taxonomía

La taxonomía del género *Capsicum* es compleja, debido a la variabilidad de tipos existentes y a la diversidad de criterios utilizados en su clasificación. Actualmente incluye 26 especies silvestres y cinco domesticadas: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L., y *C. pubescens* R. y P. (Barboza y Bianchetti, 2005; Nee *et al.*, 2006; Moscone *et al.*, 2007).

No se conoce con exactitud cuál es el ancestro silvestre de la especie *C. pubescens*, pero se considera que está estrechamente relacionada con *C. cardenasii* y *C. eximium*, dos especies silvestres de América del Sur, debido a que tienen la capacidad de cruzarse y formar híbridos fértiles (Eshbaugh, 1975).

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Solanales

**Familia:** Solanaceae

**Género:** *Capsicum* L., 1753

**Especie:** *pubescens* R. y P., 1789

#### 2.1.2 Origen y distribución

El género *Capsicum* es nativo del Centro y el Sur de América (Perry *et al.*, 2007). El chile manzano es una de las plantas domesticadas más antiguas, los primeros registros datan del año 2000 a. C. Es originario de la región Andina, particularmente las zonas altas de Bolivia y Perú. Fue introducido a México a principios del siglo XX (Weiss, 2002). Se desarrolla en altitudes de 1500 a 2700 msnm. Las áreas de cultivo en México (Figura 1) se encuentran mayormente en los estados de Puebla, Michoacán, Veracruz, Chiapas y Estado de México (Pérez y Castro, 2012).



**Figura 1.** Mapa de distribución del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en México (Montes, 2010).

### 2.1.3 Características botánicas

El chile manzano es una planta herbácea o arbustiva de hasta tres metros de altura que presenta ramificación pseudodicotómica. Su tallo es leñoso, pubescente y frecuentemente estriado. Los nudos suelen presentar coloración púrpura. Las hojas son simples, pecioladas, de nervadura reticulada, filotaxia alterna dística y también pubescentes. Presenta una raíz principal típica o pivotante y numerosas raíces secundarias de hasta 1.2 metros de profundidad y 0.8 metros de exploración horizontal. El 80 % se encuentra en una capa superficial de hasta 0.3 metros en condiciones de campo abierto y a 0.15 metros si se cultiva en sustrato inerte, disminuyendo su volumen. Sus flores son hermafroditas, solitarias, de color violeta u ocasionalmente blancas. El centro es blanco, el cáliz y la corola están fusionados en su base y la floración inicia la primera bifurcación. El fruto es una baya de color verde en estado inmaduro y amarillo, naranja o rojo al madurar. Tiene placentación axilar y su forma está determinada por el número de lóculos, que varía de uno a seis. Posee semillas negras, de forma ovalada, testa gruesa y ligeramente onduladas en los bordes (Pérez y Castro, 2012; Yamamoto *et al.*, 2013). Su número cromosómico diploide es  $2n = 2x = 24$  del mismo modo que la mayoría de las especies cultivadas y silvestres del género

*Capsicum*. Presenta once pares de cromosomas metacéntricos y un par submetacéntrico (Pickersgill, 1997; Guevara *et al.*, 2000).

#### **2.1.4 Requerimientos agronómicos**

La producción de chile manzano puede llevarse a cabo a campo abierto, ya sea de temporal o de riego por goteo, o bien de forma intensiva en invernadero. El intervalo de temperatura para el crecimiento y desarrollo óptimo es de 18 a 22 °C durante el día y de 10 a 12 °C por la noche. La temperatura base a la cual se detiene el crecimiento vegetativo es de 5 °C y por arriba de los 35 °C se provoca aborto floral (Pérez y Castro, 2012). *C. pubescens* se adapta a lugares fríos, tolera heladas ligeras y puede fructificar aún a temperaturas bajas de 5 a 15 °C (Pozo, 1983). La temperatura adecuada para la germinación, que ocurre generalmente ocho días después de la siembra, es de 25 a 28 °C (Pérez, 2002).

Generalmente es cultivado bajo condiciones de sombra, por lo que la radiación es un factor de suma importancia; debe oscilar entre 450 y 600  $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Cuando la radiación incidente es mayor las hojas se tornan de color amarillo, debido a la desnaturalización de la clorofila, y los frutos adoptan una pigmentación marrón (Pérez y Castro, 2012).

La humedad relativa óptima es del 70 al 80 %. Cuando ésta es menor al 40 % los granos de polen se deshidratan lo cual disminuye la polinización y la subsecuente fecundación de los óvulos. En consecuencia, se reduce el número de semillas y el tamaño final del fruto (Pérez, 2002). En cuanto al suelo o al sustrato de cultivo se debe manejar 70 % de la humedad aprovechable, ya que si es mayor se ocasiona una aeración deficiente en el sistema radicular dificultando la absorción de minerales y agua (Pérez y Castro, 2012).

El chile manzano tiene la capacidad de desarrollarse en suelos andosoles, luvisoles, cambisoles, regosoles y acrisoles; no obstante, las condiciones que promueven el crecimiento y que mejoran el proceso de absorción radicular son suelos profundos, de textura franca arenosa, estructura granular y pH de 5.5 a 6.5. Dichas características favorecen el control de problemas fúngicos en la raíz. Por otro lado, en el caso de los sistemas hidropónicos, el sustrato debe ser inerte, estéril, con buena capacidad de

aireación, así como de retención de humedad. Ejemplo de esto es la espuma volcánica también llamada tezontle rojo (Pérez y Castro, 2012).

### **2.1.5 Rendimiento**

Las principales entidades federativas en las cuales se cultiva el chile manzano son Puebla, Michoacán, Veracruz, Estado de México, y en menor medida Oaxaca y Chiapas. En el año 2017 la superficie sembrada en México fue de 224 ha a campo abierto y 50 ha en condiciones de invernadero. La producción total fue de 6,272.56 toneladas con un rendimiento promedio de 17.27 ton x ha<sup>-1</sup> en campo abierto y 48.08 ton x ha<sup>-1</sup> en invernadero (SIAP, 2017).

La producción usualmente es llevada a cabo en huertos semicomerciales de una extensión menor a cinco hectáreas en asociación con árboles frutales o coníferas que proporcionan sombra. Este sistema genera rendimientos muy variables que oscilan entre 5 y 7 ton/ha/año dependiendo del manejo agronómico y de las condiciones del temporal. Debido a esto en los meses de julio a diciembre existe una alta concentración de este producto y una carencia casi absoluta en la época de enero a junio. Una alternativa para mejorar el rendimiento y la productividad es mediante el sistema intensivo en invernadero propuesto por Pérez y Castro (1998) el cual contempla el uso de malla sombra, sustrato inerte, riego por goteo con solución nutritiva, poda de hojas y ramas, tutorado y control de plagas y enfermedades.

El rendimiento es un carácter que está determinado por el potencial genético de la planta y por factores ambientales que, en conjunto, moldean características morfológicas y procesos fisiológicos y hormonales como el hábito de crecimiento, el número de flores, el tamaño y la cantidad de frutos y la densidad del cultivo (Vallejo y Estrada, 2002). Esta capacidad intrínseca puede estar limitada por la disponibilidad, el suministro y la capacidad de transportar o traslocar elementos constitutivos desde la fuente donde son producidos hasta el destino de uso o almacenamiento (Evans, 1983).

Se puede definir al rendimiento como una expresión fenotípica de interés antropocéntrico, la cual resulta de procesos fisiológicos que se ven finalmente reflejados en la morfología de la planta. En este sentido surgen dos términos principales que son el rendimiento biológico, constituido por la acumulación de materia seca total

de una planta, y el rendimiento económico, que se refiere a los órganos vegetales considerados como productos con valor comercial (Curtis, 1988).

Los componentes del rendimiento que, expresados en volumen o peso por unidad de superficie determinan el rendimiento económico son: número de plantas por unidad de área determinada, número de flores o inflorescencias por planta y número y peso de frutos o semillas (Curtis, 1988). En el caso particular del chile manzano los elementos que constituyen como producto el rendimiento son el número, peso y volumen de los frutos cosechados ya sea a la madurez fisiológica o comercial (Pérez y Castro, 2012). Frecuentemente se ha observado una correlación negativa entre dichos componentes, por ejemplo, al incrementarse el número de frutos suele haber un decremento en tamaño de los mismos (Evans, 1983).

Una de las estrategias más eficientes para aumentar el rendimiento de los cultivos es el uso de variedades mejoradas. En el año 1994 dio inicio el Programa de Producción y Mejoramiento Genético de Chile Manzano de la Universidad Autónoma Chapingo. En la primera fase se realizó una colecta representativa de la diversidad genética de dicha especie en México y Sudamérica. Se estudiaron caracteres agronómicos de interés y de forma simultánea se desarrollaron protocolos para la producción intensiva en condiciones de invernadero (Pérez y Castro, 2012).

El primer híbrido intervarietal de chile manzano en México (Puebla x Zongolica) se generó en el año 2002 y fue registrado en 2012 con el nombre de Grajales St y derechos de obtentor para la Universidad Autónoma Chapingo. Fue caracterizado y evaluado por medio de la lista de descriptores para el género *Capsicum* del SNICS. Paralelamente se derivaron ocho líneas a través de cinco ciclos de autofecundación. El comportamiento de dichas líneas avanzadas fue estudiado encontrando diferencias significativas entre los materiales en cuanto a rendimiento, precocidad y calidad del fruto. Se propuso a la línea 3 como candidata para registro debido a que se observó un balance entre el desarrollo vegetativo y reproductivo; fue la más sobresaliente en el peso promedio por frutos, presentó precocidad intermedia y buena calidad de fruto (Facundo, 2014).

### **2.1.6 Calidad del fruto**

Los sistemas de producción del chile manzano se relacionan de forma directa con la calidad del fruto. Así, los frutos cosechados de plantas que se encuentran en campo abierto suelen presentar menor tamaño y consistencia y una corta vida de anaquel; mientras que aquellos frutos que son producidos bajo condiciones de invernadero se consideran de mejor calidad debido a su tamaño, consistencia, brillo y características postcosecha (Espinoza-Torres, 2010).

Los indicadores de calidad pueden clasificarse en visuales (color y forma del fruto), físicos (firmeza y peso) y químicos (acidez titulable y cantidad de azúcares), además se consideran aspectos fitosanitarios como fisiopatías y enfermedades. Los estándares de calidad en México para el chile manzano no están claramente reglamentados y se basan en lineamientos de orden regional, establecidos por los principales compradores en los centros de consumo y distribución del país, así como por el mercado de exportación (Espinoza-Torres y Ramírez-Abarca, 2016).

El chile manzano se consume en fresco, es por ello que se requiere que los frutos presenten un buen aspecto para su comercialización. Las características generales para consumo en fresco son: firmeza, color, brillo, aroma y ausencia de patógenos, daños por el sol, lesiones o cicatrices (Cuevas, 1999). En cuanto a la calidad interna se considera la proporción de compuestos fitoquímicos y el sabor.

Actualmente las características específicas que definen la calidad en el chile manzano son principalmente: el número de lóculos, ya que se relaciona directamente con la forma de este modo aquellos frutos con 3 o 4 lóculos serán cuadrados, mientras que los que presenten 1 o 2 tendrán forma de pera; grosor del pericarpio, que determina la firmeza y el tiempo de almacenamiento; el peso por fruto; y el número de semillas que se correlaciona positivamente con el tamaño del fruto (Pérez, 2002).

El proceso normal de maduración que ocurre en la planta o después de la recolección resulta de procesos fisiológicos y bioquímicos secuenciales que derivan en cambios en el color, la textura, el aroma y el sabor. Dichos cambios conducen eventualmente a los frutos a un estado comestible desde el punto de vista comercial (Macrae *et al.*, 1993). Estos procesos fisiológicos son intensificados en el chile manzano cuando se presentan

condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, por ejemplo, elevadas temperaturas, baja humedad atmosférica y/o daños físicos que pueden provocar sabores desagradables (Wills *et al.*, 1998). Si bien no es posible eliminar las pérdidas postcosecha, conocer la naturaleza del producto, así como emplear tecnologías apropiadas, puede contribuir de forma positiva a mantener la calidad por más tiempo. En un estudio realizado con el objetivo de evaluar el efecto del empaque y la temperatura sobre las características físicas, químicas y postcosecha de frutos de chile manzano producidos en condiciones de invernadero se encontró que bajo condiciones de almacenamiento a 12 y 5 °C se prolongó la vida de anaquel una y dos semanas más respectivamente (en comparación con la temperatura ambiente). La pérdida de firmeza ocurrió en la cuarta semana, además no se encontraron diferencias significativas en la disminución de contenido de vitamina C ni de ácidos orgánicos y fenólicos que producen la astringencia y la acidez. La mejor condición de almacenamiento fue a 5 °C combinado con un envase de charola de unicel más Pliofilm (Espinosa-Torres *et al.*, 2010).

En un programa de mejoramiento genético y desarrollo de variedades el objetivo es identificar líneas que, al cruzarse, produzcan híbridos uniformes y superiores a sus progenitores en cuanto a características deseables como rendimiento y calidad de fruto. La evaluación de la progenie derivada de cruza simples mediante los diseños de apareamiento dialélico de Griffing (1956) puede ser empleada para obtener información de los efectos genéticos aditivos y no aditivos por medio del cálculo de la aptitud combinatoria general y específica. Esta información puede servir como base para determinar las estrategias genotécnicas más adecuadas para el chile manzano (Pérez, 2002).

## **2.2 Aptitud combinatoria y heterosis**

La variabilidad genética vegetal representa la base para el mejoramiento genético de plantas, el cual es un proceso continuo de formación de híbridos y variedades superiores en aspectos como rendimiento y productividad, resistencia a plagas y enfermedades, entre otros. Al mejorar un cultivo, es importante conocer de forma detallada el componente genético de los materiales empleados como germoplasma progenitor. La caracterización de dichos progenitores por su aptitud combinatoria

general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), permite establecer estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y determinar el método de fitomejoramiento más adecuado (Hallauer *et al.*, 2010).

La aptitud combinatoria es la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, la cual es medida por medio de su progenie. Los conceptos de ACG y ACE fueron desarrollados para modelar, en términos de acción génica, las varianzas genéticas aditiva y de dominancia, respectivamente (Gilbert, 1958). Sprague y Tatum (1942) definieron a la ACG como el comportamiento promedio de un progenitor o línea en condición híbrida, mientras que la ACE se emplea en aquellos casos en los que, combinaciones específicas de progenitores (cruzas) son mejores o peores a lo esperado respecto al comportamiento promedio de los progenitores que les dieron origen.

Para que se lleven a cabo inferencias que permitan la estimación de los componentes de varianza de una población y de los efectos ACG y ACE, los progenitores deben provenir de una muestra aleatoria. De lo contrario, será considerado como un modelo fijo que únicamente permite hacer inferencias sobre los progenitores implicados e imposibilita calcular los componentes de varianza de la población (Wright, 1985).

Los tipos de acción génica involucrados en la expresión de cada carácter de interés determinan las estrategias de mejoramiento; así cuando los valores de ACG están por encima de los de ACE se puede inferir que los efectos aditivos son los más relevantes, mientras que, si los valores de ACE son superiores, se dice que el carácter evaluado está determinado en mayor medida por los efectos no aditivos (dominancia y epistasis) (Peña *et al.*, 1998).

Griffing (1956) uso como base los conceptos de ACG y ACE para definir cuatro métodos de diseño dialélico como herramientas para el estudio de la acción génica en caracteres cuantitativos de importancia agrícola. Estos permiten seleccionar progenitores con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas superiores a lo esperado.

Un sistema de cruzas dialélicas se define como el conjunto de cruzamientos simples posibles entre un grupo de  $p$  progenitores. El número máximo de combinaciones es  $p^2$

y éstas se dividen en tres grupos: 1) los  $p$  progenitores; 2) las  $p(p-1)/2$  cruzas directas; y 3) las  $p(p-1)/2$  cruzas recíprocas. Dichos grupos combinados constituyen los cuatro métodos propuestos por Griffing (1956).

La elección del procedimiento a seguir dependerá de los propósitos específicos de cada investigación, por ejemplo, bajo sospecha o confirmación de la existencia de efectos maternos deben estudiarse las cruzas recíprocas.

Los diseños de apareamiento dialélico de Griffing también permiten estudiar la heterosis o vigor híbrido. Es un concepto que se refiere a la expresión de cierto carácter en la progenie más allá de los límites de expresión manifestados en los parentales. Tiene origen principalmente en los efectos genéticos de dominancia o sobredominancia y en la diferencia genotípica de frecuencias génicas (Falconer, 1996). Cuando la heterosis es atribuida a los efectos de dominancia se considera que ésta se debe al número de *loci* que se encuentran en condición dominante; mientras que al considerar la hipótesis de sobredominancia se asume que el heterocigoto es superior a los dos homocigotos, por lo que el vigor híbrido aumenta en proporción directa a la cantidad de heterocigosis (Márquez, 1988).

El vigor híbrido es un fenómeno integrado por aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos que actúan como conjunto y pueden ser empleados para hacer más eficiente el fitomejoramiento. Para fines de estimación de los efectos heteróticos se establecieron tres categorías: 1) Media. Es la diferencia entre el promedio de los progenitores y el promedio de las cruzas; 2) Varietal. Es la heterosis promedio con que contribuye un progenitor en las cruzas evaluadas en que participa; y 3) Específica. Es la generada por cada combinación particular de progenitores (Gardner, 1967).

Se considera que en el género *Capsicum* la heterosis es alta (De Souza y Maluf, 2003). Esta propiedad ha sido explotada para incrementar el rendimiento y otras características de importancia económica. Algunos caracteres para los cuales se ha reportado vigor híbrido alto son largo y diámetro de fruto, número de semillas, rendimiento y contenido de capsaicina por planta (De Souza y Maluf, 2003), rendimiento y calidad de fruto (Kumar *et al.*, 2013) y contenido de vitamina C y capsaicinoides en diferentes grados de madurez (Cruz-Pérez *et al.*, 2007).

Hasta el momento la mayoría de los experimentos dialélicos se han dirigido a la evaluación de caracteres como rendimiento, adaptabilidad, estabilidad, calidad comercial, patrón heterótico, vigor de semilla y plántula, entre otros. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo en el estado de Yucatán se estimó la aptitud combinatoria y la heterosis de siete poblaciones criollas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y de las cruzas resultantes entre ellas, empleando el Método II de Griffing. Los caracteres considerados fueron: rendimiento, peso individual de frutos, número de frutos por planta, días a inicio de cosecha, altura de planta y longitud y diámetro del fruto. Los efectos aditivos estimados por la ACG fueron más grandes que los de dominancia estimados por la ACE, y ambos efectos estuvieron influenciados por el ambiente. Por los valores de ACG de los padres y de heterosis de la progenie, se concluyó que la hibridación sería el método de mejoramiento genético más adecuado para incrementar el rendimiento de fruto y el número de frutos por planta. En cambio, para mejorar altura de planta, peso individual de fruto, días a inicio de cosecha, y longitud y diámetro de fruto, el método de mejoramiento por endocria y selección sería el indicado (Pech-May *et al.*, 2010).

Del mismo modo Hernández-Pérez *et al.* (2011) evaluaron las cruzas directas de seis tipos de chile (tres tipo jalapeño, uno húngaro amarillo, uno ancho y uno mulato) por medio del Método IV de Griffing. Días a floración, días a corte, rendimiento de frutos por planta, rendimiento por hectárea, diámetro, longitud y peso promedio por fruto fueron los caracteres empleados. Se seleccionaron dos genotipos sobresalientes por su ACG y dos cruzas por su ACE y alto rendimiento.

En el caso particular de chile manzano se estimó la aptitud combinatoria y la heterosis en rendimiento y calidad de fruto de seis variedades criollas y todas las cruzas directas posibles entre ellas (Zongolica, Huatusco I, Huatusco II, Puebla, Chiapas y Perú). De acuerdo al Método II de Griffing se obtuvieron efectos significativos de ACG en rendimiento, volumen de fruto, grosor del pericarpio, número y peso de semillas y número de lóculos. La mayor heterosis calculada respecto al mejor progenitor se obtuvo en la cruce Zongolica x Puebla, para rendimiento; Perú x Chiapas, para volumen de fruto; Puebla x Perú, para número de semillas; y Puebla x Chiapas, para peso de semillas y número de lóculos. El genotipo Puebla fue considerado el mejor progenitor ya que generó híbridos sobresalientes en rendimiento, volumen de fruto y grosor del

pericarpio. Adicionalmente, el método recomendado para el mejoramiento genético del cultivo fue la hibridación (Pérez *et al.*, 2009).

En el marco del programa de mejoramiento genético del chile manzano de la Universidad Autónoma Chapingo se llevó a cabo el análisis de ocho líneas seleccionadas (L1, L2, L3, ... L8) y los 28 híbridos resultantes de las combinaciones posibles entre ellas empleando el Método II de Griffing. Las variables evaluadas fueron rendimiento total por planta, número de frutos, peso promedio de fruto, grosor del pericarpio y número de lóculos; se encontraron diferencias significativas en todas ellas. Las líneas 3 y 6 presentaron los valores más altos de ACG. La mayor heterosis en cuanto a rendimiento, número de frutos y grosor de pericarpio fue calculada para el híbrido L1 x L2. Los resultados indicaron que al menos un progenitor con ACG positiva y alta, o de magnitud pequeña, participó en las cruzas de mayor rendimiento (Potrero, 2016).

Otro de los caracteres estudiados en el chile manzano con el uso de diseños dialélicos es la herencia de capsaicinoides. Sin embargo, los resultados obtenidos han sido contrastantes. Se realizó un ensayo con cinco progenitores provenientes de Nuevo México, EUA, tres de ellos de bajo contenido de capsaicinoides (NMCA80004, NMCA80058, NMCA80065) y los dos restantes de contenido alto (NMCA80049, NMCA80062). Se empleó el Método I de Griffing y se cuantificó el contenido de seis capsaicinoides (3-ND, 2-ND, NDH, CAP, DH e ISO). Se reportó una correlación positiva entre el contenido de dichos compuestos y la ACG, lo cual sugiere que la herencia está predominantemente asociada con efectos genéticos aditivos. Los híbridos producto de progenitores de alto contenido de capsaicinoides no fueron sobresalientes debido a su ACE negativa. La mayor heterosis calculada se obtuvo en la cruce de dos progenitores de bajo contenido. Debido al patrón de acción génica aditiva se propuso a la selección recurrente como método para desarrollar chiles híbridos de alta pungencia (Zewdie *et al.*, 2001).

Contrario a lo anterior Sánchez-Sánchez *et al.* (2010) reportaron para 25 materiales genéticos de *C. pubescens* que el picor en los frutos está regulado por genes de efectos no aditivos (principalmente dominantes); debido a que los valores de ACE fueron significativos en los tres alcaloides evaluados (2-ND, CAP y DH). Los efectos maternos

también fueron significativos, lo cual implica que los genes que codifican dichos metabolitos están ubicados tanto en el ADN nuclear como en el citoplásmico (cloroplastos y mitocondrias).

### 2.3 Efectos maternos y efectos recíprocos

El estudio de la aptitud combinatoria y de los efectos heteróticos, sobre características agrónomicamente favorables, es una herramienta útil en el fitomejoramiento de especies cultivadas. Constituye una alternativa para un mejor aprovechamiento de genes deseables que pueden ser posteriormente integrados a poblaciones mejoradas aumentando así su base genética (Silva y Miranda, 2003).

Otros componentes importantes de dichos diseños genéticos son los efectos maternos y los efectos recíprocos. El comportamiento diferencial que tiene un progenitor cuando es usado como hembra en relación a cuando es usado como macho se denomina efecto materno (EM). Por otro lado, el término efecto recíproco (ER) es utilizado en aquellos casos en los que combinaciones particulares de progenitores ( $p$ ) no se comportan de igual forma al hacer la cruce en forma directa ( $p_i \times p_j$ ) que en forma recíproca ( $p_j \times p_i$ ) (Montesinos *et al.*, 2009).

En la mayoría de los estudios genéticos se ha resaltado la importancia de los efectos de la ACG y la ACE, sin considerar los factores maternos y recíprocos. Sin embargo, se ha reportado que en la herencia de ciertos caracteres los EM y ER son elementos relevantes y consistentes que pueden tener implicaciones en el fitomejoramiento (Hansen y Bagget, 1977). Por ejemplo, Do Rêgo *et al.* (2009) reportaron efectos maternos significativos en todos los caracteres de calidad de fruto evaluados en *C. baccatum*. Resultados similares fueron descritos para la herencia de clorofila en frutos de chile manzano, específicamente en las variedades Huatusco, Puebla, Perú, Tacámbaro y Zongolica. En dicho estudio se utilizó el Método I de Griffing para estimar los efectos de heterosis y de herencia materna por comparación porcentual de los progenitores con sus cruces. Se concluyó que en la herencia de la clorofila actúan genes tanto nucleares como citoplásmicos (Amador *et al.*, 2007). El análisis de los EM y ER en los diseños dialélicos es útil para determinar la participación de genes extranucleares en la expresión de un carácter (Kang *et al.*, 1999).

## LITERATURA CITADA

- Amador, R. M. D., Zegbe, D. J. A., Reveles, T. L. R., Mena, C. J. y Serna, P. A. (2007). Memorias XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Zacatecas, México: INIFAP. 236 p.
- Barboza, G. E., and Bianchetti, L. B. (2005). Three New Species of *Capsicum* (Solanaceae) and a Key to the Wild Species from Brazil. *Systematic Botany*, 30(4), 863–871. doi: 10.1600/036364405775097905
- Butcher, J.D., Crosby, K. M., Kil, S. Y., Patil, B., Jifon, J.L. Y Rooney, W.L. 2013. Heterosis in different F1 *Capsicum annuum* genotypes for fruits traits, ascorbic acid, capsaicin, and flavonoids. *Scientia Horticulturae* 159: 72- 79. doi: 10.1016/j.scienta.2013.03.022
- Cruz-Pérez, A. B., González-Hernández, V. A., Soto-Hernández, R. M., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., y Pérez, G. M. (2007). Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia*, 41(6), 627-635. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v41n6/1405-3195-agro-41-06-627-en.pdf>
- Cuevas, F. L. (1999). *Rendimiento, calidad y precocidad de chile manzano (Capsicum pubescens R. y P.) en función de función de aplicación de B-9 y contenido bromatológico*. (Tesis de licenciatura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 50 p.
- Curtis, P. J. (1988). *Estructura de las plantas cultivadas*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 168 p.
- De Sousa, J. A., and Maluf, W. R. (2003). Diallel analyses and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Scientia Agricola*, 60(1), 105–113. doi:10.1590/s0103-90162003000100016
- Do Rêgo, E. R., do Rêgo, M. M., Finger, F. L., Cruz, C. D., and Casali, V. W. D. (2009). A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). *Euphytica*, 168(2), 275–287. doi:10.1007/s10681-009-9947-y
- Eshbaugh, W. H. 1975. Genetic and biochemical systematic studies of Chili Peppers (*Capsicum*-Solanaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 102(6), 396–403. doi: 10.2307/2484766
- Espinosa-Torres, L. E. (2010). *Cultivo en invernadero, poscosecha y comercialización de chile manzano (Capsicum pubescens R. y P.)*. (Tesis de doctorado en Ciencias en Horticultura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 89 p.
- Espinosa-Torres, L. E., Pérez, G. M., Martínez, D. M. T., Castro, B. R., y Barrios, P. G. (2010). Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(2), 115–121. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.16.014

- Espinosa-Torres, L. E., y Ramírez-Abarca, O. (2016). Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 325–335. doi: 20.500.11799/54950
- Evans, L. T. (1983). *Fisiología de los cultivos*. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur S. A. 387 p.
- Facundo, A. P. (2014). *Rendimiento y calidad de fruto de ocho líneas de chile Manzano (Capsicum pubescens R & P)*. (Tesis de licenciatura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 33 p.
- Falconer, D. S. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. (4ª Edición). London, UK: Longman. 480 p.
- 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.
- Gilbert, N. E. G. (1958). Diallel cross in plant breeding. *Heredity*, 12(4), 477–492. doi:10.1038/hdy.1958.48
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to Diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9(4), 463–493. doi: 10.1071/BI9560463
- Guevara, M., Siles, M., y Bracamonte, O. (2000). Análisis cariotípico de *Capsicum pubescens* (Solanaceae) "rocoto". *Revista peruana de Biología*, 7(2), 134–141. doi: 10.15381/rpb.v7i2.6816
- Hallauer A. R., Carena, M., and Miranda, J. B. F. (2010). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. New York, USA: Springer-Verlag. 664 p.
- Hansen, L. A. and Bagget, J. R. (1977). Reciprocal differences for plant and ear characteristics in sweet corn. *Horticultural Science*, 12, 60–62. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19770160077>
- Hernández-Pérez, M., López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., López-Betancourt, S. R., y Ramírez-Meraz, M. (2011). Análisis dialélico del rendimiento de chile por el método IV de Griffing. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 37-43. doi:10.15517/am.v22i1.8664
- Kang, M. S., Din, A. K., Zhang, Y., and Magari, R. (1999). Combining Ability for Rind Puncture Resistance in Maize. *Crop Science*, 39(2), 368-371. doi:10.2135/cropsci1999.0011183x0039000200011x
- Kumar, R. L., Onteddu, S., Surendra Kage, U., Salimath, P. M., Madalageri, D. M., and Natikar, P. (2014). Heterosis Studies in Chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Horticulture*, 4(4), 74-77. doi:10.5376/ijh.2014.04.0008
- Long, S. J. (1998) *Capsicum y cultura: La historia del chili*. Ciudad de México, México: Fondo de Cultura Económica. 203 p.

- Macrae, R., Robinson, R.K., and Sadler, M. J. (1993). *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*. London, UK: Academic Press. 5365 p.
- Márquez, S. F. (1988). *Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría y resultados*. (Tomo II). Ciudad de México, México: AGT Editor, S.A. 665 p.
- Montes, H. S. (2010). *Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género Capsicum que crecen y se cultivan en México. Informe final*. Campo Experimental Bajío, Celaya, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 84 p.
- Montesinos, L. O. A., Mastache, L. A. A., Luna, E. I., e Hidalgo, C. J. V. (2007). Mejor predictor lineal e insesgado combinado de los diseños uno y tres de Griffing. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(3), 263-270. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-3/11a.pdf>
- Montesinos, L. O. A., Mastache, L. A. A., Luna, E. I., Hernández, S. C. M., y Hernández, L. G. (2009). Mejor predictor lineal e insesgado familiar de aptitud combinatoria general en experimentos parciales de cruza dialélicas con efectos maternos. *Agricultura Técnica en México*, 35(3), 245-256. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n3/v35n3a1.pdf>
- Moscone, E. A., Scaldaferrro, M. A., Grabielle, M., and Cecchini, N.M. (2007). The evolution of chili peppers (*Capsicum-Solanaceae*): a cytogenetic perspective. *Acta Horticulturae*, 745, 137–169. doi: 10.17660/ActaHortic.2007.745.5
- Narváez, M. J. D. (2002). *Análisis del crecimiento de variedades y cruza intervarietales de chile manzano (Capsicum pubescens R. y P.) cultivadas en invernadero*. (Tesis de licenciatura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Nee, M., Bohs, L., and Knapp, S. (2006). New species of *Solanum* and *Capsicum* (Solanaceae) from Bolivia, with clarification of nomenclature in some Bolivian *Solanum*. *Brittonia*, 58(4), 322–356. doi: 10.1663/0007-196X(2006)58[322:NSOSAC]2.0.CO;2
- Pech-May, A. M., Castañón-Nájera, G., Tun-Suárez, J. M., Mendoza-Elos, M., Mijangos-Cortés, J. O., Pérez-Gutiérrez, A., y Latournerie-Moreno, L. (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annum L.*). *Revista fitotecnia mexicana*, 33(4), 353-360. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802010000400013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400013)
- Peña, L. A., Molina, G. J. D., Cervantes, S. T., Márquez, S. F., Sahagún, C. J., y Ortiz, C. J. (1998). Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 4(1), 31–37. doi:10.5154/r.rchsh.1997.12.093
- Pérez, G. M. (2002). *Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en chile manzano (Capsicum pubescens R. y P.)*. (Tesis de Doctorado). Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, México. 106 p.

- Pérez, G. M., González-Hernández, V. A., Peña, L. A., and Sahagún, C. J. (2009). Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 15(1), 103-109. doi: 10.5154/r.rchsh.2009.15.014
- Pérez, G. M., y Castro, B. R. (1998). *Guía para la producción intensiva de chile manzano. Boletín de Divulgación núm 1*. Programa Nacional de Investigación en Oleicultura. Chapingo, México: Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 17 p.
- Pérez, G. M., y Castro, B. R. (2012). *El chile Manzano*. Chapingo, México: Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 128 p.
- Pérez, C. L. M., Castañón, N. G., Mayek, Pérez. N. (2008) Diversidad morfológica de chiles (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Rev. Cuad. Biodiversidad* 27:11–22. doi: 10.14198/cdbio.2008.27.02
- Pérez, G. M., y Castro, B. R. (1998). *Guía para la producción intensiva de chile manzano. Boletín de divulgación Núm.1*. Programa Nacional de investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 17 p. <http://www.sidalc.net/cgibin/wxis.exe/?IscScript=UACHBC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=088677>
- Pérez, G. M., González, V. A., Peña, L. A., MendozaCastillo, M. C., Peña, V. C., y Sahagún, C. J. (2004). Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R. y P.). landraces. *Journal American Society for Horticultural Science* 129: 88-92. doi: 10.21273/JASHS.129.1.0088
- Perry, L., Dickau, R., Zarrillo, S., and Holst, I. (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. *Science*, 315, 986–988. doi: 10.1126/science.1136914
- Pickersgill, B. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica*, 96, 129–133. doi: 10.1023/A:1002913228101
- Potrero, A. S. M. (2016). *Caracterización morfológica, poscosecha, aptitud combinatoria y heterosis en híbridos de chile manzano (Capsicum pubescens Ruíz y Pavón)*. (Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 204 p.
- Pozo, C. O. (1983). *Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de Chile*. Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) e Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), 59 p.

- Sánchez-Ramírez, F. J., Mendoza-Castillo, M., Castillo-González, F., Cruz-Izquierdo, S., y Castro-Nava, S. (2017). Aptitud combinatoria de líneas endogámicas para la producción de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de cruce simple en condiciones de riego. *Agrociencia [online]*, 51(4), 393-407. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-31952017000400393&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952017000400393&lng=es&nrm=iso)
- Sánchez-Sánchez, H., González-Hernández, V. A., Cruz, P. A., Pérez, G. M., Gutierrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., y Gómez-Lim, M. A. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia [online]*, 44(6), 655-665. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5568745>
- Segovia, L. A., y A. Y. Romero, M. A. Y. (2014). Mejoramiento genético para rendimiento en chile (*Capsicum annuum* L.) para consumo en seco en la región centro-Sur del estado de Chihuahua, México. *Revista Biología Agropecuaria Tuxpan* 2: 414-427.
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria. (2017). Anuario estadístico: Cultivos cíclicos y perennes. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Silva, R. M. da, y Miranda Filho, J. B. de. (2003). Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. *Scientia Agricola*, 60(3), 519–524. doi:10.1590/s0103-90162003000300016
- Sprague, G. F., y Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn1. *Agronomy Journal*, 34(10), 923-932. doi:10.2134/agronj1942.00021962003400100008x
- Vallejo, F. A., y Estrada, E. I. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 401 p.
- Weiss, E. A. (2002). *Spice Crops*. Wallingford, UK: CABI Publishing. 411 p. doi: 10.1079/9780851996059.0000
- Wills, R. B., Mc Glasson, D., Graham, R., y Joyce, D. (1998). *Introducción a la Fisiología y Manipulación Postcosecha de Frutas, Hortalizas y Plantas Ornamentales* (2ª Edición). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A. 240 p.
- Wright, A. J. (1985). Diallel designs, analyses, and reference populations. *Heredity*, 54(3), 307–311. doi:10.1038/hdy.1985.41
- Yamamoto, S., Djarwaningsih, T., and Wiriadinata, H. (2013). *Capsicum pubescens* (Solanaceae) in Indonesia: Its history, taxonomy, and distribution. *Economic Botany*, 67, 161–170. doi: 10.1007/s12231-013-9230-y
- Zewdie, Y., Bosland, P. W., and Steiner, R. (2001). Combining Ability and Heterosis for Capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. *HortScience*, 36(7), 1315–1317. doi:10.21273/hortsci.36.7.1315

## CAPÍTULO III

### APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE *Capsicum pubescens* R. y P.<sup>1</sup>

#### RESUMEN

En *C. pubescens* R. y P. la información relativa a la herencia de la calidad y rendimiento de fruto es muy escasa, la cual es requerida para generar estrategias eficientes para el mejoramiento genético de este cultivo. El objetivo de la presente investigación fue estimar efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específicas (ACE), así como los de heterosis en los componentes directos del rendimiento y la calidad física de fruto. Para ello, cinco líneas progenitoras junto con sus cruzas directas y recíprocas se establecieron bajo condiciones de hidroponía e invernadero, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La densidad de siembra fue de 0.61 plantas·m<sup>-2</sup>. Se usó el diseño I de Griffing para estimar los efectos de ACG y ACE, y el modelo de Gardner y Eberhart para la estimación de la heterosis. Se detectaron valores positivos de ACG para el rendimiento de fruto en los progenitores L3 y LVLC<sub>2</sub>; y en L1 y LVLC<sub>1</sub> para peso promedio y longitud del fruto. Fueron detectados efectos maternos en peso, volumen y número de semillas del fruto. En los caracteres evaluados la heterosis media fue significativa, a diferencia de la heterosis varietal. Los híbridos L2014xLVLC<sub>2</sub> y LVLC<sub>2</sub>xL1 tuvieron valores sobresalientes en ACE, heterosis con respecto al mejor progenitor y heterosis específica para número total de frutos y peso total de frutos. Debido a que en los caracteres evaluados los efectos de ACE fueron superiores a los de ACG y la heterosis con respecto al mejor progenitor fue significativa, la hibridación es la mejor estrategia para desarrollar el mejoramiento genético del chile manzano para el rendimiento y calidad física de fruto.

**Palabras clave:** Chile manzano, producción intensiva, diseños dialélicos, efectos genéticos.

---

<sup>1</sup>Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ismael Hernández Hernández

Director de Tesis: Dr. Mario Pérez Grajales

# COMBINING ABILITY AND HETEROSIS FOR YIELD AND FRUIT QUALITY OF *Capsicum pubescens* R. y P.<sup>2</sup>

## ABSTRACT

In *C. pubescens* R. and P. the information regarding the inheritance of fruit quality and yield is very scarce, which is required to generate efficient strategies for the genetic improvement of this crop. The objective of the present investigation was estimate the effects of general (GCA) and specific (SCA) combinatorial aptitude, as well as those of heterosis in the direct components of the yield and the physical quality of the fruit. For this, five parent lines together with their direct and reciprocal crosses were established under hydroponics and greenhouse conditions, in a randomized complete block design with three replications. Planting density was 0.61 plants·m<sup>-2</sup>. Griffing design I was used to estimate the effects of ACG and SCA, and the Gardner and Eberhart model for estimating heterosis. Positive ACG values were detected for fruit yield in the L3 and LVLC2 progenitors; and in L1 and LVLC1 for average weight and length of the fruit. Maternal effects on weight, volume and number of seeds of the fruit were detected. In the characters evaluated, the mean heterosis was significant, unlike the varietal heterosis. The L2014xLVLC2 and LVLC2xL1 hybrids had outstanding values in SCA, heterosis with respect to the best progenitor and specific heterosis for total number of fruits and total fruit weight. Because in the evaluated characters the effects of SCA were superior to those of GCA and the heterosis with respect to the best progenitor was significant, the hybridization is the best strategy to develop the genetic improvement of the apple pepper for the yield and physical quality of fruit.

**Keywords:** Apple pepper, intensive production, diallelic designs, genetic effects.

---

<sup>2</sup>Thesis of Horticultural Sciences MSc program, Universidad Autónoma Chapingo.  
Author: Ismael Hernández Hernández  
Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

### 3.1 INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) es originario de la región Andina, particularmente de las zonas altas de Bolivia y Perú. Fue introducido a México en el siglo XX y se cultiva en los estados de Puebla, Michoacán, Veracruz, Estado de México, y en menor medida en Oaxaca y Chiapas (Weiss, 2002). Usualmente la producción se lleva a cabo en huertos semicomerciales de una extensión menor a cinco hectáreas en asociación con árboles frutales que proporcionan sombra. Este sistema genera rendimientos muy variables de cinco a siete toneladas por hectárea al año, dependiendo del manejo agronómico. El reciente incremento de la demanda de dicho producto ha motivado el desarrollo de sistemas de producción intensivos en invernadero y el uso de variedades mejoradas para incrementar la cantidad y calidad de los frutos (Pérez *et al.*, 2004).

El primer híbrido intervarietal de chile manzano en México (Puebla x Zongolica) se generó en el año 2002 y fue registrado en 2012 con el nombre de Grajales St. y derechos de obtentor para la Universidad Autónoma Chapingo. Del híbrido intervarietal, se derivaron ocho líneas a través de cinco ciclos de autofecundación. Con ellas se generaron veintiocho híbridos de cruce simple a través del diseño dialélico de griffing método II, el cual no considera efectos maternos. De los veintiocho híbridos se registraron, ante el Servicio Nacional de Inspección de Certificación de Semillas (SNICS, 2015) los mejores cinco, por su rendimiento y calidad de fruto.

En un programa de mejoramiento genético y desarrollo de variedades, el objetivo es identificar líneas que al cruzarse produzcan híbridos uniformes y superiores a sus progenitores. La evaluación de la progenie derivada de cruces simples mediante los diseños de apareamiento dialélico de Griffing (1956) se emplean para obtener información de los efectos genéticos aditivos y no aditivos por medio del cálculo de la aptitud combinatoria general y específica; con la que se establecen estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y determinar el método de fitomejoramiento más adecuado (Hallauer *et al.*, 2010). El término aptitud combinatoria se refiere a la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida a través de la progenie (Márquez 1988). Los conceptos de aptitud combinatoria general y específica fueron desarrollados para modelar, en términos de acción génica, las varianzas genéticas aditiva y de dominancia, respectivamente. El estudio de

dichos efectos es de suma importancia en la identificación de progenitores potencialmente útiles para la producción de híbridos o para el desarrollo de poblaciones compuestas o sintéticas (Martínez, 1983). Hoegenmeyer y Hallauer (1976) señalaron que en un programa de fitomejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la aptitud combinatoria específica es más importante que la general, ya que representa los efectos no aditivos de los genes como son la dominancia y la epistasis.

No obstante que en Chile manzano existen híbridos con alto rendimiento y calidad de fruto, registrados ante el SNICS (2015), el mercado nacional y de exportación (E.U.A.) demandan genotipos (híbridos) superiores en cuanto a tamaño promedio de fruto (mayor a 90 g por fruto), de forma ligeramente alargada (mayor longitud que diámetro), de tres a cuatro lóculos, de buen cierre pistilar (poco hundimiento y de diámetro pequeño). Se requieren también frutos con grosor de pericarpio superior a 0.5 mm ya que esta característica se relaciona con mayor vida postcosecha y a su vez, existe una alta correlación positiva entre el mayor número y peso de semillas con el grosor del pericarpio.

En *C. pubescens* R. y P. la información relativa a la herencia de la calidad y rendimiento de fruto es muy escasa, la cual es requerida para generar estrategias eficientes para el mejoramiento genético de este cultivo. El objetivo de la presente investigación fue estimar efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específicas (ACE), así como los de heterosis en los componentes directos del rendimiento y la calidad física de fruto.

## 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.2.1 Sitio experimental

El presente estudio se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (19° 29' N y 98° 53' O; 2240 msnm) con temperatura media anual de 15.9 °C. Se hizo en un invernadero tipo “Full vent” de 1,000 m<sup>2</sup> con doble cubierta de polietileno calibre 600 con transmisión de luz aprovechable de 50 %; ventilación frontal, lateral y superior protegida por malla antiáfidos y cortinas plásticas.

### 3.2.2 Progenitores

Se utilizaron cinco líneas avanzadas F7 provenientes del híbrido intervarietal Grajales St (Zongolica x Puebla): Línea L1, Línea L3, Línea LVLC<sub>1</sub>, Línea LVLC<sub>2</sub> y Línea L2014. Éstas fueron seleccionadas por sus características de calidad sobresalientes y contrastantes (Cuadro 1.).

**Cuadro 1.** Características de calidad de los cinco progenitores

Prog./Caract.	Maduración	TF	FF	NL	LF	DF	FA
1.L1	Tardío	G	C	3 a 4	Corto	Ancho	MPH
2.L3	Precoz	M	T	2 a 3	Corto	Delgado	HA
3.LVLC1	Intermedio	G	T	2 a 3	Largo	Delegado	HA
4.LVLC2	Precoz	M	R	3 a 4	Largo	Delgada	HA
5.L2014	Tardío	G	C	3 a 4	Corto	Ancho	MPH

TF: Tamaño de fruto; FF: Forma de fruto; NL: Número de lóculos; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro de fruto; FA: Forma de ápice; G: Grande; M: mediano; C: Cuadrado; T: Trapezoidal; R: Rectangular; MPH: Muy pronunciado y hundido; HA: Hundimiento ausente.

### **3.2.3 Obtención de cruzas para el diseño dialélico.**

Se realizaron las 20 cruzas posibles entre los cinco progenitores, de acuerdo con el diseño I de Griffing (1956). Para ello, las líneas progenitoras fueron sembradas en el mes de mayo de 2017, en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato Peat Moss®. Posteriormente se establecieron en un sistema hidropónico en el mes junio del mismo año, se utilizaron macetas de 50 x 50 (calibre 600) y como sustrato al tezontle rojo, con una densidad de plantación de 0.61 plantas·m<sup>-2</sup>. Las plantas fueron conducidas como lo proponen Pérez y Castro (2008) en el sistema de producción intensivo de chile manzano en condiciones de invernadero.

Las cruzas se realizaron entre los meses de enero a febrero de 2018. Las plantas de chile manzano presentan, en promedio, diez por ciento de amarre de fruto; con base en esto, en el periodo de floración, se polinizaron 100 flores por cruza (20 cruzas), siguiendo el método de polinización propuesto por Pérez *et al.* (1998).

### **3.2.4 Evaluación del diseño dialélico**

Las semillas de las cruzas (20 híbridos) más las cinco líneas progenitoras, fueron sembradas en el mes de junio y trasplantadas en el mes de agosto del año 2018, la conducción del cultivo fue similar a la expresada en el punto anterior.

La unidad experimental consistió de cinco plantas. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones.

### **3.2.5 Caracteres evaluados**

La cosecha inició 180 días después del trasplante (ddt) y finalizó 248 ddt. Se realizaron ocho cosechas, una en cada semana.

Los caracteres evaluados asociados al rendimiento de fruto fueron: número total de frutos por planta (NTP) y el peso total de ellos (PTF, en g) como rendimiento total de fruto (kg·m<sup>-2</sup>). Los asociados a la calidad de fruto fueron: peso promedio de fruto (PPF, en g) obtenido a través de PTF/NTF, longitud de fruto (LF, en mm), diámetro de fruto (DM, en mm), profundidad de ápice (PA, en mm), diámetro de ápice (DA, mm), volumen de fruto (VF, en ml), número de lóculos (NL), grosor de pericarpio (GP, en mm), número de semillas del fruto (NS) y peso de semillas del fruto (PS, en g).

La calidad de fruto se evaluó en la tercera y cuarta cosecha (18 y 25 de febrero de 2019), que corresponde a la mitad del periodo de cosecha. Se identificaron dos frutos por planta, lo que representó un total de diez por unidad experimental. A cada fruto se le midió la longitud y el diámetro en milímetros con un calibrador digital Truper®; también la profundidad y diámetro del ápice en milímetros; el volumen de fruto se midió considerando los ml de agua desplazada en una probeta de 2,000 ml. Posteriormente, se realizó un corte transversal en la parte media del fruto y se midió el grosor del pericarpio en milímetro; y las semillas se extrajeron de forma manual y fueron contabilizadas y pesadas en gramos con una balanza granataria VELAB®.

### 3.2.6 Análisis estadístico

Con el propósito de estimar la aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER) de las doce variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza considerando el modelo fijo del método I de Griffing (1956). Para la estimación de los mejores predictores lineales e insesgados de los efectos genéticos, se empleó la propuesta de Mastache y Martínez (2003). El diseño I de Griffing (1956) se analizó de acuerdo al siguiente modelo:

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

Donde:

$Y_{ij.}$  = Media de la craza entre los progenitores i-ésimo y j-ésimo;

$\mu$  = Efecto general, común a todas las observaciones;

$g_i$  = Efecto de ACG del i-ésimo progenitor;

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

$m_i$  = Efecto materno del i-ésimo progenitor;

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

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

Se realizó una comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) entre los progenitores y las cruzas y una prueba de contrastes para las variables ACG y EM. Para detectar diferencias entre efectos de ACE y ER de los progenitores se realizaron contrastes entre pares de ellos mediante la distribución  $t$  de Student ( $\alpha = 0.05$ ).

El estudio de la heterosis se basó en el modelo de Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967), como se indica a continuación:

$$Y_{ij} = \bar{Y}_v + \left( \frac{(V_i + V_j)}{2} \right) + \theta \cdot h_{ij}$$

Donde:

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

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

$V_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo progenitor;

$V_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo progenitor;

$\theta$  = 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; y

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

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

Donde:

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

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

$Y_i$  = Media del  $i$ -ésimo progenitor; y

$Y_j$  = Media del  $j$ -ésimo progenitor.

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

$\bar{h}$  = Heterosis media:  $\bar{h} = \bar{Y}_H - \bar{Y}_v$

Donde:

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

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

$h_i$  = Heterosis Varietal:  $h_i = \left( \frac{n-1}{n-2} \right) (\bar{Y}_i - \bar{Y}_H) - \left( \frac{Y_i - \bar{Y}_v}{2} \right)$

Donde:

$n$  = Número de progenitores;

$\bar{Y}_i$  = Media de las cruzas en que interviene el progenitor  $i$ ;

$\bar{Y}_H$  = Media de todas las cruza realizadas;  
 $Y_i$  = Media del progenitor i;  
 $\bar{Y}_V$  = Media de todos los progenitores.

$$S_{ij} = \text{Heterosis Específica} \quad S_{ij} = h_{ij} - \bar{h} - h_i - h_j$$

Donde:

$h_{ij}$  = 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;

Para estimar la significancia de dichos parámetros se llevó a cabo una prueba de comparación de medias empleando la distribución *t* de Student ( $\alpha = 0.05$ ,  $\alpha = 0.01$ ).

### 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.3.1 Análisis de varianza

De acuerdo con el análisis de varianza los caracteres número total de fruto (NTF), peso total de fruto (PTF), diámetro de fruto (DF), diámetro de ápice de fruto (DA), volumen de fruto (VF) y número de lóculos de fruto (NL) fueron significativos en el factor cruza (Cuadro 1). Dicho factor no causó modificaciones en peso promedio de fruto (PPF), longitud de fruto (LF), profundidad de ápice (PA), grosor de pericarpio (GP), número de semilla (NS) y peso de semilla (PS).

Los cuadrados medios que corresponden al efecto de la aptitud combinatoria general (ACG) únicamente presentaron significancia en las variables DF, DA y VF. En cuanto a la aptitud combinatoria específica (ACE) casi todas las variables fueron significantes, a excepción de PPF y NL. Esto indica que los efectos genéticos no aditivos (dominancia y epistasis) tienen mayor contribución sobre los caracteres en estudio (Peña *et al.*, 1998). Se encontraron efectos maternos (EM) y recíprocos (ER) en las variables PPF, NS, PS y NTF, PTF, DF, DA, VF, NS, respectivamente; lo cual es atribuible a los efectos genéticos extranucleares (Kang *et al.*, 1999).

### 3.3.2 Comparación de medias

La prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para rendimiento y calidad de fruto de los progenitores (Cuadro 2) arrojó diferencias significativas en cuanto a NTF, PTF, PPF, LF, PA, DA, VF, NL, GP y NS; las variables DF y PS no presentaron discrepancias.

En el progenitor LVLC<sub>2</sub> se registró el mayor NTF por metro cuadrado de invernadero con 33.65, en contraste de la L2014 con tan solo 3.01. Del mismo modo en la variable PTF sobresalieron la LVLC<sub>2</sub> y la L3 con 3086.18 gramos por metro cuadrado y 2866.31, respectivamente, superando a la L1 (717.59 g) y a la L2014 (310.64 g). Contrario a lo anterior, el PPF de la L1 fue el más elevado (116.7 gramos por fruto) mientras que el de la LVLC<sub>2</sub> fue considerablemente menor (91.5 gramos por fruto). Dicho patrón de comportamiento es consistente con la correlación negativa entre el número total de frutos por planta y su peso promedio (Facundo, 2014), por tal motivo el propósito del fitomejoramiento en este tipo de plantas es identificar genotipos que presenten un balance entre el número y tamaño de frutos por planta (Pérez y Castro, 2012).

Con respecto a la LF el progenitor LVLC<sub>1</sub> con 69.78 mm fue superior en comparación con la LVLC<sub>2</sub> con 61.33 mm. Así mismo, se encontró discrepancia en cuanto a la PA en las L1, LVLC<sub>1</sub> y L2014 (con valores de 22.08, 20.88 y 21.40 mm, respectivamente) contrastando con la L3 y la LVLC<sub>2</sub>, las cuales presentaron ápices poco profundos (16.19 y 15.50 mm). También se identificaron genotipos con DA poco pronunciado: L3 (14.23 mm), LVLC<sub>1</sub> (12.04 mm) y LVLC<sub>2</sub> (13.66 mm) a diferencia de la L1 (28.65 mm) y la L2014 (26.41 mm) que poseen ápices de mayor amplitud; esta característica es importante para el programa de mejoramiento genético de chile manzano ya que un ápice cerrado disminuye la incidencia de daños causados por Trips (*Frankliniella occidentalis*) y es considerado un indicador de calidad del fruto. El VF fue alto en la mayoría de los progenitores con 220 ml, a excepción de la LVLC<sub>2</sub> en la cual se registró un volumen de agua desplazada de 195.67 ml.

El NL es una característica que tiene relación directa con la forma del fruto (Pérez, 2002). Las líneas L1, LVLC<sub>1</sub>, LVLC<sub>2</sub> y L2014 presentaron de tres a cuatro lóculos y forma cuadrada a rectangular; la L3 tuvo de dos a tres y se distinguió por su forma trapezoidal. Otro de los atributos de calidad para el chile manzano es el GP ya que se correlaciona de forma positiva con la vida de anaquel (Pérez *et al.*, 2009). Entre los genotipos estudiados destaca la LVLC<sub>1</sub>

con 7.33 mm y la L3 resultó de pericarpio menor (6.54 mm). No obstante, de acuerdo con Espinoza et al. (2010) se consideran frutos de calidad aquellos que tiene más de 5 mm de grosor de pericarpio. Con respecto al NS se encontraron valores de 114.4 de la LVLC<sub>2</sub> que contrasta de forma significativa con la LVLC<sub>1</sub> con 81.0, pero en ningún caso hubo diferencia en el peso de semillas, con un promedio de 2.36 gramos por fruto.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios del análisis de varianza con el Método I de cruzas dialélicas de Griffing (1956) para los doce caracteres evaluados de frutos de chile manzano.

FV	GL	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
Repetición	2	35.94	149684.67	14.6	13.82*	2.57	9.66*	6.43	62.57	0	0.25	48.03	0.04
Cruzas	24	726.51**	6023094**	215.5	22.83	8.77**	21.39	147.82**	322.63**	0.29**	0.37	443.45	0.27
ACG	4	1432.59	9389302.2	772.4	87.93	21.12**	104.6	754.24**	773.21**	1.22	1.18	1022.14	0.53
ACE	10	1114.14**	10143434**	158.23	15.41**	8.11*	6.01*	37.24**	250.39**	0.13	0.33**	419.10**	0.27**
EM	4	31.5	287271.98	73.42**	2.68	0.59	3.02	7.81	79.27	0.09	0.07	202.36*	0.27**
ER	6	73.06*	735602.58*	34.42	5.23	7.07*	3.79	21.18*	304.88**	0.1	0.1	258.96**	0.1
Error	48	28.2	261750.52	16.26	3.59	3.02	2.52	6.68	91.75	0.08	0.09	71.74	0.05
Total	74												
Medias		34.26	3348.01	100.53	64.1	66.9	19.5	19.54	214.91	3.27	7.03	102.07	2.47
CV (%)		15.5	15.28	4.01	2.96	2.6	8.14	13.23	4.46	8.58	4.15	8.3	9

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. NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas.

**Cuadro 3.** Promedios de doce caracteres de fruto en cinco progenitores F7 de chile manzano.

Prog	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
L1	6.10 <sup>c</sup>	717.59 <sup>b</sup>	116.69 <sup>a</sup>	61.43 <sup>b</sup>	67.80 <sup>a</sup>	22.08 <sup>a</sup>	28.65 <sup>a</sup>	214.00 <sup>ab</sup>	3.63 <sup>a</sup>	6.86 <sup>ab</sup>	97.77 <sup>ab</sup>	2.43 <sup>a</sup>
L3	28.15 <sup>ab</sup>	2866.31 <sup>a</sup>	101.72 <sup>bc</sup>	66.19 <sup>ab</sup>	66.60 <sup>a</sup>	16.19 <sup>b</sup>	14.23 <sup>b</sup>	220.33 <sup>a</sup>	2.90 <sup>b</sup>	6.54 <sup>b</sup>	83.53 <sup>b</sup>	2.01 <sup>a</sup>
LVLC1	16.39 <sup>bc</sup>	1782.57 <sup>ab</sup>	110.06 <sup>ab</sup>	69.78 <sup>a</sup>	65.27 <sup>a</sup>	20.88 <sup>a</sup>	12.04 <sup>b</sup>	226.67 <sup>a</sup>	3.37 <sup>ab</sup>	7.33 <sup>a</sup>	81.00 <sup>b</sup>	2.47 <sup>a</sup>
LVLC2	33.65 <sup>a</sup>	3086.18 <sup>a</sup>	91.50 <sup>c</sup>	61.33 <sup>b</sup>	65.10 <sup>a</sup>	15.50 <sup>b</sup>	13.66 <sup>b</sup>	195.67 <sup>b</sup>	3.90 <sup>a</sup>	7.12 <sup>ab</sup>	114.40 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>
L2014	3.01 <sup>c</sup>	310.64 <sup>b</sup>	101.79 <sup>bc</sup>	64.10 <sup>b</sup>	68.60 <sup>a</sup>	21.40 <sup>a</sup>	26.41 <sup>a</sup>	219.33 <sup>a</sup>	3.23 <sup>ab</sup>	6.99 <sup>ab</sup>	93.63 <sup>ab</sup>	2.22 <sup>a</sup>
DMS	13.84	1479.4	14.35	5.92	6.35	3.55	7.45	18.9	0.7	0.62	21.73	0.77

NTF: Número total de frutos (m<sup>2</sup>); PTF: Peso total de frutos (g·m<sup>2</sup>); PPF: Peso promedio de fruto (PTF/NTF); LF: Longitud de fruto (mm); DF: Diámetro del fruto (mm); PA: Profundidad de ápice (mm); DA: Diámetro de ápice (mm); VF: Volumen de fruto (ml); NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio (mm); NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas (g). DMS: Diferencia mínima significativa. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

En la evaluación entre cruzas (Cuadro 3), se encontraron diferencias significativas en casi todos los caracteres bajo estudio a excepción de la variable NL; la mayoría de los híbridos presentaron de tres a cuatro lóculos originando una forma rectangular a cuadrada y en menor medida trapezoidal. De manera general los híbridos obtenidos presentaron un alto potencial en cuanto a rendimiento de fruto, ya que la mayoría de los materiales fueron similares en dichos caracteres y a su vez superiores a sus respectivos progenitores. Adicionalmente los genotipos sobresalientes en NF y PTF fueron inferiores en PPF. De igual manera en un estudio realizado en 2016 se reportaron diferencias en las variables de rendimiento (NF, PTF y PPF) en ocho líneas de chile manzano y sus respectivas cruzas directas (Potrero, 2016).

En la variable NTF los híbridos sobresalientes fueron L3xL1, L3xLVLC<sub>2</sub> y LVLC<sub>2</sub>xL3 con 51.6, 51.9 y 53.3 respectivamente. Los valores inferiores fueron registrados en las cruzas L1xL2014 (12.0), L3xLVLC<sub>1</sub> (30.9), LVLC<sub>1</sub>xL1 (32.8), LVLC<sub>1</sub>xLVLC<sub>2</sub> (26.8), LVLC<sub>2</sub>xLVLC<sub>1</sub> (23.1), L2014xL1 (6.7) y L2014xLVLC<sub>1</sub> (34.3). Respecto a PTF el híbrido L2014xLVLC<sub>2</sub> tuvo el mayor rendimiento con 5031.8 g/m<sup>2</sup>, los menos productivos fueron L1x2014 (1403.1 g/m<sup>2</sup>), L3xLVLC<sub>1</sub> (3225.3 g/m<sup>2</sup>), LVLC<sub>1</sub>xL1 (3319.4 g/m<sup>2</sup>), LVLC<sub>1</sub>xLVLC<sub>2</sub> (2617.3 g/m<sup>2</sup>), LVLC<sub>2</sub>xLVLC<sub>1</sub> (2197.9 g/m<sup>2</sup>) y L2014xL1 (742.5 g/m<sup>2</sup>). El rendimiento tan alto de la craza L2014xLVLC<sub>2</sub> implica que en un periodo de cosecha de tres meses con siete cosechas se obtiene un rendimiento de 50.31 toneladas por hectárea. De acuerdo con Pérez y Castro (2012) en el cultivo de chile manzano en condiciones de invernadero existen al menos tres flujos de producción, cada uno en promedio de tres meses, y establecen un rendimiento de 80 a 100 toneladas por hectárea por año. Si se consideran los tres flujos de producción la craza sobresaliente L2014xLVLC<sub>2</sub> tendría un rendimiento potencial de 150.93 toneladas lo que representa un incremento de 50 %. No obstante, el rendimiento de la craza LVLC<sub>2</sub>xL2014 presenta un rendimiento de 127.8 toneladas por hectárea por año y aunque es un rendimiento alto supone efectos maternos ya que es mejor cuando el progenitor L2014 actúa como hembra.

Por otro lado, el híbrido LVLC<sub>2</sub>xL2014 se ubicó en valores intermedios de peso promedio fruto con 100.8 gramos, en contraste con el valor más alto encontrado en la craza L1xL2014 (115.7) y el más bajo (88.7) de la craza LVLC<sub>2</sub>xL3.

Considerando las características de calidad de fruto, los híbridos se comportaron de manera semejante a sus parentales. La longitud se ubicó en el rango de 60.2 mm (L1xL3) a 70.6 mm (LVLC<sub>1</sub>xL3), característica importante para el mercado actual del chile manzano tanto nacional

y de exportación. El diámetro fue de 63.4 mm (LVLC<sub>2</sub>xL2014) a 71.0 mm (L1xL2014) actualmente, se prefieren los frutos que sean ligeramente más largos respecto a su diámetro. En este caso se encuentra la cruce LVLC<sub>1</sub>xL3 con 70.6 mm de largo por 67.4 de diámetro y un índice de 1.04 en contraste la cruce L1xL2014 con 63.2 de longitud y 71.0 de diámetro un índice de 0.88. El volumen varió de 197.7 ml (LVLC<sub>2</sub>xL2014) a 238.0 ml (LVLC<sub>1</sub>xLVLC<sub>2</sub>). Del mismo modo, presentaron formas cuadrada, rectangular y trapezoidal y un grosor de pericarpio de hasta 7.8 mm (L3xLVLC<sub>1</sub>). Contrario a lo reportado por Martín y González (1991) los frutos con mayor número de semillas no fueron superiores en tamaño; así, en el híbrido L2014xLVLC<sub>2</sub> se contabilizaron 121.7 a diferencia del LVLC<sub>2</sub>xLVLC<sub>1</sub> con 84.3. El PS no mostró correspondencia con el NS debido a que en algunas cruces se obtuvo un número reducido de semillas de mayor tamaño y por consiguiente de mayor peso, mientras que otras presentaron semillas numerosas pero pequeñas. Otros de los parámetros de calidad establecidos en el programa de mejoramiento genético de Chile manzano son la PA y el DA, prefiriendo aquellos genotipos de poca profundidad y diámetro reducido; tal es el caso de la cruce VLC<sub>1</sub>xL3 con 16.2 y 9.1 mm, en contraste del híbrido L1xL2014 que tiene profundidad de ápice de 25.3 mm y un diámetro de ápice de 34.3 mm.

**Cuadro 4.** Medias de doce caracteres de rendimiento y calidad de fruto de 20 híbridos obtenidas de las cruzas de cinco líneas progenitoras a través del Método I de Griffing (1956) ( $\bar{X} P_i \times P_j$ ).

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	2	47.7 <sup>ab</sup>	4583.9 <sup>ab</sup>	96.1 <sup>e-h</sup>	60.2 <sup>e</sup>	67.6 <sup>a-d</sup>	19.7 <sup>b-e</sup>	26.6 <sup>a-d</sup>	202.3 <sup>c</sup>	3.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>cd</sup>	94.6 <sup>b-d</sup>	2.0 <sup>de</sup>
1	3	37.8 <sup>a-f</sup>	3924.9 <sup>a-c</sup>	104.1 <sup>b-e</sup>	65.7 <sup>a-e</sup>	68.6 <sup>a-c</sup>	21.1 <sup>a-d</sup>	21.0 <sup>d-f</sup>	220.0 <sup>a-c</sup>	3.0 <sup>a</sup>	7.3 <sup>a-d</sup>	95.4 <sup>a-d</sup>	2.6 <sup>a-d</sup>
1	4	42.7 <sup>a-e</sup>	4063.5 <sup>a-c</sup>	95.3 <sup>e-h</sup>	61.8 <sup>c-e</sup>	65.6 <sup>b-d</sup>	19.7 <sup>b-e</sup>	21.9 <sup>d-f</sup>	201.0 <sup>c</sup>	3.6 <sup>a</sup>	6.9 <sup>a-d</sup>	108.8 <sup>a-d</sup>	2.4 <sup>a-e</sup>
1	5	12.0 <sup>gh</sup>	1403.1 <sup>ef</sup>	115.7 <sup>a</sup>	63.2 <sup>b-e</sup>	71.0 <sup>a</sup>	25.3 <sup>a</sup>	34.3 <sup>a</sup>	224.3 <sup>a-c</sup>	3.6 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a-d</sup>	106.9 <sup>a-d</sup>	2.4 <sup>a-e</sup>
2	1	51.6 <sup>a</sup>	4669.1 <sup>ab</sup>	90.6 <sup>f-h</sup>	60.8 <sup>de</sup>	67.9 <sup>a-d</sup>	21.2 <sup>a-d</sup>	31.0 <sup>ab</sup>	210.7 <sup>a-c</sup>	3.0 <sup>a</sup>	6.4 <sup>d</sup>	121.6 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a-d</sup>
2	3	30.9 <sup>d<sup>ef</sup></sup>	3225.3 <sup>b-d</sup>	104.3 <sup>a-e</sup>	67.1 <sup>a-c</sup>	68.5 <sup>a-c</sup>	16.4 <sup>de</sup>	10.8 <sup>gh</sup>	221.3 <sup>a-c</sup>	3.0 <sup>a</sup>	7.8 <sup>a</sup>	95.5 <sup>a-d</sup>	2.3 <sup>b-e</sup>
2	4	51.9 <sup>a</sup>	4643.9 <sup>ab</sup>	89.4 <sup>g-h</sup>	65.1 <sup>a-e</sup>	66.4 <sup>b-d</sup>	15.6 <sup>e</sup>	12.5 <sup>gh</sup>	221.0 <sup>a-c</sup>	2.9 <sup>a</sup>	6.9 <sup>a-d</sup>	118.3 <sup>ab</sup>	2.9 <sup>ab</sup>
2	5	50.6 <sup>ab</sup>	4548.2 <sup>ab</sup>	90.2 <sup>f-h</sup>	63.5 <sup>b-e</sup>	64.5 <sup>cd</sup>	18.2 <sup>b-e</sup>	17.5 <sup>e-g</sup>	210.0 <sup>a-c</sup>	2.8 <sup>a</sup>	6.4 <sup>cd</sup>	93.4 <sup>b-d</sup>	1.8 <sup>e</sup>
3	1	32.8 <sup>c-f</sup>	3319.4 <sup>b-d</sup>	101.5 <sup>c-f</sup>	62.6 <sup>b-e</sup>	66.6 <sup>a-d</sup>	20.0 <sup>b-e</sup>	17.7 <sup>e-g</sup>	207.3 <sup>bc</sup>	3.6 <sup>a</sup>	7.2 <sup>a-d</sup>	99.5 <sup>b-d</sup>	2.8 <sup>ab</sup>
3	2	42.0 <sup>a-e</sup>	4300.8 <sup>ab</sup>	102.3 <sup>b-e</sup>	70.6 <sup>a</sup>	67.4 <sup>a-d</sup>	16.2 <sup>de</sup>	9.1 <sup>h</sup>	238.0 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	7.5 <sup>ab</sup>	101.9 <sup>a-d</sup>	2.5 <sup>a-d</sup>
3	4	26.8 <sup>e-g</sup>	2617.3 <sup>c-e</sup>	98.1 <sup>d-h</sup>	62.3 <sup>c-e</sup>	66.2 <sup>b-d</sup>	19.7 <sup>b-e</sup>	14.5 <sup>f-h</sup>	211.3 <sup>a-c</sup>	3.6 <sup>a</sup>	7.6 <sup>ab</sup>	88.3 <sup>cd</sup>	2.7 <sup>a-c</sup>
3	5	38.6 <sup>a-f</sup>	4244.2 <sup>ab</sup>	110.4 <sup>a-c</sup>	68.1 <sup>ab</sup>	68.8 <sup>a-c</sup>	23.0 <sup>ab</sup>	16.8 <sup>e-h</sup>	234.7 <sup>ab</sup>	3.5 <sup>a</sup>	7.1 <sup>a-d</sup>	111.9 <sup>a-c</sup>	3.1 <sup>a</sup>
4	1	49.4 <sup>a-c</sup>	4625.5 <sup>ab</sup>	93.6 <sup>e-h</sup>	61.2 <sup>de</sup>	67.6 <sup>a-d</sup>	17.6 <sup>c-e</sup>	20.4 <sup>d-f</sup>	212.0 <sup>a-c</sup>	3.4 <sup>a</sup>	7.3 <sup>a-c</sup>	118.8 <sup>ab</sup>	2.8 <sup>ab</sup>
4	2	53.3 <sup>a</sup>	4728.4 <sup>ab</sup>	88.7 <sup>h</sup>	65.5 <sup>a-e</sup>	65.8 <sup>b-d</sup>	15.7 <sup>e</sup>	12.0 <sup>gh</sup>	215.3 <sup>a-c</sup>	2.9 <sup>a</sup>	7.2 <sup>a-d</sup>	116.3 <sup>ab</sup>	2.8 <sup>ab</sup>
4	3	23.1 <sup>f-h</sup>	2197.9 <sup>d-f</sup>	95.2 <sup>e-h</sup>	61.8 <sup>c-e</sup>	65.5 <sup>b-d</sup>	17.4 <sup>c-e</sup>	12.1 <sup>gh</sup>	209.3 <sup>a-c</sup>	3.4 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a-c</sup>	84.3 <sup>d</sup>	2.3 <sup>b-e</sup>
4	5	45.7 <sup>a-d</sup>	4096.6 <sup>a-c</sup>	90.6 <sup>f-h</sup>	62.8 <sup>b-e</sup>	63.4 <sup>d</sup>	19.4 <sup>b-e</sup>	20.7 <sup>d-f</sup>	197.7 <sup>c</sup>	3.4 <sup>a</sup>	6.9 <sup>a-d</sup>	107.0 <sup>a-d</sup>	2.3 <sup>b-e</sup>
5	1	6.7 <sup>h</sup>	742.5 <sup>f</sup>	113.4 <sup>ab</sup>	63.2 <sup>b-e</sup>	69.5 <sup>a</sup>	23.2 <sup>ab</sup>	30.0 <sup>a-c</sup>	223.7 <sup>a-c</sup>	3.5 <sup>a</sup>	7.1 <sup>a-d</sup>	101.8 <sup>a-d</sup>	2.6 <sup>a-d</sup>
5	2	41.3 <sup>a-e</sup>	4260.6 <sup>ab</sup>	103.1 <sup>b-e</sup>	64.2 <sup>b-e</sup>	65.7 <sup>b-d</sup>	20.4 <sup>a-e</sup>	23.9 <sup>b-e</sup>	210.3 <sup>a-c</sup>	3.0 <sup>a</sup>	6.8 <sup>b-d</sup>	102.1 <sup>a-d</sup>	2.0 <sup>b-e</sup>
5	3	34.3 <sup>b-f</sup>	3710.0 <sup>a-c</sup>	108.3 <sup>a-d</sup>	66.1 <sup>a-d</sup>	66.2 <sup>b-d</sup>	22.0 <sup>a-c</sup>	18.5 <sup>e-g</sup>	212.3 <sup>a-c</sup>	3.3 <sup>a</sup>	6.9 <sup>a-d</sup>	93.2 <sup>b-d</sup>	2.6 <sup>a-d</sup>
5	4	49.9 <sup>ab</sup>	5031.8 <sup>a</sup>	100.8 <sup>c-g</sup>	63.8 <sup>b-e</sup>	66.4 <sup>a-d</sup>	19.7 <sup>b-e</sup>	22.3 <sup>c-f</sup>	214.0 <sup>a-c</sup>	3.2 <sup>a</sup>	6.8 <sup>b-d</sup>	121.7 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a-d</sup>
DMS		16.64	1511.7	11.53	5.68	4.58	5.14	7.9	30.62	0.8	0.91	26.58	0.66

NTF: Número total de frutos (m<sup>2</sup>); PTF: Peso total de frutos (g·m<sup>2</sup>); PPF: Peso promedio de fruto (PTF/NTF); LF: Longitud de fruto (mm); DF: Diámetro del fruto (mm); PA: Profundidad de ápice (mm); DA: Diámetro de ápice (mm); VF: Volumen de fruto (ml); NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio (mm); NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas (g). DMS: Diferencia mínima significativa. 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

### 3.3.3 Análisis de progenitores

En el análisis de ACG (Cuadro 4), la L3 y la LVLC<sub>2</sub> presentaron valores positivos en contraste con el resto de los progenitores; la L2014 fue la única diferente con -1.72 en el carácter NTF. Con lo que respecta al PTF la L3 (675.75) y la LVLC<sub>2</sub> (524.27) fueron sobresalientes, mientras que en PPF la L1 y VLC<sub>1</sub> fueron las más destacadas. Por lo tanto, considerando los efectos de la ACG las L3 y LVLC<sub>2</sub> fueron superiores dada su posible capacidad de formación de híbridos de alto rendimiento.

La L3 y LVLC<sub>1</sub> resultaron positivas con 0.7 y 1.98 en LF, pero negativas en DF con -0.11; es decir, en promedio combinaron bien en las cruzas realizadas para LF. Contrario a esto la L1 (0.64) y la L2014 (0.30) fueron positivas en DF. No se encontró diferencia en cuanto a PA, pero si en el DA donde la L1 tuvo el valor más elevado (5.84) de ACG; el progenitor LVLC<sub>1</sub> se distinguió al presentar una ACG de -4.51, por lo que podría conferir a su progenie la característica de ápice cerrado. Para VF la LVLC<sub>1</sub> (4.06) y la L3 (1.49) sobrepasaron a los demás parentales mientras que la LVLC<sub>2</sub> fue negativa y diferente (-5.54) en ACG. Los progenitores LVLC<sub>2</sub> (0.15) y L1 (0.11) fueron la de mayor ACG para NL. La cruce de LVLC<sub>1</sub> sobresalió con 0.21 de ACG. De igual manera para NS y PS, la LVLC<sub>2</sub> sobresalió con 4.90 y 0.08 con valores altos de ACG. Existieron progenitores con alta ACG para máximo seis variables de rendimiento y calidad de fruto de las doce evaluadas, esto se debe principalmente a la divergencia genética de los materiales utilizados (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Al respecto, Pérez *et al.* (2009) menciona efectos de ACG positivos para rendimiento y calidad de fruto en variedades de chile manzano, considerando caracteres como peso y número de frutos por planta, volumen, número de lóculos, grosor del pericarpio, número y peso de semillas. Del mismo modo Potrero (2016) reportó valores de ACG altos en la L3 para número y peso de fruto por planta, y establece que la línea L3 es de alto valor para el programa de mejoramiento.

En el estudio de los EM de los progenitores (Cuadro 5), solo se encontraron diferencias en las variables PTF, VF y NS y solo en dos genotipos. La línea LVLC<sub>1</sub> presentó efectos maternos en las tres variables mencionadas y la L1 en PTF, lo cual significa que, cuando intervienen como hembra, los genes extranucleares contribuyen sobre dichos caracteres.

**Cuadro 5.** Aptitud combinatoria general (ACG) de doce caracteres de fruto en cinco progenitores de chile manzano.

Prog	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
L1	-1.44 <sup>ab</sup>	-484.10 <sup>abc</sup>	3.61 <sup>a</sup>	-1.57 <sup>bc</sup>	0.64 <sup>a</sup>	1.56 <sup>a</sup>	5.84 <sup>a</sup>	-1.21 <sup>abc</sup>	0.11 <sup>a</sup>	-0.07 <sup>ab</sup>	1.34 <sup>a</sup>	0.01 <sup>ab</sup>
L3	2.09 <sup>a</sup>	675.75 <sup>a</sup>	-2.55 <sup>b</sup>	0.70 <sup>a</sup>	-0.11 <sup>b</sup>	-1.76 <sup>a</sup>	-2.27 <sup>b</sup>	1.49 <sup>a</sup>	-0.30 <sup>bc</sup>	-0.13 <sup>b</sup>	-1.23 <sup>ab</sup>	-0.10 <sup>ab</sup>
LVLC1	-0.92 <sup>ab</sup>	-167.60 <sup>ab</sup>	2.96 <sup>a</sup>	1.98 <sup>a</sup>	-0.11 <sup>b</sup>	0.34 <sup>a</sup>	-4.51 <sup>bc</sup>	4.06 <sup>a</sup>	0.02 <sup>ab</sup>	0.21 <sup>a</sup>	-5.20 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>a</sup>
LVLC2	1.99 <sup>a</sup>	524.27 <sup>a</sup>	-5.64 <sup>c</sup>	-1.21 <sup>bc</sup>	-0.72 <sup>b</sup>	-1.81 <sup>a</sup>	-2.92 <sup>bc</sup>	-5.54 <sup>c</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	4.90 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>
L2014	-1.72 <sup>b</sup>	-548.31 <sup>bc</sup>	1.62 <sup>ab</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.30 <sup>a</sup>	1.68 <sup>a</sup>	3.86 <sup>a</sup>	1.20 <sup>ab</sup>	0.01 <sup>bc</sup>	-0.08 <sup>b</sup>	0.19 <sup>ab</sup>	-0.04 <sup>bc</sup>

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas.

**Cuadro 6.** Efectos maternos (EM) de doce caracteres en cinco progenitores de chile manzano.

Prog	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
L1	-0.03 <sup>a</sup>	61.88 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	-0.60 <sup>ab</sup>	-0.03 <sup>a</sup>	-0.02 <sup>a</sup>	-3.59 <sup>b</sup>	-0.08 <sup>a</sup>
L3	0.07 <sup>a</sup>	-78.72 <sup>bc</sup>	-0.83 <sup>ab</sup>	-0.38 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	-0.06 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	-0.30 <sup>a</sup>	-0.01 <sup>a</sup>	-0.07 <sup>a</sup>	1.39 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>
LVLC1	1.43 <sup>a</sup>	142.37 <sup>a</sup>	0.03 <sup>ab</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	-0.43 <sup>a</sup>	2.83 <sup>a</sup>	0.10 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	3.32 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>
LVLC2	0.00 <sup>a</sup>	-70.81 <sup>bc</sup>	-0.82 <sup>ab</sup>	-0.18 <sup>a</sup>	-0.24 <sup>a</sup>	-0.46 <sup>a</sup>	-0.59 <sup>a</sup>	-1.30 <sup>c</sup>	-0.02 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	-1.07 <sup>ab</sup>	-0.02 <sup>a</sup>
L2014	-1.47 <sup>a</sup>	-54.72 <sup>b</sup>	0.99 <sup>a</sup>	-0.03 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	-0.05 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	-0.63 <sup>ab</sup>	-0.03 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	-0.04 <sup>ab</sup>	0.01 <sup>a</sup>

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas.

En la mayoría de los estudios genéticos se ha resaltado la importancia de los efectos de la ACG y la ACE, sin considerar los factores maternos. Sin embargo, se ha reportado que en la herencia de ciertos caracteres los EM son elementos relevantes y consistentes que pueden tener implicaciones en el fitomejoramiento (Hansen y Bagget, 1977). Por ejemplo, Do Rêgo *et al.* (2009) reportaron efectos maternos significativos en todos los caracteres de calidad de fruto evaluados en *C. baccatum*. Resultados similares fueron descritos para la herencia de capsaicinoides (capsaicina y dihidroapsaicina) (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010) y de clorofila (Amador *et al.*, 2007) en frutos de chile manzano, específicamente en las variedades Huatusco, Puebla, Perú, Tacámbaro y Zongolica.

Respecto a la heterosis varietal (HV) (Cuadro 6) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, a excepción de la L2014, la cual se mostró superior en PPF con un valor de 7.26. Esto puede ser atribuido a que dicho material suele presentar frutos de gran tamaño en comparación con el resto de los progenitores en estudio. Por otro lado, la heterosis media ( $\bar{h}$ ) tuvo significancia en NTF y PTF con 21.00 y 1994.19 respectivamente. Esto contrasta con otro estudio para chile manzano en las mismas variables, donde se reporta la existencia de heterosis varietal pero no de heterosis media (Pérez *et al.*, 2009).

**Cuadro 7.** Heterosis varietal (HV) y heterosis media ( $\bar{h}$ ) de doce caracteres en cinco progenitores de chile manzano.

Prog	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
L1	1.20	77.06	-3.90	-0.63	0.89	0.42	2.77	-2.29	0.03	-0.07	0.64	-0.02
L3	4.93	274.10	-4.02	0.05	-0.28	-0.69	0.02	-0.84	-0.15	0.08	7.11	-0.02
LVLC1	-6.35	-420.78	1.72	-0.53	1.06	-0.94	-2.67	0.21	0.09	0.22	-3.89	0.08
LVLC2	-2.24	-328.42	-1.06	0.38	-0.67	-0.12	-0.82	3.60	-0.15	0.02	-4.99	-0.03
L2014	2.47	398.05	7.26*	0.73	-1.00	1.33	0.71	-0.68	0.18	-0.23	1.13	0.00
$\bar{h}$	21.00**	1994.19**	-4.77	-0.58	0.29	0.36	0.69	-0.37	-0.17	0.07	10.01	0.13

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$

### 3.3.4 Análisis de cruzas

Hoegenmeyer y Hallauer (1976) señalaron que en un programa de fitomejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la aptitud combinatoria específica es más importante que la general, ya que representa los efectos no aditivos de los genes como son la dominancia y la epistasia. Los híbridos evaluados de chile manzano que tuvieron significancia positiva en la ACE (Cuadro 7) en NTF fueron L1xL3, L1xLVLC<sub>2</sub>, L3xLVLC<sub>2</sub>, L3xL2014 y VLC<sub>2</sub>xL2014; para PTF las cruzas sobresalientes fueron L1xL3, L1xLVLC<sub>1</sub>, L1xLVLC<sub>2</sub>, L3xL2014, LVLC<sub>1</sub>xL2014 y LVLC<sub>2</sub>xL2014; cuatro de las cinco cruzas o híbridos fueron de significancia positiva en rendimiento de fruto (NTF y PTF). Para variables de calidad de fruto, en la mayoría de los híbridos no se encontraron diferencias significativas en ACE, excepto para la crusa L1xL2014 en PPF. Adicionalmente en DA la crusa L1xL3 presentó un valor significativo positivo. En este estudio se observa significancia estadística de ACE para rendimiento, pero no para calidad de fruto, lo que concuerda con los resultados presentados en el Cuadro (6) donde existió significancia de la heterosis media de los progenitores solo para rendimiento y no para calidad de fruto.

Esto difiere de lo reportado por Pérez *et al.* (2009) que encontraron efectos de ACE en rendimiento (número y peso total de frutos por planta) y calidad de fruto (grosor de pericarpio, número de lóculos, número y peso de semillas). Del mismo modo Potrero (2015) reportó efectos de ACE para las variables de rendimiento (PTF, NF) y calidad (PPF, NL, GP) en híbridos de chile manzano. Estos resultados pueden deberse a que los progenitores utilizados en los dialélicos no presentaban características de calidad sobresalientes.

Los efectos recíprocos (ER) (Cuadro 8) no fueron significativos ni en rendimiento ni en calidad de fruto. El término efecto recíproco (ER) es utilizado en aquellos casos en los que combinaciones particulares de progenitores (p) no se comportan de igual forma al hacer la crusa en forma directa ( $p_i \times p_j$ ) que en forma recíproca ( $p_j \times p_i$ ) (Montesinos *et al.*, 2009).

El análisis de heterosis respecto al mejor progenitor (Apéndice 1) fue expresado de forma porcentual (Cuadro 9); las cruzas que se mostraron significativas y positivas en rendimiento de fruto (NTF y PTF) fueron 15 de las 20 evaluadas. Los mayores valores se alcanzaron en el híbrido L1xLVLC<sub>1</sub> con 131 % y 120 % para NTF y PTF. Para calidad de fruto no se encontró heterosis positiva respecto al mejor progenitor, excepto en el híbrido L1xL2014 en la variable

PPF y en el híbrido L1xL3 para DA. La heterosis positiva y significativa en DA es una característica no deseable en el comercio de los frutos de chile manzano ya que a mayor diámetro de ápice los frutos son menos apreciados para el consumidor y también tiene susceptibilidad a la incidencia del Trips (*Frankliniella occidentalis*).

Los resultados concuerdan con Pérez *et al.* (2009) quienes reportaron heterosis positiva respecto al mejor progenitor en caracteres de rendimiento y calidad tales como: peso y volumen de frutos, número y peso de semillas y número de lóculos. Las variables grosor de pericarpio, y número de frutos fueron negativas.

**Cuadro 8.** Aptitud combinatoria específica (ACE) para doce caracteres de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano ( $ACE_{ij} = ACE_{ji}$ ).

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	1	-24.21 **	-1591.4 *	7.49 *	0.31	-0.19	-0.24	-1.88	0.77	0.03	-0.02	-5.18	-0.04
1	2	14.43 *	1063.22 *	-7.53 *	-2.18	0.22	0.69	4.81 *	-5.85	-0.03	-0.29	5.05	-0.11
1	3	3.33	905.69 *	-3.93	-0.28	0.13	-0.51	-1.26	-2.75	-0.04	0.03	-0.64	0.11
1	4	11.01 *	935.48 *	-3.7	0.16	-0.15	-0.39	-1.09	-1.12	-0.02	0.07	4.71	0.02
1	5	-21.26 *	-1215.73 *	8.01 *	0.41	1.59	0.94	2.45	6.13	0.07	0.1	0.65	0.07
2	2	-9.86 *	-1755.09 *	5.27	0.45	-0.04	0.1	-0.57	1.24	0.06	-0.14	-11.93	-0.2
2	3	1.02	-91.06	2.13	1.66	0.83	-1.09	-2.41	6.2	-0.04	0.42	2.59	-0.01
2	4	13.95 *	135.11	-3	1.37	0.02	-0.18	-1.77	4.92	-0.08	0.06	9.88	0.31
2	5	11.07 *	908.78 *	-2.7	-0.84	-1.32	-0.07	-0.4	-5	-0.03	-0.16	-2.82	-0.35
3	3	-15.36 *	-1177.82 *	3.02	1.14	-0.71	0.32	1.1	1.85	0.01	-0.07	-7.93	-0.07
3	4	-10.17 *	-1268.86 *	-1.12	-2.25	-0.15	0.33	1.01	-2.08	0.03	0.13	-13.2	-0.09
3	5	4.72	1315.72 *	3.84	0.75	0.28	0.62	-1.02	2.25	0.05	-0.1	4.7	0.3
4	4	-4.39	-1254.55 *	1.89	-0.24	-0.19	-0.17	-0.04	-4.14	0.09	-0.02	1.88	0.05
4	5	12.98 *	1213.23 *	-0.71	0.28	-1.06	0.1	0.86	-3.19	-0.04	-0.15	6.14	-0.01
5	5	-26.65 **	-1858.06 *	-1.66	-0.13	0.56	-0.65	-0.62	1.03	-0.02	0.07	-6.55	-0.12

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014; \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$ .

**Cuadro 9.** Efectos recíprocos (ER) para doce caracteres de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano ( $ER_{ij} = ER_{ji}$ ).

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2	-0.50	-55.27	0.24	-0.08	-0.04	-0.10	-0.95	-1.50	0.00	0.00	-3.71	-0.03
1	3	1.05	115.62	0.12	0.12	0.21	0.03	0.27	3.78	-0.01	0.00	2.12	0.01
1	4	-0.87	-124.83	-0.12	-0.01	-0.30	0.02	-0.12	-2.40	0.00	0.00	-1.08	-0.03
1	5	0.33	64.48	0.28	-0.03	0.14	0.05	0.80	0.12	0.00	0.00	2.66	0.00
2	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3	-1.12	-95.54	0.35	-0.08	0.11	0.03	0.15	-2.01	0.01	0.00	-0.56	-0.01
2	4	-0.19	-10.36	0.07	0.00	-0.01	-0.04	-0.13	0.71	0.00	0.00	-0.63	0.00
2	5	0.82	50.63	-0.86	0.00	-0.15	-0.09	-0.97	-0.19	0.00	0.00	-2.51	-0.02
3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4	0.11	-1.04	0.11	-0.02	0.03	0.04	0.38	-1.21	0.00	0.00	-1.05	0.01
3	5	-0.19	21.12	0.38	0.05	0.29	0.02	0.04	2.98	0.00	0.00	2.61	0.03
4	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	5	-0.96	-136.23	-0.61	-0.03	-0.28	0.02	0.13	-2.90	0.00	0.00	-2.76	-0.02
5	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014; \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$ .

**Cuadro 10.** Heterosis porcentual (%) respecto al mejor progenitor de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano.

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	2	69 **	60 **	-18 **	-9 **	0 **	-11 **	-7 **	-8 *	-17 **	-5	-3 **	-18
1	3	131 **	120 **	-11	-6 *	1 **	-4	-27	-3	-17	-1 **	-2	4
1	4	27 *	32 *	-18 **	1	-3 **	-11 **	-24 *	-6	-9	-3	-5	-12
1	5	97	96 *	-1 **	-1	3	15 **	20 **	2	-1	0	9	1
2	1	83 **	63 **	-22 **	-8 **	0 **	-4	8	-4	-18 **	-7	24	4 **
2	3	10	13	-5	-4	3	-21 **	-24	-2	-12	6	14	-8
2	4	54 **	50 **	-12 **	-2	0	-4	-12	0	-25 **	-4	3	7
2	5	80 **	59 **	-11 **	-4	-6 **	-15 *	-34 **	-5	-12	-8 *	0	-18 *
3	1	100 **	86 **	-13	-10 **	-2 **	-9	-38 **	-9 *	0	-2	2	11
3	2	49 **	50 **	-7 *	1	1	-22 **	-36 *	5	-16 *	3	22 *	3
3	4	-20	-15	-11 **	-11 **	2	-6	6	-7	-7	3	-23 **	-1
3	5	136 **	138 **	0	-2	0	7	-36 **	4	5	-3	20 *	25 **
4	1	47 **	50 **	-20 **	0	0 **	-20 **	-29	-1	-13 *	3	4 *	4
4	2	58 **	53 **	-13 **	-1	-1	-3	-16	-2	-26 **	1	2	3
4	3	-31 *	-29 *	-14 **	-11 **	0	-17 *	-11	-8	-13 *	1	-26 **	-14 *
4	5	36 **	33 *	-11 **	-2	-8 **	-9	-21 **	-10 **	-12 *	-4	-6	-13
5	1	10	3	-3	-1	1	5	5	2	-3	1	4	7 *
5	2	47 **	49 **	1	-3	-4 *	-5	-10	-5	-7	-3	9	-9
5	3	109 **	108 **	-2	-5 *	-4	3	-30 **	-6	-2	-5	0	4
5	4	48 **	63 **	-1	0	-3	-8	-16	-2	-17 **	-5	6	-1

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$ . 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014.

Se calculó la heterosis específica (HE) porcentual (Cuadro 10) a partir de los valores del Apéndice 2. Las cruzas que se mostraron significativas y positivas en NTF fueron nueve y para PTF seis de las 20 evaluadas. Los valores mayores de dichos caracteres se alcanzaron en el híbrido LVLC<sub>1</sub>xL2014 con 41 % y 38 %, respectivamente. En la variable PPF la craza L1xL2014 y su recíproca tuvieron valores positivos. En LF la craza LVLC<sub>1</sub>xL3 y la LVLC<sub>2</sub>xL3 presentaron significancia, mientras que en DF la L1xL2014 fue la única estadísticamente diferente. Los híbridos L3xL1 y LVLC<sub>1</sub>xLVLC<sub>2</sub> mostraron la heterosis específica más elevada. Los genotipos superiores en VF corresponden con L1xL2014, L3xLVLC<sub>2</sub>, LVLC<sub>1</sub>xL3, LVLC<sub>1</sub>xL2014 y L2014xL1. En el GP se destacaron las cruzas L3xLVLC<sub>1</sub>, L1xL2014 y su recíproca. En lo que respecta a NS y PS los genotipos L3xL1 y LVLC<sub>1</sub>xL2014 presentaron significancia positiva para dichos caracteres.

En heterosis específica para rendimiento de fruto se encontraron híbridos con significancia positiva en PTF (seis) y NTF (nueve). En tanto que, para variables de calidad de fruto, excepto para VF, se identificaron solo de uno a máximo cuatro híbridos con significancia positiva. De forma similar se ha reportado heterosis específica significativa en peso, número y longitud de frutos, así como en número de semillas para variedades nativas de *C. annuum* (Hasanuzzaman *et al.*, 2013).

**Cuadro 11.** Heterosis específica porcentual (%) de los híbridos formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano.

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	2	11	16	-3	-68 *	-109	84	33	-76 *	26	-142	-350 **	-138 **
1	3	40 **	38 **	-25	2280	-6	-58	-14	633	-89 *	-36	-12	-77
1	4	13	19	10	293	-160	25	-251	-125	44	-118	-106	-137 *
1	5	-229 **	-178 **	122 *	226	93 **	41	39 *	143 *	77	589 *	-5	13
2	1	21 **	18 *	-32	-61 *	-30	96 *	64 **	-46	2	-123 *	43 **	71 *
2	3	-127 **	-105 **	344 *	25	58	-40	-17	-54	40	56 **	0	-340
2	4	-13	-16	37	111	226	95	-91	82 *	2	-557	37	85 **
2	5	19 *	10	-87 **	-112 *	-68 *	-264 *	-149 **	-81	-40	-73	-282 **	-137 **
3	1	27 *	20	-41 *	-41	-2757 *	-89	-130 *	-81 *	142	-237	33	39
3	2	1	7	-95	141 **	26	-44	-52	107 **	-22	39	33	35
3	4	-602 **	-581 **	-53	-78 *	37	147 **	267 **	-1967	-5	7	-112 *	-114
3	5	41 **	38 **	6	131	82	59	-47	107 *	57	-308	71 **	72 **
4	1	32 **	36 **	-7	-471	56	-154 *	-473 *	87	-21	95 *	56	68
4	2	-6	-11	24	109 *	1903	152	-94	67	7	58	30	80 **
4	3	-743 **	-626 **	-27	-81 **	-147	-8	275	-288	2	-100	-108 **	-163 **
4	5	22 *	14	-124 **	-337	-60 *	-70	19	-126 *	1	20	-106	-181
5	1	-1048 **	-981 **	134 *	225	86	-47	-70	148	61	284 *	-93	62
5	2	-10	0	215	-121	-48	38	60	-80	108	448	-35	-217
5	3	30 **	26 **	-80	-56	-146	17	87	-92 *	-1	-123	-22	12
5	4	33 **	38 **	66	53	211	-29	74	61	-60	-48	65 *	50

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014; \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$

Tomando en consideración los resultados anteriormente descritos, los híbridos L2014xLVLC<sub>2</sub> y LVLC<sub>2</sub>xL1 se proponen como genotipos de alto rendimiento y calidad de fruto, ya que tuvieron los valores promedio más altos (Cuadro 3), efectos significativos en aptitud combinatoria específica (Cuadro 7), heterosis respecto al mejor progenitor (Cuadro 9) y heterosis específica (Cuadro 10). Ambos híbridos poseen frutos grandes con volumen promedio de 213 ml, ligeramente alargados (62.5 mm), de pericarpio grueso (7.05 mm) y de tres a cuatro lóculos. Adicionalmente presentaron ápices poco pronunciados (21.35 mm) y de una profundidad aceptable (18.65 mm) por lo que cumplen con los estándares comerciales establecidos (Espinosa-Torres *et al.*, 2010). Así mismo, se sugieren como posibles candidatos para su registro ante el SNICS.

Debido a que los progenitores empleados en el presente estudio mostraron bajos efectos de aptitud combinatoria general y heterosis varietal y, por el contrario, sus cruzas fueron destacadas en aptitud combinatoria específica y heterosis, se asume que el método de mejoramiento genético más adecuado para las líneas evaluadas es el de hibridación. Sin embargo, debe considerarse que la elección del método de mejoramiento puede variar dependiendo de los caracteres que se pretendan mejorar; por ejemplo, en un estudio de efectos heteróticos y aptitud combinatoria Pech-May *et al.* (2010) reportaron que en *C. annuum* los caracteres de rendimiento (número y peso de frutos) pueden ser mejorados de forma eficiente mediante hibridación, mientras que otras variables como precocidad, longitud y diámetro de fruto y altura de planta requieren la aplicación de métodos de endocría y selección.

### 3.4 CONCLUSIONES

Las estimaciones de aptitud combinatoria específica, aptitud combinatoria general y heterosis permitieron identificar genotipos sobresalientes en el programa de mejoramiento genético de chile manzano para producción intensiva.

Las cruzas L2014xLVLC<sub>2</sub> y LVLC<sub>2</sub>xL1 pueden ser utilizadas como híbridos comerciales dadas sus características superiores de rendimiento y calidad de fruto.

Se encontraron efectos maternos en las líneas L1 y LVLC<sub>1</sub> en los caracteres peso total de fruto, volumen de fruto y número de semillas.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Amador, R. M. D., Zegbe, D. J. A., Reveles, T. L. R., Mena, C. J. y Serna, P. A. (2007). Memorias XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Zacatecas, México: INIFAP. 236 p.
- Espinosa-Torres, L. E., Pérez, G. M., Martínez, D. M. T., Castro, B. R., y Barrios, P. G. (2010). Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(2), 115–121. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.16.014
- Facundo, A. P. 2014. *Rendimiento y calidad de fruto de ocho líneas de chile Manzano (Capsicum pubescens R & P)*. Tesis de licenciatura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo 33 p.
- Falconer, D. S. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. (4ª Edición). London, UK: Longman. 480 p.
- 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. [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=650949](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=650949)
- Gardner, C. O., and Eberhart, S. A. (1966). Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, 22(3), 439-452. doi: 10.2307/2528181
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to Diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9(4), 463–493. doi: 10.1071/B19560463
- Gutiérrez, R., Espinoza, A. E. B., Palomo, A. G., Lozano, J. G., y Autuna, O. G. (2004). Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27, 7-11. <https://www.redalyc.org/html/610/61009902/>
- Hasanuzzaman, M., Hakim, M. A., Hanafi, M. M., Shukor-Juraimi, A., Islam, M. M., y Shamsuddin, A. K. M. (2013). Study of heterosis in Bangladeshi chilli (*Capsicum annuum* L.) landraces. *Agrociencia*, 47(7), 683-690. <http://www.redalyc.org/pdf/302/30228899005.pdf>
- Hoegenmeyer, T. C., Hallauer, A. R. (1976). Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Science*, 16, 76-80. doi: 10.2135/cropci1976.0011183X001600010019x
- Kang, M. S., Din, A. K., Zhang, Y., and Magari, R. (1999). Combining Ability for Rind Puncture Resistance in Maize. *Crop Science*, 39(2), 368-371. doi:10.2135/cropsci1999.0011183x0039000200011x
- Márquez., S. F. (1988). *Genotecnia vegetal*. Tomo II. Editor AGT. México. 563 p.

- Martín, N. C., y González, W. G. (1991). Caracterización de accesiones de chile (*Capsicum* spp). *Agronomía mesoamericana*, 2(1), 31-39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5532960>
- Martínez, Z. G., J.R.A. Dorantes G. J. R., Ramírez, M. A., de la Rosa L. A., Pozo, C. O. (2005b). Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(4): 327-332.
- Martínez, G. A. (1983). *Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas*. Colegio de Posgraduados, México. 251 p. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UACHBC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=068835>
- Mastache, L. A. A., Martínez, G. A. (2003). Un algoritmo para el análisis, estimación y predicción en experimentos dialélicos balanceados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(3), 191-200. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-3/9a.pdf>
- Montesinos, L. O. A., Mastache, L. A. A., Luna, E. I., Hernández, S. C. M., y Hernández, L. G. (2009). Mejor predictor lineal e insesgado familiar de aptitud combinatoria general en experimentos parciales de cruzas dialélicas con efectos maternos. *Agricultura Técnica en México*, 35(3), 245-256. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n3/v35n3a1.pdf>
- Murray, L.W., Ray, I. M., Segovia, L. A. (2003). Clarification and reevaluation of population-based diallel analysis: Gardner and Ebrhart analysis II and II revisited. *Crop Sci.* 43:1930-1937. doi: 10.2135/cropsci2003.1930
- Pech-May, A. M., Castañón-Nájera, G., Tun-Suárez, J. M., Mendoza-Elos, M., Mijangos-Cortés, J. O., Pérez-Gutiérrez, A., y Latournerie-Moreno, L. (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annum* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 33(4), 353-360. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802010000400013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400013)
- Peña, L. A., Molina, G. J. D., Cervantes, S. T., Márquez, S. F., Sahagún, C. J., y Ortiz, C. J. (1998). Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 4(1), 31-37. doi:10.5154/r.rchsh.1997.12.093
- Pérez, G. M. (2002). *Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en chile manzano (Capsicum pubescens R. y P.)*. (Tesis de Doctorado). Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, México. 106 p.
- Pérez, G. M., González-Hernández, V. A., Peña, L. A., and Sahagún, C. J. (2009). Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. *Revista chapingo serie horticultura*, 15(1), 103-109. doi: 10.5154/r.rchsh.2009.15.014
- Pérez, G. M., Márquez, S. F., y Peña, L. A. (1998). *Mejoramiento Genético de Hortalizas*. Ciudad de México, México: Mundi Prensa. 380 p.

- Potrero, A. S. M. (2016). *Caracterización morfológica, poscosecha, aptitud combinatoria y heterosis en híbridos de chile manzano (Capsicum pubescens Ruiz y Pavón)*. (Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 204 p.
- Sánchez-Sánchez, H., González-Hernández, V. A., Cruz, P. A., Pérez, G. M., Gutierrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., y Gómez-Lim, M. A. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia [online]*, 44(6), 655-665. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5568745>
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2015). Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales. Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 93 p.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399525/GacetaDOV\\_3erTrim18\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399525/GacetaDOV_3erTrim18_.pdf)
- Singh, R. K., Chaudary, B. D. (1985). *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kalyani Publishers. New Delhi, India. 319 p.  
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19801689021>
- Singh, A., Singh, H. N., Mital. R. K. (1973). Heterosis in chilies. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 33(3): 398-400.  
<http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijgpb&volume=51&issue=4&article=009>
- Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15(2), 134-154. doi: 10.1007/BF01347224.
- Weiss, E. A. (2002). *Spice Crops*. Wallingford, UK: CABI Publishing. 411 p. doi: 10.1079/9780851996059.0000

### 3.6 APÉNDICES

**Apéndice 1.** Heterosis respecto al mejor progenitor ( $H_{mp}$ ) de los híbridos intervarietales formados por las cruza dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano.

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	2	19.5 **	1717.6 **	-20.6 **	-6.0 **	-0.2 **	-2.4 **	-2.0 **	-18.0 *	-0.6 **	-0.3	-3.2 **	-0.5
1	3	21.4 **	2142.3 **	-12.6	-4.1 *	0.8 **	-1.0	-7.6	-6.7	-0.6 **	-0.1	-2.3	0.1
1	4	9.1 *	977.3 *	-21.4 **	0.4	-2.2 **	-2.4 **	-6.7 *	-13.0	-0.3	-0.2	-5.6	-0.3
1	5	5.9	685.5 *	-1.0 **	-1.0	2.4	3.2 **	5.7 **	5.0	0.0	0.0	9.2	0.0
2	1	23.5 **	1802.8 **	-26.1 **	-5.4 **	0.1 **	-0.9	2.3	-9.7	-0.7 **	-0.5	23.8	0.1 **
2	3	2.7	359.0	-5.8	-2.6	1.9	-4.5 **	-3.5	-5.3	-0.4	0.4	11.9	-0.2
2	4	18.3 **	1557.7 **	-12.3 **	-1.1	-0.2	-0.6	-1.7	0.7	-1.0 **	-0.3	3.9	0.2
2	5	22.4 **	1681.8 **	-11.6 **	-2.7	-4.1 **	-3.2 *	-9.0 **	-10.3	-0.4	-0.5 *	-0.3	-0.4 *
3	1	16.4 **	1536.9 **	-15.2	-7.2 **	-1.2 **	-2.0	-10.9 **	-19.3 *	0.0	-0.2	1.7	0.3
3	2	13.9 **	1434.5 **	-7.8 *	0.8	0.8	-4.6 **	-5.2 *	11.3	-0.5 *	0.2	18.4 *	0.1
3	4	-6.9	-468.9	-12.0 **	-7.5 **	1.0	-1.2	0.9	-15.3	-0.3	0.2	-26.1 **	0.0
3	5	22.2 **	2461.6 **	0.3	-1.6	0.2	1.6	-9.6 *	8.0	0.2	-0.2	18.3 *	0.6 **
4	1	15.7 **	1539.3 **	-23.1 **	-0.2	-0.2 **	-4.5 **	-8.2	-2.0	-0.5 *	0.2	4.4	0.1
4	2	19.6 **	1642.2 **	-13.0 **	-0.7	-0.8	-0.5	-2.2	-5.0	-1.0 **	0.1	1.9	0.1
4	3	-10.6 *	-888.3 *	-14.9 **	-8.0 **	0.2	-3.5 *	-1.6	-17.3	-0.5 *	0.0	-30.1 **	-0.4 *
4	5	12.0 **	1010.4 *	-11.2 **	-1.3	-5.2 **	-2.0	-5.7 **	-21.7 **	-0.5 *	-0.3	-7.4	-0.3
5	1	0.6	24.9	-3.3	-1.0	0.9	1.1	1.3	4.3	-0.1	0.1	4.0	0.2 *
5	2	13.2 **	1394.3 **	1.3	-2.0	-2.9 *	-1.0	-2.6	-10.0	-0.2	-0.2	8.4	-0.2
5	3	17.9 **	1927.4 **	-1.8	-3.7 *	-2.4	0.6	-7.9 **	-14.3	-0.1	-0.4	-0.4	0.1
5	4	16.3 **	1945.6 **	-1	-0.3	-2.2	-1.7	-4.1	-5.3	-0.7 *	-0.4	7.3	0

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$ . 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014.

**Apéndice 2.** Heterosis específica (HE) de los híbridos intervarietales formados por las cruzas dialélicas ( $P_i \times P_j$ ) de cinco líneas de chile manzano.

Pi	Pj	NTF	PTF	PPF	LF	DF	PA	DA	VF	NL	GP	NS	PS
1	2	3.4	446.6	-0.4	-2.5 *	-0.5	0.4	1.7	-11.3 *	0.1	-0.3	-13.8 **	-0.3 **
1	3	10.7 **	1024.3 **	-2.4	1.8	-0.1	-0.2	-0.1	2.1	-0.4 *	-0.1	-0.7	-0.1
1	4	2.9	418.7	0.9	1.3	-1.3	0.2	-1.9	-4.8	0.1	-0.1	-2.9	-0.3 *
1	5	-17.2 **	-1580.3 **	7.9 **	0.9	2.6 **	1.5	2.6 *	11.0 *	0.1	0.3 *	-0.5	0.0
2	1	7.4 **	531.8 *	-6.0 **	-1.8 *	-0.2	1.9 *	6.1 **	-3.0	0.0	-0.4 *	13.2 **	0.2 *
2	3	-11.0 **	-946.6 **	5.5 *	0.2	1.5	-0.9	-0.4	-1.2	0.1	0.5 *	0.0	-0.1
2	4	-2.7	-272.2	2.7	1.5	1.2	0.2	-1.3	10.6 *	0.0	-0.1	7.2	0.4 **
2	5	6.6 *	293.4	-10.0 **	-1.8 *	-2.1 *	-1.6 *	-4.3 **	-7.9	-0.1	-0.2	-13.5 **	-0.4 **
3	1	5.7 *	418.9	-4.9 *	-1.2	-2.2 *	-1.3	-3.4 *	-10.6 *	0.2	-0.2	3.4	0.1
3	2	0.2	128.9	3.4	3.7 **	0.4	-1.0	-2.1	15.5 **	-0.1	0.2	6.4	0.1
3	4	-10.6 **	-1062.1 **	1.4	-2.5 *	0.4	2.2 **	4.5 **	-3.3	0.2	0.0	-10.6 *	-0.1
3	5	11.8 **	1226.1 **	0.3	1.6	1.5	1.1	-1.1	12.5 *	0.1	-0.1	17.4 **	0.5 **
4	1	9.6 **	980.8 **	-0.7	0.7	0.6	-1.9 *	-3.3 *	6.2	-0.1	0.3 *	7.1	0.2
4	2	-1.3	-187.7	1.9	1.9 *	0.6	0.3	-1.8	4.9	0.0	0.2	5.2	0.3 **
4	3	-14.3 **	-1481.5 **	-1.5	-3.0 **	-0.4	-0.1	2.1	-5.3	0.0	-0.2	-14.5 **	-0.5 **
4	5	6.1 *	334.4	-7.4 **	-0.4	-2.1 *	-0.6	0.1	-12.4 *	0.0	0.0	-3.2	-0.2
5	1	-22.5 **	-2240.9 **	5.5 *	0.9	1.1	-0.7	-1.7	10.3 *	0.1	0.4 *	-5.7	0.2
5	2	-2.7	5.8	2.9	-1.2	-0.9	0.6	2.1	-7.6	0.1	0.1	-4.8	-0.2
5	3	7.4 **	691.9 *	-1.9	-0.5	-1.1	0.2	0.6	-9.8 *	-0.1	-0.3	-1.3	0.0
5	4	10.4 **	1269.6 **	2.8	0.6	0.9	-0.4	1.7	3.9	-0.2	-0.1	11.6 *	0.1

NTF: Número total de frutos; PTF: Peso total de frutos; PPF: Peso promedio de fruto; LF: Longitud de fruto; DF: Diámetro del fruto; PA: Profundidad de ápice; DA: Diámetro de ápice; VF: Volumen de fruto; NL: Numero de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas. 1. Línea 1; 2. Línea 3; 3. Línea VLC1; 4. Línea VLC2; 5. Línea 2014; \*Significancia  $p \leq 0.05$ ; \*\*Significancia  $p \leq 0.01$ .