



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

COORDINACION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

HETEROSIS EN RENDIMIENTO, CALIDAD POSCOSECHA, CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES, Y DESCRIPCIÓN Y REGISTRO DE VARIEDADES DE CHILE MANZANO.



TESIS

**Que como requisito parcial para
obtener el grado de:**

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



Presenta:

Ismael Hernández Hernández

Bajo la dirección del Dr. Mario Pérez Grajales.



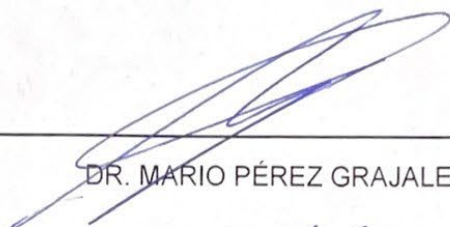
Chapingo, Estado de México, junio de 2024

**HETEROSIS EN RENDIMIENTO, CALIDAD POSCOSECHA, CONTENIDO DE
CAPSAICINOIDES, Y DESCRIPCIÓN Y REGISTRO DE VARIEDADES DE CHILE
MANZANO.**

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:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESIDENTE:



DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:



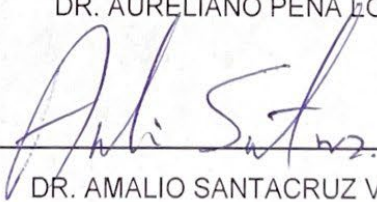
DR. JUAN ENRIQUE RODRÍGUEZ PÉREZ

ASESOR:



DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

LECTOR EXTERNO:



DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE APÉNDICES	ix
DEDICATORIA	x
AGRADECIMIENTOS	xi
DATOS BIOGRÁFICOS	xiii
RESUMEN GENERAL	14
GENERAL ABSTRACT	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	16
1.1 Literatura citada	20
CAPITULO II. EFECTOS GENÉTICOS EN CINCO LÍNEAS AVANZADAS DE CHILE MANZANO.	23
RESUMEN	23
CHAPTER II. GENETIC EFFECTS IN FIVE ADVANCED LINES OF CHILI PEPPER.	24
ABSTRACT	24
2.1 INTRODUCCION	25
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.2.1 SITIO EXPERIMENTAL	27
2.2.2 MATERIAL VEGETAL	27
2.2.3 MANEJO DEL CULTIVO	27
2.2.4 CRUZA ENTRE PROGENITORES	27

2.2.5 EVALUACIÓN DEL DIALELICO DE GRIFFING MÉTODO I.	28
2.2.6 VARIABLES EVALUADAS	28
2.2.7 ANALISIS ESTADÍSTICO.....	31
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
2.3.1 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	34
2.3.2 COMPARACIÓN DE MEDIAS DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	37
2.3.3 COMPARACIÓN DE MEDIAS DE 20 CRUZAS PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.	40
2.3.4. APTITUD COMBINATORIA GENERAL DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	46
2.3.5. EFECTOS MATERNOS (EM) DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	49
2.3.6 HETEROSIS VARIETAL Y HETEROSIS MEDIA DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	52
2.3.7 APTITUD COMBINATORIA ESPECIFICA DE CRUZAS PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICO DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	54
2.3.8 EFECTOS RECÍPROCOS DE CRUZAS PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.	56

2.3.9 HETEROSIS AL MEJOR PROGENITOR (HMP) (%) PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	57
2.3.10 HETEROSIS ESPECIFICA (HE) PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.	60
2.4 CONCLUSIONES.....	63
2.5 LITERATURA CITADA.....	64
CAPÍTULO III. MAYITO: NUEVA VARIEDAD DE CHILE MANZANO	70
MAYITO: NEW VARIETY OF MANZANO HOT PEPPER.....	70
3.1 LITERATURA CITADA.....	73
CAPÍTULO IV. REYNOLITO: NUEVA VARIEDAD DE CHILE MANZANO	74
REYNOLITO: NEW VARIETY OF MANZANO HOT PEPPER.....	74
4.1 LITERATURA CITADA.....	78
CONCLUSIONES GENERALES	79
APÉNDICES	80

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cruzas posibles entre las cinco líneas progenitoras de chile manzano mediante el Diseño Dialélico de Griffing Método I.	28
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de cruzas Dialélicas con el Método I de Griffing (1956) para rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y contenido de capsaicinoides en chile manzano.....	36
Cuadro 3. Promedios de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y capsaicinoides en cinco líneas progenitoras de chile manzano.....	39
Cuadro 4. Promedios de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y capsaicinoides de 20 híbridos de chile manzano obtenidas de cinco líneas progenitoras de acuerdo con el Diseño Dialélico de Griffing Método I (1956). .	44
Cuadro 5. Aptitud combinatoria general (ACG) en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y contenido de capsaicinoides en cinco progenitores de chile manzano.....	48
Cuadro 6. Efectos maternos (EM) en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y contenido de capsaicinoides en cinco progenitores de chile manzano.	51
Cuadro 7. Heterosis varietal (HV) y heterosis media (h) en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y capsaicinoides en cinco progenitores de chile manzano.....	53
Cuadro 8. Aptitud combinatoria específica (ACE) de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y capsaicinoides en 20 híbridos formados por cinco líneas progenitoras de chile manzano por el Método I de Griffing ($ACE_{ij}=ACE_{ji}$).	55
Cuadro 9. Efectos recíprocos (ER) de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y capsaicinoides en 20 híbridos formados por las cruzas Dialélicas ($PixPj$) de cinco líneas de chile manzano ($ER_{ij}=ER_{ji}$).	56
Cuadro 10. Heterobeltiosis porcentual (%) de los híbridos obtenidos por cruzas Dialélicas ($PixPj$) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.....	59

Cuadro 11. Heterosis específica porcentual (%) de los híbridos obtenidos por cruas Dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano. 61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características de tallo, hoja y flor de la variedad Mayito. A) longitud de tallo corto, B) longitud muy corta del entrenudo en las ramas laterales exteriores, C) limbo de la hoja largo y estrecho, D) forma llana media, E) perfil de la sección transversal cóncavo y F) pigmentación antocianica débil de los pétalos.	72
Figura 2. Características del fruto de chile manzano variedad Mayito. A) color verde claro al inicio de madurez, B) forma trapezoidal, C) color amarillo con intensidad media a la madurez, D) ápice poco profundo y E) predominantemente de tres lóculos.....	72
Figura 3. Características de tallo, hoja y flor de la variedad Reynolito. A) longitud de tallo largo, B) ramas laterales largas, C) limbo de la hoja muy larga, D) forma elíptica ancha, E) perfil de la sección transversal convexo y F) pigmentación antocianica en las anteras.	76
Figura 4. Características de fruto de chile manzano de la variedad Reynolito. A) forma de fruto cuadrada, B) color amarillo claro y brillo fuerte, C) ápice profundo y D) cuatro lóculos.	77

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Heterobeltiosis (Hmp) de los híbridos obtenidos por cruzas Dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.	80
Apéndice 2. Heterosis específica de los híbridos obtenidos por cruzas dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.	82

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, con cariño, admiración y respeto

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por brindarme el apoyo financiero que hizo posible avanzar en mi formación profesional con un nuevo grado académico.

Agradezco a la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Agradezco a los miembros de mi comité asesor: Dr. Mario Pérez Grajales, Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez y Dr. Aureliano Peña Lomelí del Departamento de Fitotecnia, por su paciencia, orientación, revisiones y aportes que hicieron posible esta investigación.

Al Dr. Amalio Santacruz Varela del Colegio de Posgraduados por su valiosa amistad, asesoría y sus recomendaciones.

Al coordinador de posgrado Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego por su revisión y sugerencias en la redacción de tesis.

Agradezco a los profesores del posgrado en Horticultura por sus enseñanzas y contribuciones a mi formación académica.

Agradezco al personal administrativo, Vero, Anita y Rogelio, por su apoyo y la orientación oportuna brindada.

Quiero expresar mi agradecimiento a la Dra. Ma Teresa Martínez Damián y a la Lic. Itzel Nayelli Silvestre González por su dedicación y respaldo en el análisis de la calidad del fruto en el Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia.

Quiero expresar mi gratitud al Dr. Víctor Arturo González Hernández y al M.C. Iván Ramírez Ramírez del Colegio de Posgraduados por su comprensión y orientación en el análisis de capsaicinoides en el Laboratorio de Fisiología Vegetal.

A los participantes del programa de mejoramiento genético de jitomate y tomate de cáscara les agradezco su entusiasta colaboración en el establecimiento del experimento. Expreso mi profundo agradecimiento a los trabajadores del campo experimental Don Chebo †, incluyendo al Sr. Jorge Luis Sánchez Galicia, Manuel Ponce, César Ayala y Daniel Barrientos, por su invalorable respaldo durante la fase de campo, así como por su compañía y amistad durante mi estancia. Quiero reconocer la invaluable orientación y consejo académico y personal brindado por el Dr. Jaime Sahagún, el Dr. Natanael Magaña y el Dr. Efraín Contreras †. Agradezco a mis amigos: Rebeca Hernández, Plácido Facundo, Efrén Cintora, Diego, Alma, Elin, Tabita, Juan, Héctor Luna, Gore, Cristian David, Claudia, Mercedes, César Barrera, Luis Fernando y Mario Pérez, por su apoyo en la recopilación de datos y por las gratas convivencias.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres y hermanos por su amor incondicional, apoyo constante y aliento durante mi trayectoria académica y en todas las facetas de mi vida. Su dedicación y palabras de ánimo fueron fundamentales para mi éxito, y les estoy sinceramente agradecido.

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
Cédula profesional	8566853



Desarrollo académico

Maestría	Maestría en Ciencias en Horticultura, UACH.
Licenciatura	Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico de Huejutla

RESUMEN GENERAL

HETEROSIS EN RENDIMIENTO, CALIDAD POSCOSECHA, CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES, Y DESCRIPCIÓN Y REGISTRO DE VARIEDADES DE CHILE MANZANO.¹

La generación de variedades de chile manzano de uso comercial requiere la identificación de líneas parentales sobresalientes en los caracteres de interés agronómico, y su vez, la estimación de efectos genéticos (EG) entre sus progenies. Por ello, se estudiaron EG en componentes de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y contenido de capsaicinoides en cinco líneas avanzadas (L1, L3, LVLC1, LVLC2 y L2014) de chile manzano mediante el Diseño Dialélico de Griffing Método I. En 2020 se establecieron, en condiciones de invernadero, cinco líneas S9 y sus cruza directas y recíprocas. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y seis plantas como unidad experimental. Se identificó a L3 y LVLC2 con aptitud combinatoria general (ACG) positiva, en número total de frutos, peso total, forma de forma de fruto, volumen de fruto y contenido de carotenoides. También se observaron efectos maternos en componentes del rendimiento y calidad física y nutraceutica de fruto, y solo tres híbridos (L3×L1, LVLC2×L2014 y LVLC1×L3) destacaron por su rendimiento. Se presentó heterobeltiosis (Hmp) en rendimiento, volumen de fruto, grosor de pericarpio y acidez titulable, pero no en capsaicinoides; particularmente, la Hmp fue alta en número (72 %) y peso de fruto de fruto (93 %) en la cruza LVLC2×L2014. De manera general, los efectos de aptitud combinatoria específica fueron inferiores a los de ACG, no obstante, se puede aprovechar algunas de las combinaciones como la L3×L1, LVLC2×L2014 y LVLC1×L3. También se identificó a la L3 por su alto rendimiento de fruto ($110 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), la LVLC2 por su ACG en rendimiento y forma alargada de fruto (1.11 de Índice) y a la L2014 por su grosor de pericarpio (6 mm), volumen de fruto (121 mL) y peso de fruto (100 g). Además, se caracterizó morfológicamente a L3 y L2014 con la Guía técnica para la descripción varietal del chile Manzano del SNICS y se registraron como 'Mayito' y 'Reynolito' con los folios 3290 y 3291, respectivamente.

Palabras clave: *Aptitud combinatoria, efectos maternos, heterosis, chile manzano.*

Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ismael Hernández Hernández

Dirección: Dr. Mario Pérez Grajales

GENERAL ABSTRACT

HETEROSIS IN YIELD, POSTHARVEST QUALITY, CAPSAICINOID CONTENT, AND DESCRIPTION AND REGISTRATION OF MANZANO PEPPER VARIETIES.

The generation of commercially viable varieties of manzano pepper requires the identification of outstanding parental lines with desirable agronomic traits, as well as the estimation of genetic effects (GE) among their progenies. Therefore, GE in yield components, physical fruit quality, nutraceutical quality, and capsaicinoid content were studied in five advanced lines (L1, L3, LVLC1, LVLC2, and L2014) of manzano pepper using Griffing's Diallel Method I. In 2020, five S9 lines and their direct and reciprocal crosses were established under greenhouse conditions. A randomized complete block design with three replications and six plants per experimental unit was employed. Lines L3 and LVLC2 were identified as having positive general combining ability (GCA) for total number of fruits, total weight, fruit shape, fruit volume, and carotenoid content. Maternal effects were also observed in yield components and physical and nutraceutical fruit quality. Only three hybrids (L3×L1, LVLC2×L2014, and LVLC1×L3) stood out for their yield. Heterosis (Hmp) was observed in yield, fruit volume, pericarp thickness, and titratable acidity, but not in capsaicinoids; particularly, high Hmp was noted in the number (72%) and weight (93%) of fruits in the LVLC2×L2014 cross. Generally, specific combining ability effects were lower than GCA effects; however, some combinations, such as L3×L1, LVLC2×L2014, and LVLC1×L3, may be advantageous. Additionally, L3 was identified for its high fruit yield (110 tons·ha⁻¹·year⁻¹), LVLC2 for its GCA in yield and elongated fruit shape (1.11 Index), and L2014 for its pericarp thickness (6 mm), fruit volume (121 mL), and fruit weight (100 g). Moreover, L3 and L2014 were morphologically characterized using the SNICS Technical Guide for the varietal description of manzano pepper and were registered as 'Mayito' and 'Reynolito' with entries 3290 and 3291, respectively.

Keywords: *Combinatorial ability, maternal effects, heterosis, manzano hot pepper.*

Tesis of PhD of Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Ismael Hernández Hernández

Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Capsicum es un género que pertenece a la familia de las Solanáceas y cuenta con alrededor de 35 especies de las cuales solo cinco han sido cultivadas: *C. annuum* L., *C. chinense* Jacq., *C. pubescens* R. y P., *C. frutescens* L. y *C. baccatum* L. (Barboza y Bianchetti, 2005; Nee et al., 2006; Moscone et al., 2007), y es un cultivo hortícola de gran importancia a nivel mundial (Carrizo et al., 2013).

México es el segundo productor de chile a nivel mundial, con tres millos de toneladas anuales en una superficie cultivada de 156 mil hectáreas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023). El chile es un ingrediente fundamental en la gastronomía mexicana desde la época prehispánica (Aparicio-del-Moral et al., 2013), y la principal especie cultivada es *C. annuum*. No obstante, existen otras como *C. Pubescens* que aun cuando no es originaria de México se ha adaptado a las regiones altas y frías (1700 a 2400 msnm), donde ha tenido un impacto económico significativo en los últimos 20 años (Pérez & Castro, 2012). Los principales productores de este tipo de chile son: Puebla, Michoacán, Veracruz y Estado de México. Y el rendimiento de este cultivo varía desde las siete toneladas por hectárea a campo abierto hasta 70 en condiciones de invernadero (Pérez & Castro, 2012).

El uso de variedades mejoradas no solo tiene mayor rendimiento por unidad de superficie cultivada si no también mayor calidad. Desde 1994, en la Universidad Autónoma Chapingo se inició el programa de mejoramiento genético de chile manzano, con colectas en cinco localidades (Zongolica, Huatusco II, Puebla, Huatusco I y Chiapas) de la república mexicana y una de Perú (Provincia Oxapampa) (Pérez et al, 2009). En cada una de las seis colectas se efectuaron tres ciclos de selección en características de la planta como longitud y diámetro de entrenudos del tallo, tamaño de hoja, longitud a la primera bifurcación y características del fruto como el color, la forma, el tamaño, grosor de pericarpio, número de lóculos y el número de semillas (Pérez et al, 2009). El avance generacional de las plantas seleccionadas fue por autofecundación, a través de polinización controlada en condiciones de invernadero. Cada uno de los ciclos de selección tuvo una duración de año y medio, de tal manera que, en 1999 con los

genotipos seleccionados se efectuaron cruzamientos entre ellos y se evaluaron a través del Diseño Dialélico de Griffing Método II. De los seis progenitores y 15 híbridos interpoblacionales resultantes, se identificó a la cruza Zongolica × Puebla como sobresaliente en rendimiento y calidad de fruto (Pérez et al., 2009). Zongolica × Puebla fue registrada ante el SNICS en 2012 como “Grajales St”. con el folio 0706. Y de ella se seleccionaron ocho líneas (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 y L8) sobresalientes en rendimiento, calidad de fruto, hábito de crecimiento, entre otras características. A cada una de las ocho líneas se les aplicó cinco ciclos de autofecundación (S_5) “un año y medio por ciclo” y se efectuaron cruzamientos entre ellas, de acuerdo con el Diseño Dialélico de Griffing Método II y se obtuvieron 28 híbridos de cruza simple. En la evaluación de estos híbridos se identificaron cinco, como sobresalientes por su rendimiento y calidad de fruto, y en 2015 fueron registrados ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, con los nombres de ‘Dali’ (L1×L3), ‘Jhos’ (L3×L4), ‘Claris’ (L3×L8), ‘Maruca’ (L1×L2) y ‘Yoli’ (L7×L8) (SNICS, 2017).

En el proceso de mejoramiento genético de chile manzano después del 2015, se tuvo como objetivo generar nuevos genotipos (líneas e híbridos) no solo con alto rendimiento de fruto sino también de forma alargada, que sean grandes, de pericarpio grueso, con buena firmeza, de color amarillo brillante y de alto valor nutracéutico (pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, carotenoides y vitamina C) y alto contenido de capsaicinoides. Para ello, se identificaron a cinco líneas avanzadas denominadas como L1, L3, LVLC1, LVLC2 y L2014. La L3 tienen alta aptitud combinatoria general como se muestra en su participación en tres (‘Dali’-L1×L3, ‘Claris’-L3×L8 y ‘Jhos’-L3×L4) de los cinco híbridos registrados en 2015, y la L1 tiene alta aptitud combinatoria específica (‘Dali’-L1×L3 y ‘Maruca’-L1×L2). La LVLC1 y LVLC2 se caracterizaron por presentar frutos alargados, y la L2014 tiene frutos grandes (hasta 180 g) y de pericarpio grueso.

Para continuar con el proceso de mejoramiento genético, en 2019, a través de esta investigación, se tuvo como objetivo el estudio los efectos genéticos (aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica, efectos maternos, efectos recíprocos y heterosis) en componentes de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides en cinco líneas avanzadas (L1, L3, LVLC1, LVLC2 y L2014)

de chile manzano a través del Diseño Dialélico de Griffing Método I. Con la hipótesis de que se identificarán combinaciones (híbridos) o líneas sobresalientes para usarse como variedades comerciales y registrarlas ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

El método de evaluación del valor genotípico más utilizado en el mejoramiento genético es el Diseño Dialélico de Griffing (1956), que permite caracterizar progenitores por su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), así como los efectos maternos (EM) y recíprocos (ER), que determinan el método de fitomejoramiento más adecuado (Hallauer et al., 2010). Hoegenmeyer & Hallauer (1976) sostuvieron que, en un programa de mejoramiento dirigido a la producción de híbridos, la ACE adquiere mayor relevancia que la ACG, debido a su capacidad para aprovechar los efectos no aditivos, como la dominancia y la epistasis.

En chile manzano, se han llevado a cabo estudios sobre aptitud combinatoria para capsaicinoides, rendimiento y calidad de frutos (Zewdie et al., 2001; Pérez-Grajales et al., 2009). Sánchez-Sánchez, et al. (2010), examinaron 25 genotipo de chile manzano y encontraron que la pungencia de los frutos está influenciada por genes de efectos no aditivos, principalmente dominantes, evidenciados mediante la significancia de los valores de ACE para tres alcaloides evaluados (nordihidrocapsaicina, capsaicina y dihidrocapsaicina). Los mismos autores observaron que los efectos maternos fueron significativos, y sugieren que los genes responsables de estos metabolitos están presentes en el ADN nuclear y citoplásmico, incluyendo cloroplastos y/o mitocondrias (Sánchez-Sánchez et al., 2010).

Se considera que la heterosis es alta en el género *Capsicum*, propiedad explotada para incrementar el rendimiento y otras características de importancia económica (De Souza y Maluf, 2003). De Souza y Maluf, 2003 también mencionan que el vigor híbrido es alto en diámetro y largo de fruto, número de semillas, rendimiento y contenido de capsaicina por planta; mientras que Kumar et al. (2014) lo hicieron para rendimiento y calidad de fruto y Cruz-Pérez et al. (2007) para contenido de vitamina C y capsaicinoides en diferentes grados de madurez de fruto.

En el presente estudio, los resultados de los efectos genéticos se presentan en el CAPÍTULO II con el nombre de “EFECTOS GENÉTICOS EN CINCO LÍNEAS AVANZADAS DE CHILE MANZANO”; en tanto que los genotipos identificados como sobresalientes y registrados ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, con el uso de la Guía técnica para la descripción varietal de Chile Manzano (SNICS, 2017), se presentan en el CAPÍTULO III con el nombre ‘MAYITO’: NUEVA VARIEDAD DE CHILE MANZANO” y en el CAPÍTULO IV ‘REYNOLITO’: NUEVA VARIEDAD DE CHILE MANZANO” y las CONCLUSIONES GENERALES en el CAPÍTULO V.

1.1 Literatura citada

- Aparicio-del-Moral, J. O., Tornero-Campante, M. A., Sandoval-Castro, E., Villarreal-Manzo, L. A., & Rodríguez-Mendoza, M. A. (2013). Factores sociales y económicos del cultivo de chile de agua (*Capsicum annum* L.) en tres municipios de los valles centrales de Oaxaca. *Ra Ximhai*, 9(1), 17-24.
<https://www.redalyc.org/pdf/461/46127074003.pdf>
- Barboza, G. E., & 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.
<https://doi.org/10.1600/036364405775097905>
- Carrizo-García, C., Sterpetti, M., Volpi, P., Ummarino, M., & Saccardo, F. (2013). *Wild Capsicums: identification and in situ analysis of Brazilian species*. HARVEST.
<https://worldveg.tind.io/record/50183>
- Cruz-Pérez, A. B., González-Hernández, V. A., Soto-Hernández, R. M., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., & Pérez-Grajales, 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>
- De Sousa, J. A., & Maluf, W. R. (2003). Diallel analyses and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Scientia Agricola*, 60(1), 105–113. <https://doi:10.1590/s0103-90162003000100016>
- 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.
<https://www.publish.csiro.au/bi/BI9560463>
- Hallauer A. R., Carena, M., & Miranda, J. B. F. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding*. Springer.
- Hoegemeyer, T. C., & Hallauer, A. R. (1976). Selection among and within full-sib families to develop single-crosses of maize 1. *Crop Science*, 16(1), 76-81.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1976.0011183X001600010019x>

- Kumar, R. L., Onteddu, S., Kage, U. S., Salimath, P. M., Madalageri, D. M., & Natikar, P. (2014). Heterosis studies in chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Horticulture*, 4(8), 40-43. <https://doi:10.5376/ijh.2014.04.0008>
- Moscone, E. A., Scaldaferrro, M. A., Grabiele, M., & Cecchini, N. M. (2007). The evolution of chili peppers (*Capsicum-Solanaceae*): a cytogenetic perspective. *Acta Horticulturae*, 745, 137–169. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.745.5>
- Nee, M., Bohs, L., & 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. [https://doi.org/10.1663/0007-196X\(2006\)58\[322:NSOSAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0007-196X(2006)58[322:NSOSAC]2.0.CO;2)
- Pérez Grajaes., M., & Castro Brindis, R. (2012). *El chile manzano*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Pérez-Grajales, M., González-Hernández, V. A., Peña-Lomelí, A., & Sahagún-Castellanos, 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000100015&lng=es&tlng=en.
- Sánchez-Sánchez, H., González-Hernández, V. A., Cruz, P. A., Pérez, G. M., Gutierrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., & Gómez-Lim, M. A. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia*, 44(6), 655-665. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5568745>
- Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2017). *Guía técnica para la descripción varietal de chile manzano* (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón).

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Social, Pesca y Alimentación.
Servicio.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281560/GuiaChileManzano_Web.pdf

Zewdie, Y., Bosland, P. W., & Steiner, R. (2001). Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. *HortScience*, 36(7), 1315-1317.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.7.1315>

CAPITULO II. EFECTOS GENÉTICOS EN CINCO LÍNEAS AVANZADAS DE CHILE MANZANO.

RESUMEN

La generación de variedades de chile manzano de uso comercial requiere la identificación de líneas parentales sobresalientes en los caracteres de interés agronómico, y su vez, la estimación de efectos genéticos (EG) entre sus progenies. Por ello, se estudiaron EG en componentes de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceútica y contenido de capsaicinoides en cinco líneas avanzadas (L1, L3, LVLC1, LVLC2 y L2014) de chile manzano mediante el Diseño Dialélico de Griffing Método I. En 2020 se establecieron, en condiciones de invernadero, cinco líneas S9 y sus cruza directas y recíprocas. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y seis plantas como unidad experimental. Se identificó a L3 y LVLC2 con aptitud combinatoria general (ACG) positiva, en número total de frutos, peso total, forma de forma de fruto, volumen de fruto y contenido de carotenoides. También se observaron efectos maternos en componentes del rendimiento y calidad física y nutracéutica de fruto, y solo tres híbridos (L3×L1, LVLC2×L2014 y LVLC1×L3) destacaron por su rendimiento. Se presentó heterobeltiosis (Hmp) en rendimiento, volumen de fruto, grosor de pericarpio y acidez titulable, pero no en capsaicinoides; particularmente, la Hmp fue alta en número (72 %) y peso de fruto de fruto (93 %) en la cruza LVLC2×L2014. De manera general, los efectos de aptitud combinatoria específica fueron inferiores a los de ACG, no obstante, se puede aprovechar algunas de las combinaciones como la L3×L1, LVLC2×L2014 y LVLC1×L3. También se identificó a la L3 por su alto rendimiento de fruto ($110 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), la VLC2 por su ACG en rendimiento y forma alargada de fruto (1.11 de Índice) y a la L2014 por su grosor de pericarpio (6 mm), volumen de fruto (121 mL) y peso de fruto (100 g).

Palabras clave: *Aptitud combinatoria, efectos maternos, heterosis, chile manzano.*

Tesis de Doctorado en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ismael Hernández Hernández

Dirección: Dr. Mario Pérez Grajales

CHAPTER II. GENETIC EFFECTS IN FIVE ADVANCED LINES OF CHILI PEPPER.

ABSTRACT

The generation of commercially viable varieties of manzano pepper requires the identification of outstanding parental lines with desirable agronomic traits, as well as the estimation of genetic effects (GE) among their progenies. Therefore, GE in yield components, physical fruit quality, nutraceutical quality, and capsaicinoid content were studied in five advanced lines (L1, L3, LVLC1, LVLC2, and L2014) of manzano pepper using Griffing's Diallel Method I. In 2020, five S9 lines and their direct and reciprocal crosses were established under greenhouse conditions. A randomized complete block design with three replications and six plants per experimental unit was employed. Lines L3 and LVLC2 were identified as having positive general combining ability (GCA) for total number of fruits, total weight, fruit shape, fruit volume, and carotenoid content. Maternal effects were also observed in yield components and physical and nutraceutical fruit quality. Only three hybrids (L3×L1, LVLC2×L2014, and LVLC1×L3) stood out for their yield. Heterosis (Hmp) was observed in yield, fruit volume, pericarp thickness, and titratable acidity, but not in capsaicinoids; particularly, high Hmp was noted in the number (72 %) and weight (93%) of fruits in the LVLC2×L2014 cross. Generally, specific combining ability effects were lower than GCA effects; however, some combinations, such as L3×L1, LVLC2×L2014, and LVLC1×L3, may be advantageous. Additionally, L3 was identified for its high fruit yield (110 tons·ha⁻¹·year⁻¹), LVLC2 for its GCA in yield and elongated fruit shape (1.11 Index), and L2014 for its pericarp thickness (6 mm), fruit volume (121 mL), and fruit weight (100 g).

Keywords: *Combining ability, maternal effects, heterosis, manzano hot pepper.*

Tesis of PhD of Sciences in Horticultural, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Ismael Hernández Hernández

Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

2.1 INTRODUCCION

Capsicum. pubescens R. y P. es una especie originaria de las partes altas de Perú y Bolivia y se introdujo México a principios de los 1900's, y se ha cultivado con éxito en regiones situadas entre los 1700 y 2400 metros sobre el nivel del mar (Pérez & Castro, 2008). En los últimos años, el chile manzano ha ganado relevancia en la agricultura mexicana, convirtiéndose en un producto de exportación. Según datos del Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2024) los Estados de Veracruz, Michoacán y México, destinaron 2,870 toneladas exclusivamente para su exportación a Estados Unidos. Esta creciente demanda ha promovido el desarrollo de sistemas de producción intensiva, así como el uso de variedades mejoradas (Pérez & Castro, 2004).

Para la generación de nuevas variedades es importante conocer los efectos genéticos de los progenitores como la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE), ya que se obtiene la información necesaria para estimar los parámetros genéticos y seleccionar el método de mejoramiento más apropiado (Hallauer, et al., 2010). Los métodos de mejoramiento tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población y/o generar nuevos con características superiores en rendimiento y calidad (Hallauer, et al., 2010).

Griffing (1956) definió los cruzamientos dialélicos como el conjunto de todas las combinaciones simples posibles entre un grupo de p progenitores. El número máximo de combinaciones es p^2 , divididas en progenitores (p), cruzas directas ($((p \cdot (p-1)) \cdot 2^{-1})$) y cruzas recíprocas ($((p \cdot (p-1)) \cdot 2^{-1})$), y la combinación de estos resulta en los cuatro Métodos de Griffing. Este enfoque proporciona información sobre las propiedades genéticas del material en estudio, permite el control genético de características cuantitativas y facilita la identificación de progenitores y cruces superiores por su ACG y ACE (Sprague & Tatum, 1942).

Los Diseños Dialélico de Griffing también permiten estudiar la heterosis o vigor híbrido, que generalmente se manifiesta como un aumento en el rendimiento del grano o una reducción en el número de días hasta la floración (Falconer & Mackay, 1996). La heterosis

resulta de la combinación de numerosos efectos genéticos proporcionados por los parentales y reunidos en la cruce, según las hipótesis de herencia de los genes dominantes y sobredominantes (Allard, 1999).

De Souza & Maluf, 2003, encontraron heterosis alta en largo y diámetro de fruto, número de semillas, rendimiento y contenido de capsaicina en plantas de *Capsicum annuum*; Kumar, et al., 2014, en producción y calidad de fruto; y Cruz-Pérez, et al., 2007, en contenido de vitamina C y capsaicinoides en frutos con diferentes grados de madurez.

En particular, en chile manzano se realizó una evaluación de la aptitud combinatoria y la heterosis en rendimiento y calidad de fruto de seis variedades criollas (Zongolica, Huatusco I, Huatusco II, Puebla, Chiapas y Perú) y sus cruces directas (Pérez et al., 2009). Se usó el análisis Dialélico de Griffing (Método II), y se encontró significancias en la aptitud combinatoria general (ACG) en rendimiento, volumen de fruto, grosor del pericarpio, número y masa de semillas, y número de lóculos (Pérez et al., 2009). La mayor heterosis se observó en rendimiento (Zongolica x Puebla), volumen fruto (Perú x Chiapas), número de semillas (Puebla x Perú) y número de lóculos y masa de semillas (Puebla x Chiapas) (Pérez et al., 2009). El genotipo Puebla destacó como el mejor progenitor, produciendo híbridos superiores en rendimiento, volumen de fruto y grosor del pericarpio (Pérez et al., 2009). La hibridación fue recomendada como el método más eficaz para el mejoramiento genético del chile manzano (Pérez et al., 2009).

En el programa de mejoramiento genético de chile manzano de la Universidad Autónoma Chapingo, se ha generado variedades comerciales sobresaliente ('Grajales St.', 'Maruca', 'Dali', 'Josh', 'Yoli' y 'Claris') en rendimiento y calidad de fruto. Sin embargo, el mercado nacional y de exportación demanda frutos con características distintivas como las siguientes: frutos alargados y grandes, de pericarpio grueso, de buena firmeza y color amarillo brillante. Además, en la actualidad se prefieren frutos con calidad nutracéutica (pH, acidez titulable, sólidos solubles, contenido de carotenoides, vitamina C) y con alto contenido de capsaicinoides. Por esta razón, el objetivo del presente estudio fue estimar efectos genéticos en componentes de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides en cinco líneas avanzadas (L1, L3, LVLC1,

LVLC2 y L2014) de chile manzano mediante el Diseño Dialélico de Griffing Método I, para identificar genotipos sobresalientes para su uso comercial.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 SITIO EXPERIMENTAL

El estudio se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo con una altitud de 2 240 msnm, donde la temperatura media anual de 16 °C. El estudio se llevó a cabo en un invernadero “Full Vent” de 1 000 m², con cubierta plástica de color blanco lechoso, calibre 600 y con luz aprovechable de 545 μ moles/ m²/s de fotones (50 %). En promedio, el invernadero mantuvo una humedad relativa del 63 % y 370 ppm de CO₂.

2.2.2 MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron cinco líneas avanzadas F₉ obtenidas del híbrido intervarietal ‘Grajales St.’ (Zongolica × Puebla): L1, L3, LVLC2, LVLC2 y L2014. Éstas fueron seleccionadas por su rendimiento y características de calidad sobresalientes.

2.2.3 MANEJO DEL CULTIVO

En junio de 2019, la siembra se realizó en charolas de 200 cavidades de poliestireno, como sustrato se utilizó turba húmeda. Posteriormente, las plántulas se trasplantaron en macetas de poliestireno de 50 cm x 50 cm (calibre 800) rellenas con tezontle rojo, a los 60 días después de la siembra. El manejo del cultivo fue en un sistema hidropónico según las recomendaciones de Pérez y Castro (2012).

2.2.4 CRUZA ENTRE PROGENITORES

Para realizar los cruzamientos entre las cinco líneas avanzadas F₉ (L1, L3, LVLC1, LVLC2 y L2014) se establecieron 20 plantas de cada una de ellas y durante el periodo de floración se realizaron las cruzas directas y reciprocas, mediante polinización controlada con el método propuesto por Pérez, et al. (1998). De acuerdo con el Diseño Dialélico de Griffing Método I, se realizaron P(P-1) /2 cruzas directas y sus correspondientes cruzas reciprocas, donde: P=número de líneas progenitoras. De tal manera que se obtuvieron

diez cruzas directas y diez cruzas reciprocas con sus cinco progenitores. La evaluación de los 25 genotipos se llevó a cabo en el 2020.

2.2.5 EVALUACIÓN DEL DIALELICO DE GRIFFING MÉTODO I.

Los 25 genotipos generados por el Diseño Dialélico de Griffing Método I (Cuadro 1), fueron avaluados en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fueron seis plantas, una planta por maceta.

Cuadro 1. Cruzas posibles entre las cinco líneas progenitoras de chile manzano mediante el Diseño Dialélico de Griffing Método I.

♂ \ ♀	1	DIL	2	DIL	3	DIL	4	DIL	5	DIL
1	1×1 ^α	1	1×2	2	1×3	3	1×4	4	1×5	5
2	2×1	2	2×2 ^α	6	2×3	7	2×4	8	2×5	9
3	3×1	3	3×2	7	3×3 ^α	10	3×4	11	3×5	12
4	4×1	4	4×2	8	4×3	11	4×4 ^α	13	4×5	14
5	5×1	5	5×2	9	5×3	12	5×4	14	5×5 ^α	15

DIL: Dialélico; ^α: Autopolinización; 1: L1; 2: L3; 3: LVLC1; 4: LVLC2 y 5: L2014

2.2.6 VARIABLES EVALUADAS

2.2.6.1 RENDIMIENTO

Para la evaluación del rendimiento del fruto se consideraron dos variables. El número y el peso total de frutos cosechado por planta. Ambas variables fueron extrapoladas a número de frutos por metro cuadrado (m²) y peso de frutos cosechados por metro cuadrado (g·m²) de superficie de invernadero. Dado que el arreglo topológico fue de 1.8 m entre hileras (dos hileras) y 0.8 m entre plantas, se tuvo una densidad de 1.2 plantas por metro cuadrado que equivale a 12,000 plantas por hectárea.

2.2.6.2 CALIDAD FÍSICA DE FRUTO

La evaluación de la calidad de fruto se hizo en la cuarta cosecha, que corresponde a la mitad de todo el periodo de cosecha (ocho cosechas). Se cosecharon dos frutos de la parte media de cada una de las seis plantas por genotipo (25 genotipos) con sus tres

repeticiones. Los frutos tenían el mismo grado de madurez con el color amarillo en su totalidad.

Peso promedio por fruto (g). Se obtuvo a través de dividir el peso total de fruto entre el número total de fruto cosechados por metro cuadrado de superficie de invernadero.

Forma de fruto. Se dividió la longitud (L) entre el diámetro (D) de fruto y se obtuvo un índice (ÍND L/D). Si el índice es mayor a uno significa que es mayor la largura que la anchura. Y entonces la forma de fruto es alargada.

Volumen de fruto. Se obtuvo mediante el agua desplazada (ml) por cada fruto sumergido en una probeta graduada de 2000 ml.

Grosor de pericarpio. Se hizo un corte transversal en la parte media del fruto y se midió su grosor con un calibrador digital Truper® en mm.

Firmeza de fruto. Se cuantifico en la zona ecuatorial de cada fruto y se utilizó un texturómetro digital Compact Gauge® (Mecmesin CE, USA), equipado con un puntal cónico de 0.6 mm de altura y 0.7 mm de diámetro. La lectura en Newtons (N) reflejó la fuerza aplicada hasta la ruptura del pericarpio.

Color de fruto. Con un colorímetro ColorTec-PCMTM (Cole Palmer, USA) se registraron los valores iniciales de a^* , b^* y L para determinar el matiz, el chroma y el brillo, y se realizó en la parte media del fruto.

Angulo de matiz (Hue). Se calculó a partir de los valores de a^* y b^* . $Hue = ((Atan \frac{(\frac{a}{b})}{6.2832}) * 360)$ (Francis, 1980).

Donde:

a^* = coordenadas que van del verde al rojo

b^* = coordenadas del azul al amarillo

Atan= Tangente inversa.

Pureza del color (chroma). Se calculó a partir de la siguiente formula: $chroma = \sqrt{(a)^2 + (b)^2}$.

Donde:

a^* = coordenadas que van del verde al rojo

b^* = coordenadas del azul al amarillo

Un valor de chroma más alto indica un color más saturado (Francis, 1980).

El brillo (L). Se obtuvo directamente del dispositivo Color Tec-PCMTM y representa la cantidad de luz que refleja el fruto y se interpreta en una escala de 0 (negro, sin luz reflejada) a 100 (blanco, máxima luz reflejada) (Sensing, 2007).

2.2.6.3 CALIDAD NUTRACEÚTICA

pH. Los doce frutos, de cada unidad experimental muestreados para variables de calidad, se hicieron en pequeños trozos de 5 mm aproximadamente, y se tomó una muestra de diez gramos. La muestra fue diluida en 50 ml de agua destilada y se tomó una alícuota de 5 mL para medir el pH con un potenciómetro Conductronic pH120®.

Acidez titulable. Se tomó una muestra de diez gramos de los doce frutos en trozos de cinco milímetros. Se licuó en 50 mL de agua destilada, y se tomó una alícuota de 10 mL, y se neutralizó con hidróxido de sodio a 0.1 N, como estándar se utilizó fenolftaleína al 1 %, método propuesto por AOAC (1990).

Sólidos solubles totales (°B). Se tomaron 10 gramos de los doce frutos y se colocaron en una licuadora Osterizer® con 50 ml de agua destilada. Posteriormente, se extrajo una gota del jugo resultante y se cuantificó con un refractómetro digital manual portátil PAL 1® (ATAGO, USA).

Contenido de carotenoides. De los frutos muestreados para calidad (12 frutos), se tomaron 5 g y se agregó 10 ml de acetona al 80 %, por 24 h en condiciones de oscuridad. Después la solución se filtró y aforó a 25 ml. La absorbancia se midió a 476, 646 y 663 nm con un espectrofotómetro GenesysTM 10S UV VIS (Thermo Scientific, USA). Posteriormente, las lecturas se convirtieron a $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}$ de fruto, técnica propuesta por Lichtenhaler (1987).

Vitamina C. Se licuó una muestra de 5 g de fruto (de un total de 12 frutos) y se agregó 50 ml de ácido oxálico. Se recuperó una alícuota de 5 ml y con la solución Tillman se tituló. Del gasto medido en la titulación, se calculó la concentración en $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}$ de fruto. Esta determinación se realizó mediante el método de Tillman (AOAC, 1990), conocido como DFI-2,6 diclorofenol-indofenol.

2.2.6.4 CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES

Contenido total de capsaicinoides. Para la medición de los capsaicinoides se tomó un fruto por planta de tres repeticiones, cada repetición fueron seis plantas, de tal manera que se usaron 18 frutos por genotipo (25 genotipos). Los frutos estaban completamente amarillos y se cosecharon en la parte baja, media y alta de las plantas. El análisis se realizó mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC). Para ello, los frutos se deshidrataron en una liofilizadora FreeZone18 (Labconco, USA) por 72 h. Posteriormente, se molieron hasta obtener un polvo fino y se recuperó 1 g de muestra, y se mezcló con 5 ml de solvente orgánico (acetonitrilo) en un tubo centrífugo. La mezcla se sometió a baño maría a 70 °C durante 5 h, durante el proceso se agitó a cada hora con agitador eléctrico (Vortex-Genie II Mixer SI-0236). Después, se centrifugó a 4000 rpm durante 20 minutos en una centrífuga (Hermile Labortechnik®, Alemania), de esta alícuota se recuperó el sobrenadante con una pipeta de 5 ml y se filtró con acrodiscos de 0.47 µm. Para la cuantificación se inyectó 20 µl del extracto en un cromatógrafo automatizado Agilent® HP-1260 equipado con un detector UV y una columna Agilent HYPERSIL ODS de 4.0 x 50 mm y 5 µm de tamaño de partícula, con gasto de 0.5 mL/min, el tiempo de corrida fue de 22 minutos por muestra, y fueron tres corridas para cada genotipo. Las unidades de picor se calcularon en partes por millón (ppm) según la ecuación de la Asociación Estadounidense de Comercio de Especias (ASTA, 1985), y para convertir de ppm a unidades Scoville se multiplica por 15.

2.2.7 ANALISIS ESTADÍSTICO

Efetos Genéticos

Para estimar los efectos genéticos de aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER) en los componentes de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides de chile manzano, se les realizó análisis de varianza mediante el modelo fijo del Método I de Griffing (1956). Para estimar los mejores predictores lineales e insesgados de los efectos genéticos, se utilizó la metodología propuesta por Mastache y

Martínez (2003). El análisis del diseño I de Griffing (1956) se realizó según el siguiente modelo:

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

Donde:

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

μ = Efecto general, común a todas las observaciones;

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

g_j = Efecto de la ACG del progenitor j-ésimo;

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

m_i = Efecto materno del progenitor i-ésimo;

m_j = Efecto materno del progenitor j-ésimo;

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

e_{ij} = Error asociado al promedio de la craza entre los progenitores i-ésimo y j-ésimo.

Se efectuó un análisis de contrastes en las variables ACG y EM ($P \leq 0.05$), y para ACE y ER de los progenitores, se utilizaron contrastes entre pares con la distribución t de Student ($P \leq 0.05$). Se estimó la heterosis varietal (HV), la heterosis media ($\bar{h}$), la heterosis respecto al mejor progenitor (H_{mp}) y la heterosis específica (HE). Estas estimaciones se realizaron con el modelo de Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967):

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

Donde:

Y_{ij} = Promedio del progenitor cuando $i = j$ y de la craza cuando $i \neq j$;

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

V_i = Efecto del progenitor i-ésimo;

V_j = Efecto del progenitor j-ésimo;

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

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

Y_i = Media del progenitor i-ésimo; y

$\bar{Y}_v$ = Promedio de los parentales

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

Donde:

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

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

Y_i = Promedio del progenitor i-ésimo; y

Y_j = Promedio del progenitor j-ésimo.

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

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

Donde:

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

$\bar{Y}_v$ = Promedio de todos los Parentales.

HV = 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 total de progenitores;

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

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

Y_i = Promedio del progenitor i;

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

S_{ij} = Heterosis Específica

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

Donde:

h_{ij} = Heterosis relativa al progenitor promedio en cada cruza $i \times j$;

$\bar{h}$ = Heterosis media;

h_i = Heterosis varietal del progenitor i -ésimo; y

h_j = Heterosis varietal del progenitor j -ésimo;

Se llevó a cabo una prueba de comparación de medias utilizando la distribución t de Student, con niveles de significancia $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$, para evaluar la discrepancia estadística de estos parámetros.

Y se realizó una comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) entre las cinco líneas avanzadas (progenitores) y entre las 20 progenies (Cruzas) para las 16 variables evaluadas.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 ANÁLISIS DE VARIANZA

Los componentes de rendimiento: número total de frutos (NTF) y peso total de frutos (PTF) mostraron significancia en el efecto de cruza, aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM), y para efectos recíprocos (ER) solo en PTF (Cuadro 2).

En cuanto a calidad física del fruto los efectos cruza, ACG, ACE, EM y ER fueron significativas en peso promedio del fruto (PPF), volumen del fruto (VF), firmeza del fruto (FF), chroma (ch), matiz (h) y brillo (L). El índice de fruto (ÍND L/D) mostró significancia solo para el efecto de cruza y grosor del pericarpio (GP) no tuvo efectos genéticos significativos (Cuadro 2).

En la calidad nutracéutica, la vitamina C (VC) y contenido de carotenoides (CC) tuvieron efectos genéticos significativos, pero no fue así para pH y grados Brix ($^{\circ}\text{B}$). Por otro lado, el contenido total de capsaicinoides (CTC) fue significativo en todos los efectos genéticos estudiados (Cuadro 2).

Los efectos genéticos significativos encontrados en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides, indican que los progenitores y sus respectivas cruzas tienen efectos sobresalientes que pueden ser aprovechados en el programa de mejoramiento genético para la obtención de nuevas variedades de chile manzano. También sugiere que es posible seleccionar las mejores líneas por su ACG y EM, así como identificar a las mejores cruzas por su ACE y ER.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de cruzas Dialélicas con el Método I de Griffing (1956) para rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceútica y contenido de capsaicinoides en chile manzano.

FV	GL	Rendimiento		Calidad física de fruto							
		NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch	h	L
BLOQUE	2	115.28**	423191.79**	37.23**	0.03	280.58**	0.00	28.73**	29.70*	140.20**	46.46**
CRUZAS	24	593.30**	3502692.70**	307.41**	0.10*	928.41**	0.01	37.18**	168.98**	209.64**	35.52**
ACG	4	1372.51**	8215404.70**	423.22**	0.02	1920.68**	0.02	178.60**	100.11**	258.96**	29.09**
ACE	10	822.85**	4595453.40**	517.42**	0.01	991.93**	0.01	10.63*	230.05**	185.31**	42.80**
EM	4	105.50**	1098367.70**	93.16**	0.00	356.91**	0.00	10.79*	201.93**	138.88**	42.16**
ER	6	16.43	142500.11**	23.03**	0.00	542.03**	0.01	4.73	91.13**	264.49**	23.25**
ERROR	48	166.7	896432.19	20.22	0.00	127.59	0.00	9.21	96.74	147.63	22.21
TOTAL	74										
MEDIA		34.62	2693.25	80.02	1.03	124.79	0.55	38.21	50.34	64.42	38.14
CV		37.29	35.15	5.62	4.90	9.05	7.42	7.94	19.54	18.86	12.36

Cuadro 2. Continuación

FV	GL	Calidad nutracéutica					Capsaicinoides
		pH	AT	°B	CC	VC	CTC
BLOQUES	2	0.01	0.01	0.00	0.16	1.4	1E+11**
CRUZAS	24	0.17	0.01	0.03	1.00*	222.9**	3E+10**
ACG	4	0.04	0.00	0.11	1.69*	226.8**	4E+10**
ACE	10	0.31	0.02	0.03	1.12*	329.6**	2E+10**
EM	4	0.09	0.01	0.01	1.00*	162.0**	2E+10**
ER	6	0.09	0.01	0.01	0.35	83.1**	3E+10**
ERROR	48	0.02	0.00	0.01	0.20	29.15	3.00E+10
TOTAL	74						
MEDIA		5.36	0.54	1.16	0.87	29.81	241469.6
CV		2.61	12.46	9.97	51.09	18.11	71.58

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 fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matriz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides, VC: Vitamina C y Contenido total capsaicinoides (SHU).

2.3.2 COMPARACIÓN DE MEDIAS DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.2.1 RENDIMIENTO

Los progenitores L3 y LVLC2 registraron el mayor NTF por metro cuadrado ($P \leq 0.05$), con 43 y 30 y también mayor PTF con $3700 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ y $2228 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, respectivamente y superaron significativamente a L1 (9 frutos y $666 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) y L2014 (10 frutos y $930 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$). La L3 destaca en los dos componentes del rendimiento para chile manzano (NTF y PTF), y lo convierte en candidata para el registro como variedad comercial. Si se extrapola el rendimiento obtenido por la L3 a rendimiento por hectárea se tiene que considerar tres flujos de producción por año, de esta manera se tendrían $3.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ por tres y da un total de $110 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ que supera de forma importante al rendimiento de 80 toneladas por

hectárea que mencionan Pérez & Castro (2012) que pueden ser alcanzadas en un sistema de producción en invernadero y uso de variedades mejoras.

2.3.2.2 Calidad física de fruto, Calidad nutraceutica y contenido de capsaicinoides

El mayor ($P \leq 0.05$) peso promedio de fruto (PPF) lo tuvieron la L2014 y la LVLC1 con 100 g y 87 g, y las de menor en L1 y LVLC2 con 80 y 75 g, respectivamente. En relación con el ÍND L/D, la LVLC2 y la LVLC1 fueron la de mayor índice con 1.11 y 1.03, respectivamente, lo que indica que los frutos de estas líneas son más largos que anchos y de acuerdo con Pérez y Castro (2012) esta forma de fruto es deseable para el mercado actual de este tipo de chile. Contrariamente, las líneas L1 y L2014 presentaron frutos más anchos que largos, ya que tienen un ÍND L/D de 0.87 y 0.84, respectivamente (Cuadro 3).

Los frutos de mayor tamaño (volumen de fruto) ($P \leq 0.05$) se presentaron en la L3 y L2014 con 130 mL y 121 mL, respectivamente. En el caso de la L3 se conjuntan el mayor tamaño de fruto (Cuadro 3) y el mayor rendimiento por metro cuadrado, lo que la destaca de los demás progenitores. Por otra parte, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre progenitores para firmeza de fruto (FF), color del fruto (ch, h y L), calidad nutraceutica (pH, AT, °B, CC y VC) y contenido de capsaicinoides (Cuadro 3). Posiblemente porque estos caracteres han sido fijados en las líneas sobresaliente con que cuenta el programa de mejoramiento genético de chile manzano de la UACH (Pérez & Castro, 2012), ya que el proceso de mejoramiento genético inicio desde 1994 a través de selección de genotipos donde se han considerado los caracteres mencionados y actualmente las líneas sobresalientes tienen un comportamiento similar en estos parámetros.

Cuadro 3. Promedios de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y capsaicinoides en cinco líneas progenitoras de chile manzano.

Prog	Pijx	Rendimiento		Calidad física de fruto				
		NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	
L1	1	9 c	666 c	80 b	0.87 b	100 b	0.5 ab	
L3	2	43 a	3700 a	86 ab	0.98 ab	130 a	0.6 a	
LVLC1	3	21 bc	1850 bc	87 ab	1.02 ab	118 ab	0.5 ab	
LVLC2	4	30 a	2228 bc	75 b	1.11 a	99 b	0.4 b	
L2014	5	10 c	930 bc	100 a	0.84 b	121 ab	0.6 a	
DMS		15.502	1410.5	16.67	0.1708	28.585	0.1208	

		Calidad física de fruto				Calidad nutraceutica	
		FF	ch	h	L	pH	AT
L1	1	37.8 a	34.8 a	74.1 a	36.1 a	5.6 a	0.5 a
L3	2	37.8 a	57.0 a	68.0 a	38.2 a	5.6 a	0.6 a
LVLC1	3	40.5 a	56.9 a	68.4 a	34.0 a	5.8 a	0.4 a
LVLC2	4	29.0 a	45.2 a	67.4 a	41.3 a	5.8 a	0.4 a
L2014	5	39.5 a	37.5 a	64.5 a	35.1 a	5.7 a	0.4 a
DMS		12.138	29.685	35.81	8.69	0.43	0.21

		Calidad nutraceutica			Capsaicinoides
		°B	CC	VC	CTC
L1	1	1.0 a	0.7 a	38.355 a	157717 a
L3	2	1.1 a	2.3 a	43.468 a	128296 a
LVLC1	3	1.2 a	1.3 a	38.355 a	345984 a
LVLC2	4	1.1 a	1.0 a	35.798 a	177876 a
L2014	5	1.0 a	1.0 a	37.076 a	238216 a
DMS		0.4293	2.102	27.011	421389

NTF: Número total de fruto (m²); PTF: Peso total de fruto (g·m²); PPF: Peso promedio de fruto (PTF/NTF) en g; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio (mm); FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable (%); °B: Solidos solubles totales; CC: Contenido de carotenoides (µg por 100 gramos de fruto); VC: Vitamina C (µg por 100 gramos de fruto) y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). DMS: Diferencia mínima significativa. Tukey ($\alpha = 0.05$).

2.3.3 COMPARACIÓN DE MEDIAS DE 20 CRUZAS PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.3.1 RENDIMIENTO

Los híbridos LVLC1×L3, L3×L1, L1×L3 y LVLC 2×L2014 tuvieron el mayor número total de frutos por metro cuadrado (NTF) con 55, 54, 52 y 51 (Cuadro 4), respectivamente, y fueron estadísticamente superiores ($P \leq 0.05$) a los híbridos L1×L2014 y L2014×L1, que registraron el número de frutos más bajos con 8 y 10, respectivamente. De los híbridos que alcanzaron mayor número total de fruto por metro cuadrado, solo en el híbrido L3×L1 se alcanzó el mayor peso total con $4390 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ es decir, en este híbrido se combinan los dos componentes del rendimiento. Si se extrapola a rendimiento por hectárea al año, considerando tres flujos de producción (Pérez & Castro, 2012) este híbrido tendría 1,620,000 frutos con un peso de 131 toneladas. Este rendimiento supera con 21 toneladas a la mejor línea progenitora que fue la L3.

2.3.3.2 CALIDAD FÍSICA DE FRUTO

El híbrido que registro el mayor peso promedio de fruto ($P \leq 0.05$) fue L1×L2014 y su crusa reciproca L2014×L1 con 107 g y 106 g, respectivamente. No obstante, también fueron los de menor rendimiento (Cuadro 3). En tanto que los híbridos L3×L1, LVLC2×L2014 y LVLC1×L3, tuvieron peso de fruto intermedio con 81 g, 84 g y 77 g, respectivamente, pero son los de mayor rendimiento. Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Pérez-Grajales et al. (2009); quienes señalaron que el peso promedio del fruto del chile manzano tiene relación negativa con el número de frutos por planta. Por lo que se busca conjuntar un alto rendimiento de fruto, aunque estos sean de tamaño intermedio como es el caso de los híbridos mencionados.

En relación con la forma de fruto los híbridos LVLC1×LVLC2, LVC2×LVLC1 y LVLC2×L2014, tuvieron índices (ÍND L/D) superiores a uno con 1.2, 1.17 y 1.12, respectivamente, por lo que sus frutos son más largos que anchos y de acuerdo con Pérez & Castro (2012) esta forma de fruto es preferida por los consumidores de este tipo

de chile. Se observó que en las cruzas donde interviene la LVLC2 (Cuadro 3), sus progenies (híbridos) tienden a ser frutos con forma alargada, y es un carácter distintivo de este progenitor.

Los frutos de mayor tamaño se obtuvieron en las cruzas LVLC1×L3 (162 mL), L1×L3 (153 mL), L3×L1 (149 mL) y L2014×LVLC2 (146 mL), con $P \leq 0.05$, en particular, el híbrido L3×L1 destaca también por su alto rendimiento de fruto (Cuadro 3).

Los híbridos con mayor grosor de pericarpio (GP) ($P \leq 0.05$) fueron LVLC1×L1, VLC1×L3, L1×L3 y L3×L1, con 0.66 mm, 0.60 mm, 0.60 mm y 0.57 mm, respectivamente, y destaca nuevamente el híbrido L3×L1 porque a la vez presenta alto rendimiento de fruto. Los híbridos de mayor GP también presentaron la mayor firmeza de fruto (FF) con 44.4, 40.5, 39.3 y 41.1 Newtons (N), respectivamente. De acuerdo con Espinoza-Torres et al. (2010), los frutos con buena firmeza y grosor de pericarpio superior a cinco mm se consideran de alta calidad, debido a que son frutos que presentan menor pérdida de peso y mayor vida poscosecha. Y de acuerdo con los resultados presentados en el Cuadro 3, la mayoría de los híbridos generados por las cinco líneas avanzadas presentaron un grosor de pericarpio superior a los cinco mm. Con respecto al color (ch, h y L) no hubo diferencias significativas entre los híbridos. Cabe mencionar que los híbridos L3×L1 y LVLC2×L2014 presentaron valores similares en ch (56), h (76) y L (41) por lo que presentan un color amarillo intenso, ligeramente brillante y saturado (Francis, 1980). El color de un fruto es el primer aspecto de calidad que percibe el consumidor, si el color no resulta atractivo, no se disfrutará del sabor ni de su textura (Francis, 1980). En tanto que en Chile manzano los frutos de color amarillo son más preferidos por los consumidores (Pérez & Castro, 2012).

2.3.3.3 CALIDAD NUTRACÉUTICA Y CAPSAICINOIDES

Los híbridos LVLC2×L3 y L3×LVLC1 tuvieron el pH de fruto más alto ($P \leq 0.05$) con 5.9 y 5.5, respectivamente. Y las cruzas que registraron el pH más bajo fueron la L2014×LVLC2 y LVLC2×L2014 que fue de 5.1 en ambas. El resto de las cruzas se mantuvo en un rango de pH entre 5.2 y 5.4. Estos hallazgos coinciden con lo encontrado por Mendoza, *et al.* (2015) donde obtuvieron un pH de 5.5 en Chile jalapeño rojo, mientras que, el Chile jalapeño verde tuvo un pH de 6,3 de pH.

Las cruzas L2014×LVLC2 y L2014×LVLC1 presentaron los valores más altos de acidez titulable (AT) ($P \leq 0.05$), con 0.67 y 0.63 %, respectivamente. El híbrido LVLC2×L3, registró el valor más bajo de 0.4 %. Sin embargo, este valor fue estadísticamente igual al de los otros 17 híbridos, que se mantuvieron entre 0.47 y 0.60 de acidez titulable. Se observó que, a mayor de pH, la acidez titulable disminuye (Cuadro 3) y se confirma que el pH cambia en función de la acidez titulable (Baldwin et al., 1993). Lo anterior, se debe a los cambios en el contenido de ácidos orgánicos ionizados presentes en el tejido vegetal (Baldwin et al., 1993). Los híbridos que presentaron los °B más altos ($P \leq 0.05$) fueron la LVLC2×L3, L2014×LVLC1, LVLC1×LVLC2 y L3×LVLC2 con valores de 1.4, 1.4, 1.3 y 1.3, respectivamente. en comparación con el híbrido L1×LVLC2, que registró el valor más bajo de °B con 1.0. Los resultados difieren de los obtenidos por Navarro et al. (2006) para frutos de chile rojo en dos etapas de madurez: completamente rojos (6.99 °B) y frutos con un 50 % de coloración roja (4.92 °B). También contrastan con los reportados por Fox et al. (2005) para frutos maduros de chile pimiento rojo 'Robusta' cosechados en dos fechas diferentes, con valores de hasta 6.9 y 7.9 °B. Malundo, et al. (1995), afirman que los sólidos solubles totales y la relación de azúcares con ácidos orgánicos, interactúan en el sabor de fruto.

Los híbridos con mayor contenido de carotenoides (CC) ($P \leq 0.05$) fueron la L1×LVLC2, L3×LVLC1 y LVLC2×L1 con 1.73, 1.7 y 1.50 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de fruto. La relevancia de los carotenoides se debe a sus funciones fundamentales en el metabolismo de las plantas, como la captación de luz, la fotoprotección y la disipación del exceso de energía, lo que los hace pigmentos únicos (Bosland, et al., 2012). Son importantes desde el punto de vista nutricional por ser antioxidantes, benéficos para la prevención de enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer y las relacionadas con la edad (Zamora, 2007; Bosland et al., 2012). En este sentido, los híbridos L1×LVLC2, L3×LVLC1 y LVLC2×L1 tienen importancia para una dieta saludable, en tanto que el híbrido (L3×L1) que fue el de mayor rendimiento de fruto presento un valor intermedio de CC con 0.83 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Cuadro 4). De ahí que es relevante considerar, en el proceso de mejoramiento genético de esta especie, el valor nutracéutico de los genotipos seleccionados para registro y uso comercial.

Los híbridos con mayor contenido de vitamina C (VC) ($P \leq 0.05$) fueron LVLC2×L2014, LVLC2×L3, L2014×L3, LVLC2×L1 y L1×LVLC2, con 43.5, 42.2, 37.1, 37.0 y 34.5 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}$ de fruto, respectivamente. Estos híbridos tienen 54 % más de vitamina C que los híbridos LVLC1×LVLC2, L1×L2014, L1×LVLC1 y L2014×L1, que tan solo obtuvieron 14.4, 16.6, 19.1 y 21.7 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}$ de fruto, respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron que los híbridos no superaron los niveles de contenido de vitamina C de sus progenitores. Mientras que los parentales exhibieron niveles en un intervalo de 35.7 y 43.4 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}$ de fruto. El consumo de chile (*Capsicum* spp.) es fuente importante de vitaminas E y C, carotenoides, o provitamina A, y xantofilas y junto con los antioxidantes están en concentraciones altas en varias especies (Bosland et al., 2012). Sin embargo, el contenido de vitamina C en chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruíz y Pavón) de fruto amarillo es indicado de 210 hasta 455 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de tejido fresco (Cruz-Pérez et al., 2007; Espinosa-Torres et al., 2010). En este contexto, el híbrido LVLC2×L2014 mostró el mayor contenido de vitamina C, con 43.5 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de fruto, además de ser uno de los de mayor rendimiento (Cuadro 3), lo que indicó su buen potencial para registro.

Con relación al contenido de capsaicinoides no hubo diferencias significativas entre los híbridos y el valor promedio de ellos fue de 249432 unidades Scoville (SHU) lo que corresponde a un picor característico del chile manzano (Pérez et al., 2019). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Pérez-Grajales et al. (2021), donde encontraron diferencias en los capsaicinoides totales en plantas de chile manzano injertadas sobre el chile serrano Criollo Morelos-344 (CM-344). Por lo que es importante mencionar que la concentración de capsaicinoides son inestables y están sujetos a la interacción genotipo-ambiente (Arce-Rodríguez & Ochoa-Alejo, 2019; Barbero et al., 2016). Lo que podría explicar la limitada variabilidad observada entre los híbridos (Cuadro 4) en su contenido de capsaicinoides, ya que fueron cultivados en condiciones controladas de invernadero e hidroponía.

Cuadro 4. Promedios de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y capsaicinoides de 20 híbridos de chile manzano obtenidas de cinco líneas progenitoras de acuerdo con el Diseño Dialélico de Griffing Método I (1956).

Pi × Pj	Rendimiento		Calidad física de fruto						
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch	
1 2	52 a-c	3832 a-c	73 b	1.03 b-e	153 ab	0.60 ab	39.3 a-c	67.3 a	
1 3	33 a-c	2378 a-c	73 b	1.10 a-c	130 a-f	0.53 a-c	40.9 ab	49.5 a	
1 4	42 a-c	3138 a-c	74 b	1.03 b-e	122 b-f	0.50 bc	36.4 a-c	50.6 a	
1 5	8 c	840 c	107 a	0.87 f	102 f	0.57 ab	38.2 a-c	49.8 a	
2 1	54 ab	4390 a	81 b	0.9 ef	149 ab	0.57 ab	41.1 ab	56.2 a	
2 3	44 a-c	3117 a-c	75 b	1.00 c-f	138 a-e	0.60 ab	42.2 ab	46.1 a	
2 4	39 a-c	3014 a-c	78 b	1.1 a-d	136 a-f	0.53 a-c	34.3 bc	45.8 a	
2 5	30 a-c	2170 a-c	73 b	0.97 d-f	137 a-f	0.60 ab	38.1 a-c	56.3 a	
3 1	40 a-c	3048 a-c	78 b	1.07 a-d	128 a-f	0.63 a	44.4 a	52.0 a	
3 2	55 a	4162 ab	77 b	1.07 a-d	162 a	0.60 ab	40.5 ab	41.8 a	
3 4	32 a-c	2400 a-c	75 b	1.2 a	122 b-f	0.60 ab	35.9 a-c	39.9 a	
3 5	39 a-c	2768 a-c	71 b	1.1 a-d	123 b-f	0.60 ab	38.1 a-c	49.8 a	
4 1	42 a-c	3513 a-c	84 b	1.00 c-f	141 a-d	0.57 ab	36.8 a-c	47.8 a	
4 2	45 a-c	3662 a-c	82 b	1.10 a-d	113 c-f	0.43 c	30.8 c	53.7 a	
4 3	32 a-c	2298 a-c	72 b	1.17 ab	112 c-f	0.60 ab	36.2 a-c	62.3 a	
4 5	51 a-c	4294 a	84 b	1.13 a-c	108 d-f	0.50 bc	35.2 bc	56.2 a	
5 1	10 bc	1028 bc	106 a	0.90 ef	106 ef	0.50 bc	40.0 ab	50.3 a	
5 2	33 a-c	2244 a-c	66 b	1.00 c-f	125 b-f	0.60 ab	43.1 ab	51.1 a	
5 3	31 a-c	2246 a-c	72 b	1.13 a-c	120 b-f	0.53 a-c	43.2 ab	55.4 a	
5 4	45 a-c	3421 a-c	76 b	1.10 a-d	145 a-c	0.53 a-c	36.0 a-c	45.1 a	
DMSH	44.041	3200.1	12.895	0.1582	35.614	0.1233	8.5561	29.122	

Continuación Cuadro 4...

Pi × Pj	Calidad nutracéutica						Capsaicinoides	
	h	L	pH	AT	°B	CC	VC	CTC
1 2	73.1 a	34.6 a	5.2 bc	0.60 ab	1.1 ab	0.60 c-f	26.8 e-d	288780 a
1 3	57.5 a	41.6 a	5.3 bc	0.57 ab	1.1 ab	0.50 c-f	19.1 ef	290771 a
1 4	54.4 a	37.2 a	5.2 bc	0.47 ab	1.0 b	1.73 a	34.5 a-d	200957 a
1 5	66.3 a	40.5 a	5.4 bc	0.53 ab	1.1 ab	0.10 f	16.6 f	233388 a
2 1	76.2 a	41.8 a	5.3 bc	0.57 ab	1.1 ab	0.83 a-f	21.7 ef	171835 a
2 3	58.4 a	40.3 a	5.5ab	0.53 ab	1.2 ab	1.70 ab	33.2 a-d	238156 a
2 4	64.0 a	45.4 a	5.2 bc	0.53 ab	1.3 ab	0.83 a-f	28.1 c-e	251165 a
2 5	67.2 a	40.0 a	5.3 bc	0.50 ab	1.1 ab	1.27a-e	24.2 d-f	252064 a
3 1	52.7 a	38.4 a	5.3 bc	0.57 ab	1.2 ab	0.20 f	21.7 ef	201277 a
3 2	73.2 a	36.6 a	5.2 bc	0.57 ab	1.2 ab	0.23 ef	24.2 de	142968 a
3 4	68.4 a	31.2 a	5.1 bc	0.53 ab	1.3 ab	0.20 f	14.0 f	204483 a
3 5	41.5 a	38.7 a	5.3 bc	0.57 ab	1.3 ab	0.43 d-f	28.1 c-e	286184 a
4 1	65.1 a	40.8 a	5.2 bc	0.60 ab	1.1 ab	1.50a-c	37.0 ac	191703 a
4 2	74.4 a	37.6 a	5.9 a	0.40 b	1.2 ab	1.43a-d	42.2 ab	205502 a
4 3	69.4 a	30.8 a	5.3 bc	0.60 ab	1.4 a	0.97 a-f	23.0 d-f	302978 a
4 5	59.6 a	41.9 a	5.1 bc	0.60 ab	1.1 ab	0.90 a-f	43.5 a	265848 a
5 1	58.4 a	37.7 a	5.2 bc	0.60 ab	1.1 ab	0.00 f	21.7 e-f	212496 a
5 2	66.0 a	39.1 a	5.2 bc	0.57 ab	1.2 ab	0.43 d-f	37.1 a-c	158441 a
5 3	70.3 a	39.6 a	5.2 bc	0.63 a	1.4 ab	0.67 b-f	24.3 d-f	282583 a
5 4	51.9 a	35.1 a	5.1 c	0.67 a	1.1 ab	0.90 a-f	30.7 b-e	607073 a
DMSH	36.768	15.404	0.4273	0.2098	0.3389	1.0429	12.698	561893

NTE: Número total de fruto (m²); PTF: Peso total de fruto (g·m²); PPF: Peso promedio de fruto (PTF/NTE); ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto (ml); GP: Grosor de pericarpio (mm); FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable (%); °B: Solidos solubles totales SST (°B); CTC: Contenido de carotenoides (µg por 100 gramos de fruto); VC: Vitamina C (µg por 100 gramos de fruto) y Contenido total capsaicinoides (SHU). DMSH: Diferencia mínima significativa homologada. 1=L1; 2=L3; 3=L VLC1; 4=L VLC2; 5=L2014. Tukey (P≤ 0.05).

2.3.4. APTITUD COMBINATORIA GENERAL DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.4.1 RENDIMIENTO

El análisis de la ACG (Cuadro 5) muestra que las líneas L3 y LVLC2 tienen una contribución significativa ($P \leq 0.05$) en la variable NTF, con valores de 4.02 y 1.77, respectivamente. También tienen ACG para peso total de fruto (PTF), con 359.58 y 140.48. Este análisis destaca la importancia de los progenitores en la formación de híbridos, e indicó que L3 y LVLC2 tienen alta posibilidad de generar híbridos de buen rendimiento de fruto debido a su ACG. Este resultado coincide con lo estudiado por Sitaresmi, et al. (2016), quienes encontraron que la varianza aditiva fue mayor a la varianza de dominancia, en número de frutos por plantas y peso de frutos de *Capsicum annuum* L.

2.3.4.2 CALIDAD FÍSICA DE FRUTO

En peso promedio de fruto (PPF) la L2014 presenta el valor más alto de ACG con 4.96, aunque no difiere estadísticamente de los otros progenitores.

En relación con la forma de fruto, el índice (ÍND L/D) de la LVLC2 y LVLC1 mostraron efectos positivos de ACG con 0.06 y 0.04, respectivamente, lo que indica que estas líneas son buenas para generar híbridos de frutos alargados (Cuadro 4). Este resultado es relevante para el programa de mejoramiento genético de chile manzano, ya que uno de los objetivos es generar híbridos no solo de alto rendimiento y calidad física de fruto sino también de forma alargada los cuales son preferidos en el mercado actual de este tipo de chile.

En tamaño de fruto (VF) la L3 fue superior en ACG con 6.26, mientras que L2014, LVLC2 y L1 mostraron contribuciones negativas con valores de -3.76, -2.72 y -1.26, respectivamente (Cuadro 5). Por lo que la L3 contribuye positivamente en el tamaño de fruto de sus progenies. Para el grosor de pericarpio (GP) nuevamente las L3 junto con la L1 y la LVLC1 mostraron contribuciones a sus progenies. Por lo tanto, la L3 se muestra

como un progenitor que combina bien con otros progenitores para mayoría de las variables de rendimiento y calidad física de fruto.

En la firmeza de fruto (FF) destacaron la LVLC1, L1 y L2014 con valores de 1.87, 0.99 y 0.82, respectivamente (Cuadro 5). Este carácter de firmeza de fruto es muy importante en la vida poscosecha en este tipo de chile, de ahí la importancia de haber identificado a las líneas LVLC1, L1 y L2014, que manifiestan positivamente este carácter a sus progenies cuando se cruzan con otros progenitores.

En relación con el color de fruto, en sus parámetros de chroma (ch), matiz (h) y brillo (L), no se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo cual indicó que ninguno de los cinco progenitores se manifestó positivamente a sus progenies (Cuadro 5).

2.3.4.3 CALIDAD NUTRACÉUTICA

No se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en pH, acidez titulable (AT) y en vitamina C (VC). Es decir, que ningún progenitor contribuye positivamente en estos caracteres en sus progenies al cruzarse con otros. Pero si en sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{B}$) donde la LVLC1, L3 y LVLC2 destacaron en ACG, con valores de 0.06, 0.01 y 0.01, respectivamente (Cuadro 5), y en contenido de carotenoides (CC) la L3 y LVLC2 con 0.14 y 0.04, respectivamente (Cuadro 5). Como puede notarse la L3 destaca en su ACG para rendimiento, calidad física de fruto y en dos variables de calidad nutracéutica ($^{\circ}\text{B}$ y CC).

2.3.4.4 CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES

En el contenido total de capsaicinoides (CTC) la L2014, LVLC1 y LVLC2 tuvieron valores de ACG positivos y altos con 11743, 7398 y 5573, respectivamente (Cuadro 5). en el programa de mejoramiento genético de chile manzano estas líneas progenitoras sobresaliente pueden emplearse para generar híbridos con mayor picor (alto contenido de capsaicinoides).

Cuadro 5. Aptitud combinatoria general (ACG) en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceutica y contenido de capsaicinoides en cinco progenitores de chile manzano.

Prog	Rendimiento		Calidad física de fruto			
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP
L1	-2.35 bc	-192.21 b	1.72 a	-0.05 c	-1.26 b	0.00 a
L3	4.02 a	359.58 a	-1.42 a	-0.01 a	6.26 a	0.01 a
VLC1	-0.08a-c	-31.68 ab	-2.24 a	0.04 a	1.48 ab	0.01 a
VLC2	1.77 ab	140.48 ab	-3.02 a	0.06 a	-2.72 b	-0.01 b
L2014	-3.36 c	-276.17 a	4.96 a	-0.03 b	-3.76 b	0.00 ab

	Calidad física de fruto				Calidad nutraceutica	
	FF	ch	h	L	pH	AT
L1	0.99 a	-1.73 a	0.25 a	0.25 a	-0.05 a	0.02 a
L3	0.29 b	3.27 a	1.23 a	0.99 a	0.02 a	0.01 a
VLC1	1.87 a	1.41 a	-0.44 a	-1.61 a	0.03 a	-0.01 a
VLC2	-3.97 c	-1.08 a	-0.07 a	0.36 a	0.03 a	-0.02 a
L2014	0.82 ab	-1.88 a	-0.97 a	0.01 a	-0.03 a	0.00 a

	Calidad nutraceutica			Capsaicinoides
	°B	CC	VC	CTC
L1	-0.05 c	-0.08 b	-1.7 a	-10054.13 b
L3	0.01 ab	0.14 a	2.6 a	-14660.42 b
VLC1	0.06 a	-0.03 b	-2.5 a	7397.9 ab
VLC2	0.01 ab	0.04 ab	1.6 a	5573.27 ab
L2014	-0.02 b	-0.07 b	0.0 a	11743.3 4a

Prog: Progenitor; NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Solidos solubles totales SST; CTC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CC: Contenido total capsaicinoides (SHU). Valores con la misma letra en cada columna, no son estadísticamente diferentes (t de Student, $P=0.05$).

2.3.5. EFECTOS MATERNOS (EM) DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.5.1 RENDIMIENTO

En los dos componentes del rendimiento, número total de frutos (NTF) y peso total de fruto (PTF), la LVLC1 y LVLC2 mostraron EM positivos y significativos con 0.91, 0.42 para NTF y de 120.71 y 92.59 para PTF, respectivamente (Cuadro 6). Esto significó que estos progenitores LVLC1 y la LVLC2 cuando intervienen como hembra, sus genes extranucleares (de las mitocondria y cloroplasto) contribuyeron a estos caracteres. Por ejemplo, en la crusa L2014×LVLC2 (Cuadro 4), tiene un rendimiento de $3,420 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, aquí LVLC2 intervino como macho, pero cuando intervino como hembra, LVLC2×L2014 el rendimiento fue de $4,293 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, lo que representó un aumento del 26 %. Desde el punto de vista económico y con fines comerciales, un incremento en el rendimiento de fruto de chile manzano de esa magnitud es altamente significativa para los productores de este tipo de chile. De esta manera, es mejor emplear a la línea progenitora LVLC2 como hembra y no como macho en los cruzamientos para la generación de híbridos comerciales.

2.3.5.2 CALIDAD FÍSICA DE FRUTO

La LVLC2 presentó efectos maternos (EM) en peso promedio de fruto (PPF), y L3 y LVLC1 en grosor de pericarpio (GP) (Cuadro 6). Respecto a la firmeza de fruto (FF) la L3 y L2014 tuvieron EM. También la LVLC2 y L1 en el color del fruto específicamente en el chroma (ch). Mientras que la L3 y la LVLC2 tuvieron EM en el brillo (L). pero no se encontraron EM para la forma de fruto (IND L/D), tamaño de fruto (VF) y en el matiz (h). Esto significa que las líneas mencionadas contribuyen positivamente en los caracteres de calidad del fruto a través de sus efectos maternos cuando actúan como progenitoras hembras en los cruzamientos. Por ejemplo, el híbrido LVLC2×L3 (Cuadro 4) presenta un grosor de pericarpio de 0.43 mm, en este caso, L3 actúa como macho. Sin embargo, en el híbrido L3×LVLC2, L3 actúa como hembra y el grosor de pericarpio es de 0.53 mm, lo que

representa un incremento de 0.1 mm. De esta manera la L3 confiere a sus progenies no solo alto rendimiento sino también buen grosor de pericarpio especialmente cuando actúa como hembra en los cruzamientos entre progenitores. El grosor de pericarpio es un carácter de importancia para la vida poscosecha de los frutos de chile manzano.

En cuanto a los efectos maternos de la L2014 en firmeza de fruto, en el híbrido formado por LVLC1×L2014 tiene un valor de 38.1 N (Cuadro 4) esto ocurre cuando la L2014 intervino como progenitor masculino, pero cuando interviene como progenitor femenino (L2014×LVLC1) presentó un valor de 43.2 N. La firmeza de fruto es un carácter de importancia económica para los productores y comercializadores, ya que este carácter mantiene la consistencia y apariencia atractiva de los frutos, desde su cosecha hasta el consumidor final.

2.3.5.3 CALIDAD NUTRACÉUTICA

No se encontraron EM en pH, acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (°B), y contenido total de capsaicinoides (Cuadro 6). Pero si en el contenido de carotenoides (CC), en este caso la L3 tuvo un valor positivo de 0.13, y también en contenido de vitamina C en la LVLC2 y L2014 con un valor de 1.9 y 0.1, respectivamente. La mayoría de los programas de mejoramiento genético se han centrado en incrementar el rendimiento y la calidad física de los frutos, pero no de la calidad nutracéutica de los mismos. En este sentido, se idéntico a la L3 no solo por su alta ACG en el rendimiento (Cuadro 5) sino también por sus efectos maternos para incrementar el contenido de carotenoides en los frutos de chile manzano. En la cruce LVLC1×L3, donde L3 actúa como macho, el híbrido presentó un valor de 0.23 µg por 100 gramos de fruto en carotenoides. Sin embargo, cuando L3 intervino como hembra (L3×LVLC1), se obtuvo mayor contenido de carotenoides, con un valor de 1.70 µg por 100 g de fruto.

Cuadro 6. Efectos maternos (EM) en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides en cinco progenitores de chile manzano.

Prog	Rendimiento		Calidad física de fruto			
	NTF	PTF	PPF	INDI	VF	GP
L1	-0.36 b	-92.44 d	-1.65 c	0.009 a	-1.71 a	-0.01 ab
L3	-0.72 c	-62.38 c	0.72 a	-0.012 a	0.72 a	0.01 a
VLC1	0.91 a	120.71 a	0.72 a	0.002 a	3.62 a	0.02 a
VLC2	0.42 a	92.59 a	1.38 a	-0.002 a	-5.03 a	-0.01 b
L2014	-0.25 b	-58.48 b	-1.17 b	0.004 a	2.40 a	-0.01 b

	Calidad física de fruto				Calidad nutracéutica	
	FF	ch	h	L	pH	AT
L1	-0.30 c	0.58 a	-0.11 a	-0.22 ab	0.01 a	-0.02 a
L3	0.17 a	-0.51 b	-2.08 a	0.88 a	-0.01 a	0.00 a
VLC1	-0.02 a	-1.59 c	-1.98 a	-0.33 b	-0.04 a	-0.01 a
VLC2	-0.14 b	2.06 a	2.97 a	0.10 ab	0.09 a	0.00 a
L2014	0.30 a	-0.54 c	1.21 a	-0.43 b	-0.05 a	0.03 a

	Calidad nutracéutica			Capsaicinoides
	°B	CC	VC	CTC
L1	0.00 a	0.03 c	-0.2 ab	23658.52a
L3	0.00 a	0.13 a	-1.1 b	11752.80a
VLC1	0.00 a	-0.18 c	-0.6 b	-27957.64a
VLC2	0.00 a	0.07 b	1.9 a	-29764.61a
L2014	0.00 a	-0.05 c	0.1 a	22310.93a

Prog: Progenitor; NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales SST; CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). Valores con la misma letra en cada columna, no son estadísticamente diferentes (t de Student, $P=0.05$).

2.3.6 HETEROSIS VARIETAL Y HETEROSIS MEDIA DE PROGENITORES PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACÉUTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.6.1 RENDIMIENTO

La heterosis varietal (HV) (Cuadro 7), no se encontraron diferencias significativas en los componentes de rendimiento (NTF y PTF) del chile manzano. Estos resultados coinciden con lo reportado por Souza y Maluf (2003), quienes encontraron una heterosis varietal positiva y negativa significativa en el número de semillas por fruto, pero no observaron significancia en el rendimiento total del fruto en ninguno de los progenitores en chile jalapeño.

2.3.6.2 CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACÉUTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES

No se mostraron significancias en la heterosis varietal de los progenitores en calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides (Cuadro 7). Excepto en peso promedio de fruto (PPF), donde el progenitor L1 mostró heterosis varietal significativa ($P \leq 0.05$) de 10.24. Lo que significó que solo en este caso este progenitor hace un aporte significativo a su progenie.

2.3.6.3 HETEROSIS MEDIA DE PROGENITORES

No se encontró diferencia significativa de heterosis media de progenitores en componentes en ninguno de los componentes de rendimiento, Calidad física de fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides, excepto para volumen de fruto con valor de 19.29. De manera general los progenitores (líneas avanzadas de chile manzano) no tuvieron una contribución positiva y significativa en las variables mencionadas.

Cuadro 7. Heterosis varietal (HV) y heterosis media (h) en rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y capsaicinoides en cinco progenitores de chile manzano.

Prog	Rendimiento		Calidad física de fruto			
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP
L1	3.48	434.58	10.24 *	-0.03	5.02	-0.02
L3	-2.43	-342.94	-4.79	-0.04	4.08	-0.02
VLC1	0.83	-116.23	-7.51 *	0.04	-3.05	0.04
VLC2	0.82	248.52	3.59	0	0.15	0.01
L2014	-2.7	-223.93	-1.54	0.03	-6.2	-0.02
h	15.33	1024.11	-5.76	0.07	19.29 *	0.06

	Calidad física de fruto					
	FF	ch	h	L	pH	AT
L1	1.05	7.85	-3.43	1.28	0.05	-0.02
L3	-0.18	-4.09	7.78	0.68	0.15	-0.07
VLC1	0.34	-7.62	-2.58	-0.26	-0.08	0.04
VLC2	-0.46	-1.04	0.55	-3.45	-0.07	0
L2014	-0.75	4.91	-2.32	1.75	-0.04	0.05
h	1.59	5.05	-5.07	1.52	-0.44 *	0.08

	Calidad nutracéutica			Capsaicinoides
	°B	CC	VC	CTC
L1	-0.08	0.19	-3.45	-8091.86
L3	-0.02	-0.35	0.38	-7097.26
VLC1	0.08	-0.23	-5.37	-75859.9
VLC2	0	0.52	6.78	54912.19
L2014	0.03	-0.13	1.66	36136.86
h	0.08	-0.48	-10.99*	39815.06

Prog: Progenitor; NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Solidos solubles totales SST (°B); CC: Contenido de carotenoides y VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). h: Heterosis media. *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.

2.3.7 APTITUD COMBINATORIA ESPECIFICA DE CRUZAS PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICO DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

En los años 30's se implementó el uso de híbridos en los cultivos agrícolas y su desarrollo ha sido progresivo desde entonces, y a proporcionando incrementos de rendimiento de hasta 50 % (Chen, 2013). A pesar de que se ha investigado las bases genéticas, epigenéticas y de expresión de la heterosis, los aspectos metabólicos que subyacen a este fenómeno aún son poco claros (Chen, 2013). Según Butcher et al. (2013) y Segovia y Romero (2014), el desarrollo de germoplasma mejorado mediante la combinación de dos individuos superiores se puede crear una descendencia F1 deseable, con rendimientos más altos en cruzamientos simples o dobles.

Hoegenmeyer y Hallauer (1976), menciona que, para la generación de híbridos en los programas de mejoramiento genético, la aptitud combinatoria específica (ACE) es más relevante en comparación a la aptitud combinatoria general (ACG), debido a que muestra los efectos de dominancia y epistasis de los genes. Sin embargo, en el presente estudio no se encontraron significancias positivas en la aptitud combinatoria específica (ACE) de los híbridos (Cuadro 8) en los componentes de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceútica y contenido de capsaicinoides. Excepto para los híbridos L1×L2014 y L1×L3 que mostraron significancia ($P \leq 0.05$) positiva en peso promedio de fruto (PPF) y volumen de fruto (VF) con valor de 19.07 y 18.98, respectivamente. Estos resultados sugieren que los genes no aditivos (dominancia y epistasis) tienen un menor impacto en comparación con los genes aditivos. Estos resultados concuerdan con los reportados de Thilak et al. (2019), quienes investigaron los efectos genéticos de seis variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) y observaron que la aptitud combinatoria general fue mayor que la aptitud combinatoria específica para los dos componentes de rendimiento (número y peso de fruto).

Cuadro 8. Aptitud combinatoria específica (ACE) de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutraceútica y capsaicinoides en 20 híbridos formados por cinco líneas progenitoras de chile manzano por el Método I de Griffing ($ACE_{ij}=ACE_{ji}$).

Pi × Pj	Rendimiento		Calidad fe fruto					
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch
1 1	-15.08	-1167.82	-4.04	-0.024	-17.84	-0.04	-0.2	-5.43
1 2	13.55	1038.98	-2.84	-0.005	18.98*	0.02	0.11	6.15
1 3	3.42	202.35	-4.03	0.051	3.69	0.03	0.25	0.47
1 4	6.86	568.3	0.07	-0.02	9.56	0	0.21	1.03
1 5	-16.55	-1072.62	19.07*	-0.058	-14.23	-0.01	-0.14	2.06
2 2	0.19	201.11	8.26*	-0.01	-6.27	0	-0.09	0.05
2 3	8.05	513.79	-0.56	-0.027	15.8	0.03	0.16	-6.89
2 4	0.97	120.08	4.48	0.017	-3.46	-0.05	-0.3	-1.74
2 5	-2.98	-473.18	-13.40*	-0.008	3.41	0.04	0.21	1.24
3 3	-9.29	-554.01	10.47*	-0.063	-8	-0.05	-0.12	1.67
3 4	-3.55	-376.67	-1.33	0.044	-5.89	0.05	-0.01	0.25
3 5	3.01	101.05	-10.83*	0.062	-0.73	0.01	-0.08	1.69
4 4	-5.96	-530.2	1.38	-0.036	-16.41*	-0.07	-0.1	-1.35
4 5	12.5	1079.71	-1.81	0.049	7.2	-0.01	0.09	2.02
5 5	-12.83	-860.27	5.58	-0.054	-13.3	-0.06	-0.03	-4.08

	Calidad fe fruto		Calidad nutraceútica					Capsaicinoides
	h	L	pH	AT	°B	CC	VC	CTC
1 1	1.21	-0.9	0.27*	-0.03	-0.01	-0.03	10.2*	-63644.92
1 2	2.04	-0.6	-0.11	0.01	-0.02	-0.18	-6	13552.45
1 3	-2.13	1.7	-0.07	0.02	-0.01	-0.34	-4.8	7210.58
1 4	-1.13	0.12	-0.11	-0.01	-0.04	0.67	5.6	-40659.11
1 5	-0.31	0.37	0.05	0	0	-0.57	-8.3*	-20216.74
2 2	0.15	-0.68	0.21	0.01	-0.02	0.86*	7.3	-83853.01
2 3	0.14	0.48	-0.05	0.01	0	-0.01	-1	-43645.15
2 4	0.85	1.05	0.13	-0.06	0.04	0.07	1	-4048.64
2 5	0.45	0.21	-0.09	-0.02	0	-0.08	-1.6	-33299.85
3 3	0.64	-0.34	0.38*	-0.08	-0.04	0.37	11.7*	89718.28
3 4	1.17	-3.09	-0.21	0.04	0.07	-0.25	-9.6*	-710.43
3 5	-1.66	1.37	-0.12	0.06	0.08	-0.19	-1	23772.76
4 4	0.41	0.86	0.37*	-0.05	-0.02	0.02	2.4	-74740.44
4 5	-1.77	-0.02	-0.25*	0.09	-0.03	0.05	5.2	177674.25
5 5	0.26	-1.08	0.36*	-0.08	-0.05	0.22	6.3	-26740.19

NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.

2.3.8 EFECTOS RECÍPROCOS DE CRUZAS PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

Los híbridos evaluados no mostraron significancia estadística ($P \leq 0.05$) en los efectos recíprocos (ER) para los componentes de rendimiento, calidad del fruto, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides (Cuadro 9). Lo que indicó que ningún progenitor tiene efecto positivo en alguna combinación recíproca y que exprese su potencial híbrido en las variables evaluadas. El efecto recíproco (ER) se refiere a situaciones en combinaciones específicas de progenitores (p), que no presentan el mismo comportamiento al cruzarlos directamente ($p_i \times p_j$), como en su forma recíproca ($p_j \times p_i$) (Montesinos et al., 2009).

Cuadro 9. Efectos recíprocos (ER) de rendimiento, calidad física de fruto, calidad nutracéutica y capsaicinoides en 20 híbridos formados por las cruza Dialélicas (PixPj) de cinco líneas de chile manzano ($ER_{ij}=ER_{ji}$).

Pi × Pj	Rendimiento		Calidad física de fruto					
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch
1 1	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	0	0	-0.04	0.00141	2.52	0.01	0	0
1 3	0	0	0	0.0003	3.34	-0.01	0	0
1 4	0	0	-0.04	0.00018	-7.15	-0.02	0	0
1 5	0	0	0.01	-0.00069	1.29	0.01	0	0
2 2	0	0	0	0	0	0	0	0
2 3	0	0	-0.02	-0.00059	-4.9	0	0	0
2 4	0	0	-0.03	0.00034	3.2	0.02	0	0
2 5	0	0	0.04	-0.00001	4.22	-0.01	0	0
3 3	0	0	0	0	0	0	0	0
3 4	0	0	0.06	0.00041	-1.81	-0.01	0	0
3 5	0	0	-0.05	-0.00047	0.25	0	0	0
4 4	0	0	0	0	0	0	0	0
4 5	0	0	0.04	0.00069	-5.76	-0.01	0	0
5 5	0	0	0	0	0	0	0	0

Continuación Cuadro 9...

	Calidad nutracéutica							Capsaicinoides
	h	L	pH	AT	°B	CC	VC	CTC
1 1	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	-0.47	-0.02	-0.05	0.01	0	0	0.5	0
1 3	0.07	0.01	-0.03	0	0	-0.01	-0.5	0
1 4	-0.3	-0.01	0.05	-0.01	0	0.02	0.3	0
1 5	0.7	0.01	0.02	0	0	0	-0.7	0
2 2	0	0	0	0	0	0	0	0
2 3	-0.96	0.01	0.08	0	0	0.05	1.6	0
2 4	-0.02	0.02	-0.13	0.01	0	-0.04	-1.2	0
2 5	0.51	-0.01	0.01	0	0	0.03	-1.6	0
3 3	0	0	0	0	0	0	0	0
3 4	0.59	0.01	0.02	0	0	-0.02	-0.6	0
3 5	-1.48	0	0.03	0	0	0	0.8	0
4 4	0	0	0	0	0	0	0	0
4 5	0.27	0.02	-0.07	0	0	-0.02	1.4	0
5 5	0	0	0	0	0	0	0	0

NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.

2.3.9 HETEROSIS AL MEJOR PROGENITOR (HMP) (%) PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.9.1 RENDIMIENTO Y CALIDAD FÍSICA DE FRUTO

La heterosis respecto al mejor progenitor (Apéndice 2) se expresó en términos de heterosis porcentual (Hmp) (Cuadro 10). El único híbrido que mostró significancia positiva ($P \leq 0.05$) en los componentes de rendimiento fue la LVLC2×L2014 con 72 % en número total de frutos (NTF) y 93 % en peso total de frutos (PTF). Por su alta heterosis en rendimiento de fruto este híbrido es candidato para registro ante el SNICS como nueva variedad comercial.

En cuanto a la calidad física de fruto, el híbrido L1×L2014 mostró un 11 % de Hmp significativa en peso promedio de fruto (PPF). Y los híbridos L1×L3, L1×LVLC2, L3×L1, LVLC1×L3, LVLC2×L1 y L2014×LVLC2 con 18 %, 22 %, 15 %, 25 %, 41 % 43 %, respectivamente, mostraron heterosis significativa y positiva en tamaño de fruto (VF). En cuanto al grosor de pericarpio (GP), los híbridos LVLC1×L1, LVLC1×LVLC2 y LVLC1×L2014 presentaron heterosis significativa de 23 %, 18 % y 19 %, respectivamente. No obstante, no se observó heterosis significativa para el índice de fruto (ÍDF L/D), firmeza de fruto (FF) y el color del fruto chroma (ch), matiz (h) y brillo (L).

2.3.9.2 CALIDAD NUTRACÉUTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES

Las cruzas L2014×LVLC1 y L2014×LVLC2 obtuvieron una heterosis significativa respecto al mejor progenitor en acidez titulable (AT) con 43 % y 47 %, respectivamente (Cuadro 10). Los híbridos L1×LVLC2 y L2014×LVLC1 tuvieron una heterosis significativa de 80 % y 17 %, respectivamente, en sólidos solubles totales (°B). En tanto que las combinaciones L1×LVLC2 y LVLC1×LVLC2 mostraron heterosis alta en contenido de carotenoides (CC) del 76 % y 79 %, respectivamente. Por otro lado, el pH y la vitamina C no mostraron significancia de Hmp en ninguna craza.

En el contenido total de capsaicinoides (CTC) solo la craza L2014×LVLC2 obtuvo una heterosis alta y significativa ($P \leq 0.05$) respecto al mejor progenitor, con 155 %. La heterosis ha sido ampliamente utilizada en programas de mejoramiento de diversos cultivos para identificar poblaciones genéticamente divergentes, lo que sirve de base para desarrollar líneas endogámicas que se utilizarán en cruzamientos F1 (Hallauer & Miranda, 1988). De Souza & Maluf (2003), encontraron que las cruzas F1 en *Capsicum* exhiben una alta heterosis, la cual ha sido aprovechada para mejorar el rendimiento y otras características agronómicas de importancia económica. Características como longitud y diámetro del fruto, número de semillas, rendimiento y contenido de capsaicina de fruto han sido reportadas con un alto vigor híbrido (De Souza & Maluf, 2003); Kumar et al. (2014) reportaron heterosis alta para rendimiento y la calidad del fruto y Cruz-Pérez et al. (2007) en contenido de vitamina C y capsaicinoides en diferentes grados de madurez del fruto.

Cuadro 10. Heterobeltiosis porcentual (%) de los híbridos obtenidos por cruzas Dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.

Pi × Pj	Rendimiento		Calidad física de fruto					
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch
1 2	21	4	-15**	5.17	18*	7	4	18
1 3	55	29	-16	6.14	10	8	1	-13
1 4	43	41	-6	-5.83	22*	-5	-4	12
1 5	-17	-10	11*	0.37	1	7	-3	33
2 1	25	19	-5	-9.42*	15*	1	9	-1
2 3	-2	-16	-14*	-3.29	7	4	4	-19
2 4	-10	-18	-9*	-1.07	5	1	-9	-20
2 5	-30	-41*	-23**	-2.29	6	8	-1	-1
3 1	87	65	-11*	1.5	9	23*	10	-8
3 2	28	13	-12*	6.39	25*	10	0	-27
3 4	7	8	-13*	8.09*	4	18*	-11	-30*
3 5	81	50	-26**	5.91	5	19*	-3	-12
4 1	43	58	6	-9.53*	41*	3	-3	6
4 2	4	-1	-4	-2.03	-13	-14*	-18*	-6
4 3	9	3	-18*	4.96	-5	18*	-11	10
4 5	72*	93*	-12*	1.24	8	-7	-11	24
5 1	1	10	11*	1.23	5	-10	1	34
5 2	-22	-39*	-31**	1.01	-3*	4	6	-10
5 3	48	21	-25**	9.26	2	10	2	-3
5 4	53	54	-21**	-1.74	43*	9	-9	0
	Calidad nutracéutica						Capsaicinoides	
	h	L	pH	AT	°B	CC	VC	CTC
1 2	-1	-9	-7*	7	-3	-75*	-38*	83
1 3	-22	15	-10**	5	-2	-59*	-50*	-16
1 4	-27	-10	-11**	-10	-9	80*	-10	13
1 5	-11	12	-5*	2	3	-90*	-57**	-2
2 1	3	10	-6*	-2	-6	-64*	-50**	9
2 3	-15	5	-6*	-4	6	-27	-24*	-31
2 4	-6	10	-10**	-6	18*	-65*	-35*	21
2 5	-1	5	-7*	-14	-3	-45*	-44*	6
3 1	-29*	6	-10**	-1	0	-86*	-43*	-42
3 2	7	-4	-11**	5	3	-90**	-44*	-59
3 4	0	-24*	-13**	15	11	-84*	-63**	-41
3 5	-39*	10	-9*	27*	9	-67*	-27*	-17
4 1	-12	-1	-11**	10	-6	50	-3	8
4 2	9	-9	0	-33*	3	-38*	-3	16
4 3	2	-25*	-9*	37*	20*	-26	-40*	-12
4 5	-12	1	-12**	31*	-6	-11	17	12
5 1	-21	4	-8*	12	6	-96*	-43*	-11
5 2	-3	2	-9*	3	3	-82*	-15	-33
5 3	3	13	-12**	43*	17*	-49	-37*	-18
5 4	-23	-15	-13**	47*	0	-13	-17	155*

NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Solidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.

2.3.10 HETEROSIS ESPECIFICA (HE) PARA RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA DE FRUTO, CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.

2.3.10.1 RENDIMIENTO Y CALIDAD FÍSICA DE FRUTO

La heterosis específica porcentual (Cuadro 11) se obtuvo a partir de la heterosis media que se presenta en el Apéndice 3. El híbrido LVLC2×L2014 mostró una heterosis específica significativa ($P \leq 0.05$) únicamente en peso total de fruto (PTF) con un incremento de 61 %.

Respecto a la calidad física de fruto, en el peso promedio de fruto (PPF) los híbridos que tuvieron heterosis específica significativa y positiva fueron L1×L2014, LVLC1×L3, LVLC2×L3 y L2014×L1 con el 85 %, 295 %, 538 % y 84 %, respectivamente. Además, se observaron significancias positivas en tamaño de fruto (VF) para los híbridos LVLC1×L3, LVLC2×L1 y L2014×LVLC2, con el 47 %, 42 % y 70 %, respectivamente. Y en el grosor de pericarpio (GP), el híbrido L2014×L1 fue significativa con 157 % (Cuadro 11). No obstante, no hubo heterosis específica en el índice de fruto (ÍND L/D), firmeza de fruto (FF), y color de fruto en el chroma (ch), matiz (h) y brillo (L). los valores altos observados en el presente estudio por heterosis media no es conveniente en un programa de mejoramiento genético de chile manzano porque se considera al promedio de los valores alcanzados por los dos progenitores. Y se estarían seleccionando híbridos poco prometedores por lo que es mejor identificar híbridos respecto al mejor progenitor (Hmp).

2.3.10.2 CALIDAD NUTRACEÚTICA Y CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES

El único híbrido que tuvo heterosis específica significativa positiva ($P \leq 0.05$) en pH y acidez titulable (AT) fue la LVLC2×L3 con valores altos de 380 % y 102 %, respectivamente (Cuadro 11). En cuanto al contenido de carotenoides (CC), los híbridos L1×LVLC2 y LVLC1×LVLC2 mostraron significancia positiva del 76 % y 79 %, respectivamente. El híbrido LVLC2×L2014 tuvo una heterosis específica significativa del 136 % en vitamina C (Cuadro 11). En tanto que en sólidos solubles totales (°B) no hubo heterosis específica y en el contenido total de capsaicinoides el híbrido L2014×LVLC2 se destacó con un incremento del 67 % de heterosis específica. No obstante, estos

resultados no son convenientes para seleccionar híbridos sobresalientes para registro. Poque es posible que el comportamiento de ellos sea similar a uno de sus progenitore de ahí que es más conveniente utilizar la heterosis respecto al mejor progenitor.

Cuadro 11. Heterosis específica porcentual (%) de los híbridos obtenidos por cruza Dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.

Pi × Pj	Rendimiento		Calidad física de fruto					
	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch
1 2	37	32	97*	100*	26	55	-62	59
1 3	-8	-20	69	38	-1	-53	-73	-45
1 4	16	-1	347*	9	-10	-53	27	-12
1 5	1611	-2838	85*	-292	-971	47	468	-31
2 1	41	50	72	100	17	-31	27	15
2 3	-40	-64	-57	712*	-38	-76	43	39
2 4	-496	-1684	-173	24	-7	33	1	98
2 5	-178	420	31	-39	23	65	-21	35
3 1	21	25	43	5	-9	35	43	15
3 2	40	59	-88*	11	47*	-3	-26	56
3 4	-169	-221	-67	4	-18	15	-33	68
3 5	41	50	26	4	29	15	294	10
4 1	16	17	-28	-403	42*	33	36	-54
4 2	-65	-33	538*	3	1793*	361	137	103
4 3	-148	-347	-1	-31	-392	13	-3	132
4 5	57	61*	-163	27	-55	-270	59	40
5 1	-2098	-437	84*	-169	-250	157*	-46	-26
5 2	-43	766	52*	25	-73	43	81	-53
5 3	16	20	24	22	7	-52	15	71
5 4	48	43	62	4	70*	42	78	-140

Continuación cuadro 11...

	Calidad nutracéutica							Capsaicinoides
	h	L	pH	AT	°B	CC	VC	CTC
1 2	136	241	38	134	230	28	0	83
1 3	20	61	-7	-11	-99	-21	-3	213
1 4	51	57	7	664	101	76*	-200	-161
1 5	-263	8	-96	-65	43	43	39	-92
2 1	114	26	28	1510	-30	2	27	15
2 3	101	54	-53	11	-61	-742*	-108	4346
2 4	189	122	26	88	73	62	67	11
2 5	60	-17	-4	569	-148	-138	44	0
3 1	40	25	-10	-74	-19	33	-19	13
3 2	97	-286	30	52	-168	33	4	54
3 4	1395	66	21	-45	-4	79*	58	133
3 5	60	27	-20	-39	0	-15	-53	102
4 1	-39	130	7	48	103	65	0	-262
4 2	51	42	380*	103*	-65	-52	250	-67
4 3	554	68	-11	32	38	-11	32	54
4 5	-8	105	10	10	0	-4	136*	-126
5 1	1	-120	-6	12	66	48	20	-367
5 2	246	-62	23	31	17	24	-180	377
5 3	356	41	8	10	35	-72	-10	101
5 4	51	94	20	40	-57	17	56	67*

NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; AT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.

El análisis Dialélico de Griffing Método I, reveló que los efectos de la aptitud combinatoria general fueron superiores a la aptitud combinatoria específica, es decir que los genes aditivos tienen mayor relevancia a los efectos de dominancia y epistasia (Peña et al., 1998). La hibridación se ha recomendado como el método de mejoramiento genético, más eficaz para el chile manzano (Pérez, et al., 2009). Por lo tanto, en este estudio se pueden aprovechar algunas combinaciones (híbridos) y líneas superiores por su rendimiento y calidad de fruto, así como por su alta aptitud combinatoria general (ACG) y efectos maternos (EM).

2.4 CONCLUSIONES

Se identificó la línea L3 por su alto rendimiento de fruto, que puede alcanzar hasta 110 toneladas por hectárea por año. Los frutos de L3 tienen un peso promedio de 86 g, tamaño intermedio, con un volumen de 130 mL, un grosor de pericarpio de 0.6 mm y una firmeza de 37.8 N. Además, la línea L3 muestra una alta aptitud combinatoria general para componentes de rendimiento, tamaño de fruto, sólidos solubles totales y contenido de carotenoides. L3 también presentó efectos maternos favorables para el grosor de pericarpio y el contenido de carotenoides.

Se identificó la línea L2014 por su calidad física de fruto, con un peso promedio de 100 g, de tamaño grande (volumen de 121 mL), grosor de pericarpio de 0.6 mm y una firmeza de 39.5 N. La L2014 muestra aptitud combinatoria general alta para el tamaño fruto, firmeza del fruto y contenido de capsaicinoides. Además, L2014 presentó efectos maternos que mejoran la firmeza del fruto y aumentan el contenido de vitamina C.

Se identificó a la línea LVLC2 como un buen progenitor por su forma alargada del fruto con un índice de largo entre diámetro de 1.1, esta característica se hereda a sus progenies por su alta aptitud combinatoria general.

También se identificaron los híbridos LVLC1×L3, L3×L1 y LVLC2×L2014 como sobresalientes en rendimiento de fruto con 124, 131 y 129 toneladas por hectárea al año, respectivamente, y en algunas, en características de calidad física, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides. Por lo que se recomienda se realice el examen de distinción, homogeneidad y estabilidad para su posible registro como variedad mejorada ante el SNICS.

2.5 LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. (1999). *Principles of plant breeding*. John Wiley & Sons.
<https://pbea.agron.iastate.edu/files/2021/12/Basic-Principles-of-Plant-Breeding.pdf>
- American Spice Trade Association (1985). *Official analytical methods of the American Spice Trade Association* (3rd Ed.). Englewood Cliffs.
<https://www.astaspice.org/food-safety-technical-guidance/astas-analytical-methods/>
- Arce-Rodríguez, M. L. & Ochoa-Alejo, N. (2019). Biochemistry and molecular biology of capsaicinoid biosynthesis: Recent advances and perspectives. *Plant Cell Reports*, 38, 1017-1030. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02406-0>
- Association of Official Analytical Chemist. (2023). *Official Methods of Analysis*. (22 th Ed.). Association of Official Analytical Chemist. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- Barbero, G. F., De-Aguilar, A. C., Carrera, C., Olachea, Á., Ferreiro-González, M., Martínez, J. & Barroso, C. G. (2016). Evolution of capsaicinoids in piper pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) during fruit ripening. *Chemistry & Biodiversity*, 13, 1068-1075. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500503>
- Bosland, P. W., & Votava, E. M. (2012). Genetics, plant breeding and biotechnology.. In P. W. Bosland, & E. M. Votava (Eds.). *Peppers: vegetable and spice capsicums* (2nd Ed.; pp. 67-82). CABI.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781845938253.0000>
- Butcher, J. D., Crosby, K. M., Yoo, K. S., Patil, B., Jifon, J. L., & Rooney, W. L. (2013). Heterosis in different F1 *Capsicum annuum* genotypes for fruit traits, ascorbic acid, capsaicin, and flavonoids. *Scientia Horticulturae*, 159, 72-79.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.022>
- Chen, Z. J. (2013). Genomic and epigenetic insights into the molecular bases of heterosis. *Nature Reviews Genetics*, 14(7), 471-482.
<https://doi.org/10.1038/nrg3503>

- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162003000100016>
- Espinosa-Torres, L. E., Pérez-Grajales, M., Martínez-Damián, M. T., Castro-Brindis, R., & Barrios-Puente, 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.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000200007
- Falconer, D. S. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. Longman.
- Fox, A. J., Del Pozo-Insfran, D., Lee, J. H., Sargent, S. A., & Talcott, S. T. (2005). Ripening-induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. *HortScience*, 40(3), 732-736.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.732>
- Francis, F. J. (1980). Color quality evaluation of horticultural crops. *HortScience*, 15(1), 58-59. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.15.1.58>
- Gardner, C. O. (1967). Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnica Latinoamericana*, 4(2), 1-12.
http://www.scielo.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000098&pid=S0304-2847200600010000400009&lng=es
- Gardner, C. O., and Eberhart, S. A. (1966). Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, 22(3), 439-452.
<https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1071/BI9560463>
- Hallauer, A. R., Carena, M. J. & Miranda Filho, JD (2010). Means and Variances. In J. Prohens, F. Nuez, & M. J. Carena (Eds.), *Quantitative Genetics in Maize Breeding* (pp. 33-67). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Hoegemeyer, T. C., & Hallauer, A. R. (1976). Selection among and within full-sib families to develop single-crosses of maize 1. *Crop Science*, 16(1), 76-81. <https://doi.org/10.2135/cropsci1976.0011183X001600010019x>
- Kumar, R. L., Onteddu, S., Kage, U. S., Salimath, P. M., Madalageri, D. M., & Natikar, P. (2014). Heterosis studies in chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Horticulture*, 4(1), 76-81. <https://doi:10.5376/ijh.2014.04.0008>
- Lichtenhaler, K. H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomenbranes. *Plant Cell Membranes*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Malundo, T. M. M., Shewfelt, R. L., & Scott, J. W. (1995). Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1-2), 103-110 [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00052-T](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00052-T)
- 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>
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., & Heredia, F. J. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 57(2), 109-117. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000200002&lng=es&tlng=es.
- Mendoza-Sánchez, L. G., Mendoza-López, M. R., García-Barradas, O., Azuara-Nieto, E., Pascual-Pineda, L. A., & Jiménez-Fernández, M. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*)

- during storage. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 21(3), 229-241.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.06.010>
- Montesinos, L. O. A., Mastache, L. A. A., Luna, E. I., Hernández, S. C. M., & 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>
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martínez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66-73.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057>
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. D., Cervantes-Santana, T., Márquez-Sánchez, F., Sahagún-Castellanos, J., & Ortiz-Cereceres, J. (1998). Heterosis entre variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1), 31-37. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1997.12.093>
- Pérez, G. M., & Castro, B. R. (2012). *El chile manzano*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Pérez, G. M., Márquez, S. F., & Peña, L. A. (1998). *Mejoramiento genético de hortalizas*. Mundi Prensa.
- Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117, 332-346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>
- Pérez-Grajales, M., González-Hernández, V. A., Peña-Lomelí, A., Mendoza-Castillo, M. C., Peña-Valdivia, C., & Sahagún-Castellanos, J. (2004). Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R. y P.). landraces. *Journal American Society for Horticultural Science* 129(1), 88-92.
<http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.129.1.0088>
- Sánchez-Sánchez, H., González-Hernández, V. A., Cruz, P. A., Pérez, G. M., Gutierrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., & Gómez-Lim, M. A. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5568745>

- Segovia, L. A., & 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. *Biología Agropecuaria Tuxpan* 2(1), 414-427. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v2i1.312>
- Sensing, K. M. (2007). *Precise color communication: color control from perception to instrumentation*. Konica Monilta. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2024). *Huertos de chile manzano registrados para exportación a los Estados Unidos de América*. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/huertos-de-chile-manzano-registrados-para-exportacion-a-los-estados-unidos-de-america?idiom=es>
- Seymour, G. B., Taylor, J. E., & Tucker, G. A. (1993). *Biochemistry of fruit ripening*. Springer-Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1>
- SitairesmiT., SujiprihatiS. & SyukurM. (2016). Combining ability of several introduced and local chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes and heterosis of the offsprings. *Journal Agronomi Indonesia*, 38 (3), 212-217. <https://doi.org/10.24831/jai.v38i3.14251>
- Sousa, J. A. D. & Maluf, W. R. (2003). Análisis dialélicos y estimación de parámetros genéticos de chile picante (*Capsicum chinense* Jacq.). *Scientia Agrícola*, 60(1), 105-113. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162003000100016>
- Sprague, G. F., & Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn1. *Agronomy Journal*, 34(10), 923-932. <https://doi:10.2134/agronj1942.00021962003400100008>
- Thilak, J. C., Pant, S. C., Hegde, C. B., & Paliwal, A. (2019). Diallel analysis for study of combining ability for quantitative traits in chilli (*Capsicum annuum* L. var.

acuminatum Fingerh.). *IJCS*, 7(1), 1750-1752.
<https://www.chemijournal.com/archives/2019/vol7issue1/PartAD/7-1-343-816.pdf>

Tripodi, P., Lo Scalzo, R., & Ficcadenti, N. (2020). Dissection of heterotic, genotypic and environmental factors influencing the variation of yield components and health-related compounds in chilli pepper (*Capsicum annuum*). *Euphytica*, 216(7), 112.
<https://doi.org/10.1007/s10681-020-02648-0>

Zamora, J. D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(1), 17-26. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000100002>.

CAPÍTULO III. MAYITO: NUEVA VARIEDAD DE CHILE MANZANO

MAYITO: NEW VARIETY OF MANZANO HOT PEPPER

En México, la producción de chile manzano (*Capsicum pubescens*) ha tenido un incremento significativo, que ha generado un valor que asciende a 405 millones de pesos (SIAP, 2022). Las principales entidades productoras son el Estado de México, Puebla, Michoacán y Veracruz. Generalmente los sistemas de producción son semicomerciales, con superficies que no superan las cinco hectáreas, y a menudo están asociados con árboles maderables y frutales que proporcionan sombra a las plantas de chile. Es importante destacar que los rendimientos en estos sistemas de producción son relativamente bajos, oscilando entre 5 y 8 t·ha⁻¹ al año. De acuerdo con Pérez y Castro (2012), una alternativa para mejorar la productividad es la implementación de sistemas intensivos de producción en condiciones de invernadero y con el uso de variedades mejoradas; de esa manera, los autores mencionan que puede obtenerse hasta 80 t·ha⁻¹ por año, además de una alta calidad física de fruto que satisfaga el mercado nacional y de exportación. Desde 1994 se inició el programa de producción y mejoramiento genético de chile manzano en la Universidad Autónoma Chapingo, resultado de ello es la nueva variedad Mayito.

La obtención de esta variedad se llevó a cabo en dos etapas, en la primera (1994) se realizaron seis colectas de variedades criollas en diferentes localidades (Zongolica y Huatusco, Veracruz; Tlatlauquitepec y Teziutlán, Puebla y San Cristóbal de las Casas y Motozintla, Chiapas) de la república mexicana y una de Perú. Para cada una de las seis colectas se efectuaron tres ciclos de selección y autofecundación. Se seleccionaron plantas sobresalientes en número de fruto, tamaño de fruto, color de fruto (amarillo) y plantas vigorosas. Con los genotipos seleccionados de cada una de ellas, se realizaron cruzamientos interpoblacionales y se evaluaron las progenies; con el diseño dialélico de Griffing Método II, y se identificó al híbrido Zongolica × Puebla como sobresaliente en rendimiento y calidad física de fruto. Este híbrido se registró ante el SNICS, en 2012,

como “Grajales St” con el folio 0706. En la segunda etapa, se partió de la variedad interpoblacional mencionada de donde se seleccionaron ocho líneas sobresalientes en rendimiento, calidad física de fruto, hábito de crecimiento, entre otras características (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 y L8) a las cuales se les aplicó cinco ciclos de autofecundación (S5); después, se efectuaron cruzamientos entre las líneas de acuerdo con el diseño dialélico de Griffing Método II y se obtuvieron 28 híbridos de cruce simple. En la evaluación de éstos, se identificaron cinco híbridos sobresalientes por su rendimiento y calidad física de fruto y se registraron ante el SNICS; en 2015, con los nombres de Dali (L1×L3), Jhos (L3×L4), Claris (L3×L8), Maruca (L1×L2) y Yoli (L7×L8). Como se puede observar, en tres de los cinco híbridos intervino la línea L3 como progenitor, a ésta se le aplicaron cuatro ciclos más de autofecundación, de 2016 a 2019, para un total de nueve (S9). La caracterización varietal de este genotipo se llevó a cabo en 2019 y 2021, de acuerdo con la Guía técnica para la descripción varietal de chile Manzano (SNICS, 2017), en condiciones de invernadero, en el campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, y se demostró la distinción, homogeneidad y estabilidad de la nueva variedad denominada Mayito.

Mayito es una variedad con longitud de tallo corto, de uno a tres entrenudos acortados a partir de la primera bifurcación (Figura 1 A), con longitud muy corta del entrenudo en las ramas laterales exteriores (Figura 1 B), los nudos muestran una débil pigmentación antociánica y pubescencia débil; el limbo de la hoja es largo y estrecho (Figura 1 C), con forma llana media (Figura 1 D), y color verde de intensidad media; el perfil de la sección transversal es cóncavo (Figura 1E) y no muestra rugosidades. En cuanto a la flor, los pétalos tienen pigmentación antociánica débil (Figura 1 F), mientras que en el estilo es de intensidad media. El fruto, al inicio de la madurez, es de color verde claro (Figura 2 A) y tiene tamaño medio, con forma trapezoidal (Figura 2 B), y a medida que madura su color cambia a amarillo con intensidad media (Figura 2 C); el ápice es poco profundo (Figura 2 D); predominan tres lóculos en el interior del fruto (Figura 2 E) y el grosor del pericarpio va de 5 a 6.5 mm. La floración de la planta comienza a los 71 días después del trasplante (ddt), mientras que el inicio de la madurez del fruto se presenta a los 181 ddt. La variedad Mayito se clasifica como precoz, en contraste con Grajales St., Maruca y Dali, que son consideradas tardías; además, Mayito es excelente opción para la

producción intensiva en condiciones de invernadero por el porte bajo de planta, debido a sus entrenudos cortos en el tallo principal y ramas laterales.

La variedad Mayito está registrada en el Catálogo Nacional de Nuevas Variedades del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2023) con número CHL-061-120723 y cuenta con el título de obtentor 3290 para la Universidad Autónoma Chapingo, otorgado el 16 de octubre de 2023 y con vigencia hasta el 25 de septiembre de 2038. Se tiene semilla disponible en el campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, CP 56230, México.

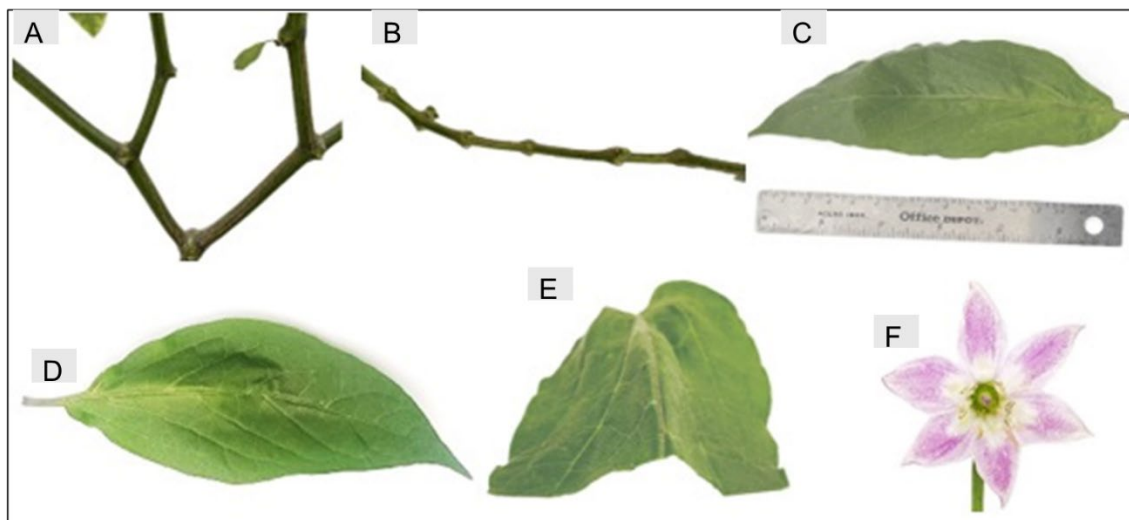


Figura 1. Características de tallo, hoja y flor de la variedad Mayito. A) longitud de tallo corto, B) longitud muy corta del entrenudo en las ramas laterales exteriores, C) limbo de la hoja largo y estrecho, D) forma llana media, E) perfil de la sección transversal cóncavo y F) pigmentación antocianica débil de los pétalos.

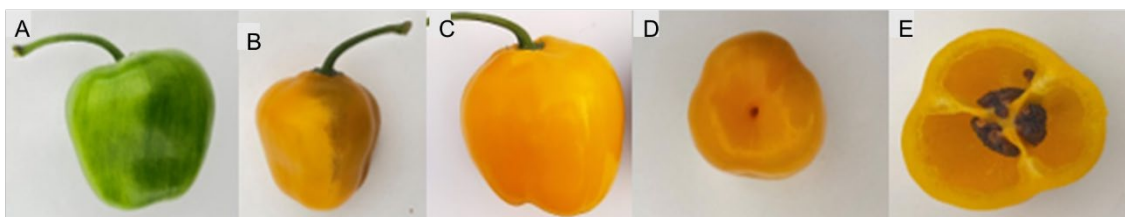


Figura 2. Características del fruto de chile manzano variedad Mayito. A) color verde claro al inicio de madurez, B) forma trapezoidal, C) color amarillo con intensidad media a la madurez, D) ápice poco profundo y E) predominantemente de tres lóculos.

3.1 LITERATURA CITADA

Pérez G. M. y R. Castro B. (2012) El Chile Manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 128 p.

SIAP, Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (2022) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Noviembre 2022).

SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2017) Chile Manzano (*Capsicum pubscens* Ruíz y Pavón). Guía técnica para la descripción varietal. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. 19 p.

SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2023) Catálogo Nacional de Variedades Vegetales en línea. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Ciudad de México. <https://lookerstudio.google.com/reporting/5b7206ba-e190-48fe-9696-73523bfccf58/page/itBWB> (Noviembre 2023).

CAPÍTULO IV. REYNOLITO: NUEVA VARIEDAD DE CHILE MANZANO

REYNOLITO: NEW VARIETY OF MANZANO HOT PEPPER

El chile manzano es cultivado en los estados de Puebla, Michoacán, Veracruz y Estado de México, durante el año 2022 la superficie cultivada fue de 284 hectáreas con una producción de 6,473 toneladas y un valor estimado de 62,473 miles de pesos (SIAP, 2023). Es una hortaliza que se produce en zonas templadas a frías, principalmente entre los 1700 y 2200 metros sobre el nivel del mar, en asociación con árboles frutales y maderables, siempre y cuando no se vea afectado por heladas. Se estima que su rendimiento por año, a campo abierto varía entre 7 y 8 toneladas por hectárea, y de 70 a 80 en condiciones de invernadero (Pérez et al., 2004). La reducción significativa en el rendimiento y calidad del fruto, a campo abierto, es atribuida, en parte, a la variación genética de las variedades criollas comúnmente empleadas. Por lo anterior, se hace necesario la generación de variedades con características como: planta vigorosa, de tallo grueso, de fruto grande (mayor a 100 g), de pericarpio grueso (mayor a 5 mm) y de color amarillo brillante, tal como lo demanda el mercado nacional y el de exportación. Para la generación de variedades mejoradas, desde 1994, se creó el programa de mejoramiento genético del chile manzano en la Universidad Autónoma Chapingo. En este programa se ha generado variedades e híbridos con características superiores en rendimiento y calidad física de fruto, en particular, en el presente manuscrito se describen las características morfológicas de la variedad “Reynolito” y se destacan aquellas que la hacen distinta de otras variedades comerciales.

Origen de la variedad “Reynolito”

En 1994 se realizaron colectas de chile manzano en cinco localidades (Zongolica, Huatusco II, Puebla, Huatusco I y Chiapas) de la república mexicana y una en Perú. En cada una de las seis colectas se efectuaron tres ciclos de selección en características de la planta (longitud y diámetro de entrenudos del tallo, tamaño de hojas, longitud a la primera bifurcación, etc.) y de fruto (color, forma, tamaño, grosor de pericarpio, numero

de lóculos, número de semillas, etc.). El avance generacional de las plantas seleccionadas fue por autofecundación, a través de polinización controlada en condiciones de invernadero. Cada uno de los ciclos de selección tuvo una duración de año y medio, de tal manera que, en 1999 con los genotipos seleccionados, dentro de cada una de las seis variedades criollas (colectas), se efectuaron cruzamientos entre ellas. Se evaluaron a través del diseño Dialélico de Griffing Método II, y de los seis progenitores y 15 híbridos interpoblacionales resultantes, se identificó como sobresaliente a la cruce Zongolica × Puebla. Esta variedad fue registrada ante el SNICS en 2012 como Grajales St., en el año 2014, de esta variedad se seleccionó la “línea 2014” por sus características de planta vigorosa y calidad física de fruto (tamaño y peso de fruto grande mayor a 100 g, forma cuadrada de 3 a 4 lóculos y de pericarpio grueso, mayor a 6 mm). En la “línea 2014” se llevaron a cabo siete ciclos de selección y autofecundación (S7). En 2021, se efectuó el primer ciclo de caracterización varietal y el segundo en 2022 con la Guía Técnica para la descripción varietal de chile Manzano (SNICS, 2017). La caracterización varietal se realizó en condiciones de invernadero en las instalaciones del campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, y la variedad se registró ante el SNICS con el nombre de “Reynolito”.

Características morfológicas de la variedad “Reynolito”

Reynolito es una variedad con longitud de tallo largo (Figura 1 A), ramas laterales exteriores largas (Figura 1 B), los nudos muestran una fuerte pigmentación antociánica y pubescencia débil; el limbo de la hoja es muy larga (Figura 1 C) y de forma elíptica ancha (Figura 1 D), y de color verde oscuro; su perfil en sección transversal es convexo (Figura 1 E), y de superficie ligeramente rugosa. La flor presenta pigmentación antociánica en las anteras (Figura 1 F) y en los pétalos (pigmentación media) (Figura 1 G), mientras que el estilo es de intensidad fuerte y el pedúnculo de porte erguido (Figura 1 H). El fruto, al inicio de la madurez, es de color verde con intensidad media, de porte colgante en la planta, y su longitud y diámetro es medio (relación pequeña entre ellos). La forma de fruto es cuadrada (Figura 2 A); y a la madurez cambia a color amarillo claro y de brillo fuerte (Figura 2 B), con ápice profundo (Figura 2 C), de cuatro lóculos y grosor de pericarpio mayor a seis milímetros (Figura 2 D). La floración de la planta comienza a los 121 días

después del trasplante (ddt), mientras que al inicio de la madurez del fruto se presenta a los 230 ddt.

"Reynolito" destaca por sus características distintivas: planta vigorosa, con tallo grueso, hojas grandes, frutos de gran tamaño con pericarpio grueso (mayor a seis milímetros) y de forma cuadrada. Otro aspecto relevante es que este genotipo puede emplearse como progenitor en programas de mejoramiento genético por su alta aptitud combinatoria específica.

La variedad Reynolito está registrado en el Catálogo Nacional de Nuevas Variedades del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2023) con número de inscripción CHL-062-091122 y cuenta con el título de obtentor 3291 para la Universidad Autónoma Chapingo, el 16 de octubre de 2023 con vigencia hasta el 25 de septiembre de 2038. Se tiene semilla disponible en el Campo Agrícola Experimental de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, CP 56230, México.



Figura 3. Características de tallo, hoja y flor de la variedad Reynolito. A) longitud de tallo largo, B) ramas laterales largas, C) limbo de la hoja muy larga, D) forma elíptica ancha, E) perfil de la sección transversal convexo y F) pigmentación antocianica en las anteras.

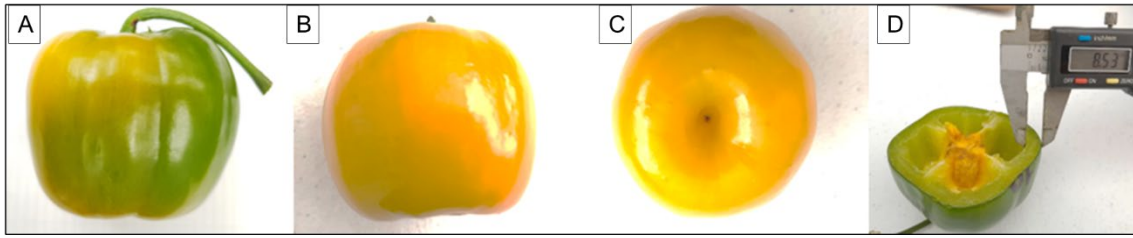


Figura 4. Características de fruto de chile manzano de la variedad Reynolito. A) forma de fruto cuadrada, B) color amarillo claro y brillo fuerte, C) ápice profundo y D) cuatro lóculos.

4.1 LITERATURA CITADA

Pérez G. M. y R. Castro B. (2012) El Chile Manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 128 p.

Pérez G. M., V. A. H. González., M. C. M. Castillo., C. P. Valdivia., A. P. Lomelí., & J. S. Castellanos (2004) Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. Journal of the American Society for Horticultural Science, 129(1), 88-92. <https://DOI: 10.21273/JASHS.129.1.0088>

SIAP, Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2023) Catálogo Nacional de Variedades Vegetales en línea. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Ciudad de México. <https://lookerstudio.google.com/reporting/5b7206ba-e190-48fe-9696-73523bfccf58/page/itBWB>

SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2017) Chile Manzano (*Capsicum pubescens* Ruíz y Pavón). Guía técnica para la descripción varietal. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. 19 p.

CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de efectos genéticos mediante el Diseño Dialélico de Griffing Método I permitió identificar las líneas L3 y L2014 por su rendimiento, calidad física, aptitud combinatoria general y efectos maternos. Además, se destacaron los híbridos LVLC1×L3, L3×L1 y LVLC2×L2014, por su heterosis en rendimiento de fruto, calidad física, calidad nutracéutica y contenido de capsaicinoides.

La L3 y L2014 se caracterizaron morfológicamente con la Guía técnica para descripción varietal del chile manzano del SNICS (2017), y registraron como 'Mayito' y 'Reynolito,' respectivamente, con los folios 3290 y 3291.

'Mayito' es una variedad con entrenudos cortos en el tallo principal y las ramas laterales, con frutos de tamaño medio, de forma trapezoidal y color amarillo de intensidad media. Su rendimiento puede alcanzar hasta las 110 toneladas por hectárea al año.

'Reynolito' se caracteriza por su planta vigorosa, de tallo grueso y hojas grandes, con frutos de gran tamaño y con forma cuadrada y de pericarpio grueso. Esta variedad puede emplearse como progenitor en programas de mejoramiento genético debido a la alta calidad física de fruto que confiere a sus progenies.

APÉNDICES

Apéndice 1. Heterobeltiosis (Hmp) de los híbridos obtenidos por cruzas Dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.

PiPj	NTF	PTF	PPF	İND L/D	VF	GP	FF	ch
12	8.87	136.53	-12.60**	0.05	23.89*	0.04	1.48	10.32
13	11.73	527.73	-13.63	0.06	12.22	0.04	0.37	-7.37
14	12.73	909.6	-5.1	-0.06	21.67*	-0.02	-1.42	5.41
15	-1.67	-90.4	10.67*	0.00	1.36	0.04	-1.38	12.21
21	10.73	694.87	-4.53	-0.09*	19.44*	0.01	3.31	-0.76
23	-1.07	-578.4	-11.88*	-0.03	8.89	0.02	1.68	-10.95
24	-4.33	-681.53	-7.80*	-0.01	6.67	0.01	-3.39	-11.25
25	-13	-1525.27*	-22.45**	-0.03	7.78	0.05	-0.36	-0.65
31	18.53	1197.4	-9.11*	0.02	10.56	0.11*	3.9	-4.83
32	11.87	466.67	-9.99*	0.07	32.78*	0.06	0	-15.2
34	2.07	171.6	-11.43*	0.09*	4.44	0.09*	-4.65	-16.99*
35	17.07	917.87	-24.64**	0.06	5.56	0.09*	-1.1	-7.06
41	12.67	1285.13	4.45	-0.10*	41.43*	0.02	-1	2.55
42	1.67	-33.6	-3.66	-0.02	-16.67	-0.08*	-6.98*	-3.31
43	2.6	69.53	-15.21*	0.05	-6.11	0.09*	-4.32	5.41
45	21.33*	2065.33*	-11.61*	0.01	7.67	-0.03	-4.32	10.98
51	0.13	97.4	10.38*	0.01	4.83	-0.05	0.43	12.74
52	-9.53	-1451.20*	-29.91**	0.01*	-4.44	0.02	2.52	-5.9
53	10.2	395.53	-24.01**	0.10	2.22	0.05	0.9	-1.48
54	15.73	1192.53	-19.99**	-0.02	43.78*	0.04	-3.51	-0.11

Apéndice 1. Continuación.

	h	L	pH	AC	°B	CC	VC	CTC
12	-1.05	-3.52	-0.41*	0.04	-0.03	-1.74*	-16.6*	131063.8
13	-16.66	5.54	-0.58**	0.02	-0.03	-0.76*	-19.2*	-55212.97
14	-19.69	-4.09	-0.63**	-0.06	-0.1	0.77*	-3.8	23081.11
15	-7.82	4.48	-0.29*	0.01	0.03	-0.93*	-21.7**	-4828.16
21	2.11	3.63	-0.36*	-0.01	-0.07	-1.50*	-21.7**	14118.31
23	-9.98	2.09	-0.36*	-0.02	0.07	-0.64	-10.2*	-107827.8
24	-3.99	4.11	-0.61**	-0.03	0.20*	-1.51*	-15.3*	73289.61
25	-0.83	1.84	-0.37*	-0.08	-0.03	-1.06*	-19.2*	13847.86
31	-21.43*	2.34	-0.57**	-0.01	0	-1.12*	-16.6*	-144706.5
32	4.87	-1.6	-0.65**	0.03	0.03	-2.09**	-19.2*	-203015.7
34	0.06	-10.04*	-0.75**	0.07	0.13	-1.09*	-24.3**	-141501.2
35	-26.91*	3.59	-0.54*	0.12*	0.1	-0.87*	-10.2*	-59799.79
41	-9.09	-0.47	-0.63**	0.05	-0.07	0.48	-1.3	13826.71
42	6.37	-3.69	0.01	-0.19*	0.03	-0.88*	-1.3	27626.58
43	1.07	-10.50*	-0.54*	0.16*	0.23*	-0.34	-15.3*	-43005.57
45	-7.79	0.61	-0.68**	0.13*	-0.07	-0.11	6.4	27632.19
51	-15.75	1.59	-0.48*	0.07	0.07	-0.99*	-16.6*	-25719.91
52	-2.05	0.89	-0.49*	0.02	0.03	-1.91**	-6.4	-79774.69
53	1.93	4.52	-0.68**	0.19*	0.20*	-0.63	-14.1*	-63400.48
54	-15.46	-6.14	-0.76**	0.20*	0	-0.13	-6.4	368856.53*

NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; ACT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.

Apéndice 2. Heterosis específica de los híbridos obtenidos por cruzas dialélicas (PixPj) de cinco líneas avanzadas de chile manzano.

PiPj	NTF	PTF	PPF	ÍND L/D	VF	GP	FF	ch
12	9.75	535.71	-8.88*	0.1053783	10.23	0.03	-0.94	12.6
13	-1.51	-222.33	-6.81	0.0527369	-0.14	-0.03	-1.26	-1.63
14	3.74	-16.31	-11.34*	0.004575	-2.23	-0.02	0.8	-1.28
15	-17.18	-1192.73	16.10*	-0.049369	-16.41	0.02	-2.4	-4.24
21	11.62	1094.04	-0.81	-0.040531	5.78	0	0.89	1.51
23	-3.93	-220.81	6.55	-0.089837	-5.6	-0.04	1.32	-4.23
24	-11.42	-877.59	4.41	0.0114824	-1.58	0.02	0.01	-5.25
25	-6.54	-600.01	-5.4	-0.016313	5	0.04	-0.11	3.21
31	5.29	447.33	-2.29	0.0049395	-1.81	0.05	2.28	0.91
32	9.01	824.26	8.45*	0.009831	18.29*	0	-0.36	-8.48
34	-10.67	-795.9	3.87	0.0055003	-2.5	0.02	-0.36	-7.54
35	9.41	693.88	-5.25	0.0055977	4.08	0.02	-1.79	0.27
41	3.67	359.22	-1.79	-0.036123	17.53*	0.02	1.22	-4.14
42	-5.42	-229.66	8.54*	0.000967	-24.91*	-0.07	-3.57	2.68
43	-10.14	-897.97	0.09	-0.02892	-13.06	0.02	-0.04	14.86
45	17.92	1665.50*	2.29	0.0376453	-4.68	-0.04	0.56	5.88
51	-15.38	-1004.93	15.81*	-0.041607	-12.94	-0.07*	-0.6	-3.72
52	-3.07	-525.94	-12.86*	0.0190218	-7.22	0.02	2.76	-2.04
53	2.54	171.54	-4.61	0.0401514	0.74	-0.03	0.21	5.84
54	12.32	792.7	-6.08	0.004873	31.43*	0.04	1.38	-5.21

Apéndice 2. Continuación.

	h	L	pH	AC	°B	CC	VC	CTC
12	2.72	-5.94	-0.15	0.07	0.04	-0.25	0	121148.21
13	-2.71	4.04	0.03	-0.01	-0.04	0.09	0.6	83057.42
14	-8.39	-0.85	-0.04	-0.06	-0.05	0.71*	5.1	-53474.64
15	7.84	0.41	0.22	-0.04	0.02	-0.32	-8.3	-32438.38
21	5.88	1.21	-0.1	0.02	0.01	-0.01	-5.1	4202.71
23	-9.93	2.26	0.13	0.01	-0.05	0.94*	8.3	44158.3
24	-6.94	6.9	-0.13	0.02	0.15	-0.52	-7.7	10449.6
25	0.58	-0.57	0.01	-0.07	-0.05	0.56	-7	-46.62
31	-7.48	0.84	0.04	-0.04	-0.01	-0.26	3.2	-6436.15
32	4.92	-1.44	-0.16	0.05	-0.08	-0.52	-0.6	-51029.6
34	7.64	-4.22	-0.15	-0.04	-0.01	-0.73*	-13.4	-76314.52
35	-14.97	1.13	0.09	-0.05	0	0.11	5.1	-6007.95
41	2.22	2.77	-0.03	0.05	-0.02	0.42	7.7	-62729.04
42	3.42	-0.9	0.49*	-0.13*	-0.02	0.11	6.4	-35213.43
43	8.65	-4.68	0.06	0.06	0.09	0.02	-4.5	22181.13
45	0.53	3.86	-0.06	0.01	-0.11	0	9.6*	-73061.72
51	-0.08	-2.48	0.03	0.01	0.06	-0.38	-3.2	-53330.14
52	-0.64	-1.52	-0.1	0.03	0.02	-0.3	5.8	-93669.17
53	13.88	2.06	-0.05	0.02	0.1	0.35	1.3	-9608.64
54	-7.13	-2.89	-0.14	0.08	-0.04	-0.02	-3.2	268162.62*

NTF: Número total de fruto; PTF: Peso total de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; ÍND L/D: índice de fruto (Longitud/Diámetro); VF: Volumen de fruto; GP: Grosor de pericarpio; FF: Firmeza de fruto; ch: Chroma; h: matiz; L: luminosidad; pH: pH; ACT: Acidez titulable; °B: Sólidos solubles totales (SST); CC: Contenido de carotenoides; VC: Vitamina C y CTC: Contenido total capsaicinoides (SHU). *Significancia $p \leq 0.05$; **Significancia $P \leq 0.01$.