



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE
CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P) INJERTADOS
SOBRE CM-334**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta

TABITA QUEREN PÉREZ REYES

Bajo la supervisión de: MARIO PÉREZ GRAJALES, DOCTOR

Chapingo, Estado de México, mayo 2018

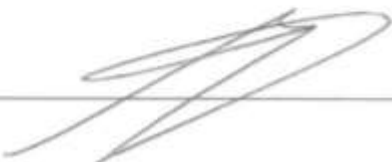


RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE
MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P) INJERTADOS SOBRE CM-334

Tesis realizada por **TABITA QUEREN PÉREZ REYES** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. Mario Pérez Grajales

ASESOR:



Dr. Edilberto Avitia García

ASESOR:



Dr. Rogelio Castro Brindis

ASESOR:



Dra. María Teresa Martínez Damián

AGRADECIMIENTOS

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

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

A mi comité asesor: Dr. Mario Pérez Grajales, Dr. Edilberto Avitia García, Dr. Rogelio Castro Brindis y Dra. María Teresa Martínez Damián del Departamento de Fitotecnia por su paciencia, asesoría, correcciones y contribuciones para realizar esta investigación.

Al Dr. Juan Martínez Solís, Coordinador del Posgrado en Horticultura por las correcciones para la mejora del presente trabajo.

Al personal técnico del Laboratorio de Genética (Víctor), Anatomía de Frutales (Ángela), Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia (Areli) por su disposición y apoyo.

Al Dr. Jorge Manuel Valdés Carrasco del Colegio de Postgraduados por su asesoría en el trabajo de microfotografía.

A los ingenieros Ismael, Plácido, Víctor Arturo y Estela por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo y al Sr. Jorge por su apoyo técnico en la fase de invernadero.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, ser mi fortaleza en todo momento y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Con mucho amor, admiración y respeto a mi madre María Reyes Cruz, que es mi inspiración y lo es todo para mí, a mi padre Juan Pérez Zúñiga que aunque ya no está físicamente conmigo, me sigue acompañado en cada paso de la vida.

A mis hermanos Eva, Saraí, Aron y Celita por ser los mejores hermanos que la vida pudo darme.

A mis sobrinos Bere, Viry, Axel y Mery por darnos siempre muchas alegrías.

A Juanito, gracias por tu amor y por estar presente en esta etapa de mi vida, apoyándome en todo momento.

A los amigos que conocí durante mi estancia en Chapingo.

Tabita Queren

Contenido

LISTA DE CUADROS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	V
RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO (<i>Capsicum pubescens</i> R & P) INJERTADOS SOBRE CM-334.	VIII
RESUMEN GENERAL	VIII
GENERAL ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN GENERAL	IX
CAPÍTULO I. COMPATIBILIDAD Y ANATOMÍA DE TRES HIBRIDOS DE CHILE MANZANO INJERTADOS SOBRE CM-334.....	4
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCIÓN	4
2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 Localización del sitio experimental	7
2.2 Material vegetal	7
2.3 Pruebas de emergencia y sincronización de la plántula para la injertación.....	7
2.4 Producción de plántula portainjerto-injerto.....	8
2.5 Proceso de injertación	8
2.5.1 Cámara de crecimiento	12
2.6 Porcentaje de prendimiento	12
2.7 Anatomía del sitio de unión del injerto-portainjerto	13
2.8 Morfología del tallo	16
2.9 Establecimiento de plántulas y diseño experimental.....	16
2.10 Variables evaluadas	17
2.11 Análisis estadístico	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.1 Sincronización de plántulas	17
3.2 Porcentaje de prendimiento de plantas injertadas	18
3.3 Anatomía de los tejidos vasculares de la plántula injertada	20
3.3.1 A los cinco días.....	20

3.3.2	A los diez días.....	21
3.3.3	A los quince días	21
3.3.4	A los 20 días	22
3.4	Morfología del sitio de unión del tallo de plantas en producción	27
4.	CONCLUSIÓN.....	29
5.	LITERATURA CITADA.....	30
CAPITULO II. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE TRES HIBRIDOS DE CHILE MANZANO INJERTADOS SOBRE CM-334		
	RESUMEN	33
	ABSTRACT.....	33
1.	INTRODUCCIÓN	34
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.1	Localización del sitio experimental.....	36
2.2	Material vegetal	36
2.3	Diseño experimental y de tratamientos	38
2.4	Variables evaluadas	38
2.4.1	Variables de rendimiento de fruto.....	38
2.4.2	Variables de calidad de fruto	38
2.5	Análisis estadístico	42
2.6	Establecimiento y manejo del cultivo en invernadero.....	42
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1	Rendimiento de fruto	43
3.2	Calidad de fruto	44
3.2.1	Variables evaluadas en la 2 ^a , 4 ^a , 6 ^a , 8 ^a y 10 ^a cosechas.	44
3.2.2	Variables evaluadas en la 5 ^a cosecha	46
4.	CONCLUSION.....	47
5.	LITERATURA CITADA.....	47
	DISCUSIÓN GENERAL	51
	CONCLUSIÓN GENERAL.....	54
	LITERATURA CITADA GENERAL.....	54

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Secuencia de soluciones para la deshidratación, aclaramiento e inclusión en parafina del tejido vegetal, de chile manzano, en un procesador de tejidos automático (Histokinette Leica® Mod. 2000).	14
Cuadro 2. Procedimiento para la tinción con safranina y fast green de los cortes anatómicos del sitio de unión de los injertos de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano sobre el CM-334.....	15
Cuadro 3. Comparación de medias del sitio de unión entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado a los tres, seis y nueve meses después del establecimiento en invernadero.	27
Cuadro 4. Comparación de medias del diámetro de tallo del injerto, sitio de unión y el portainjerto, en híbridos injertados de chile manzano sobre el CM-334 a los 12 meses después del establecimiento en invernadero.	28
Cuadro 5. Comparación de medias de variables de rendimiento de fruto entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado, en un periodo de cosecha de 80 días.....	44
Cuadro 6. Comparación de medias de variables de calidad de fruto entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado con datos de la 2 ^a , 4 ^a , 6 ^a , 8 ^a y 10 ^a cosecha.....	45
Cuadro 7. Comparación de medias de variables de calidad de fruto entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado, evaluadas en la quinta cosecha.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de injertación del chile manzano sobre el CM-334, en cámara de crecimiento. A y B) Medición del tallo del injerto (chile manzano) y portainjerto (CM-334), respectivamente; C y E) Corte del tallo con un ángulo de 45°, 1.5 cm arriba de los cotiledones del injerto y portainjerto, respectivamente; D) Colocación de la pinza de silicón en el tallo del portainjerto hasta la mitad de su longitud; F) Deslizamiento del tallo del injerto en la pinza de silicón sobre el portainjerto y G) Cámara de crecimiento cubierta con capas de polietileno negro.	11
Figura 2. Días transcurridos hasta la emergencia (dde) y días en que la plántula alcanza el diámetro (ddi) de 1.3-1.8 mm para ser injertada, en híbridos (Maruca, Jhos y Dali) de chile manzano y el CM-334.....	18
Figura 3. Corte longitudinal y transversal a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H) después de realizar el proceso de injertación del híbrido Maruca sobre el portainjerto CM-334. SU: Sitio de unión del injerto.	24
Figura 4. Corte longitudinal y transversal a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H) después de realizar el proceso de injertación del híbrido Jhos sobre el portainjerto CM-334. SU: Sitio de unión del injerto.	25
Figura 5. Corte longitudinal y transversal a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H) después de realizar el proceso de injertación del híbrido Dali sobre el portainjerto CM-334. SU: Sitio de unión del injerto.....	26
Figura 6. Comparación del sitio de unión entre híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano injertadas sobre el CM-334 y plantas de híbridos sin injertar a los 12 meses después del trasplante. A) Maruca injertado, B) Maruca no injertado C) Jhos injertado, D) Jhos no injertado, E) Dali injertado y F) y Dali no injertado.	29

DATOS BIOGRÁFICOS

Tabita Queren Pérez Reyes nació el 27 de noviembre de 1990 en Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial (2009-2013), donde obtuvo el grado de Ingeniero Agroindustrial.

Trabajó como asesor técnico de 2014 a 2016 en el Estado de México y CDMX en el Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio (CAFPT) de la Secretaría de Agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Inició sus estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura en el Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo en el 2016.

RESUMEN GENERAL

RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P) INJERTADOS SOBRE CM-334

El principal problema fitosanitario que enfrentan los productores de chile manzano es *Phytophthora capsici*. El chile tipo serrano “Criollo de Morelos 334” (CM-334) es el resistente universal a este hongo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la compatibilidad, el rendimiento y calidad de fruto de tres híbridos (Maruca, Jhos y Dali) de chile manzano sobre el CM-334. Se realizó injerto tipo empalme en cámara de crecimiento con temperatura ± 25 °C y humedad relativa >90 %. Para cada híbrido, se obtuvo un porcentaje de prendimiento de 92, 98 y 96 %, respectivamente. Se realizaron cortes anatómicos del sitio de unión del injerto, a los 5, 10, 15 y 20 días después del proceso de injertación, y se observó que a los 15 días, existe una completa rediferenciación de los haces vasculares. A los tres, seis, nueve y doce meses después del establecimiento de las plantas injertadas y no injertadas, en macetas, hidroponía e invernadero, se midió el sitio de unión del injerto. Los resultados indicaron que en todo momento, los tres híbridos injertados presentaron diámetro significativamente mayor comparados con los no injertados. A los doce meses, también se midió 2 cm arriba y abajo del sitio de unión, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas. En la evaluación de calidad y rendimiento de fruto no existieron diferencias estadísticas significativas entre híbridos injertados y no injertados, con excepciones como grosor de pericarpio en Jhos, peso de semillas en Maruca, mayor firmeza en frutos de híbridos injertados y mayor pérdida de peso en híbridos no injertados. Se concluye la existencia de compatibilidad del injerto de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano sobre CM-334 sin detrimento del rendimiento y calidad de fruto. Por lo que la planta injertada de chile manzano representa una alternativa viable y sustentable para el control de *P. capsici*.

Palabras clave: *Phytophthora capsici*, resistente universal, injerto, compatibilidad, rendimiento, calidad.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Tabita Queren Pérez Reyes
Director de la tesis: Dr. Mario Pérez Grajales

GENERAL ABSTRACT

YIELD AND QUALITY OF THE FRUIT OF THREE HYBRIDS OF MANZANO HOT PEPPER (*Capsicum pubescens* R & P) GRAFTED ONTO CM-334

Phytophthora capsici is the main phytosanitary problem facing the producers of manzano hot pepper. The Serrano pepper "Criollo de Morelos 334" (CM-334) is the universal resistant to this fungus. The objective of this research was to evaluate the compatibility, yield and fruit quality of three hybrids (Maruca, Jhos and Dali) of manzano hot pepper onto the CM-334. A splice-type graft was performed in the growth chamber with temperature ± 25 °C and relative humidity >90 %. For each hybrid, an engraftment percentage of 92, 98 and 96 %, respectively, was obtained. Anatomical sections of the graft binding site were made at 5, 10, 15 and 20 days after the grafting process, and it was observed that at 15 days, there is a complete redifferentiation of the vascular bundles. At three, six, nine and twelve months after the establishment of the grafted and ungrafted plants, in pots, hydroponics and greenhouse, the graft binding site was measured. The results indicated that at all times, the three grafted hybrids had a significantly larger diameter compared with the non-grafted ones. At twelve months, 2 cm was also measured above and below the binding site, where no statistically significant differences were found. In the evaluation of fruit quality and yield there were no significant statistical differences between grafted and ungrafted hybrids, with exceptions such as pericarp thickness in Jhos, weight of seeds in Maruca, greater firmness in fruits of grafted hybrids and greater weight loss in ungrafted hybrids. We conclude the existence of graft compatibility of the Maruca, Jhos and Dali hybrids of manzano hot pepper onto CM-334 without detriment to fruit yield and quality. Therefore, the grafted manzano hot pepper plant represents a viable and sustainable alternative for the control of *P. capsici*.

Key words: *Phytophthora capsici*, universal resistant, graft, compatibility, yield, quality.

Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Tabita Queren Pérez Reyes
Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

INTRODUCCIÓN GENERAL

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) es una especie originaria de las partes altas de Perú y Bolivia, fue introducido a México a principios del siglo XX cultivándose en las zonas altas y frías en altitudes de 1700 a 2400 m. (Pérez y Castro, 2008). Las principales zonas de producción se encuentran ubicadas en los estados de Michoacán, Puebla, Estado de México y Veracruz, en menor escala en Chiapas y Oaxaca (Espinosa-Torres y Villa-Galindo, 2008). Además de dar sabor a las comidas, tiene cualidades nutritivas por su contenido de vitaminas A y C (Maroto, 2002). El picor de estos chiles se debe a los capsaicinoides, 80 % de los cuales son capsaicina y dihidrocapsaicina (Topuz y Ozdemir, 2004).

La creciente demanda de chile manzano para el mercado de exportación y el mercado nacional requiere de mayor rendimiento, calidad y oferta durante todo el año. Para ello, se han empleado técnicas más sofisticadas en la nutrición, riego, podas, tutorio y, en el control de plagas y enfermedades en el proceso de cultivo (Pérez y Castro, 2008).

El principal problema fitosanitario que enfrentan los productores de chile manzano es causado por *Phytophthora capsici*. La presencia de este hongo se ha reportado en los estados productores de chile donde las condiciones ambientales favorecen su desarrollo y puede causar pérdidas del 60 al 100 % de la superficie. La marchitez del chile generalmente se produce durante periodos en que el ambiente cálido y húmedo es prolongado. *P. capsici* es diseminado hacia los órganos aéreos de la planta por agua superficial y salpique por lluvia (Blancard, 2000). El exceso de humedad en el suelo y temperaturas de 10 a 30 °C, con óptimas de 24 a 26 °C son determinantes para el desarrollo de ataques severos y pérdidas extensas; la saturación del suelo con agua por un mínimo de 5 horas es suficiente para favorecer la infección de

las plantas por el patógeno (Stevenson, 2001). La sintomatología asociada con la pudrición de la raíz del chile incluye defoliación, cambio de color y rizado del follaje, daño a estructuras reproductivas, maduración adelantada e irregular, raicillas necróticas y presencia de rebrotes (Velázquez-Valle, Medina-Aguilar y Luna-Ruiz, 2001). Se ha intentado controlar la marchitez del chile mediante prácticas culturales y el uso de fungicidas, sin embargo, se considera que la mejor forma de contrarrestarla, es mediante variedades resistentes (Glosier, Ogundiwin, Sidhu, Shischo y Prince, 2008). Entre los métodos alternativos para controlar *P. capsici* destaca el injerto sobre portainjertos resistentes (Santos y Goto, 2004), cuyo uso ha aumentado debido a su eficacia e inocuidad para el ambiente. Los beneficios que se logran realizando la práctica del injerto son muy importantes, ya que con el injerto se incrementa el vigor de la planta y la vida de poscosecha de la fruta (Lee y Oda, 2003), mejora la fisiología de las plantas para una adaptación a ambientes desfavorables, resistencia a enfermedades ocasionadas por patógenos con origen en el suelo, incremento de rendimiento y calidad (Kubota, McClure, Kokalis-Burelle y Roskopf, 2008). Sin embargo, se ha reportado que el uso de portainjertos puede tener un impacto negativo, neutro o positivo en el rendimiento aun en ausencia del patógeno o estrés biótico (Louws, Rivard y Kubota, 2010).

El chile tipo serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334) es una de las más eficaces fuentes de resistencia genética a *P. capsici* y su resistencia se ha mantenido aun cuando se ha inoculado con las cepas más virulentas (Bonnet *et al.*, 2007; Kim y Kim, 2009) y actualmente se le considera el resistente universal a *P. capsici* (Oelke *et al.*, 2003; Glosier *et al.*, 2008). Sin embargo, aunque la resistencia es de carácter dominante (Egea-Gilabert *et al.*, 2008), su herencia es compleja debido a su naturaleza poligénica y a la probable existencia de efectos epistáticos (Minamiyama, Tsuru, Kubo y Hirai, 2007). Por ello no se han generado cultivares de chile comerciales con una adecuada resistencia a este patógeno.

En 1994 se creó el Programa de Producción y Mejoramiento Genético de Chile Manzano, en la Universidad Autónoma Chapingo que inició al realizar una amplia colecta de material genético existente en México y Sudamérica (Pérez y Castro, 2008). En 2002 fueron derivadas del híbrido intervarietal Zongolica x Puebla, ocho líneas con características sobresalientes de calidad y rendimiento de fruto. Estas fueron autofecundadas en cinco ciclos de cultivo (1.5 años por ciclo) para homogeneizar el material genético. En 2012 las ocho líneas fueron cruzadas a través del diseño dialélico de Griffing, método II, y se obtuvieron 28 híbridos de cruce simple. De ellos, cinco sobresalieron en características de planta, rendimiento y calidad de fruto y en 2015 quedaron registrados en el SNICS con los nombres de: “Maruca”, “Claris”, “Yoli”, “Jhos” y “Dali” (Cíntora, 2016).

Debido a que los productores de chile manzano tienen pérdidas de 60 al 100 % por *P. capsici*, el injerto de este tipo de chile (*Capsicum pubescens* R & P) sobre el portainjerto CM-334 (*Capsicum annuum* L.) podría ser alternativa viable, al respecto, Martínez-Soriano (2014) comprobó la compatibilidad entre la variedad interpoblacional “Grajales St.” injertado sobre el serrano CM-334. Partiendo de ese hecho, en el presente estudio, se eligieron tres híbridos de chile manzano (Maruca, Jhos y Dali) con el objetivo de valorar no solo la compatibilidad del injerto-portainjerto, sino también determinar si se mantiene el rendimiento y calidad de fruto de estos híbridos injertados respecto de plantas híbridas no injertadas.

CAPÍTULO I. COMPATIBILIDAD Y ANATOMÍA DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO INJERTADOS SOBRE CM-334

CHAPTER I. COMPATIBILITY AND ANATOMY OF THREE HYBRIDS OF MANZANO HOT PEPPER GRAFTED ONTO CM-334

RESUMEN

El uso de plántula injertada es alternativa sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de chile manzano. El objetivo de esta investigación fue evaluar la compatibilidad de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano injertados sobre el CM-334, resistente universal a *P. capsici*. Se realizó injerto tipo empalme en cámara de crecimiento acondicionada con temperatura de ± 25 °C y humedad relativa de 90 %, y el prendimiento de los injertos fue de 92, 98 y 96 %, para cada uno de los híbridos, respectivamente. Se realizaron cortes anatómicos del sitio de unión del injerto, a los 5, 10, 15 y 20 días después de la injertación, y se observó que a los 15 días existe conexión avanzada del tejido vascular en los híbridos Maruca y Jhos y en menor grado para Dali. A los tres, seis, nueve y doce meses después del establecimiento de las plantas injertadas y no injertadas, en macetas, hidroponía e invernadero, se midió el sitio de unión del injerto. Los resultados indicaron que en todo momento, los tres híbridos injertados presentaron diámetro significativamente mayor (2-7 mm) que los no injertados. A los doce meses, también se midió 2 cm arriba y abajo del sitio de unión y no hubo diferencias. Se demostró la compatibilidad del injerto de los tres híbridos sobre el CM-334 ya que la formación del callo y la rediferenciación celular del tejido vascular ocurrió el día 15 y continuó hasta el día 20. No obstante, el uso de plántulas con diámetros desiguales conduce a una unión débil del injerto-portainjerto y retrasa el proceso de prendimiento, el CM-334 debe sembrarse 15 días antes que los híbridos de chile manzano para obtener diámetros equivalentes y evitar engrosamiento en el sitio de injerto.

Palabras clave: *Phytophthora capsici*, CM-334, resistente universal, injerto, cámara de crecimiento.

ABSTRACT

The use of a grafted seedling is a sustainable alternative for the control of *Phytophthora capsici*, the main phytosanitary problem of manzano hot pepper producers. The objective of this research was to evaluate the compatibility of the Maruca, Jhos and Dali hybrids of manzano hot pepper grafted onto the CM-334, universal resistant to *P. capsici*. A splice-type graft was performed in a conditioned growth chamber with a temperature of ± 25 °C and a relative humidity of 90 %, and the yield of the grafts was 92, 98 and 96 %, for each of the hybrids, respectively. Anatomical sections of the graft binding site were made at 5, 10, 15 and 20 days after grafting, and it was observed that at 15 days there is an advanced connection of vascular tissue in the Maruca and Jhos hybrids and to a lesser extent for Dali. At three, six, nine and twelve months after the establishment of the grafted and ungrafted plants, in pots, hydroponics and greenhouse, the graft binding site was measured. The results indicated that at all times, the three grafted hybrids had significantly greater diameter (2-7 mm) than the non-grafted ones. At twelve months, 2 cm was also measured above and below the binding site and there were no differences. The compatibility of the graft of the three hybrids onto CM-334 was demonstrated since callus formation and cellular redifferentiation of vascular tissue occurred on day 15 and continued until day 20. However, the use of seedlings with unequal diameters leads to a weak union of the graft-rootstock which delays the engraftment process, the CM-334 must be sown 15 days before the manzano hot pepper hybrids to obtain equivalent diameters and avoid greater thickening at the graft site.

Key words: *Phytophthora capsici*, CM-334, universal resistant, graft, growth chamber.

1. INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) es originario de América del sur, y en México se cultiva en las zonas altas, a una altitud de 1,700 a 2,400 m. En los últimos diez años se ha observado un incremento en la demanda de este producto, lo cual ha motivado el desarrollo de sistemas de producción intensivo en invernadero para incrementar la cantidad y calidad del fruto (Pérez y Castro, 2008). El rendimiento de este cultivo en México es afectado por la “marchitez del chile” causada por *Phytophthora capsici* (Redondo, 1979). El control de esta enfermedad se realiza principalmente por medio de fungicidas (Parra y Ristaino, 2001) y prácticas culturales (Ristaino, 1991). No obstante el uso de portainjertos resistentes en combinación con prácticas de manejo integrado de enfermedades, es una alternativa sustentable para el control de esta enfermedad.

La injertación es un método de propagación que consiste en unir una parte de una planta a otra que ya está establecida. El resultado es un individuo autónomo formado por dos plantas y variedades. La planta injertada está constituida por un portainjerto que es la planta que recibe a la porción de tejido llamada injerto. El portainjerto generalmente no tiene valor agronómico, pero contiene genes de resistencia o tolerancia a estrés biótico (King, Davis, Liu y Levi, 2010) o abiótico (Zhao, Guo, Huber y Lee, 2011). La otra parte es el injerto o variedad comercial que es una porción de tallo o yema que se fija al portainjerto para que se desarrollen ramas, hojas, flores y frutos (Hartmann, Kester y Davis, 1997). Originalmente el propósito de la técnica de injertación en cultivos hortícolas era evadir las enfermedades causadas por patógenos del suelo (Louws, Rivard y Kubota, 2010). Actualmente, también se utiliza por evitar problemas de estrés abiótico. En países como Japón y Corea la utilización de este método ha ido en aumento (Sakata, Ohara y Sugiyama, 2007; Lee *et al.*, 2010). Recientemente, cultivos como: sandía, melón, pepino, tomate entre otros son comúnmente injertados con portainjertos resistentes a patógenos (Sakata *et al.*, 2007).

La importancia del injerto ha sido reconocida en todos los ámbitos agrícolas, puesto que es una técnica muy eficaz, limpia y cuyo uso implica un nulo impacto ambiental. El injerto como método de manejo de los patógenos del suelo tiene como finalidad obtener una planta sana y con determinadas características al evitar el contacto de la planta sensible con estos organismos.

En México, se han desarrollado algunos materiales de chile resistentes a *P. capsici*. El chile serrano CM-334 ha mostrado un alto grado de resistencia al hongo en diferentes partes del mundo, aun cuando se inocula con las cepas más virulentas de *P. capsici* (Kobori, Della-Vecchia, Kurozawa y Soler, 2000).

Los tipos de injertos y el control de las condiciones ambientales son importantes para el éxito de esta técnica. La injertación tipo empalme es una técnica donde el injerto se coloca directamente en el portainjerto sin conservar sus raíces pero exigen condiciones controladas de temperatura (27 °C) y humedad relativa (80 %) durante el periodo de soldadura (Oda y Nakajima, 1995).

Los principales usos de plántula injertada son: resistencia a enfermedades ocasionadas por patógenos con origen en el suelo; mejorar la fisiología de las plantas para una adaptación a ambientes desfavorables; incremento de rendimiento y calidad (Kubota, McClure, Kokalis-Burelle y Roskopf, 2008). Sin embargo, el uso de portainjertos con resistencia a ciertos patógenos y otro tipo de estrés biótico puede tener impacto negativo, neutro o positivo en el rendimiento aún en ausencia del patógeno o estrés biótico (Louws *et al.*, 2010), por lo que es necesario que las combinaciones injerto-portainjerto sean seleccionadas cuidadosamente para condiciones climáticas y geográficas específicas. Una selección apropiada puede ayudar a reducir la incidencia de enfermedades que afectan la raíz e incrementar y mejorar la calidad de fruto, por lo que en este trabajo se tuvo como objetivo evaluar la compatibilidad de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano injertados sobre el chile serrano CM-334, como alternativa sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de este tipo de chile.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del sitio experimental

La producción de plántula del portainjerto e injerto, el proceso de injertación y establecimiento de plantas, se realizaron en el invernadero de chile manzano lote P-2 ubicado en el campo experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, situado en las coordenadas 19° 29' 22.2" LN y 98° 52' 24.7" LO, a una altitud de 2250 m.

2.2 Material vegetal

Híbridos de chile manzano (injertos): Se emplearon los híbridos Maruca, Jhos y Dali obtenidos del programa de mejoramiento genético del chile manzano de la Universidad Autónoma Chapingo, con registros SNICS 1351, 1298 y 1299, respectivamente.

CM-334 (portainjerto): Se obtuvo de material genético utilizado por Martínez-Soriano (2014) en su trabajo de investigación realizado en la UACH, quien comprobó la resistencia genética de este tipo de chile a *Phytophthora capsici*.

2.3 Pruebas de emergencia y sincronización de la plántula para la injertación

Se determinaron los días que tardó cada material en emerger, y en alcanzar un diámetro de 1.3 a 1.8 mm a 1.5 cm arriba de los cotiledones. El número de días transcurridos en que habían emergido al menos el 80 % de las plántulas se

registró como el tiempo que tardan las semillas en emerger. Así mismo, el número de días transcurridos en los que al menos el 80 % de las plántulas habían alcanzado un diámetro de tallo de 1.3 a 1.8 mm se registró como el tiempo que tardan las plántulas en alcanzar el diámetro recomendado para ser injertadas.

2.4 Producción de plántula portainjerto-injerto

Los materiales utilizados como injerto fueron los híbridos Maruca, Jhos y Dali y el genotipo CM-334 como portainjerto. Todos fueron sembrados en charolas de poliestireno de 200 cavidades, el sustrato fue peat-moss con vermiculita. Con la finalidad de hacer coincidir los diámetros de los tallos injerto-portainjerto, el CM-334 se sembró el 20 de abril de 2017, quince días previos a la siembra de los híbridos (5 de mayo de 2017). Inmediatamente después de la siembra, las charolas fueron envueltas con plástico negro con la finalidad de conservar la humedad de 85 % y temperatura de 27°C. Con la finalidad de tener más espacio al momento de la injertación, un mes después de la siembra, las plántulas del CM-334, fueron trasplantadas a charolas de 60 cavidades.

2.5 Proceso de injertación

Una vez sincronizados los diámetros del tallo de las plántulas de Maruca, Jhos y Dali con el CM-334 (77 días después de la siembra) se realizó el proceso de injertación y con la finalidad de incrementar el porcentaje de prendimiento de injerto-portainjerto, dos días antes, se suspendió el riego y se realizó una aplicación de 100 mgL⁻¹ de ácido ascórbico por día.

El método usado para la injertación tipo empalme con pinza de silicón, basado en la descripción hecha por Martínez-Soriano (2014) con algunas modificaciones, fue el siguiente:

1. Se seleccionó el injerto y el portainjerto con un diámetro de tallo de a 1.3 a 1.8 mm (Figuras 1A y 1B).
2. El tallo del portainjerto se cortó con un ángulo de 45°, 1.5 cm arriba de los cotiledones o a la altura donde coincidiera con el diámetro del tallo del injerto (Figura 1C).
3. La pinza de silicón de 1.6 o 1.8 mm de diámetro se colocó en el tallo del portainjerto hasta la mitad de su longitud dejando espacio para que el injerto fuera colocado justo arriba (Figura 1D).
4. El tallo del injerto se cortó con un ángulo de 45° en donde coincidiera con el portainjerto previamente cortado y posteriormente se deslizó en la pinza de silicón hasta empalmarlo con el tallo del portainjerto, procurando que los cortes se mantuvieran paralelos. La pinza de silicón permaneció en la planta hasta que se formó callo natural (Figura 1E y 1F).
5. Las plantas injertadas fueron colocadas inmediatamente en la cámara de crecimiento con una temperatura de ± 25 °C y humedad relativa de 90 %. Dentro de la cámara de prendimiento en los primeros tres días, se mantuvo oscuridad total con la ayuda de capas de polietileno negro colocadas sobre las paredes y techo (Figura 1G).

6. La intensidad lumínica se incrementó a partir del cuarto día, al retirar gradualmente las capas de polietileno negro de las paredes y techo.
7. La humedad relativa se fue disminuyendo gradualmente, a partir del décimo día, hasta alcanzar un valor similar al que prevalece al interior del invernadero donde se encuentra la cámara de crecimiento (50 %).
8. A los diecisiete días del proceso de injertación, se movieron las plántulas de la cámara de crecimiento al invernadero, protegiéndolas con una malla de sombreo para favorecer el periodo de adaptación (una semana).



Figura 1. Proceso de injertación del chile manzano sobre el CM-334, en cámara de crecimiento. A y B) Medición del tallo del injerto (chile manzano) y portainjerto (CM-334), respectivamente; C y E) Corte del tallo con un ángulo de 45°, 1.5 cm arriba de los cotiledones del injerto y portainjerto, respectivamente; D) Colocación de la pinza de silicón en el tallo del portainjerto hasta la mitad de su longitud; F) Deslizamiento del tallo del injerto en la pinza de silicón sobre el portainjerto y G) Cámara de crecimiento cubierta con capas de polietileno negro.

2.5.1 Cámara de crecimiento

La cámara de crecimiento ubicada dentro del invernadero, tipo doble cenital donde se realizó el experimento, fue desinfectada con una aplicación de sanitizante a base de cuaternario de amonio a una dosis de 20 mL⁻¹ de agua y cloro disuelto en agua al 3 % y se acondicionó con un sistema de microaspersores accionados de 9:00 am a 5:00 pm durante 2 minutos cada 5 minutos, mediante una bomba de 0.5 HP. Durante el tiempo que la plántula injertada estuvo en la cámara de crecimiento, permaneció cubierta con una capa polietileno negro y una de Ground Cover blanco para evitar que el agua cayera directamente sobre las plántulas.

La temperatura promedio de la cámara de crecimiento durante el día fue de 24 °C y la mínima de 13 °C, en la noche. Para este propósito se manejó la apertura de la puerta principal y se utilizó un calefactor eléctrico durante las noches (8:00 pm-6:30 am), dado que por debajo de 12 °C no hay crecimiento del injerto.

2.6 Porcentaje de crecimiento

Se injertaron 53 plantas de cada uno de los híbridos Maruca y Dali sobre el CM-334 y 49 del híbrido Jhos. Se contabilizó el número de plantas turgentes a los 17 días después de haber realizado el injerto y se calculó el porcentaje de crecimiento con la ecuación 1.

$$\text{Porcentaje de crecimiento} = \frac{(\text{No. de plantas turgentes})(100)}{\text{No. de plantas injertadas}} \dots \dots \dots (1)$$

2.7 Anatomía del sitio de unión del injerto-portainjerto

Se muestrearon 5 plántulas, a los 5, 10, 15 y 20 días después de la injertación para la evaluación de la anatomía de los tejidos vasculares. De cada plántula se obtuvo una porción (5 mm) de tallo del sitio de unión del injerto. El material muestreado fue inmediatamente colocado en el fijador FAA que es una solución de formaldehído-alcohol-ácido acético (50 % etanol 96 % + 5 % ácido acético glacial + 10 % formaldehído con 40 % de pureza + 35 % agua destilada) durante una semana y posteriormente se transfirieron al fijador GAA que es una solución de glicerol-alcohol-agua destilada (25 % glicerol + 50 % etanol 100 % + 25 % agua destilada + 0.0002 fast green), donde permanecieron hasta el momento de procesar el tejido vegetal muestreado.

Tres meses después del último muestreo, el tejido vegetal fue colocado en un procesador automático de tejidos Histokinette Leica® modelo 2000 (Alemania) para su deshidratación, aclaramiento e inclusión en parafina (Cuadro 1).

Cuadro 1. Secuencia de soluciones para la deshidratación, aclaramiento e inclusión en parafina del tejido vegetal, de chile manzano, en un procesador de tejidos automático (Histokinette Leica® Mod. 2000).

Proceso	Reactivo	Tiempo
Deshidratación	1.Etanol 50 %	4 horas + 48 minutos
	2.Etanol 70 %	4 horas + 48 minutos
	3. Etanol 96 %	4 horas + 48 minutos
	4. Etanol 96 %	4 horas + 48 minutos
	5. Etanol 100 %	4 horas + 48 minutos
	6. Etanol 100 %	4 horas + 48 minutos
Aclaramiento	7.Etanol100 % + xileno 100 %	4 horas + 48 minutos
	8. Xileno 100 %	4 horas + 48 minutos
	9. Xileno 100 %	4 horas + 48 minutos
	10. Xileno 100 %	4 horas + 48 minutos
Inclusión	Manual con parafina a 56 °C	

Posteriormente se realizó la inclusión en parafina usando moldes especiales de lámina de aluminio, donde se colocaron de 4 a 6 muestras para después cortarlas en cubos de acuerdo con Sass (1968) y montarlas en cubos de madera previamente etiquetados. Se realizaron cortes transversales y longitudinales de 12 µm de espesor en un micrótopo rotatorio manual marca Zeiss, modelo Hyrax 25.

Los cortes histológicos fueron montados en portaobjetos utilizando como base el adhesivo Haupt y formol al 10 %, también se utilizó una plancha histológica a 45 °C. Finalmente se realizó el desparafinado y tinción de tejidos con la combinación safranina-fast green (Cuadro 2) de acuerdo con la metodología de Sass (1968) con algunas modificaciones.

Cuadro 2. Procedimiento para la tinción con safranina y fast green de los cortes anatómicos del sitio de unión de los injertos de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano sobre el CM-334.

Solución	Tiempo
Xileno	3 minutos
Xileno	3 minutos
Xileno	3 minutos
Etanol 100 %	3 minutos
Etanol 96 %	3 minutos
Etanol 70 %	3 minutos
Etanol 50 %	3 minutos
Safranina	15 minutos
Agua de la llave	Enjuagado
Etanol 50 %	30 segundos
Etanol 70 %	30 segundos
Etanol 96 %	30 segundos
Etanol 100 %	30 segundos
Fast Green	10 minutos
Etanol 100 %	30 segundos
Xileno 100 %	3 minutos
Xileno 100 %	3 minutos
Xileno 100 %	3 minutos
Se aplicó bálsamo de Canadá en cubreobjetos	

Las preparaciones fueron colocadas en la estufa de secado a una temperatura aproximada de 50 °C donde permanecieron hasta el momento de la observación y captura de fotografías en un microscopio óptico Zeiss® Discovery V.20 Stereo con cámara digital canon® en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

2.8 Morfología del tallo

Para conocer el efecto del injerto en el diámetro del tallo de plantas injertadas en producción, se establecieron en invernadero los tratamientos de los tres híbridos no injertados y los tres híbridos injertados sobre el CM-334.

2.9 Establecimiento de plántulas y diseño experimental

Tres meses después del proceso de injertación, las plantas fueron trasplantadas a bolsas de polietileno negro de 50 x 50 cm llenas con tezontle rojo y 15 % de composta esterilizada. El riego fue localizado con el uso de cintilla y distribuidores de cuatro salidas (3 L/planta/día), con goteros con estaca y micotubín. La nutrición se llevó a cabo a través de los riegos con solución nutritiva de Steiner (1961) al 50 % de su concentración.

El diseño experimental fue completamente al azar con 9 repeticiones por tratamiento y la unidad experimental fue una planta. Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Plantas del híbrido Maruca injertadas sobre el CM-334.

T2: Plantas del híbrido Maruca no injertadas.

T3: Plantas del híbrido Jhos injertadas sobre el CM-334.

T4: Plantas del híbrido Jhos no injertadas.

T5: Plantas del híbrido Dali injertadas sobre CM-334.

T6: Plantas del híbrido Dali no injertadas.

2.10 Variables evaluadas

Se midió a los tres, seis, nueve y doce meses después del trasplante, el diámetro del tallo en la zona de unión del injerto. En los híbridos no injertados se midió a 3 cm por arriba de la base del tallo. En plantas injertadas, a los doce meses, también se midió el diámetro del tallo a 2 cm por arriba y por debajo del sitio de unión.

2.11 Análisis estadístico

Se comparó el diámetro del tallo de plantas injertadas y no injertadas, a través de "t" de student con $\alpha = 0.05$ y para la comparación del diámetro del sitio de unión, y 2 cm arriba y abajo del mismo, del tallo de plantas injertadas, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$, utilizando el paquete estadístico SAS® V9.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Sincronización de plántulas

La sincronización de injerto-portainjerto se logró de manera diferenciada, de acuerdo al híbrido empleado y el tiempo de emergencia de cada uno de ellos (Figura 2). El híbrido Maruca emergió a los catorce días, Jhos a los nueve días, Dali a los once días y el CM-334 a los quince días. Esta información debe ser tomada en cuenta para lograr la sincronización del diámetro de tallo del injerto y portainjerto; es decir, lograr el mismo diámetro de tallo a 1.5 cm arriba de los cotiledones. El CM-334 alcanzó el diámetro (1.3-1.8 mm) de tallo a los 50 días después de la siembra, los híbridos Maruca y Dali a los 40 días, y Jhos a los 36

días. Al respecto de la sincronización, Hartmann, Kester, Davis y Geneve (2011), señalan que al tener tallos con diámetros equivalentes es más fácil hacer coincidir las partes cortadas, de manera que, una porción considerable de las regiones cambiales queden en contacto y se dé la cohesión entre injerto-portainjerto. También Kubota *et al.* (2008) mencionan que obtener diámetros de tallos similares al momento de injertar es indispensable cuando el proceso de injerto se realiza de manera mecanizada con el uso de robots.

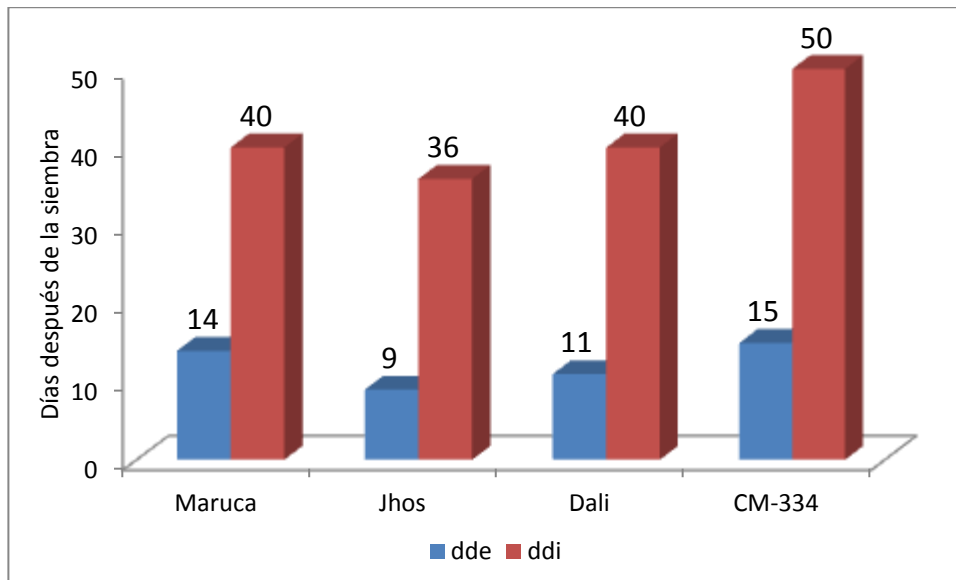


Figura 2. Días transcurridos hasta la emergencia (dde) y días en que la plántula alcanza el diámetro (ddi) de 1.3-1.8 mm para ser injertada, en híbridos (Maruca, Jhos y Dali) de chile manzano y el CM-334.

3.2 Porcentaje de prendimiento de plantas injertadas

El porcentaje de prendimiento del injerto-portainjerto fue alto, de 92 a 98 %, independientemente del híbrido de chile manzano empleado. Existieron pequeñas diferencias entre los híbridos en el proceso de prendimiento. Por ejemplo el día que se realizaron los injertos, todas las plántulas se mantuvieron turgentes dentro de la cámara de crecimiento, pero un día después, el 1.89 %

de Maruca mostraron marchitez total. Al tercer día, el 3.77 % de los injertos Maruca y Dali también presentaron marchitez. No obstante, fue hasta los diecisiete días después del proceso de injertación que se determinó 92 %, 98 % y 96 % de prendimiento para Maruca, Jhos y Dali, respectivamente. Estos porcentajes de prendimiento son similares a los mencionados por Martínez-Soriano (2014) en injertos de chile manzano variedad Grajales St. sobre el CM-334 con 91 %.

Se ha mejorado el porcentaje de prendimiento de plántulas injertadas del chile manzano, mediante el conocimiento de las condiciones ambientales ideales en la cámara de crecimiento como son la temperatura máxima de 24 °C y mínima de 12 °C, humedad relativa del 90 % e incremento gradual de la luminosidad; factores que favorecen la división celular y la rápida formación de callo. También el uso de clips especiales (silicón), empleados en el presente estudio, para la sujeción del punto de unión injerto-portainjerto coadyuvó en el alto porcentaje de prendimiento alcanzado y concuerda con lo mencionado por Lee y Oda (2003) al uso de clips de consistencia suave.

El alto porcentaje de prendimiento injerto-portainjerto obtenido en el presente estudio también se debió a la aplicación de ácido ascórbico vía foliar ya que como Johkan, Oda y Mori (2008), mencionan es una forma efectiva de proteger a las plantas del estrés generado por el corte al promover la formación de callo se incrementa la tasa de sobrevivencia.

El total de días transcurridos desde la siembra hasta plántula lista para ser injertada, más el proceso de injertación en la cámara de crecimiento y una semana de aclimatación en condiciones de invernadero antes del trasplante a macetas sumó un total de 77 días. Al respecto Martínez-Soriano (2014) menciona 89 días, al injertar la variedad Grajales St. de chile manzano sobre

CM-334. Es decir, se tuvo una ganancia de quince días, lo que representa ahorro económico.

3.3 Anatomía de los tejidos vasculares de la plántula injertada

3.3.1 A los cinco días

En el muestreo realizado a los cinco días después del proceso de injertación, en la zona de corte de cada uno de los tres híbridos injertados con el CM-334, se observaron células muertas, que se hicieron visibles al momento de la tinción en fast green como una línea de color más oscuro (Figura 3A, 3B, Figura 4A, 4B y Figura 5A, 5B). En el corte transversal del injerto Maruca (Figura 3B) fue visible, en 20 %, la cohesión del injerto-portainjerto y en menor grado para Jhos y Dali, ya que no hubo un total empalme de los tallos. Que como lo mencionan Hartmann *et al*, 2011, es importante homogenizar el diámetro de los tallos al momento de realizar los injertos, para permitir que las partes cambiales del injerto y portainjerto coincidan estrechamente y de esta manera el proceso de prendimiento es más rápido. De lo contrario, necesitan formar mayor cantidad de tejido de callo para el prendimiento.

Moore (1984) afirma que el desarrollo de un injerto compatible comprende tres fases principales: cohesión del injerto y portainjerto; proliferación de células de callo en la interfase del injerto y rediferenciación vascular a través de la interfase. Al respecto, Jeffree y Yeoman (1983) y Parkinson, Jeffree y Yeoman (1987) encontraron en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) que la cohesión se inicia pocas horas después de realizar el injerto, con la secreción de sustancias pécticas en el sitio de unión, dicha fase tiene el objetivo de proporcionar un soporte mecánico inicial en el punto de unión. Esta fase de adhesión y formación de tejido de callo en el punto de unión no es garantía de éxito del

injerto, ya que estos dos primeros procesos no requieren de reconocimiento celular; por lo tanto, se llevan a cabo en injertos compatibles como en no compatibles. También Velasco-Alvarado *et al.* (2017) reportan para la misma especie, el entrelazamiento de las nuevas células del callo entre injerto y portainjerto y el inicio de la absorción de la línea de corte a los cinco días de realizar el injerto.

3.3.2 A los diez días

En el muestreo realizado a los diez días, hubo una conexión avanzada del tejido vascular en los híbridos Maruca y Jhos (Figura 3C, 3D, 4C y 4D), y en menor grado para Dali (Figura 5D), se atribuye a que la superficie de contacto entre los tallos fue mínima. La línea de unión injerto-portainjerto se absorbió en 50 % y se sustituyó por células de parénquima, a excepción del centro donde se observó un espacio de aire (Figura 3D, 4D y 5D). Tal y como lo mencionan Hartmann y Kester, (1984) los espacios vacíos entre el portainjerto y el injerto se van rellenando con células de parénquima para la formación de callo.

3.3.3 A los quince días

En el tercer muestreo realizado a los 15 días después del proceso de injertación, en los híbridos Maruca y Jhos (Figura 3E, 3F, 4E y 4F), la cicatriz de la línea de unión injerto-portainjerto se absorbió en un 70 %. No presentaba espacios de aire y se tenía mayor entrelazamiento entre células de parénquima. Se puede afirmar que a partir de este momento (15 días), el injerto se encontraba totalmente cicatrizado y las plántulas son capaces de sobrevivir fuera de la cámara de crecimiento. Jeffrey y Yeoman (1983) afirman que conforme se va desarrollando el callo, la capa necrótica se absorbe debido al aumento del tamaño de las nuevas células lo que confiere resistencia mecánica en el punto de unión. En el injerto del híbrido Dali (Figura 5F), aunque la línea

de unión es más visible comparado con Maruca y Jhos, también se observó la rediferenciación del sistema vascular, estableciéndose una continuidad de los elementos del xilema entre el injerto y el portainjerto. En los cortes longitudinales de los híbridos Jhos y Dali (Figura 4E y 5E) se observó una curvatura de los haces vasculares entre injerto-portainjerto para lograr el encuentro, esto inició desde el día cinco, pero es más notorio a los 15 días. La curvatura observada es más evidente cuando los tallos injertados son de diferente diámetro, ya que los sistemas vasculares no están alineados. Al respecto, Velasco-Alvarado *et al.* (2017) mencionan que existe un sistema de reconocimiento celular que hace que los haces vasculares no se unan con las células de la médula o de la corteza, sino que se curvan a conveniencia para buscar su contraparte en el otro tallo. Hartmann *et al.* (2011) señalan que al tener tallos con diámetros parecidos es más fácil hacer coincidir las partes cortadas, de tal manera que, una porción considerable de las regiones cambiales queden en contacto y se dé la cohesión y rediferenciación celular entre injerto-portainjerto en menos tiempo. Martínez-Soriano (2014) encontró, en chile manzano injertado sobre el CM-334, la formación de callo y la rediferenciación celular a los 13 días. Velasco-Alvarado *et al.* (2017) a los diez días en jitomate, en tanto que para pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) injertado sobre el CM-334, Martínez (2013) observó la rediferenciación del sistema vascular a partir de los 15 días y se continuó hasta los 20.

3.3.4 A los 20 días

En el muestreo realizado a los 20 días después del proceso de injertación, en el corte transversal de los tres híbridos se observó que la cicatriz de la línea de unión se absorbió en un 90 % y existe unión vascular completa (Figura 3H, 4H y 5H). En el corte longitudinal de los híbridos Jhos y Dali (Figura 4G y 5G) se

observó la curvatura que realizaron los haces vasculares para tener éxito en el prendimiento. Por lo que concuerda con lo mencionado por Moore, (1984), Fernández-García, Carvajal y Olmos (2004) y Martínez, (2013), que la rediferenciación del sistema vascular, es el último evento que ocurre en la formación de un injerto compatible. En esta fase se diferencia a xilema y se lleva a cabo la lignificación. Al respecto, Johkan *et al.* (2008) afirmó que las conexiones del xilema pueden diferenciarse desde el primer día después de realizar el injerto en zonas muy pequeñas (1 %), pero para que la unión del injerto se considere exitosa se necesita que varias conexiones de xilema y floema atraviesen la interface del injerto.

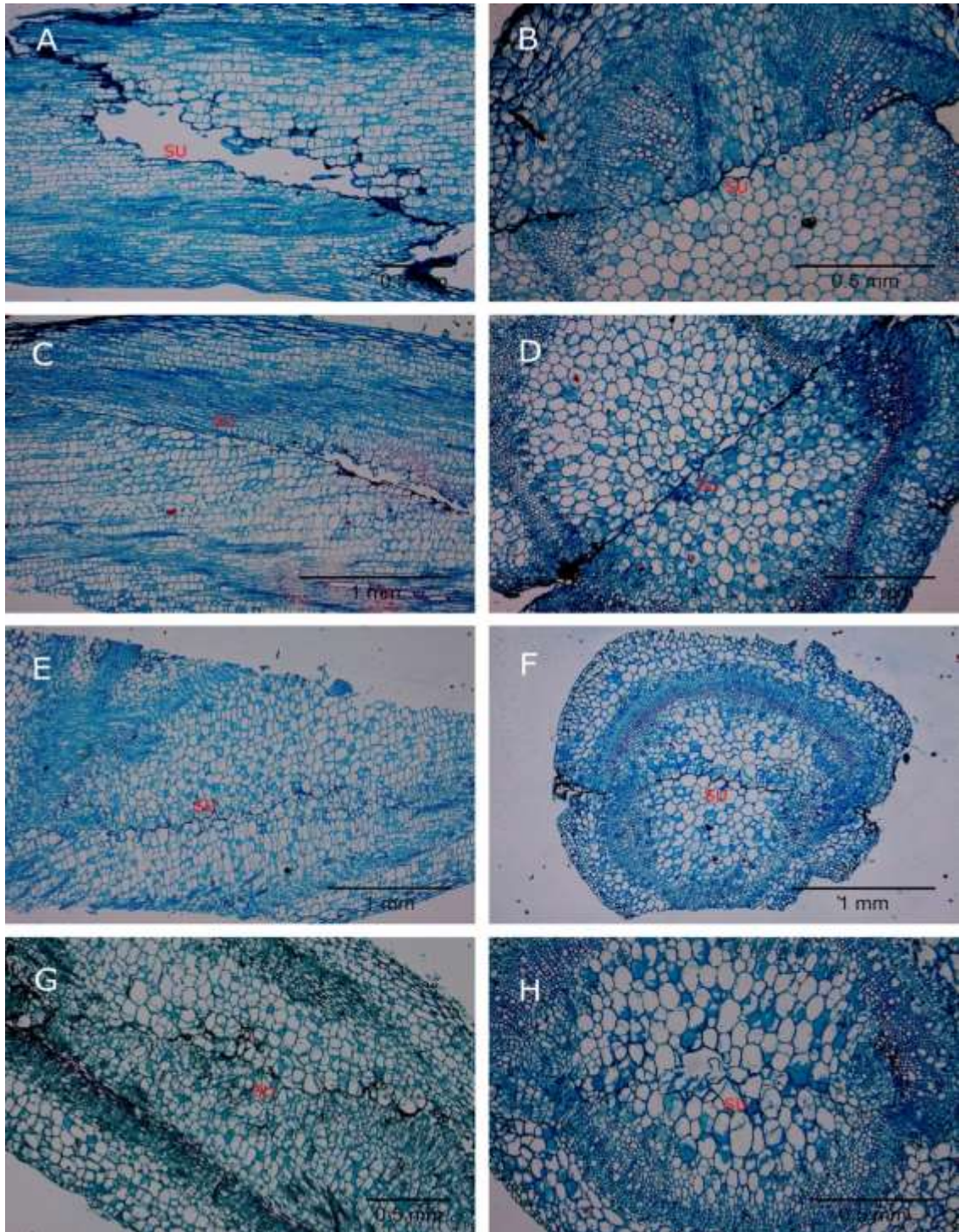


Figura 3. Corte longitudinal y transversal a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H) después de realizar el proceso de injertación del híbrido Maruca sobre el portainjerto CM-334. SU: Sitio de unión del injerto.

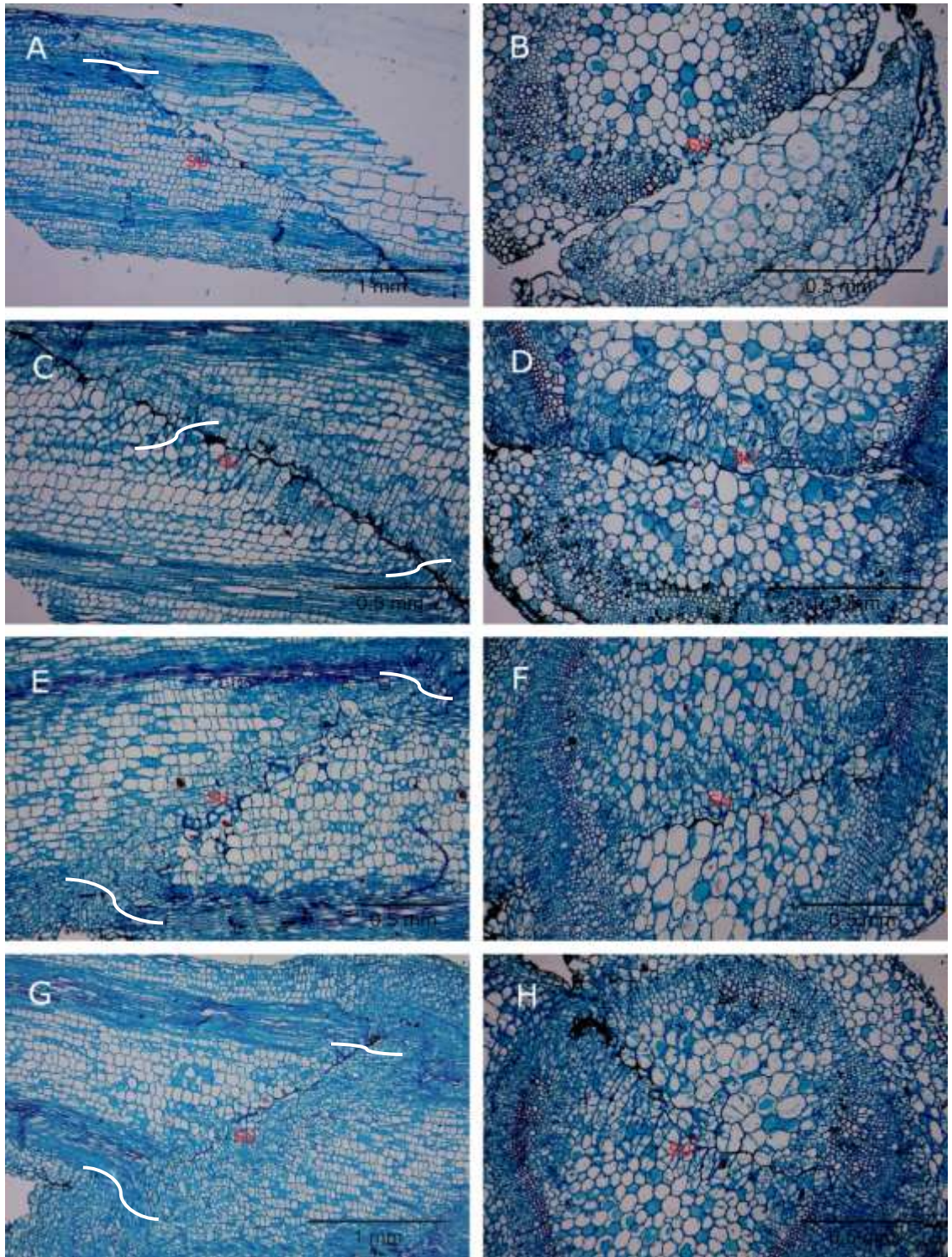


Figura 4. Corte longitudinal y transversal a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H) después de realizar el proceso de injertación del híbrido Jhos sobre el portainjerto CM-334. SU: Sitio de unión del injerto.

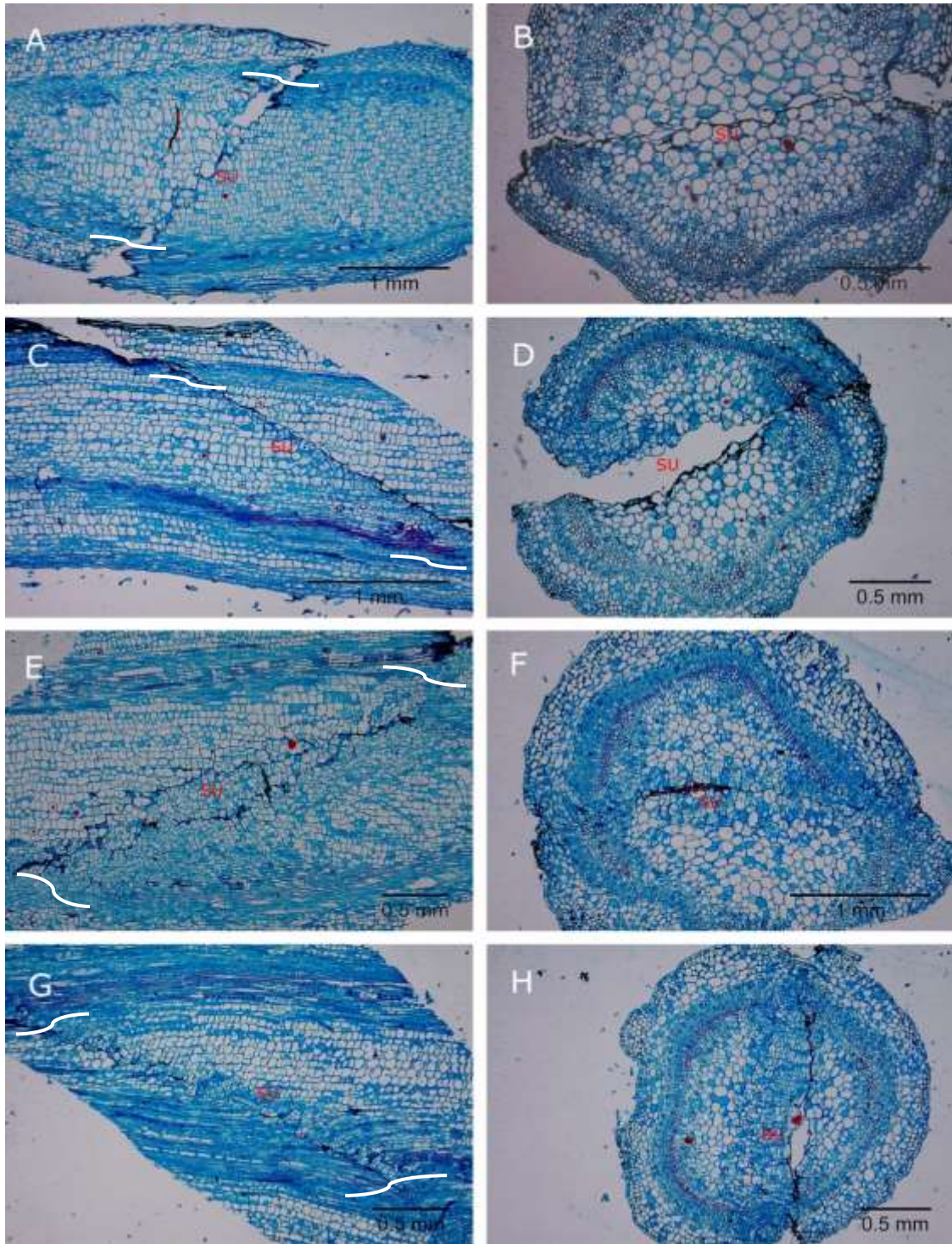


Figura 5. Corte longitudinal y transversal a los 5 días (A y B), 10 días (C y D), 15 días (E y F) y 20 días (G y H) después de realizar el proceso de injertación del híbrido Dali sobre el portainjerto CM-334. SU: Sitio de unión del injerto.

3.4 Morfología del sitio de unión del tallo de plantas en producción

El diámetro de tallo en el sitio de unión del injerto para cada uno de los tres híbridos, medidos a los tres, seis, nueve y doce meses después del trasplante mostró diferencias estadísticas significativas entre plantas injertadas comparadas con las plantas no injertadas (Cuadro 3). El hecho de que las plantas injertadas tuvieron diámetro mayor que las no injertadas concuerda con lo determinado por Martínez-Soriano (2014) en la variedad Grajales St. de Chile manzano.

Cuadro 3. Comparación de medias del sitio de unión entre híbrido injertado de Chile manzano sobre el CM-334 y no injertado a los tres, seis y nueve meses después del establecimiento en invernadero.

Híbridos de Chile manzano	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
	Diámetro de tallo (mm)			
Maruca injertado	13.0344*	23.948*	26.723*	27.292**
Maruca	10.853	21.043	22.825	23.391
Jhos injertado	13.383*	25.264*	27.251*	29.679*
Jhos	11.017	19.987	20.816	22.641
Dali injertado	13.421*	25.588*	28.491*	30.095*
Dali	10.662	20.682	22.231	22.631

*Tratamientos diferentes

En los tres híbridos injertados, no se encontraron diferencias significativas del diámetro del tallo en el sitio de unión y el portainjerto CM-334 (Cuadro 4). En contraste, los híbridos Jhos y Dali injertados presentaron mayor diámetro en el sitio de unión respecto al híbrido correspondiente. A diferencia del híbrido Maruca injertado que no presentó diferencias estadísticas significativas entre el

sitio de unión y el tallo del híbrido, lo que se atribuye que al momento de realizar el injerto, los diámetros eran equivalentes, y esto se vio reflejado en la no existencia de protuberancia en el sitio de unión. Al respecto, Hartmann *et al.* (2011) mencionan que si el portainjerto y el injerto tienen diámetros similares en la zona de unión, la proximidad entre haces vasculares es máxima y por lo tanto la facilidad de unión.

Cuadro 4. Comparación de medias del diámetro de tallo del injerto, sitio de unión y el portainjerto, en híbridos injertados de chile manzano sobre el CM-334 a los 12 meses después del establecimiento en invernadero.

Híbridos injertados	Maruca	Jhos	Dali
Injerto	24.018a [†]	24.085a	21.420a
Sitio de unión	27.844ab	28.744b	30.381b
Portainjerto (CM-334)	28.072b	31.246b	30.579b

Comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel d significancia de $\alpha=0.05$, [†]Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales

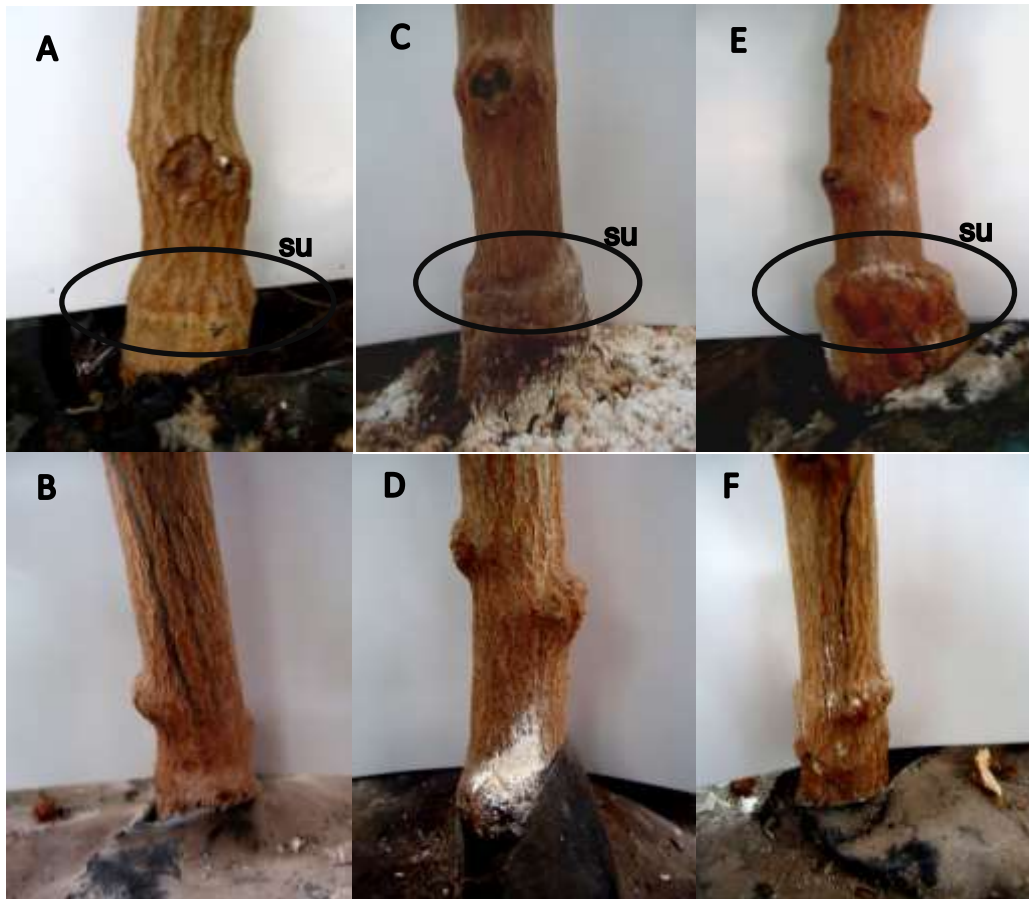


Figura 6. Comparación del sitio de unión entre híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano injertadas sobre el CM-334 y plantas de híbridos sin injertar a los 12 meses después del trasplante. A) Maruca injertado, B) Maruca no injertado C) Jhos injertado, D) Jhos no injertado, E) Dali injertado y F) y Dali no injertado.

4. CONCLUSIÓN

Los híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) Maruca, Jhos y Dali son compatibles al ser injertados sobre el CM-334 (*Capsicum annum* L) con un porcentaje de prendimiento de 92, 98 y 96 %, respectivamente. La completa formación del callo y la rediferenciación celular del tejido vascular se obtuvo a partir de los 15 días y continuó hasta el día 20. A tres, seis, nueve y doce meses después del trasplante, las diferencias de diámetro en el sitio de unión de injerto-portainjerto de plantas injertadas y no injertadas fue tan solo de

2 a 7 mm y no existe protuberancia en el sitio de unión en plantas injertadas. Por lo que el injerto de híbridos de chile manzano es alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de este tipo de chile.

5. LITERATURA CITADA

Fernández-García, N., Carvajal, M. and Olmos, E. (2004). Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. *Annals of Botany*, 93(1), 53-60.

Hartmann, H. and Kester, D. E. (1984). *Propagación de Plantas*. Traducido por Marino A. A, Ph. D. Segunda edición. Editorial Continental, S. A. Ciudad de México, México. (pp.71-77).

Hartmann, H., Kester, D. E and Davis, F. (1997). *Plant Propagation, Principles and Practices*. New Jersey, Prentice-Hall. 647 p.

Hartmann, H., Kester, D. E., Davies, F. T. Jr. and Geneve, R. L. (2011). *Propagation: Principles and Practice*. 8va edic. Prentice-Hall. United States of America. 915 p.

Jeffree, C. E. and Yeoman, M. M. (1983). Development of intercellular connections between apposing cells in a graft union. *New Phytologist*, 93, 491-509.

Johkan, M., Oda, M. and Mori, G. (2008). Ascorbic acid promotes graft-take in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 116(4), 343-347.

King, S. R., Davis, A. D., Liu, W. and Levi, A. (2010). Grafting for disease resistance. *HortScience*, 43(6), 1673-1676.

Kobori, R. F., Della-Vecchia, P. T., Kurozawa, C. and Soler, J. M. P. (2000). Evaluation of the resistance of *Capsicum annuum* Lines when inoculated with three inoculum concentrations of *Phytophthora capsici*. *Summa Phytopathologica*, 26, 77-81.

Kubota C., McClure M. N., Kokalis-Burelle, M. G. and Roskopf, E. N. (2008). Vegetable grafting: history, use and current technology status in North America. *HortScience*, 43(6), 1664-1669.

Lee, J.M. and Oda, M. (2003). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28, 61-124.

Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Hoyos-Echeverria, P., Morra, L. and Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105.

Louws, F. J., Rivard, C. L. and Kubota, R. C. (2010). Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 127-146.

Martínez-Soriano, E. (2014). *Compatibilidad y desempeño agronómico del chile manzano (Capsicum pubescens R y P) injertado sobre el CM-334 (Capsicum annuum L.)* Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 101 p.

Martínez, V. A. (2013). *CM-334 como portainjerto de pimiento morrón: compatibilidad, resistencia a Phytophthora capsici L y desempeño agronómico.* (Tesis de Maestría). Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 80 p.

Moore, R. (1984). A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. *American Journal of Botany*, 71(5), 752-758.

Oda, M. and Nakajima, T. (1995). Adesive grafting of chinese cabbage on turnip. *HortScience*, 27(10), 1139.

Parkinson, M. C., Jeffree, M. and Yeoman, M. (1987). Incompatibility in cultured explant- grafts between members of the solanaceae. *New Phytologist*, 107, 489-498.

Parra, G. and Ristaino, J. (2001). Resistance to Mefenoxam and Metalaxyl among field isolates of *Phytophthora capsici* causing *Phytophthora Blight* of bell pepper. *Plant Disease*, 85(10), 1069-1075.

Pérez, G. M. y Castro, R. B. (2008). *El chile Manzano*. Texcoco, México: Departamento de Publicaciones de la Universidad Autónoma Chapingo. 128 p.

Redondo, J. E. (1979). Búsqueda de fenotipos de chile resistentes al hongo *Phytophthora capsici* Leonian. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 23, 220-224.

Ristaino, J. B. (1991). Influence of rainfall, drip irrigation, and inoculum density on the development of *Phytophthora root* and crown rot epidemics and yield in bell pepper. *Phytopathology*, 81, 922-929.

Sakata, Y., Ohara, T. and Sugiyama, M. (2007). The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetable in Japan. *Acta Horticulturae*, 731,159-170.

Sass, J. E. (1968). Botanical Microtechnique. 3rd Edition. *The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA.* 227 p.

Steiner, A. 1961. An universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. *Plant and Soil*, 15, 134-154.

Velasco-Alvarado, M. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J. y Lobato-Ortiz, R. (2017). Proceso de unión del injerto de empalmen jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1051-1058.

Zhao, X., Guo, Y., Huber, D. J. and Lee, J. (2011). Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-methylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Scientia Horticulturae*, 130, 581-587.

CAPITULO II. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE TRES HIBRIDOS DE CHILE MANZANO INJERTADOS SOBRE CM-334

CHAPTER II. YIELD AND QUALITY OF FRUIT OF THREE HYBRIDS OF MANZANO HOT PEPPER GRAFTED ONTO THE CM-334

RESUMEN

Phytophthora capsici ocasiona pérdidas del 40 al 100 % en la producción de chile manzano y no hay variedades comerciales resistentes a este patógeno y los productos químicos usados para su control promueven el desarrollo de cepas resistentes y daños al medio ambiente. El uso de planta injertada de chile manzano en el portainjerto CM-334 (resistente universal a *P. capsici*) es alternativa viable y sustentable a este problema. Por lo que se evaluó el rendimiento y calidad de fruto de tres híbridos de chile manzano (Maruca, Jhos y Dali) bajo la hipótesis de que no existen diferencias significativas entre los híbridos injertados y no injertados. Tres meses después de la injertación, las plántulas fueron establecidas en macetas, bajo condiciones de invernadero e hidroponia. Los resultados indicaron que no hay diferencias estadísticas significativas en variables como frutos totales por planta, peso total, rendimiento por hectárea, tamaño, peso, número de lóculos, grosor de pericarpio, número y peso de semillas, brillo, chroma, ángulo de tono, acidez titulable, vitamina C, sólidos solubles totales y carotenoides, con algunas excepciones como grosor de pericarpio en el híbrido Jhos; peso de semillas menor en Maruca sin injertar; firmeza mayor de frutos en los tres híbridos injertados que en los no injertados; y pérdida de peso mayor en los híbridos Jhos y Dali no injertados. Se concluye que el injerto de híbridos (Maruca, Jhos y Dali) de chile manzano sobre el CM-334 es alternativa viable y sustentable porque no disminuye ni el rendimiento ni la calidad de fruto.

Palabras clave: planta injertada, resistente universal, rendimiento, calidad, alternativa.

ABSTRACT

Phytophthora capsici causes losses of 40 to 100 % in the production of manzano hot pepper and there are no commercial varieties resistant to this pathogen and the chemical products used for its control promote the development of resistant strains and damage to the environment. The use of a grafted manzano hot pepper plant onto the CM-334 rootstock (universal resistant to *P. capsici*) is a viable and sustainable alternative to this problem. Therefore, the yield and fruit quality of three manzano hot pepper hybrids (Maruca, Jhos and Dali) were evaluated under the hypothesis that there are no significant differences between grafted and ungrafted hybrids. Three months after the grafting, the seedlings were established in pots, under greenhouse conditions and hydroponics. The results indicated that there are no significant statistical differences in variables such as total fruits per plant, total weight, yield per hectare, size, weight, number of locules, pericarp thickness, number and weight of seeds, brightness, chroma, tone angle, titratable acidity, vitamin C, total soluble solids and carotenoids, with some exceptions such as: pericarp thickness in the Jhos hybrid; less seed weight in ungrafted ling; greater fruit firmness in the three grafted hybrids than in the non-grafted ones; and greater weight loss in ungrafted Jhos and Dali hybrids. It is concluded that the grafting manzano hot pepper hybrids (Maruca, Jhos and Dali) onto CM-334 is a viable and sustainable alternative because it does not diminish either fruit yield or quality.

Key words: grafted plant, universal resistant, yield, quality, alternative.

1. INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) es originario de las partes altas de Perú y Bolivia, en México se encuentra a una altitud de 1700 a 2500 m. Las principales zonas de producción se encuentran en los estados de Michoacán, Puebla, Estado de México y Veracruz, y en menor grado escala en Chiapas y Oaxaca (Espinosa-Torres y Villa-Galindo, 2008). La planta alcanza alturas de hasta tres metros y requiere de una estación de crecimiento libre de heladas para su crecimiento y desarrollo (Pérez y Castro, 2008). La superficie sembrada en 2013 fue de 1500 ha a campo abierto y 60 ha en invernadero. El rendimiento promedio fue de 10.59 t ha⁻¹ en campo abierto y de 78.36 t ha⁻¹ en invernadero (SIAP 2014). Por lo que este cultivo es de importancia económica y social, sin embargo, un factor limitante en la productividad es la marchitez causada por *Phytophthora capsici* Leo (González, Yañez, Santiago y Montero, 2004). El nivel de daño de esta enfermedad es de tal magnitud que el rendimiento puede bajar de 25 a 80 % (García-Rodríguez *et al.*, 2010). En muchas áreas productoras, las epidemias más graves ocurren durante los meses cálidos y en la época de lluvias (Lamour, Stam, Jupe y Huitema, 2012). El control de esta enfermedad ha sido mediante la fumigación del suelo con bromuro de metilo, pero su uso ha sido restringido debido a que daña la capa de ozono. Vázquez, Tlapal, Yañez, Pérez y Quintos (2009) sugieren que el uso de variedades resistentes representa una estrategia amigable con el ambiente y el chile serrano CM-334, es altamente resistente. Este tipo de chile ha sobrevivido aun cuando se ha inoculado con las cepas más virulentas de *Phytophthora capsici* (Bonnet *et al.*, 2007 y Kim y Kim, 2009) y se le considera el resistente universal a este patógeno (Oelke, Bosland y Steiner, 2003). Sin embargo, aunque la resistencia es de carácter dominante (Egea- Gilabert *et al.*, 2008), su herencia es compleja debido a su naturaleza poligénica y a la probable existencia de efectos epistáticos (Minamiyama, Tsuru, Kubo y Hirai, 2007). Por ello, no se han generado cultivares resistentes en chiles

comerciales. No obstante, la injertación de variedades mejoradas de chile manzano (híbridos) de alta productividad sobre el CM-334 es una alternativa viable, ya que permite la resistencia a *P. capsici*, a través del portainjerto (CM-334) y alto rendimiento y calidad de fruto del injerto. Al respecto, Davis *et al.* (2008) afirma que el pH, sabor, azúcares, color, contenido de carotenoides y textura pueden ser afectados por el injerto y el tipo de portainjerto utilizado. Yaguishita y Hirata (1987) mencionan que el uso de portainjertos reduce el tamaño y forma del fruto, en melón y sandía al injertar las plantas sobre *Cucurbita spp.* En tanto que Oda (2002) encontró cambios en la forma del fruto en injertos de *Capsicum annuum* L.

La calidad del fruto está determinada por el color, tamaño, forma, libre de desórdenes fisiológicos, firmeza, textura, materia seca, propiedades organolépticas y nutraceuticas (Dorais, Papadopoulos y Gosselin, 2001). En relación a esto, Oda (2002) menciona que en jitomate injertado se reduce mínimamente la calidad comparado con frutos de plantas sin injertar.

Flores *et al.* (2010), Khah *et al.* (2006), Pogonyi *et al.* (2005) y Turhan *et al.* (2011) mencionan que la forma del fruto, color y textura del pericarpio, concentración de sólidos solubles, acidez titulable, pH, licopeno, tamaño y peso promedio de fruto son características afectadas por el uso de portainjertos. Según Fernández-Pavía y Liddell (1997) mencionan que para considerar el uso de un portainjerto, es imprescindible determinar, además de la resistencia y la compatibilidad, el rendimiento de frutos comerciales. Por lo que en esta investigación se evaluó el rendimiento y calidad de fruto de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano injertados sobre el CM-334 como alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de este tipo de chile. Bajo la hipótesis que todos los híbridos (Maruca, Jhos y Dali) de chile manzano injertados sobre el

portainjerto CM-334 mantienen el rendimiento y calidad de fruto respecto a los no injertados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en el invernadero de chile manzano ubicado en el lote P-2 del campo experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México en las coordenadas 19° 29' 22.2" LN y 98° 52' 24.7" LO, a una altitud de 2250 m. El promedio de temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa, CO₂, y humedad de sustrato en maceta del invernadero fue de 18.3 °C, 69.9 %, 525 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 80 % y 550, respectivamente, del 21 de marzo al 20 diciembre de 2017, tiempo en que se realizó la fase de campo de este estudio.

2.2 Material vegetal

Se utilizaron plantas sin injertar de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano y plantas injertadas de cada uno de ellos sobre el CM-334.

Híbrido Maruca: Planta de porte alto (al menos 2.5 m), con tallos de 35.65 cm a la primera bifurcación y entrenudos cada 12.10 cm. Tiene hojas de forma oval, anchas y longitud media, de color verde oscuro con pilosidad media en el envés. Sus flores se encuentran en posición erecta, de color morado y anteras con presencia de antocianinas. Sus frutos son de forma cuadrada, largos y anchos, de color amarillo; con peso promedio de 96.51 g, presentan de 2 a 3 lóculos y grosor de pericarpio de 7.33 mm, placenta compacta y sabor pungente

(93 794 SHU). La floración inicia a los 92 días después del trasplante, con maduración tardía (164 días después del trasplante) y rendimiento promedio de 8-10 kg·m².

Híbrido Jhos: Planta de porte alto (al menos 2.5 m), con tallos de 37 cm a la primera bifurcación y entrenudos cortos (16.22 cm). Con hojas de forma lanceolada, anchas y largas, de color verde medio con pilosidad media en el envés. Sus frutos son de forma cuadrada, largos y muy anchos, de color amarillo; con peso promedio de 87.45 g, presentan de 2 a 3 lóculos y grosor de pericarpio de 6.85 mm. Tiene flores en posición erecta, de color morado y anteras con presencia de antocianinas. Su floración inicia a los 90 días después del trasplante, de maduración tardía (160 días después del trasplante) y rendimiento promedio de 8-10 kg·m².

Híbrido Dali: Planta de porte alto (al menos 2.5 m), con tallos de 39 cm a la primera bifurcación y entrenudos cada 16.30 cm. Con hojas de forma oval, anchas y longitud media, de color verde oscuro con pilosidad media en el envés. Tiene flores en posición erecta, de color morado y anteras con presencia de antocianinas. Sus frutos son de forma cuadrada, largos y anchos, de color amarillo; con peso promedio de 87.45 g, presentan de 2 a 4 lóculos y grosor de pericarpio de 6.45 mm. Su floración inicia a los 90 días después del trasplante, de maduración tardía (162 días después del trasplante) y rendimiento promedio de 8-10 kg·m².

CM-334: Planta arbustiva con altura no mayor a 40 cm, con entrenudos cortos (< 5 cm), con hojas de forma alargada, angostas y de longitud pequeña, de color verde oscuro. Con flores pequeñas y de color blanco. Sus frutos son de color púrpura antes de madurar y con tonalidad roja a la madurez, son de forma alargada (3-4 cm) y de 1 cm de diámetro.

2.3 Diseño experimental y de tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con nueve repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta. Se establecieron seis tratamientos: tres híbridos (Maruca, Jhos y Dali) sin injertar y tres injertados sobre el CM-334.

2.4 Variables evaluadas

2.4.1 Variables de rendimiento de fruto

Se realizaron diez cosechas, una cada ocho días, y se contabilizaron los frutos totales por planta (FT), peso total de frutos por planta (PF) y se calculó el rendimiento por hectárea (R) en invernadero. Los FT y PF se obtuvo de la suma de los frutos de cada una de las diez cosechas, mientras que el R se calculó al multiplicar PF por la densidad de plantación del cultivo. La densidad, fue de $0.694 \text{ plantas/m}^2$, resultado de una distancia entre plantas de 0.8 m y 1.8 m entre hilera de plantas.

2.4.2 Variables de calidad de fruto

De las diez cosechas realizadas, en la 2^a, 4^a, 6^a, 8^a y 10^a se evaluaron las variables de calidad de fruto como: tamaño (TPF) y peso promedio de fruto (PPF), número de lóculos (NL), grosor de pericarpio (GP), número (NS) y peso de semillas (PS). El TPF se obtuvo a partir del volumen del fruto, y este a su vez de la cantidad de agua desplazada (ml), de un fruto, en una probeta graduada de 1 L, y la suma de todos los volúmenes se dividió entre el número

de frutos cosechados por planta, en cada cosecha. El PPF se obtuvo de dividir el peso de frutos (PF) entre el número de ellos por planta (NF), en cada una de diez cosechas. Para cuantificar el NL por fruto por planta y por cosecha, se realizó un corte transversal en la parte media de cada fruto, a las que también se les midió el GP (mm) con un vernier digital marca Truper, Stainless Steel, el número y peso de semillas (NS y el PS).

Otras variables de calidad de fruto que se midieron en una ocasión (quinta cosecha) fueron: firmeza, color, acidez titulable, vitamina C, Sólidos solubles totales (SST), carotenoides. Para observar la pérdida de peso para lo cual se tomaron otros nueve frutos.

Firmeza: Se midió con un texturómetro digital marca Mecmesin CE acoplado en una prensa manual con una punta de cono de 0.6 mm de altura y 0.7 mm de diámetro, los valores obtenidos fueron la fuerza necesaria para romper el pericarpio de cada fruto y los resultados se expresan en Newton (N).

Color: Se midió en cuatro puntos diferentes de cada fruto, con un colorímetro, Color Tec-PCM mod. D25-PC2 Cole Palmer, que se basa en las escalas de Hunter Lab y da tres lecturas: L, a y b. “L” (Luminosidad) que se reporta directamente del valor dado por el colorímetro y mide la luminosidad o brillantez del fruto, cuyos valores van de cero (representa colores oscuros) hasta 100 (colores de máxima brillantez-blanco); en “a” los valores negativos indican tonalidades de verde, mientras que valores positivos se refieren al rojo; y “b” cuyos valores negativos indican tonalidades del azul, en tanto los positivos registran amarillo (Minolta, 1994). Con los valores de a y b se calcularon los parámetros ángulo de matriz (Hue) y pureza del color (Chroma), utilizando las ecuaciones 2 y 3:

$$\text{Ángulo de tono (Hue)} = \tan^{-1} \frac{b}{a} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Pureza del color (Chroma)} = \sqrt{a^2 + b^2} \dots\dots\dots(3)$$

El ángulo de tono y la pureza del color de los frutos fueron comparados entre los híbridos injertados y sin injertar.

Acidez titulable: Se determinó a través del porcentaje de ácido cítrico con el método de la AOAC (1990). Se licuaron 10 g de muestra de un fruto, con 50 ml de agua destilada y se filtró. Posteriormente, se midió el volumen filtrado, en una probeta graduada, de donde se tomó una alícuota de 10 ml, a la cual se le agregaron dos gotas de fenolftaleína al 1 % y se tituló con NaOH al 0.1 N hasta la aparición de un color rosa que permaneciera visible durante un minuto y se registró el gasto de NaOH. Y se calculó el porcentaje de acidez titulable con las ecuaciones 4 y 5:

$$Meq = \frac{PM \text{ ácido orgánico}}{Valencia \times 1000} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{acidez titulable (\%)} = \frac{ml \text{ NaOH} \times N \times Meq \text{ ac.} \times V \times 100}{\text{peso de la muestra} \times \text{alícuota}} \dots\dots\dots(5)$$

Dónde:

N= Normalidad del NaOH

V= Volumen total (ml de extracto después de licuar)

PM: Peso molecular del ácido cítrico

Meq Ac = Miliequivalente del ácido cítrico (0.064)

Vitamina C: El contenido de vitamina C en los frutos, se realizó de acuerdo al método de Tillman (AOAC, 1990) conocido como DFI-2,6 diclorofenol-indofenol. Se pesaron 10 gramos de fruto y se licuaron con 50 ml de ácido oxálico (5 %), se tomó una alícuota de 5 ml y se tituló con solución Tillman hasta alcanzar una tonalidad rosa y que esta permaneciera visible durante un minuto. Los resultados se expresaron en $\mu\text{g}\cdot 100$ gramos de fruto.

Sólidos solubles totales: Se colocaron dos gotas de jugo de un fruto en el lector óptico de un refractómetro de mano marca Atago modelo PAL-1 y los resultados se expresaron en °brix.

Carotenoides: Se cuantificó de acuerdo a la técnica propuesta por Lichtenhaler (1987); cinco gramos de fruto, se molieron con acetona al 80 %, el resultante se filtró y aforó a 50 mL, se midió la absorbancia a 476, 646 y 663 nm con el espectrofotómetro Thermo Scientific Genesys 10S VIS Spectrophotometer. El contenido de carotenoides se calculó mediante las ecuaciones 6, 7 y 8.

$$Ca = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646} \dots\dots\dots(6)$$

$$Cb = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663} \dots\dots\dots(7)$$

$$Cx+e = 1000 A_{476} - 1.82 Ca - 85.02 Cb \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

Ca = clorofila a, Cb = clorofila b y Cx+e = carotenoides totales

Los resultados se expresaron en $\mu\text{g}\cdot 100$ gramos de fruto.

Pérdida de peso: Se registró el peso de cada fruto a los días uno, tres, seis, nueve y 12 días después de la cosecha. Los frutos permanecieron almacenados a temperatura ambiente (20 °C). El peso se midió en una balanza digital con aproximación de 0.01 g. El porcentaje de pérdida de peso fue calculado con la ecuación 9:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

2.5 Análisis estadístico

Con los datos de cada variable se realizó la comparación de medias de frutos de plantas injertadas y sin injertar, a través de la prueba estadística “t” de student con $\alpha = 0.05$ utilizando el paquete estadístico SAS® V9.

2.6 Establecimiento y manejo del cultivo en invernadero

Las plantas injertadas y sin injertar se colocaron en bolsas de polietileno negro de 50x50 cm llenas con tezontle rojo como sustrato más 15 % de composta. Las plantas fueron manejadas a cuatro tallos, las ramas laterales fueron podadas en el sexto nudo y el ápice terminal fue eliminado cuando alcanzaron 2.5 m de altura. El dosel de la planta se mantuvo en forma de “v” mediante el uso de alambre galvanizado y rafia de polietileno.

El sistema de riego fue localizado con el uso de cintilla y distribuidores de cuatro salidas (3 L/planta/día), con goteros con estaca y microtubín. La separación entre los distribuidores fue de 0.8 m. Para los riegos se utilizó la solución nutritiva de Steiner (1961) al 50 % de concentración y semanalmente se hizo una aplicación de ácidos húmicos Humistar® (1 litro en 300 litros de agua)

aplicados en la base del tallo. Para el control de plagas, enfermedades, poda de ramas, hojas y prácticas culturales, se llevó a cabo como lo proponen Pérez y Castro (2008) para el cultivo de chile manzano en condiciones de invernadero.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de fruto

Del análisis de comparación de medias entre el híbrido injertado y no injertado a través de la prueba “t” de student ($\alpha_{0.05}$), en las variables frutos totales por planta (FT), peso total de frutos por planta (PF) y rendimiento por hectárea (R) no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 5). Es decir, no existió disminución del rendimiento de fruto en plantas injertadas respecto a las no injertadas y se acepta la hipótesis del presente estudio, que los injertos de chile manzano sobre el CM-334 son alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario que enfrentan los productores de este tipo de chile. Al respecto Godoy *et al.* (2009) y Peil y Gálvez (2004) para el cultivo de jitomate, no encontraron diferencias significativas en rendimiento de fruto entre las plantas injertadas y no injertadas.

García-Rodríguez *et al.* (2010) mencionan que el uso del CM-334 como portainjerto de chile ancho disminuyó significativamente el vigor y el rendimiento de frutos comerciales del injerto. Sin embargo, fue altamente eficaz para proteger el chile ancho “Rebelde” del ataque de *P. capsici*. Resultado similar menciona Martínez (2013) al injertar pimiento morrón sobre el CM-334. En contraste, Martínez-Soriano (2014) encontró mayor rendimiento de fruto en plantas de chile manzano variedad Grajales St. injertadas sobre el CM-334 en comparación con plantas sin injertar, lo que adjudicó a que las plantas injertadas fueron más precoces, estos rendimientos lo reporta para las 15

primeras cosechas, sin embargo, Ojeda y Licona (2015) reportan para las mismas plantas, al ser evaluadas un año posterior, que no se encontraron diferencias significativas en rendimiento de fruto.

Cuadro 5. Comparación de medias de variables de rendimiento de fruto entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado, en un periodo de cosecha de 80 días.

Híbridos de chile manzano	Frutos totales por planta	Peso total de frutos por planta (kg)	Rendimiento (t/ha)
Maruca injertado	114.44 ^{NS}	9.0626 ^{NS}	62.93 ^{NS}
Maruca no injertado	125.63	10.044	71.056
Jhos injertado	121.33 ^{NS}	9.3992 ^{NS}	65.268 ^{NS}
Jhos no injertado	129.56	10.231	71.046
Dali injertado	118.11 ^{NS}	8.9612 ^{NS}	62.227 ^{NS}
Dali no injertado	126.67	9.8961	68.719

NS: No significativo.

3.2 Calidad de fruto

3.2.1 Variables evaluadas en la 2^a, 4^a, 6^a, 8^a y 10^a cosechas.

El análisis de comparación de medias entre el híbrido injertado y no injertado a través de la prueba t de student ($\alpha_{0.05}$), no mostró diferencias estadísticas significativas en las variables tamaño, peso, número de lóculos, grosor de pericarpio, número y peso de semillas por fruto (Cuadro 6). Con estos resultados se puede afirmar que la calidad de fruto es igual en híbridos injertados que en no injertados. A excepción del grosor de pericarpio en el híbrido Jhos y peso de semillas en el híbrido Maruca. Al respecto, Martínez-Soriano (2014) no encontró diferencias estadísticas significativas en plantas de chile manzano variedad Grajales St. injertadas sobre el CM-334 y plantas sin

injertar en diámetro y tamaño de fruto. En contraste, Hernández-González, Sahagún-Castellanos, Espinosa-Robles, Colinas-León y Rodríguez-Pérez (2014) mencionan que el pepino injertado en calabaza y chilacayote produjo mayor acumulación de biomasa, vigor en el vástago, rendimiento y tamaño de frutos. Sin embargo, esto no ocurrió en el pepino injertado en estropajo, que mostró un efecto negativo. Velasco-Alvarado *et al.* (2016) mencionan que en injerto de jitomate, del híbrido El Cid sobre Multifort, incrementó el tamaño y peso del fruto en plantas conducidas a un tallo, pero en plantas dirigidas a dos tallos no hubo efecto significativo.

Cuadro 6. Comparación de medias de variables de calidad de fruto entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado con datos de la 2^a, 4^a, 6^a, 8^a y 10^a cosecha.

Híbridos de chile manzano	TPF (ml)	PPF (g)	NL	GP (mm)	NS	PS (g)
MI	91.667 ^{NS}	81.03 ^{NS}	3.578 ^{NS}	5.9 ^{NS}	121.33 ^{NS}	2.356*
M	90.278	79.799	3.557	5.87	109.56	1.856
JI	88.611 ^{NS}	78.007 ^{NS}	3.555 ^{NS}	5.900*	115.56 ^{NS}	2.233 ^{NS}
J	87.222	80.837	3.955	6.555	107.89	1.966
DI	86.944 ^{NS}	77.355 ^{NS}	3.888a ^{NS}	5.880 ^{NS}	119.67 ^{NS}	2.166 ^{NS}
D	83.333	78.684	3.777	6.077	106.78	2.011

MI: Maruca injerto; M: Maruca sin injertar; JI: Jhos injerto; J: Jhos sin injertar; DI: Dali injerto; D: Dali sin injertar; TPF: Tamaño promedio de fruto; PPF: Peso promedio de fruto; NL: Número de lóculos; GP: Grosor del pericarpio; NS: Número de semillas; PS: Peso de semillas; NS: No significativo; ** tratamientos diferentes.

3.2.2 Variables evaluadas en la 5ª cosecha

Existió mayor firmeza en frutos de híbridos injertados que en los no injertados (Cuadro 7), los frutos de los híbridos no injertados perdieron el doble de peso que los injertados, a los 12 días después de la cosecha, a excepción del híbrido Maruca que fue similar. La menor pérdida de peso en frutos de híbridos injertados representa una ventaja en la comercialización de ellos, ya que mantiene por más tiempo su valor comercial. Resultados similares fueron encontrados por Chew *et al.* (2012) en sandía y melón. En contraste, Velasco-Alvarado *et al.* (2016) mencionan menor firmeza en frutos de plantas de jitomate injertadas y conducidas a un tallo, y caso contrario en plantas conducidas a dos tallos.

Para las variables brillo, chroma, ángulo de tono, acidez titulable, vitamina C, sólidos solubles totales y carotenoides no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 7). Es decir, las plantas injertadas son alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de este tipo de chile sin detrimento en la calidad de fruto, ya que la injertación no provoca cambios negativos en las características del fruto. Flores *et al.* (2010) y Miguel *et al.* (2004) mencionan efectos positivos del injerto en jitomate y sandía, incluido el aumento de tamaño de la fruta, la firmeza, sólidos solubles totales, y la acidez titulable. Por el contrario, otros informes mostraron mala textura, reducción del contenido de SST, vitamina C y la firmeza en injertos de berenjena, melón y sandía (Arvanitoyannis *et al.*, 2005; Lee y Oda, 2003; Traka- Mavrona *et al.*, 2000). Velasco-Alvarado *et al.* (2016) encontraron en jitomate que el uso de portainjerto disminuyó, la acidez titulable y el contenido de sólidos solubles totales en plantas injertadas dirigidas a un tallo y se incrementaron cuando se condujeron a dos tallos.

Cuadro 7. Comparación de medias de variables de calidad de fruto entre híbrido injertado de chile manzano sobre el CM-334 y no injertado, evaluadas en la quinta cosecha.

Híbrido de chile manzano	Firmeza (N)	Pérdida de peso (%)	Brillo	Chroma	Ángulo de tono	Acidez titulable (%)	Vitamina C	SST (°brix)	Carotenoides
MI	45.83*	12.983 ^{NS}	51.883 ^{NS}	39.577 ^{NS}	48.611 ^{NS}	3.48 ^{NS}	625.50 ^{NS}	5.344 ^{NS}	651.5 ^{NS}
M	34.778	11.462	46.936	40.096	44.90	2.57	768.69	5.599	659.5
JI	46.63*	11.480 [~]	52.755 ^{NS}	51.161 ^{NS}	42.766 ^{NS}	2.229 ^{NS}	768.69 ^{NS}	6.0663 ^{NS}	655.4
J	37.611	20.665	53.792	49.525	44.592	2.213	740.05	6.377	684.5 ^{NS}
DI	50.856*	12.921*	47.045 ^{NS}	50.397 ^{NS}	45.113 ^{NS}	3.37 ^{NS}	595.15 ^{NS}	5.800 ^{NS}	612.8 ^{NS}
D	34.77	24.951	50.694	53.935	44.872	2.72	638.33	6.281	641.2

MI: Maruca injerto; M: Maruca sin injertar; JI: Jhos injerto; J: Jhos sin injertar; DI: Dali injerto; D: Dali sin injertar; SST: Sólidos solubles totales; Vitamina C y Carotenoides en µg·100 gramos de fruto.

4. CONCLUSION

El injerto de híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano sobre el CM-334 son alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de chile manzano porque no disminuye ni el rendimiento ni calidad de fruto en comparación con los híbridos sin injertar.

5. LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official Methods of Analysis Published by the Association of Official Analytical Chemistry. Washington, D.C. Ed. 15th. 1141 p.

Arvanitoyannis, I. S., Khah, E.M., Christakou, E. C. and Bletos, F.A. (2005). Effect of grafting and modified atmosphere packaging on eggplant quality parameters during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 40, 311-322.

Bonnet, J., Danan, S., Boudet, C., Barchi, L., Sage-Palloix, A. M., Caromel, B., Palloix, A., and Lefebvre, V. (2007). Are the polygenic architectures of resistance to *Phytophthora capsici* and *P. parasitica* independent in pepper. *Theoretical and Applied Genetics*, 115, 253-264.

Chew, M. Y. L., Gayan, M.A., Espinoza, A. J., Reta, S. D. G., Reyes, J. I., Chew M. R. G. y Ramirez F. R. (2012). Planta de tomate injertada bajo condiciones de invernadero: Rendimiento y calidad del fruto. *Producción Agrícola-Agrofaz*, 12(3), 33-38.

Davis, A. R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., Levi, A., King, S. R. and Zhang, X. (2008). Grafting effects on vegetable quality. *HortScience*, 43(6), 1670-1672.

Dorais, M., Papadopoulos, A. P. and Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Review, New York*, 26, 239-306.

Egea-Gilabert, C., Bilotti, G., Requena, M. E., Ezziyyani, M., Vivo-Molina, J. M. and Candela, M. E. (2008). Pepper morphological traits related with resistance to *Phytophthora capsici*. *Biologia Plantarum*, 52, 105-109.

Espinosa-Torres, L. E. y Villa-Galindo, A. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Revista Extensión al Campo*, 7(8), 8-12.

Fernández-Pavía, S. P. and Liddel, C. M. (1997). Lack of evidence for translocation of resistance factors between roots and foliage of *Capsicum annuum* infected by *Phytophthora capsici*. *Capsicum and Eggplant Newsletter*, 17, 66-68.

Flores, B. F., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, J. F., Garcia-Abellan, J. O., Egea, M. I., Fernandez-Garcia, N., Romojaro, F. and Bolarin, M. C. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 126, 211-217.

García-Rodríguez, M. R., Chiquito-Almanza, E., Loeza-Lara, P. D., Godoy-Hernández, H., Villordo Pineda, E., Pons-Hernández, J. L., M. González-Chavira y M. y Anaya-López, J. L. (2010). Producción de chile ancho injertado sobre criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*, 44, 701-709.

Godoy, H. H., Castellanos, R. J. Z., Alcántara, G. G., Sandoval, V. M. y Muños, R. J. J. (2009). Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra latinoamericana*, 27(1), 1-11.

González, P. E., Yáñez, M. M., Santiago, S. V. y Montero, P. A. (2004). Biodiversidad fungosa en la marchitez del chile y algunos factores involucrados en Tlacotepec de José Manzo, El verde, Puebla. *Agrociencia*, 38, 653-661.

Hernández-González, Z., Sahagún-Castellanos, J., Espinosa-Robles, P., Colinas-León M. T. y Rodríguez-Pérez J. E. (2014). Efecto del portainjerto en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(1), 41-47.

Khah, E. M., Kakava, E., Mavromatis, A., Chachalis, D. and Goulas, C, (2006). Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *Journal of Applied Horticulture*, 8(1), 3-7.

Kim, S. and Kim, Y. (2009). Histological and cytological changes associated with susceptible and resistant responses of chili pepper root and stem to *Phytophthora capsici* infection. *Plant Pathology Journal*, 25, 113-120.

Lamour K. H., Stam, R., Jupe, J. and Huitema, E. (2012) The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13, 329-337.

Lee, J. M., Oda, M. (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Revue Horticole*, 28, 61-124.

Lichtenhaler, K.H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.

Martínez-Soriano. E. (2014). *Compatibilidad y desempeño agronómico del chile manzano (capsicum pubescens R. y P.) injertado sobre cm-334 (capsicum annuum L.)* Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 101 p.

Martínez, V. A. (2013). *CM-334 como portainjerto de pimiento morrón: compatibilidad, resistencia a Phytophthora capsici L y desempeño agronómico.* (Tesis de Maestría). Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 80 p.

Miguel, A., Maroto, J.V., San Bautista, A., Baixauli, C., Cebolla, V., Pascual, B., López, S. and Guardiola, J.L. (2004). The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of *Fusarium* wilt. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 9-17.

Minamiyama, Y., Tsuru, M., Kubo, T. and Hirai, M. (2007). QTL analysis for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper using a high density SSR-based map. *Breeding Science*, 57, 129-134.

Minolta. (1994). Caracterización Precisa del Color (Control del color desde la percepción sensorial a la instrumentación). E.537205. Alemania. pp.1-21.

Oda, M. (2002). Grafting of vegetable crops. *Agricultural and Biological Sciences*, 54, 49-72.

Oelke, M. L., Bosland, P. W. and Steiner, P. (2003). Differentiation of races specific resistance to *Phytophthora* root rot and roliar blight in *Capsicum annum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(2), 213-218.

Ojeda L. H. y Licona, Y. A. (2015). *Rendimiento y calidad de chile manzano injertado sobre CM-334 y efecto de reguladores de crecimiento*. (Tesis de licenciatura). Departamento de Fitotecnia Universidad Autónoma. Chapingo. Texcoco, México. 71 p.

Peil, R. M. N., y Gálvez, J. L. (2004). Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira*, 22(2), 265-270.

Pérez, G. M. y Castro, R. B. (2008). *El chile Manzano*. Texcoco, México: Departamento de Publicaciones de la Universidad Autónoma Chapingo. 128 p.

Pogonyi, A., Pék, Z., Helyes, L. and Lugasi, A. (2005). Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. *Acta Alimentaria*, 34(4), 453-462.

Sistema de Información Agropecuaria. (2014). Anuario estadístico: Cultivos cíclicos y perennes. Recuperado en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>.

Steiner, A. 1961. An universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. *Plant and Soil*, 15, 134-154.

Traka-Mavrona, E., Koutsika-Sotiriou, M. y Pritsa, T., (2000). Respuesta de calabaza (*Cucurbita spp.*) como portainjerto para melón (*Cucumis melo* L.). *Scientia Horticulturae*, 83, 353-362.

Turham, A., Ozmen, N., Serbeci, M. S. and Seniz, V. (2011) Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Horticultural Science*, 38(84), 142-149.

Vásquez, L.A., Tlapal, B. B., Yáñez, M. M., Pérez, P. R. y Quintos, E. M. (2009). Etiología de la marchitez del “chile de agua” (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32,127-134.

Velasco-Alvarado, M. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J. y Lobato-Ortiz, R. (2016). Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado. *Interciencia*, 41(10), 703-708.

Yaguishita, N. and Hirata, Y. (1987) Graft-induced change in fruit shape in *Capsicum annuum* L. genetic analysis by crossing. *Euphytica*, 36, 809-814.

DISCUSIÓN GENERAL

El porcentaje de prendimiento del injerto-portainjerto en los híbridos Maruca, Jhos y Dali fue de 92, 96 % y 98 %, respectivamente. Estos porcentajes de prendimiento son similares a los mencionados por Martínez-Soriano (2014) en injertos de chile manzano variedad Grajales St. sobre CM-334 con 91 %.

El total de días transcurridos desde la siembra hasta plántula lista para ser injertada, más el proceso de injertación en la cámara de crecimiento y una semana de aclimatación en condiciones de invernadero antes del trasplante a macetas, sumó un total de 77 días. Al respecto Martínez-Soriano (2014) menciona 89 días, al injertar la variedad Grajales St. de chile manzano sobre el CM-334. Es decir, se tuvo una ganancia de quince días, lo que representa una ventaja económica.

El injerto de híbridos de chile manzano sobre el CM-334 pasó por las etapas mencionadas por Moore (1984) en el desarrollo de un injerto compatible, que

fueron: cohesión del injerto y portainjerto; proliferación de células de callo en la interfase del injerto y rediferenciación vascular a través de la interfase. La cohesión del injerto-portainjerto en los híbridos evaluados en esta investigación fue visible a los cinco días y se observó el inicio de un nuevo tejido vascular. A los diez días, la línea de unión injerto-portainjerto se absorbió en un 50 % y se sustituyó por células de parénquima, a excepción del centro donde se observó un espacio de aire. No obstante, también hubo una conexión avanzada del tejido vascular en los híbridos Maruca y Jhos, y en menor grado para Dali, lo que se atribuye a que la superficie de contacto entre los tallos fue mínima y como lo mencionan Hartmann y Kester (1984) los espacios vacíos entre el portainjerto y el injerto se van rellorando con células de parénquima para la formación de callo. También, la presencia de espacios de aire ha sido reportada en plántulas de jitomate injertadas, donde las células parenquimatosas de la médula central se mueren formando una cavidad cubierta por una capa necrótica visible aún a los 15 días después de realizar el injerto (Fernández-García *et al.*, 2004).

De los 15 hasta los 20 días, existió rediferenciación vascular a través de la interfase y la línea de unión se absorbió en un 70 y 90 %, respectivamente.

Es importante que al momento de realizar los injertos el diámetro de los tallos estén homogenizados, lo que permite a las partes cambiales del portainjerto e injerto coincidan estrechamente y el proceso de prendimiento sea rápido. De lo contrario, el portainjerto e injerto necesitan formar mayor cantidad de tejido de callo, y la disposición del tejido vascular se realiza en forma curvada, tratando de encontrarse entre sí, tal y como se observó en los cortes anatómicos de los híbridos Jhos y Dali; ya que, a los doce meses después de trasplante, presentaron diámetros de tallo, en el sitio de unión, significativamente mayor respecto al híbrido usado como injerto. Al respecto, Hartmann *et al.*, 2011 mencionan que si el injerto y portainjerto tienen diámetros similares en la zona

de unión, la proximidad entre haces vasculares es máxima y por lo tanto se facilita la unión.

En la comparación de rendimiento entre plantas injertadas y no injertadas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas de frutos totales, peso total de frutos y rendimiento por hectárea. Al respecto, Godoy *et al.* (2009) y Peil y Gálvez (2004) para el cultivo de jitomate, no encontraron diferencias significativas en rendimiento de fruto entre plantas injertadas y no injertadas. Martínez-Soriano (2014) encontró mayor rendimiento en las primeras 15 cosechas de fruto en plantas de chile manzano variedad Grajales St. injertadas sobre el CM-334 que en las plantas sin injertar, lo que adjudicó a que las plantas injertadas fueron más precoces, sin embargo, Ojeda y Licon (2015) evaluaron las mismas plantas, un año después, y no encontraron diferencias significativas en rendimiento de fruto. En contraste, García-Rodríguez *et al.* (2010) mencionan que el uso del CM-334 como portainjerto de chile ancho disminuyó significativamente el vigor y el rendimiento de frutos comerciales. Sin embargo, fue altamente eficaz para proteger al injerto del ataque de *P. capsici*. Resultado similar encontrado por Martínez (2013) al injertar pimiento morrón sobre el CM-334.

Las variables de calidad de fruto como el tamaño, peso, número de lóculos, grosor de pericarpio, número y peso de semillas, que se midieron en cosechas de forma alternada (una sí y otra no) de diez que se realizaron, y en las que se midieron solo en la quinta cosecha como el brillo, chroma, ángulo de tono, acidez titulable, vitamina C, sólidos solubles totales y carotenoides, no se encontraron diferencias significativas, por lo que las plantas injertadas son alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario de los productores de este tipo de chile sin detrimento en la calidad de fruto.

Las variables de calidad de fruto con excepciones fueron el grosor de pericarpio en el híbrido Jhos; peso de semillas en el híbrido Maruca; firmeza de fruto mayor en híbridos injertados que en no injertados; y pérdida de peso mayor en los híbridos Jhos y Dali sin injertar. Suarez-Hernández *et al.* (2017) encontraron reducción de firmeza en sandía, por efecto del injerto. En este sentido, se ha documentado que los injertos inducen mayores tasas de absorción de agua (Rouphael y Cardarelli, 2008), lo que podría relacionarse con la firmeza registrada.

CONCLUSIÓN GENERAL

Los resultados de esta investigación comprobaron la compatibilidad de los híbridos Maruca, Jhos y Dali de chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) injertados en el portainjerto CM-334 (*Capsicum annuum* L.), resistente a *P. capsici*. Las plántulas injertadas en cámara de crecimiento tuvieron un porcentaje de prendimiento superior al 92 %. A los 15 días, las plantas injertadas fueron capaces de sobrevivir fuera de la cámara, ya que existió completa rediferenciación de los haces vasculares.

Los híbridos injertados presentaron rendimiento y calidad de fruto similares a los no injertados, por lo que el uso de planta injertada de chile manzano sobre el CM-334 es alternativa viable y sustentable para el control de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario que enfrentan los productores de este tipo de chile.

LITERATURA CITADA GENERAL

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official Methods of Analysis Published by the Association of Official Analytical Chemistry. Washington, D.C. Ed. 15th. 1141 p.

Arvanitoyannis, I. S., Khah, E.M., Christakou, E. C. and Bletos, F.A. (2005). Effect of grafting and modified atmosphere packaging on eggplant quality

parameters during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 40, 311-322.

Blancard, D. (2000). Enfermedades de las Cucurbitáceas. Observar, Identificar, Luchar. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Reimpresión. 301 p.

Bonnet, J., Danan, S., Boudet, C., Barchi, L., Sage-Palloix, A. M., Caromel, B., Palloix, A., and Lefebvre, V. (2007). Are the polygenic architectures of resistance to *Phytophthora capsici* and *P. parasitica* independent in pepper. *Theoretical and Applied Genetics*, 115, 253-264.

Chew, M. Y. L., Gayan, M.A., Espinoza, A. J., Reta, S. D. G., Reyes, J. I., Chew M. R. G. y Ramirez F. R. (2012). Planta de tomate injertada bajo condiciones de invernadero: Rendimiento y calidad del fruto. *Producción Agrícola-Agrofaz*, 12(3), 33-38.

Cíntora, P. E. (2016). *Resistencia de híbridos y progenitores de chile manzano a enfermedades causadas por virus y hongos*. (Tesis de Maestría). Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 83 p.

Davis, A. R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., Levi, A., King, S. R. and Zhang, X. (2008). Grafting effects on vegetable quality. *HortScience*, 43(6), 1670-1672.

Dorais, M., Papadopoulos, A. P. and Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Review, New York*, 26, 239-306.

Egea-Gilabert, C., Bilotti, G., Requena, M. E., Ezziyyani, M., Vivo-Molina, J. M. and Candela, M. E. (2008). Pepper morphological traits related with resistance to *Phytophthora capsici*. *Biologia Plantarum*, 52, 105-109.

Espinosa-Torres, L. E. y Villa-Galindo, A. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Revista Extensión al Campo*, 7(8), 8-12.

Fernández-García, N., Carvajal, M. and Olmos, E. (2004). Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. *Annals of Botany*, 93(1), 53-60.

Fernández-Pavía, S. P. and Liddel, C. M. (1997). Lack of evidence for translocation of resistance factors between roots and foliage of *Capsicum annuum* infected by *Phytophthora capsici*. *Capsicum and Eggplant Newsletter*, 17, 66-68.

Flores, B. F., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, J. F., Garcia-Abellan, J. O., Egea, M. I.,

Fernandez-Garcia, N., Romojaro, F. and Bolarin, M. C. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 126, 211-217.

García-Rodríguez, M. R., Chiquito-Almanza, E., Loeza-Lara, P. D., Godoy-Hernández, H., Villordo Pineda, E., Pons-Hernández, J. L., M. González-Chavira y M. y Anaya-López, J. L. (2010). Producción de chile ancho injertado sobre criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*, 44, 701-709.

Glosier, B. R., Ogundiwin, E. A., Sidhu, G. S., Sischo, D. R. and Prince, J. P. (2008). A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 162, 23-30.

Godoy, H. H., Castellanos, R. J. Z., Alcántara, G. G., Sandoval, V. M. y Muños, R. J. J. (2009). Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra latinoamericana*, 27(1), 1-11.

González, P. E., Yáñez, M. M., Santiago, S. V. y Montero, P. A. (2004). Biodiversidad fungosa en la marchitez del chile y algunos factores involucrados en Tlacotepec de José Manzo, El verde, Puebla. *Agrociencia*, 38, 653-661.

Hartmann, H. and Kester, D. E. (1984). *Propagación de Plantas*. Traducido por Marino A. A, Ph. D. Segunda edición. Editorial Continental, S. A. Ciudad de México, México. (pp.71-77).

Hartmann, H., Kester, D. E and Davis, F. (1997). *Plant Propagation, Principles and Practices*. New Jersey, Prentice-Hall. 647 p.

Hartmann, H., Kester, D. E., Davies, F. T. Jr. and Geneve, R. L. (2011). *Propagation: Principles and Practice*. 8va edic. Prentice-Hall. United States of America. 915 p.

Hernández-González, Z., Sahagún-Castellanos, J., Espinosa-Robles, P., Colinas-León M. T. y Rodríguez-Pérez J. E. (2014). Efecto del portainjerto en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(1), 41-47.

Jeffree, C. E. and Yeoman, M. M. (1983). Development of intercellular connections between apposing cells in a graft union. *New Phytologist*, 93, 491-509.

Johkan, M., Oda, M. and Mori, G. (2008). Ascorbic acid promotes graft-take in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 116(4), 343-347.

Khah, E. M., Kakava, E., Mavromatis, A., Chachalis, D. and Goulas, C. (2006). Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *Journal of Applied Horticulture*, 8(1), 3-7.

Kim, S. and Kim, Y. (2009). Histological and cytological changes associated with susceptible and resistant responses of chili pepper root and stem to *Phytophthora capsici* infection. *Plant Pathology Journal*, 25, 113-120.

King, S. R., Davis, A. D., Liu, W. and Levi, A. (2010). Grafting for disease resistance. *HortScience*, 43(6), 1673-1676.

Kobori, R. F., Della-Vecchia, P. T., Kurozawa, C. and Soler, J. M. P. (2000). Evaluation of the resistance of *Capsicum annuum* Lines when inoculated with three inoculum concentrations of *Phytophthora capsici*. *Summa Phytopathologica*, 26, 77-81.

Kubota C., McClure M. N., Kokalis-Burelle, M. G. and Roskopf, E. N. (2008). Vegetable grafting: history, use and current technology status in North America. *HortScience*, 43(6), 1664-1669.

Lamour K. H., Stam, R., Jupe, J. and Huitema, E. (2012). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13, 329-337.

Lee, J.M. and Oda, M. (2003). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28, 61-124.

Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Hoyos-Echeverria, P., Morra, L. and Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105.

Lichtenhaler, K.H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.

Louws, F. J., Rivard, C. L. and Kubota, R. C. (2010). Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 127-146.

Maroto, J.V., (2002). Horticultura Herbácea Especial. Mundi-Prensa, 5th ed. Madrid, pp. 553–564.

Martínez-Soriano, E. (2014). *Compatibilidad y desempeño agronómico del chile manzano (Capsicum pubescens R y P) injertado sobre el CM-334 (Capsicum annuum L.)* Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 101 p.

Martínez, V. A. (2013). *CM-334 como portainjerto de pimiento morrón: compatibilidad, resistencia a Phytophthora capsici L y desempeño agronómico*. (Tesis de Maestría). Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 80 p.

Miguel, A., Maroto, J.V., San Bautista, A., Baixauli, C., Cebolla, V., Pascual, B., López, S. and Guardiola, J.L. (2004). The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of *Fusarium wilt*. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 9-17.

Minamiyama, Y., Tsuru, M., Kubo, T. and Hirai, M. (2007). QTL analysis for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper using a high density SSR-based map. *Breeding Science*, 57, 129-134.

Minolta. (1994). *Caracterización Precisa del Color (Control del color desde la percepción sensorial a la instrumentación)*. E.537205. Alemania. pp.1-21.

Moore, R. (1984). A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. *American Journal of Botany*, 71(5), 752-758.

Oda, M. (2002). Grafting of vegetable crops. *Agricultural and Biological Sciences*, 54, 49-72.

Oda, M. and Nakajima, T. (1995). Adesive grafting of chinese cabbage on turnip. *HortScience*, 27(10), 1139.

Oelke, M. L., Bosland, P. W. and Steiner, P. (2003). Differentiation of races specific resistance to *Phytophthora* root rot and roliar blight in *Capsicum annum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(2), 213-218.

Ojeda L. H. y Licon, Y. A. (2015). *Rendimiento y calidad de chile manzano injertado sobre CM-334 y efecto de reguladores de crecimiento*. (Tesis de licenciatura). Departamento de Fitotecnia Universidad Autónoma. Chapingo. Texcoco, México. 71 p.

Parkinson, M. C., Jeffree, M. and Yeoman, M. (1987). Incompatibility in cultured explant- grafts between members of the solanaceae. *New Phytologist*, 107, 489-498.

Parra, G. and Ristaino, J. (2001). Resistance to Mefenoxam and Metalaxyl among field isolates of *Phytophthora capsici* causing *Phytophthora Blight* of bell pepper. *Plant Disease*, 85(10), 1069-1075.

Peil, R. M. N., y Gálvez, J. L. (2004). Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira*, 22(2), 265-270.

Pérez, G. M. y Castro, R. B. (2008). *El chile Manzano*. Texcoco, México: Departamento de Publicaciones de la Universidad Autónoma Chapingo. 128 p.

Pogonyi, A., Pék, Z., Helyes, L. and Lugasi, A. (2005). Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. *Acta Alimentaria*, 34(4), 453-462.

Redondo, J. E. (1979). Búsqueda de fenotipos de chile resistentes al hongo *Phytophthora capsici* Leonian. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 23, 220-224.

Ristaino, J. B. (1991). Influence of rainfall, drip irrigation, and inoculum density on the development of *Phytophthora root* and crown rot epidemics and yield in bell pepper. *Phytopathology*, 81, 922-929.

Rouphael, Y. M. and Cardarelli, G. C. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience*, 43(3), 730-736.

Sakata, Y., Ohara, T. and Sugiyama, M. (2007). The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetable in Japan. *Acta Horticulturae*, 731, 159-170.

Santos, H. S. and Goto, R. (2004). Enxertia em plantas de pimentao no controle da murcha de fitoftora em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 22(1), 45-49.

Sass, J. E. (1968). Botanical Microtechnique. 3rd Edition. *The Iowa State University Press*. Ames, Iowa, USA. 227 p.

Sistema de Información Agropecuaria. (2014). Anuario estadístico: Cultivos cíclicos y perennes. Recuperado en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>.

Steiner, A. 1961. An universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. *Plant and Soil*, 15, 134-154.

Stevenson, W. R. (2001). Podredumbre del fruto y podredumbre de las raíces. En: Compendio de Plagas y Enfermedades del Tomate. 11 p.

Suárez-Hernández, Á. M., Grimaldo-Juárez, O., García-López, A. M., González-Mendoza, D. y Huitrón-Ramírez, M.V. (2017). Evaluación de portainjertos criollos de *Lagenaria siceraria* en la producción de sandía injertada. *IDESIA (Chile)*, 35, 1, 39-44.

Topuz, A. and F. Ozdemir. (2004). Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoides of sundried and dehydrated paprika. *Food Chem*, 86, 509-515.

Traka-Mavrona, E., Koutsika-Sotiriou, M. y Pritsa, T., (2000). Respuesta de calabaza (*Cucurbita spp.*) como portainjerto para melón (*Cucumis melo L.*). *Scientia Horticulturae*, 83, 353-362.

Turham, A., Ozmen, N., Serbeci, M. S. and Seniz, V. (2011) Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Horticultural Science*, 38(84), 142-149.

Vásquez, L.A., Tlapal, B. B., Yáñez, M. M., Pérez, P. R. y Quintos, E. M. (2009). Etiología de la marchitez del “chile de agua” (*Capsicum annuum L.*) en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32,127-134.

Velasco-Alvarado, M. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J. y Lobato-Ortiz, R. (2016). Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum L.*) injertado. *Interciencia*, 41(10), 703-708.

Velasco-Alvarado, M. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J. y Lobato-Ortiz, R. (2017). Proceso de unión del injerto de empalmen jitomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1051-1058.

Velásquez-Valle, R., Medina-Aguilar, M. M. y Luna-Ruiz, J. J. (2001). Sintomatología y Géneros de Patógenos Asociados con las Pudriciones de la Raíz del Chile (*Capsicum annuum L.*) en el Norte-Centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19, 2,175-181.

Yaguishita, N. and Hirata, Y. (1987) Graft-induced change in fruit shape in *Capsicum annuum L.* genetic analysis by crossing. *Euphytica*, 36, 809-814.

Zhao, X., Guo, Y., Huber, D. J. and Lee, J. (2011). Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-methylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Scientia Horticulturae*, 130, 581-587.