



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE  
CHILE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) Y CHILE MANZANO  
(*Capsicum pubescens* R. & P.) INJERTADAS SOBRE CM-334  
(*Capsicum annuum* L.)**

**BENJAMÍN GONZÁLEZ VARGAS**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

La presente tesis, titulada: **Caracterización agronómica y fisiológica de plantas de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) y chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.) injertadas sobre CM-334 (*Capsicum annuum* L.)** realizada por el alumno: **Benjamín González Vargas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
FISIOLOGÍA VEGETAL  
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: \_\_\_\_\_

  
DR. GREGORIO ARELLANO OSTOA

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DR. NICACIO CRUZ HUERTA

**Montecillo, Texcoco, México, 15 de Marzo**

**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE CHILE  
PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) Y CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R. &  
P.) INJERTADAS SOBRE CM-334 (*Capsicum annuum* L.)**

**Benjamín González Vargas, M.C. y Dr. Gregorio Arellano Ostoa  
Colegio de Postgraduados, 2016**

**RESUMEN**

En el presente estudio se utilizó una línea homogénea del chile criollo de Morelos CM-334 como portainjerto, para evaluar el efecto de este, sobre el rendimiento y la calidad de dos especies de chile pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) y chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Los injertos fueron de tipo empalme y se realizaron cuando los diámetros de los tallos de las especies a injertar tuvieron aproximadamente 2 mm y entre 4 y 6 hojas verdaderas. Se condujeron dos experimentos independientes en los cuales se evaluaron tres tratamientos para cada especie. Los tratamientos de chile pimiento fueron: i) Pimiento/CM-334, ii) Pimiento/Pimiento y iii) Pimiento sin injertar; y para chile manzano fueron: i) Manzano/CM-334, ii) Manzano/Manzano y iii) Manzano sin injertar, cada tratamiento con una densidad de población de 4.7 plantas m<sup>-2</sup>, y las variables estudiadas fueron: crecimiento, fotosíntesis neta, rendimiento y la calidad del fruto, obtenidos de ambas especies de chile durante ocho y siete semanas de corte respectivamente. En las tres combinaciones evaluadas para pimiento no se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las variables rendimiento, calidad y fotosíntesis neta. Sin embargo, en chile manzano, el rendimiento por planta resultó diferente ( $p \leq 0.05$ ) entre las combinaciones de Manzano/CM-334 y manzano sin injertar. Así mismo se encontró que la fotosíntesis neta en plantas de chile manzano injertadas en el CM-334 fue 18.5 % mayor que en las plantas sin injertar. El uso del portainjerto CM-334 presentó compatibilidad con las dos especies de evaluadas y no influyó ni en el rendimiento ni en la calidad de los frutos obtenidos bajo condiciones de invernadero, por lo que representa una alternativa para usarse en lugares donde hay problemas con *Phytophthora capsici* L. para mejorar la producción de forma sustentable.

**Palabras clave:** Portainjerto, injerto, rendimiento, calidad del fruto y fotosíntesis neta.

**AGRONOMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF BELL PEPPER (*Capsicum annuum* L.) PLANTS AND MANZANO HOT PEPPER (*Capsicum pubescens* R. & P.) GRAFTED ON CM-334 (*Capsicum annuum* L.)**

**Benjamin Gonzalez Vargas, M. C. and PhD. Gregorio Arellano Ostoa**

**Colegio de Postgraduados**

**SUMMARY**

In the present study a homogenous line of creole pepper from Morelos (CM-334), the CM-334 was used as stock, in order to evaluate the effect of this upon the yield and fruit quality of both species, red bell pepper (*Capsicum annuum* L.) and manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R. & P.). A splice graft was used and they were made when the stem diameters of both species to be used as scion were about 2 mm and with 4 and 6 true leaves. Two experiments were carried out independently where three treatments for each species were evaluated. The bell pepper treatments were: i) Pepper/CM-334, ii) Pepper/Pepper and iii) Ungrafted Pepper; and for Manzano hot Pepper were: i) Manzano/CM-334, ii) Manzano/Manzano and iii) Ungrafted Manzano, each treatment with a population density of 4.7 plants per m<sup>2</sup> and the variables under study were: growth, net photosynthesis, yield and fruit quality, which were obtained of both pepper species during eight and seven weeks of harvest respectively. In the three combinations evaluated for bell pepper significant differences ( $p \leq 0.05$ ) on yield, quality and net photosynthesis were not found. However, the yield per plant in Manzano hot pepper it was different ( $p \leq 0.05$ ) between Manzano/CM-334 and Ungrafted Manzano. Likewise, it was found that the net photosynthesis on Manzano hot pepper plants grafted with CM-334 it was 18.5 % higher than the ungrafted plants. The use of the CM-334 stock was compatible with the two evaluated pepper species, and it didn't affect the yield neither the fruit quality grown under greenhouse conditions, so, it represents an alternative to be used in places where there are problems with *Phytophthora capsici* L. in order to increase the yield of pepper in a sustainable way.

**Key words:** stock, grafting, yield, fruit quality and net photosynthesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Dr. Gregorio Arellano Ostoa, por todas sus valiosas observaciones y contribuciones, tanto en el presente trabajo, como en la elaboración del artículo y la fase experimental.

Al Dr. Nicacio Cruz Huerta por sus valiosas observaciones y aportaciones para mejorar el trabajo, y de igual manera por su atención en la conducción del experimento y análisis de datos.

Al Dr. Eduardo García Villanueva por las sugerencias, por su amistad, consejos y el tiempo dedicado al trabajo de investigación.

Al Dr. Guillermo Calderón Zavala por su colaboración en la realización del presente trabajo al facilitarme el invernadero donde se realizó la fase de campo.

Al Dr. Víctor Arturo González Hernández por facilitarme material del laboratorio de Fisiotécnica Vegetal, y poder realizar las mediciones pertinentes del presente trabajo.

Al Dr. Jorge M. Valdez Carrasco por facilitarme el material del laboratorio de Morfología de Insectos, y poder tomar las fotografías de la presente investigación.

A la Dra. Reyna I. Rojas Martínez, por apoyarme en la obtención del inóculo, y poder continuar con mi investigación.

A todos y cada uno de los compañeros de maestría, que colaboraron en la realización de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a mis padres: Teresa y Benjamín;

A mis hermanos que me brindaron sus consejos;

A mis viejos amigos que siempre me apoyaron;

Y a los nuevos que hice durante esta fase de mi vida.

A Mariel del Rosario Sánchez Vidaña;

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE CHILE PIMIENTO (<i>Capsicum annuum</i> L.) Y CHILE MANZANO (<i>Capsicum pubescens</i> R. &amp; P.) INJERTADAS SOBRE CM-334 (<i>Capsicum annuum</i> L.)</b> .....	<b>11</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>11</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
1.2. HIPOTESIS GENERAL .....	13
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1. Chile pimiento y chile manzano .....	13
2.2. <i>Phytophthora capsici</i> Leonian.....	20
2.3. Resistencia del cultivo de chile .....	21
2.4. Uso del injerto como método de resistencia. ....	21
2.5. Microinjerto .....	24
2.6. Micropropagación .....	25
2.7. Injertos en chile ( <i>Capsicum</i> spp.).....	25
2.7.1. Aplicaciones y uso a nivel comercial .....	27
2.7.2. Portainjertos y plántulas para injertado.....	29
2.7.3. Métodos de injerto .....	30
2.7.3.1. Cámaras de injertado .....	30
2.8 Crecimiento secundario. ....	33
<b>III. CAPÍTULO 1. EFECTO DEL PORTAINJERTO CM-334 SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, CALIDAD DEL FRUTO Y FOTOSÍNTESIS NETA DE CHILE PIMIENTO</b> .....	<b>37</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>37</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>38</b>
3.1. Introducción .....	39
3.2. Objetivos particulares .....	40
3.3. Materiales y Métodos.....	41
3.3.1. Material vegetal y sitio experimental.....	41
3.3.2. Manejo de plántula en almácigo .....	41

3.3.3. Método de injerto .....	42
3.3.4. Fase de aclimatación del injerto en cámara e invernadero.....	42
3.3.5. Manejo agronómico .....	42
3.3.6. Microtecnia Vegetal .....	43
3.3.7. Variables de estudio .....	46
3.4. Diseño experimental .....	48
3.5. Análisis estadístico .....	48
4. Resultados y discusión .....	49
4.1 Porcentaje de prendimiento .....	49
4.2. Altura de las plantas .....	50
4.3. Crecimiento en diámetro del tallo de los portainjertos y variedad sin injertar. .	54
4.4. Crecimiento en diámetro del tallo en la zona de unión de los injertos. ....	57
4.5. Crecimiento en diámetro del tallo de la variedad injertada .....	59
4.6. Cortes anatómicos.....	61
4.7. Parámetros fotosintéticos .....	67
4.8. Rendimiento total de frutos de pimiento .....	71
4.9. Clasificación de los frutos de pimiento.....	72
4.10. Peso, largo y ancho de frutos de chile pimiento .....	74
4.11. Índices de Calidad .....	75
4.12. Color de fruto .....	77
4.13. Correlación de las características de calidad.....	78
5. Conclusiones .....	80
6. Anexos.....	81
7. Literatura citada .....	82
<b>CAPÍTULO 2. EFECTO DEL PORTAINJERTO CM-334 SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, CALIDAD DEL FRUTO Y FOTOSINTESIS NETA DE PLANTAS INJERTADAS DE CHILE MANZANO .....</b>	<b>88</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>88</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>89</b>
4.1. Introducción .....	90
4.2. Objetivos particulares .....	91



4.3. Materiales y Métodos.....	91
4.3.1. Material vegetal y sitio experimental.....	91
4.3.2. Manejo de plántula en almacigo .....	92
4.3.3. Método de injerto .....	93
4.3.4. Fase de aclimatación del injerto en cámara e invernadero.....	93
4.3.5. Manejo agronómico .....	94
4.3.6. Microtecnia Vegetal .....	95
4.3.7. Variables de estudio .....	98
4.4. Diseño experimental.....	98
4.5. Análisis estadístico .....	99
5. Resultados y discusión .....	100
5.1. Porcentaje de prendimiento.....	100
5.2. Altura de las plantas .....	102
5.3. Crecimiento en diámetro del tallo de los portainjertos y variedad.....	106
5.4. Crecimiento en diámetro del tallo en la zona de unión de los injertos .....	109
5.5. Crecimiento en diámetro del tallo de la variedad injertada .....	111
5.6. Análisis anatómico.....	114
5.7. Parámetros Fotosintéticos .....	119
5.8 Rendimiento total de chile Manzano.....	124
5.9. Clasificación de frutos de chile manzano.....	125
5.10. Peso, largo y ancho de frutos de chile manzano .....	127
5.11. Índices de calidad .....	129
5.12. Color del fruto .....	130
5.13. Correlación de las características de calidad.....	131
6. Conclusiones .....	133
7. Anexos.....	134
<b>8. Literatura citada .....</b>	<b>136</b>
<b>V. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>141</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>144</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias morfológicas para diferentes especies de Capsicum sp. ....	16
Cuadro 2. Fechas de siembra del chile pimiento y del CM-334 para sincronizar el injerto. .....	41
Cuadro 3. Porcentajes de prendimiento para plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas. ....	50
Cuadro 4. Altura de la planta y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero. ....	53
Cuadro 5. Diámetro del tallo de los portainjertos y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero. .....	56
Cuadro 6. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 3, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero. .....	58
Cuadro 7. Diámetro del tallo y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero. ....	60
Cuadro 8. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimiento injertadas sobre CM- 334, autoinjertadas y sin injertar a los 90 ddt. ....	67
Cuadro 9. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimiento injertadas sobre CM- 334, autoinjertadas y sin injertar a los 106 ddt. ....	68
Cuadro 10. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimiento injertadas sobre CM- 334, autoinjertadas y sin injertar a los 110 ddt. ....	69
Cuadro 11. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimiento injertadas sobre CM- 334, autoinjertadas y sin injertar a los 136 ddt. ....	70
Cuadro 12. Rendimiento total de pimiento rojo var. “Zidenka” injertado sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar bajo condiciones de invernadero. ....	72

Cuadro 13. Clasificación de frutos de pimiento rojo obtenidos a partir de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero. ....	74
Cuadro 14. Peso, largo y ancho de frutos obtenidos de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero. ....	75
Cuadro 15. Calidad del fruto obtenidos de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar bajo condiciones de invernadero. ....	77
Cuadro 16. Color del fruto de pimiento obtenidos de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero. ....	78
Cuadro 17. Correlación entre los parámetros de calidad en frutos de pimiento rojo injertado sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero. ....	79
Cuadro 18. Fechas de siembra del portainjerto CM-334 y del chile manzano para realizar el injerto.....	93
Cuadro 19. Porcentaje de prendimiento de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas. ....	102
Cuadro 20. Altura de la planta y su incremento consecutivo en plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero. ....	105
Cuadro 21. Diámetro del tallo y su incremento consecutivo de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero. ....	108
Cuadro 22. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto y su incremento consecutivo de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 3, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero. ....	110
Cuadro 23. Diámetro del tallo de la variedad injertada y su incremento consecutivo de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero. ....	113

Cuadro 24. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 90 ddt. ....	120
Cuadro 25. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 106 ddt. ....	121
Cuadro 26. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 110 ddt. ....	122
Cuadro 27. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 136 ddt. ....	123
Cuadro 28. Rendimiento total de chile manzano injertado sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar, bajo condiciones de invernadero. ....	125
Cuadro 29. Clasificación de frutos de chile manzano obtenidos a partir de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.....	127
Cuadro 30. Peso, largo, ancho y volumen de frutos de chile manzano obtenidos a partir de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.....	128
Cuadro 31. Calidad del fruto de chile manzano obtenido a partir de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.....	130
Cuadro 32. Color del fruto de chile manzano injertado sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar, bajo condiciones de invernadero. ....	131
Cuadro 33. Correlación de los parámetros de calidad de frutos de chile manzano injertado con CM334, autoinjertado y sin injertar, bajo condiciones de invernadero. ....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto Pimiento/CM-334 para realizar la microtecnia. ....	43
Figura 2. Plantas injertadas y cortes anatómicos de chile pimiento sobre CM-334, obtenidos después de 125 ddi.....	44
Figura 3. Dinámica de crecimiento las plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a 159 ddt.....	51
Figura 4. Diámetro del tallo de los portainjertos y variedad sin injertar a los 159 ddt....	54
Figura 5. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto de chile pimiento sobre CM-334 y autoinjertado a los 159 ddt. ....	57
Figura 6. Diámetro de los tallos de la variedad injertada a los 159 ddt. ....	59
Figura 7. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto de pimiento sobre el CM-334 a los 125 ddt. ....	63
Figura 8. a) Corteza secundaria del pimiento, b) Corteza secundaria del portainjerto CM-334 unido al pimiento. ....	65
Figura 9. Corteza secundaria del portainjerto CM-334 a los 125 ddi. ....	66
Figura 10. Temperatura y humedad relativa en el invernadero de producción de chile manzano durante los dos primeros meses de evaluación (marzo a mayo)....	95
Figura 11. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto del chile manzano con CM-334 para realizar la microtecnia a los 125 ddi.....	96
Figura 12. Plantas injertadas y cortes anatómicos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334.....	97
Figura 13. Altura de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 231 ddt. ....	103
Figura 14. Diámetro del tallo de los portainjertos y del chile manzano sin injertar a los 231 ddt. ....	106
Figura 15. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto y autoinjerto de chile manzano a los 231 ddt.....	109
Figura 16. Diámetro del tallo del chile manzano injertado y autoinjertado a los 231 ddt. ....	111

Figura 17. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto Manzano/CM-334 a los 125 ddt.....	115
Figura 18. c) Corteza secundaria del chile manzano, b) Corteza secundaria del portainjerto CM-334 unido al manzano.....	117
Figura 19. Corteza secundaria del portainjerto CM-334.....	118

# CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE CHILE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) Y CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R. & P.) INJERTADAS SOBRE CM-334 (*Capsicum annuum* L.)

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Se considera como “centro de origen” para el género *Capsicum*, a México y Centroamérica (Vavilov, 1993), mientras que otros autores lo refieren a Centro y Sur de América como su cuna. Fundamentalmente la denominación común “chile” incluye cinco especies del género *Capsicum*: *C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz y Pavón (chile manzano o chile perón) (Waizel-Bucay y Camacho, 2011).

En México la producción de chile es de gran importancia económica y social. México cuenta con 138, 000 mil ha cultivadas aproximadamente, las cuales aportan dos mil millones de pesos (Servicio de Información Agrícola y Pesquero, SIAP. 2014), esta rentabilidad depende de factores abióticos y bióticos, siendo este último el que más impacta. En el cultivo de chile los problemas causados por hongos en la raíz, en específico de *Phytophthora capsici* Leo, enfermedad conocida comúnmente como marchitez o secadera del chile, causa daños devastadores cuando las condiciones ambientales para el desarrollo del hongo son óptimas (exceso de humedad en el suelo y temperaturas de 15 a 23 °C) (Agrios, 2011).

Actualmente no existen variedades comerciales de chile con resistencia a *P. capsici*, pero si técnicas para ayudar a los productores en su manejo y evitar el uso indiscriminado de fungicidas (bromuro de metilo) que dañan el medio ambiente y la salud humana, por ello hoy día se cuenta con la técnica del injerto, considerada una práctica que permite cultivar una planta con la raíz de otra (patrón e injerto), dicha técnica se emplea para proporcionar mayor vigor y productividad en la planta cultivada, aprovechando las características que confiere el patrón (Miguel y Cebolla, 2005).

La utilización de plantas resistentes para el control de esta enfermedad, ha tomado gran importancia. Nuez *et al.* (2003) reportan como fuente principal de resistencia al chile

de la variedad mexicana serrano Criollo de Morelos no. 334 de frutos pequeños y picantes y a la Línea 29 o centroamericano (PI 201232 y PI 201234).

Oelke y Bosland (2003) reportan la técnica del injerto para producción de chile pimiento y otros chiles (serrano, jalapeño, chilaca, poblano, etc.), y emplean como portainjerto al chile serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334), y lo consideran como el resistente universal a *P. capsici*. Santos *et al.* (2010) indican que el uso del CM-334 y del CP1063 presentan resistencia a *P. capsici*. El CM-334 también es altamente resistente a potyvirus y a las tres principales especies del nematodo agallador de la raíz: *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* (Pegard *et al.*, 2005), sin embargo, es susceptible al nematodo *Nacobbus aberrans* (Godínez-Vidal *et al.*, 2008; López-Martínez *et al.*, 2011).

El chile serrano Criollo de Morelos no. 334 (CM-334) es una fuente eficaz de resistencia genética a *P. capsici*, sin embargo, aunque la resistencia a *P. capsici* 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 *et al.*, 2007). Dado lo anterior por ello no se han generado cultivares de chile comerciales con una adecuada resistencia a este patógeno. Por tal motivo, el injerto es una alternativa que permite usar materiales resistentes a *P. capsici* para la producción de variedades de interés agrícola como el chile pimiento y chile manzano.

Las accesiones del CM-334 (*Capsicum annuum*) tienen una alta resistencia a *P. capsici* y han sido utilizadas en diversos estudios de resistencia genética (Reifschneider *et al.*, 1992; Bosland y Lindsey, 1991; Walker y Bosland, 1999; Morra y Bilotto, 2006; Ousmane y Bosland, 2005 y Tahboub *et al.*, 2008).

Para realizar el injerto, es necesario determinar si las plantas que se van a combinar tienen capacidad para unirse y obtener una unión que tenga éxito. No existe ninguna regla definida para predecir el resultado final de una combinación en injerto, excepto que “entre más afinidad botánica haya entre las plantas, las probabilidades de que el injerto tenga éxito son mayores” (Hartmann *et al.*, 2010).



Martínez (2013) menciona que mediante la inspección visual en plantas injertadas de pimiento morrón sobre CM-334, se observó un sistema radical menos abundante que las plantas sin injertar. El injerto puede producir alteraciones en la absorción y transporte de agua y nutrientes. Santos y Goto (2004) reportan que es necesario evaluar el uso de tratamientos en la raíz y el manejo de la parte aérea de la planta, que permitan obtener un sistema radicular mayor que el patrón, que afecta directamente en una menor absorción de agua y nutrimentos en comparación con una planta sin injertar.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la influencia que tiene una línea homogénea del chile serrano criollo de Morelos CM-334, usado como portainjerto de dos variedades comerciales de chile (pimiento morrón y manzano) sobre el rendimiento, la fotosíntesis neta y la calidad del fruto, así como verificar anatómicamente la compatibilidad de estas asociaciones bajo condiciones de invernadero.

### **1.2. HIPOTESIS GENERAL**

El rendimiento, la calidad del fruto, la fotosíntesis neta y la compatibilidad anatómica entre las especies del pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) y chile manzano (*Capsicum pubescens* R&P) injertadas sobre chile CM-334 (*Capsicum annuum* L.) serán similares o mejores con respecto a las plantas sin injertar, como resultado de la asociación entre ambos tipos de tejido, proporcionando la resistencia a *Phytophthora capsici*.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Chile pimiento y chile manzano**

#### **2.1.1. Importancia**

Zapata *et al.* (1992) y Nuez *et al.* (2003) mencionan como centro de origen para la especie *Capsicum annuum* a México, con localización secundaria en Guatemala. Según el botánico W. Hardy Eshbaugh el centro de origen de *Capsicum pubescens* R. & P., se encuentra en Bolivia, en la zona del río Mizque, entre Cochabamba y Sucre (Long, 2009).

Esta familia está conformada por más de 90 géneros, los cuales se encuentran divididos en 2 subfamilias: *Solanoideae* y *Cestroideae*. *Capsicum* pertenece a la tribu más grande de la subfamilia *Solanoideae* y a la tribu *Solaneae*. Así mismo, se reporta que en México hay cerca de 148, 000 ha sembradas de chile, las cuales se localizan principalmente en los estados de Zacatecas (33, 000), Chihuahua (30, 000), San Luis Potosí (15, 000), Sinaloa (12, 000) y Michoacán (7, 000) (SIAP-SAGARPA, 2014).

En México se han establecido normas de calidad como NMX-Z-012-1-1987 y la NMX-Z-012-2-1987, las cuales se refieren a la calidad por atributos del producto, en cuanto a inspección sanitaria y a características físicas del pimiento. Estas normas son utilizadas para que el producto de exportación sea de buena calidad, son varias las especificaciones del producto, de las cuales se pueden mencionar: entero y bien desarrollado (maduro), de aspecto fresco y sano, de consistencia firme, de sabor dulce, sin ningún grado de pungencia o picor, bien formado (blocky o lamuyo), color característico del fruto (verde, rojo, amarillo, etc.), limpieza, sin daño mecánico, entomológico (insectos), microbiológico o genético-fisiológico (Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo, 2012).

Con el objetivo de abrir nuevos mercados de alto valor y con base en la diferenciación de productos de alta calidad a través de un signo distintivo (marca oficial), México cuenta con la marca calidad suprema, la cual describe especificaciones que debe cumplir el pimiento morrón, para poder ostentar la marca oficial que lo indique como un producto de calidad suprema y poder exportar a Estados Unidos de América (SAGARPA, 2005).

La creciente demanda de pimiento para mercado nacional y de exportación, ha favorecido el empleo de técnicas más sofisticadas en la nutrición, riego, poda, tutorio y control de plagas y enfermedades, en busca de mejorar las condiciones del cultivo para obtener mayor calidad, rendimiento, y oportunidad en su producción para satisfacer la demanda de un mercado en crecimiento (Pérez y Castro, 2008). En México el precio del producto varía dependiendo del lugar de venta y la época de cosecha, encontrando precios mínimos por kilogramo de \$9.33 y máximos de \$78.44 en Sinaloa y Michoacán para los meses de agosto y junio respectivamente. México es el primer exportador de

chile verde a nivel mundial y el sexto de chile seco; Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania son los principales países importadores del producto (SIAP-SAGARPA, 2013).

Las plagas y las enfermedades, particularmente estas últimas, son el principal problema en la producción de pimiento en el mundo, siendo las bacterias y los hongos los que encabezan los daños más significativos. La principal enfermedad fúngica que afecta al pimiento es la marchitez o secadera ocasionada por *Phytophthora capsici* (Nuez *et al.* 2003). Agrios (2011) menciona que tal patógeno genera también la pudrición de la raíz del pimiento, zanahoria y calabaza y la pudrición del fruto de pimiento, tomate, berenjena y cucurbitáceas entre otros.

### **2.1.2. Morfología de *Capsicum annuum* L. y *C. pubescens* R & P**

El chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) y chile manzano o perón (*Capsicum pubescens* R. & P.), presentan tejidos vasculares primarios bicolaterales, característicos de la familia Solanaceae y son diploides ( $2n = 24$ ) (Wahua *et al.*, 2013 y Guevara *et al.*, 2000).

La caracterización morfológica de la planta de chile considera aspectos de la fase vegetativa (plántula), reproductiva (Inflorescencia, fruto y semilla), de la planta (rendimiento del fruto) y de calidad del fruto entre otros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diferencias morfológicas para diferentes especies de *Capsicum* sp.

Especie	Color de corola	Manchas en la corola	Forma de la corola	Cáliz dentado	Flores por nudo
<b><i>C. annuum</i></b>	<b>Blanco</b>	<b>No</b>	<b>Rotada</b>	<b>Presente</b>	<b>1</b>
<i>C. frutescens</i>	Blanco-verdoso	No	Rotada	No	2-3(5)
<i>C. chinense</i>	Blanco o Blanco-verdoso	No	Rotada	Presente	3-5
<i>C. galapagoense</i>	Blanco	No	Rotada	No	1
<i>C. chacoense</i>	Blanco	No	Rotada	Presente	1
<i>C. schottianum</i>	Blanco	Amarillo	Rotada	No	5-7
<i>C. microcarpum</i>	Blanco	Verde-amarillo	Rotada	Presente	1-2
<i>C. pendulum</i>					
<i>C. praetermissum</i>	Blanco a lavanda	Amarillo	Rotada	Presente	1
<i>C. eximium</i>	Blanco a lavanda	Amarillo	Rotada	Presente	2-3
<b><i>C. pubescens</i></b>	<b>Purpura</b>	<b>No</b>	<b>Rotada</b>	<b>Presente</b>	<b>1-3</b>
<i>C. cardenasii</i>	Azul	Verdoso-amarillo	Campanulada	Presente	1-2
<i>C. scolnikianum</i>	Amarilla	-	Campanulada	Presente	-

Fuente: Lippert *et al.* (1966).

Las características morfológicas de las especies de Chile *C. annuum* y *C. pubescens* han sido estudiadas y reportadas por diferentes autores como Castañón-Nájera *et al.* (2010), y Lippert *et al.* (1966). Delahaut y Newenhouse (1997) mencionan que el fruto de pimiento puede alcanzar un largo de 5 a 10 cm y anchos de 5 a 7.5 cm, con forma de bloque, de color variado y con cero unidades Scoville, contrario a lo que reportan Kollmannsberger *et al.* (2011) para Chile manzano, los cuales indican en promedio 3 800

unidades Scoville, e indican dos características contrastantes con las especies de *C. annuum*: el color de la flor es morada y la semilla es negra y retícula. Por su parte Haro y Montenegro (2015) mencionan valores de 100 a 200 mil unidades Scoville para el chile manzano, no establecen un valor fijo, ya que estas pueden variar en función del cultivo empleado, clima y tipo de suelo.

De los descriptores empleados para puntualizar las diferencias entre las dos especies se encuentran variables como: altura de planta, diámetro de tallo, forma de la hoja y del ápice del fruto, ancho, largo y forma de los mismos, posición de la flor, color y forma de la corola, color de anteras, longitud de las anteras y color del filamento, entre otras. Estas características antes mencionadas, pueden ser modificadas en la variedad cuando se realiza el injerto, tales efectos se pueden ver reflejados en crecimiento de la planta, diámetro de tallo, longitud de la hoja madura, número de nudos, distancia del ápice de la planta a la última flor abierta y rendimiento total del fruto (Leal-Fernández *et al.* 2013).

### **2.1.3. Susceptibilidad a enfermedades y plagas**

#### **2.1.3.1. Enfermedades**

Una de las principales enfermedades que afecta el cultivo del chile y causa grandes pérdidas económicas que van del 10 al 80 %, es la antracnosis causada por *Colletotrichum* sp. Los daños ocasionados se pueden presentar en etapas pre o post cosecha del producto, en tallo u hoja, con el síntoma principal en el fruto, el cual presenta lesiones u hendiduras circulares o angulares, con anillos concéntricos de acérvulos, húmedos, de color rosado o naranja en masas conidiales (Than *et al.*, 2008).

*Botrytis cinérea* mejor conocido como moho gris es una de las enfermedades más severas, dicho hongo afecta flores, frutos y tallos de plantas de chile y tomate, causando serios daños al cultivo y pérdidas económicas a los productores. El hongo se puede controlar con productos químicos o biológicos, siendo estos últimos los recomendables por su efecto nulo con el medio ambiente (Salas y Sánchez, 2006).

Al igual que las dos enfermedades anteriores la mancha bacteriana *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* o *Xanthomonas euvesicatoria*, provoca daños en las plantas

de pimiento, en específico en el fruto y tallo, causando en ambos casos manchas acuosas de color café, que van creciendo conforme avanza el desarrollo de las bacterias, aunque esta enfermedad puede ser controlada con productos químicos y biológicos, actualmente se cuenta con variedades resistentes a la mancha bacteriana como las accesiones UENF 1381 (Riva-Souza *et al.* 2007).

Otras enfermedades que perjudican el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo de chile son: el virus del mosaico del tabaco, del moteado del pimiento, del enchinamiento de la hoja y el Y de la papa. Existen 35 virus reportados que infectan al género *Capsicum* spp., de éstos, más de la mitad son transmitidos por áfidos. Varios se transmiten por contacto o a través del suelo por daño mecánico. Los frutos de los chiles infectados por virus generalmente exhiben una variedad de síntomas, el más común de las cuales es el mosaico, moteado y necrosis y la distorsión de la hoja. Muchos de estos virus perjudican considerablemente el rendimiento (Green y Kim 1991).

En Nuevo México Biles *et al.* (1992) reportan que aplicaciones de metan sodio y metalaxil disminuyen significativamente la incidencia de *Phytophthora capsici*, enfermedad que además puede ser controlada al aplicar riegos controlados, esta enfermedad es de los problemas más severos que se pueden encontrar en campo, por lo cual se abordara específicamente en el apartado 2.2.

### **2.1.3.2. Plagas**

Las principales plagas que afectan el desarrollo y crecimiento del cultivo de chile son: pulgones, mosquita blanca, trips y nematodos.

Los pulgones, son insectos pequeños (2-5 mm) que pueden ocasionar coloraciones amarillas en las hojas (daño en los haces vasculares), además excretan líquidos blanquecinos que producen el crecimiento de hongos. Para el control de esta plaga es necesario monitorear el crecimiento de la población, aunado a ello se deben realizar controles biológicos y químicos (preventivos), tales prácticas ayudan a disminuir la incidencia de dicha plaga (Flint, 2013).

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*), causa daños directos en la planta al alimentarse de la savia y provoca daños indirectos al transmitir virus, principalmente *Geminivirus* (Sakinah *et al.*, 2014), su control puede ser biológico con hongos (*Verticillium lecanii*, *Paecilomyces fumosoroseus* y *Beauveria bassiana*) (Faria y Wraight, 2001), predadores o parásitos de los géneros *Encarsia* o *Eretmocerus* (Gerling *et al.*, 2001), sin embargo el control químico es el método más empleado en la agricultura (Cuéllar y Morales, 2006).

El trips (*Frankliniella occidentalis*) se encuentra dentro de las plagas insectiles de mayor importancia que atacan a las solanáceas como berenjena, tomate, jitomate y chile. En el cultivo de chile causa daños y mermas comerciales en el rendimiento a causa de la disminución de la actividad fotosintética, extracción de savia, caída de flor, transmisión de virus y raspaduras de fruto, lo que demerita su calidad (González y Suris, 2011). El trips inserta el huevecillo en el tejido de la planta, lo que ocasiona la aparición subsiguiente de la larva (Demirozer *et al.*, 2012). El control de esta especie puede ser biológico, por medio de *Orius laevigatus*, *Orius insidiosus* y *Orius pumilio* (Santos *et al.* 2010). Demirozer *et al.* (2012) reportan que desde la aparición de las primeras flores del pimiento es necesario emplear productos químicos, sin embargo este tipo de control origina problemas de resistencia, por ello, se han implementado varias técnicas de manejo integrado como: aumentó de plantas hospederas de especies competidoras y depredadoras del trips como girasol, *Bidens alba*, *Wedelia trilobata*, uso de reflectantes de luz ultravioleta, nutrición del cultivo, uso de plantas resistentes a la transmisión de virus, así como piretroides, carbamatos, organofosforados y neonicotinoides, productos que además pueden matar a las poblaciones de especies benéficas que lo controlan.

*Tetranychus urticae* mejor conocida como araña roja, extrae el contenido celular, lo que da un aspecto clorótico y bronceado en la hoja. Sadrás *et al.* (1998) indican que este ácaro se alimenta principalmente de las células del mesófilo, por lo que reduce significativamente la resistencia estomática, la fotosíntesis, la tasa respiratoria y la tasa de absorción energética de la planta. El combate de *Tetranychus urticae*, puede controlarse biológicamente al introducir el ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis*, el cual se alimenta exclusivamente de esta especie (Santos *et al.*, 2010); aplicaciones de productos químicos a base de abamectina, azadirachtina, azufre, dicofol, fenazaquin y

pyridaben controlan este insecto, sin embargo aplicar abamectina sola y en mezcla con fosfatidilcolina y fenazaquin, muestran un alto efecto de mortandad sobre *Tetranychus urticae* Koch (Flores *et al.*, 2007).

## **2.2. *Phytophthora capsici* Leonian**

El Oomiceto *Phytophthora capsici* agente causal de la enfermedad más universal conocida del pimiento, conocida como marchitez o secadera tardía puede provocar daños en cualquier órgano y fase de desarrollo de la planta. La podredumbre del cuello y la subsiguiente marchitez brusca son los síntomas más característicos (Nuez *et al.*, 2003). Esta enfermedad fue descrita por primera vez en la estación de Investigación Experimental, Las Cruces, Nuevo México por León H. Leonian en 1922 (Hausbeck y Lamour, 2004).

*P. capsici* generalmente se reproduce durante periodos cálidos y húmedos y es diseminado hacia los órganos aéreos de la planta por agua superficial o por salpicadura de lluvia (Blancard *et al.*, 1991). El exceso de humedad en el suelo (>85) y temperaturas de 15 a 35 °C, con óptimas de 26 a 32 °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 *et al.*, 2001). Chew *et al.* (2008) reportan que este hongo ocasiona daños hasta del 80 % en regiones productoras de chile en México; como El Bajío, Aguascalientes, San Luis Potosí, Zacatecas, Nayarit, Jalisco, Puebla, Veracruz y Guanajuato.

Alexopoulos y Mims (1985) reportan que 21 °C es la temperatura óptima para el crecimiento del micelio de *P. capsici*, y presenta un mínimo crecimiento cuando la temperatura se encuentra entre los 2 y 30 °C. La temperatura y la humedad parecen ser los dos factores más importantes en la producción de esporangios. Una abundante formación de los mismos tiene lugar en el cultivo a los 9 y 22 °C, pero la temperatura óptima es de 18 a 22 °C, dentro de este rango de temperaturas, se forman abundantes esporangios a las 14 h mientras que a temperaturas inferiores (9-15 °C), son necesarias 48 h. En cuanto a la humedad relativa, el óptimo es de 100 %, aunque a 91 % hay producción de esporangios.



*P. capsici* penetra por estomas, lenticelas e hidátodos o directamente rompiendo las barreras de protección de la cutícula de la planta, mediante la secreción de enzimas pectolíticas que maceran los componentes de dichas barreras (Redondo *et al.*, 1989). En la mayoría de los casos el patógeno inicia su ataque a nivel del cuello de la planta observándose canchales color café oscuro, que después se tornan blandos y secos, acompañados de una ligera constricción que avanza rápidamente, lo que ocasiona una marchitez progresiva del hospedante hasta que muere (Cruz-Alcalá, 2000).

### **2.3. Resistencia del cultivo de chile**

Bartual *et al.* (1991) reportan a siete líneas de *Capsicum annum* como resistentes genéticamente a *Phytophthora capsici*, denominadas Phyto 636, P51 y PM217 originarias de Francia, Smith5 de Estados Unidos, Mirasol, Línea 29 y Serrano de México, de estas líneas las más sobresalientes son Mirasol, P51 y PM217, las cuales además ofrecen una mejor estabilidad a la progenie.

En cuanto a resistencia se refiere *C. chinense* colecta BG-3821 presenta resistencia genética al virus Huasteco de la vena amarilla del chile (PHYVV, por sus siglas en inglés), esto debido tal vez a la restricción del movimiento viral dentro de la planta (Gasca-González, 2007). Así mismo, se ha reportado que *C. annum* cultivar “Perennial” es resistente al virus del moteado de la vena, esta línea proveniente de la India ha sido estudiada ampliamente (Hwang *et al.*, 2009).

Anaya-López *et al.* (2011) reportan a 11 accesiones del tipo Mirasol que presentan resistencia a *Fusarium* spp., mientras que para *P. capsici* mencionan a dos nuevas accesiones denominadas BG102 y la BG107, dichos materiales son procedentes del estado de Morelos, México, lugar donde fue encontrado el material CM-334 ampliamente conocido en el mundo por su resistencia *P. capsici*.

### **2.4. Uso del injerto como método de resistencia.**

La técnica del injerto consiste en unir dos porciones de tejido vegetal, de manera que crezcan y se desarrollen como una sola planta, generándose en la combinación estiónica pie-injerto una interacción que puede afectar tanto el crecimiento como la productividad

de la especie injertada (Hartmann *et al.*, 2010). En el ambiente edafoclimático donde se practica el injerto y se cultivan las plantas injertadas, hay factores como: temperatura, humedad relativa, aireación del ambiente y luz que pueden influir positiva o negativamente en el rendimiento y calidad del fruto (Climent, 1985 y Hartmann *et al.*, 2010).

La temperatura tiene un marcado efecto sobre la formación de tejido de callo. En manzano a menos de 0 °C o más de 40 °C no hay producción de este tejido y entre 4 y 32 °C la producción de callo aumenta linealmente con la temperatura. En la vid la temperatura óptima para el injerto es de 24-27 °C, con más de 29 °C se obtiene una producción abundante de tejido de callo de tipo suave que se daña fácilmente con las operaciones de plantación. A menos de 20 °C la producción de callo es lenta y por debajo de 15 °C no existe. En lo que respecta a la humedad, las células de parénquima que forman el tejido del callo son de pared delgada y son muy sensibles a la deshidratación si se exponen a baja humedad relativa. El contenido de humedad en el aire menor al punto de saturación, inhiben la formación de callo y aumentan la tasa de desecación de las células cuando disminuye la humedad, pero la presencia de una película de agua sobre la superficie de encajecimiento es más estimulante para la cicatrización que mantener al 100 % la humedad relativa. Células muy turgentes son más capaces de dar un callo abundante que aquellas que están en condiciones de marchitez (Hartmann *et al.*, 2010).

La combinación de dos plantas diferentes en una sola planta por medio del injerto, en la cual una parte produce el brote y la otra las raíces, puede producir patrones de crecimiento que difieren de aquellos que hubieran tenido las partes componentes cultivadas por separado. Algunos de estos efectos son de gran valor hortícola, mientras que otros son perjudiciales y se deben evitar. Las características alteradas pueden resultar, a) de reacciones de incompatibilidad, b) del hecho, de que una de las partes del injerto tenga uno o más caracteres específicos que no se encuentran en la otra, como resistencia a ciertas enfermedades, nematodos o insectos, o bien tolerancia de ciertas condiciones adversas del clima y del suelo, o c) de interacciones específicas entre el

patrón y la púa que alteran el tamaño, desarrollo, productividad, calidad del fruto u otros atributos hortícolas (Hartmann *et al.*, 2010).

En caso de que el injerto sea posible, es necesario evaluar el comportamiento agronómico del injerto para determinar su posible uso como una alternativa de manejo para la enfermedad *P. capsici* del chile.

En el cultivo de chile se han realizado varios experimentos, en los cuales se ha injertado alguna variedad de interés agronómico, tal es el caso de las variedades “Nokkwang”, “Seangsaeng Matkkwari” y “Shinhong”, que se injertaron sobre portainjertos resistentes a *P. capsici* (Jang *et al.*, 2013). Así mismo el portainjerto Atlante (Ramiro Arnedo S.A.) ha sido evaluado en el rendimiento del chile pimiento (Del Amor *et al.*, 2008).

Aparte del uso del injerto debido a su resistencia a plagas y enfermedades, estas plantas son empleadas en la agricultura debido a que promueven altos rendimientos, causan crecimiento de brotes, son tolerantes a bajas o altas temperaturas, así como a altos contenidos de sales (Flores *et al.*, 2010). Jang *et al.* (2011) mencionan el uso del injerto para tolerar alta humedad del suelo y metales pesados, además de mejorar la absorción de nutrientes, agua y calidad del fruto.

La conexión de la variedad con el portainjerto es fundamental para un óptimo crecimiento, adsorción de nutrientes y agua. Una deficiencia mineral en nutrientes y agua puede causar disminución de crecimiento en la variedad y una baja concentración de carbohidratos en la raíz. Los disturbios fisiológicos inducidos por la discontinua unión de la variedad y portainjerto puede inhibir el crecimiento y restringir la comunicación entre ellos (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010).

En Chile existen varias metodologías que han sido empleadas para desarrollar el injerto. Del Amor *et al.* (2008) realizaron el injerto cuando las plántulas tenían seis hojas verdaderas y por encima de los cotiledones. Tsaballa *et al.* (2013) realizaron el injerto cuando las plántulas tenían entre dos y tres hojas verdaderas y el diámetro del tallo era de 1.5 y 2.0 mm. Ambos trabajos reportan porcentajes de prendimiento de 85 a 95 %.

Aloni *et al.* (2010) mencionan que en general, la cicatrización del injerto seda aproximadamente a los 25 días después de haberlo realizado, y que la incompatibilidad del injerto está relacionada estrechamente con la temperatura (32/28 °C día-noche), y un desbalance hormonal, sobre todo de auxinas y etileno en el sistema radicular. El desbalance hormonal en plántulas injertadas no compatibles, provoca en el portainjerto una acumulación de etileno, el cual desencadena la producción de reacciones de especies reactivas de oxígeno, las cuales inhiben el crecimiento de las raíces del portainjerto.

## **2.5. Microinjerto**

El microinjerto *in vitro*, consiste en unir brotes de mínimo 2 semanas de edad, a los brotes se les eliminan los cotiledones y yemas axilares, y se deja solamente una porción de epicótilo de 1.5-2 cm. Un ápice caulinar compuesto por el meristemo apical y dos o tres primordios foliares, son aislados de la fuente deseada con un bisturí (previamente desinfectado) y son colocados sobre la superficie del corte del patrón (Roistacher *et al.*, 1969; citado por Navarro, 1979).

La aclimatación del microinjerto se realiza en cámaras de ambiente controlado a  $24 \pm 2$  °C, con una intensidad lumínica que varía de 600 lux en duraznero y 1, 500 lux en cítricos, con 16 h luz por día. El periodo de aclimatación varía dependiendo de la especie (20 a 60 días en durazneros y de 30 a 40 días en cítricos) (Roca y Mroginski, 1991).

López (2013) realizó el microinjerto *in vitro* de plantas de *Capsicum pubescens* sobre plantas de CM-334, para lo cual cortó de cinco a diez mm por encima y por debajo de los cotiledones. Empleó clips de 1.8 mm de diámetro para ayudar en la unión del injerto, y colocó las plántulas injertadas dentro de tubos con medio MS al 50 % de concentración en sus macrosales por 15 días. Durante su aclimatación, las plantas permanecieron en un cuarto de incubación con 16 horas luz y ocho horas de oscuridad a una temperatura de  $26 \pm 1$ °C.

## 2.6. Micropropagación

Dada la necesidad de contar con nuevas metodologías para la propagación, conservación y manejo de material vegetativo, actualmente se cuenta con la técnica de micropropagación cuya meta es lograr la propagación de un genotipo selecto a través de técnicas de cultivo *in vitro*. El cultivo de tejidos da la posibilidad de regenerar plantas completas, a partir de pequeños fragmentos de tejido vegetal incubados en un medio artificial apropiado. Los métodos de regeneración mediante el cultivo de tejidos vegetales dan lugar a procesos morfogénicos como la *organogénesis* y la *embriogénesis somática* (López-Puc *et al.*, 2009). Un medio de cultivo es un conjunto de nutrientes, que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos. Es decir, es un soporte que proporciona sustancias nutritivas que permiten el desarrollo y reproducción de microorganismos.

La micropropagación es aplicada a cultivos hortícolas como el chile, ya que tiene un gran potencial, debido a la creciente demanda de altas cantidades de plantas con características específicas, y de calidad para la producción. Los protocolos de propagación vegetativa y/o cultivo de tejidos pueden variar con la especie, el genotipo y las condiciones ambientales y/o de manejo (Luna y Vásquez, 1996). George *et al.* (1987) citado por Luna y Vásquez (1996) reportan 22 medios de cultivo de tejidos para dos especies de chile (*C. annuum* L., y *C. frutescens* L.). En tanto López (2013) reporta diez medios de cultivo, para la propagación y multiplicación del CM-334 (*C. annuum* L.)

## 2.7. Injertos en chile (*Capsicum* spp.)

El injerto puede ser la diferencia entre obtener buenas cosechas y no obtener nada de rendimiento, así mismo el injerto es recomendado cuando existen riesgos de inundación o de enfermedades diseminadas por el suelo, como el marchitamiento bacteriano y *Phytophthora capsici* (Palada y Wu, 2012). Jang *et al.* (2013) reportan a cinco portainjertos de chile resistentes a *Phytophthora capsici*, denominados “Katagurama” (Semillera Sakada Korea Co., Ltd.), “Konesianhot” (Seminis Inc.), “Koregon PR-380” (Semillera Koregon Co., Ltd.), “PR-power” (Nongwoo Bio Co., Ltd.) y “Tantan” (Nongwoo Bio Co., Ltd.), dichos materiales vegetales fueron evaluados agrónomicamente, y se

compararon con sus respectivos autoinjertos y testigo (variedad sin injertar). Morra y Bilotto (2006) reportan a los portainjertos para Chile "Graffito" y "Gc 1002" resistentes a *Phytophthora capsici*, en su caso reportan a "Gc 1002" como una accesión Mexicana del Chile Serrano Criollo de Morelos no. 334 y "Graffito" descende de la cruce entre cultivares "Quadrato d'Asti" y la accesión Criollo de Morelos no. 334. Lippert *et al.* (1966) reportan a las selecciones 201232 y 201234 de *C. annuum* L. y a la selección '631A Marinalco' de Chile manzano (*C. pubescens*) como materiales resistentes a *Phytophthora capsici*.

Leal-Fernández *et al.* (2013) reportan a ocho tipos de portainjertos, entre los cuales se encuentra el denominado CM-334, Tesor (Nunhems), AR96012, AR96023, AR96028, AR96029, AR96030 y Atlante (Ramiro Arnedo). Por su parte Osuna-Ávila *et al.* (2012) reportan al patrón CM-334. Lee y Oda (2003) recomiendan emplear las accesiones de Chile PP0237-7502, 0242-62, las cuales son resistentes a inundaciones, bacterias y a *P. capsici*.

Oka *et al.* (2004) reportan a los denominados AR96023 (Milchan Bros., Ramat-Gan Israel), AR96025 (Milchan Bros., Ramat-Gan Israel), RS-27 (Milchan Bros., Ramat-Gan Israel), RS-28 (Milchan Bros., Ramat-Gan Israel), RS-29 (Milchan Bros., Ramat-Gan Israel), RS-50 (Milchan Bros., Ramat-Gan Israel), AX 592 (Tarsis, Beer-Sheva, Israel), AX568 (Tarsis, Beer-Sheva, Israel), EV 359 (Nirit Seeds, Hadar, Israel), Snooker (Syngenta Seeds, Westeinde, Netherlands) y Nun9453 (Nunhems Zaden, Haalen, Netherlands), todos ellos pertenecientes a la especie *C. annuum* L. reportados como tolerantes y/o resistentes a *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. Winoc (2014) identifica y reporta al material vegetal *Capsicum baccatum*, como resistente a *Phytophthora capsici*, dicho material conocido como USDA P1413669 01 SD\*PBC1405, puede ser empleado como portainjerto para cualquier especie de *C. annuum*.

Sin duda alguna la lista de materiales vegetales empleados como portainjerto es abundante y han sido una buena herramienta para la producción de Chile, ya que controlan la marchitez o secadera causada por *Phytophthora capsici*, sin embargo aún queda mucho por evaluar, estudiar y realizar en dichos materiales para maximizar el rendimiento.

### 2.7.1. Aplicaciones y uso a nivel comercial

La producción vegetal con plantas injertadas se originó en Japón y Corea para evitar la pérdida de cultivos a causa de infecciones transmitidas por el suelo, debido a la falta de rotación de cultivos. El injerto es una práctica ampliamente adoptada por muchos países, ya que ha probado ser segura para la producción de productos orgánicos y por ser amigable con el ambiente. Además de las ventajas conocidas de tolerancia a enfermedades y altos rendimientos de los cultivos, la tecnología del injerto es muy eficaz en la mejora del rendimiento de los cultivos, provocado por las condiciones ambientales adversas, como baja temperatura del suelo y altos niveles de sales en el suelo (Colla *et al.*, 2010). La investigación se ha enfocado en desarrollar patrones eficientes, herramientas prácticas para realizar el injerto como robots de injerto para reducir los precios altos de la plántula. La calidad de la plántula injertada es extremadamente importante para maximizar el rendimiento del cultivo (Jang *et al.*, 2011).

García-Rodríguez *et al.* (2010) mencionan que el uso de CM-334 como patrón para injertar chile ancho, tiene potencial para la producción en zonas con alta incidencia de *P. capsici*, con un rendimiento 20 % menor en plantas injertadas en comparación con plantas no injertadas y sin inocular, en tanto las plantas sin injertar e inoculadas con *P. capsici* mueren.

El material vegetal CM-334 ha sido utilizado en experimentos con chiles del tipo jalapeño, chilaca y cayene y reportan una formación de callo abundante en la unión del injerto, lo que permitió una firme conexión de los cámbium (Osuna-Ávila *et al.*, 2012). Martínez (2013) reporta que el portainjerto CM-334 como patrón de chile morrón (*Capsicum annuum*) es capaz de otorgarle resistencia contra *P. capsici* a las plantas injertadas, y su crecimiento y rendimiento son similares con respecto a las plantas no injertadas. Así mismo menciona que el uso del CM-334 como portainjerto de pimiento morrón es una alternativa viable solo en condiciones de alta presión del patógeno, en sistemas de producción donde las posibilidades de rápida diseminación de la enfermedad son altas y/o el uso de fungicidas es restringido.

López (2013) reporta que en base a los resultados obtenidos, es factible el uso del CM-334 como portainjerto para injertar *C. pubescens*, para reducir la incidencia de la marchitez causada por *P. capsici* en sistemas de producción de esta hortaliza. Por su parte Santos (2010), reporta que el uso del CM-334 y de la línea CP1063 como portainjertos para el control de *P. capsici* es factible, coincidiendo con lo reportado por Martínez (2014), quien reporta el uso del portainjerto CM-334, para producir como chile manzano.

La reducción del vigor en el injerto es uno de los mayores problemas al injertar pimiento morrón (Santos y Goto, 2004). García-Rodríguez *et al.* (2010) reportan una reducción en el crecimiento de las plantas de chile ancho injertadas sobre CM-334. Fernández-Pavia y Liddell (1998) mencionan que la resistencia de CM-334 es independiente de la variedad injertada y este cultivar se podría usar como patrón. Sin embargo, para considerar el uso de un patrón, es indispensable determinar, además de la resistencia y la compatibilidad, el rendimiento de frutos comercializables, una característica aún no evaluada en la mayoría de las investigaciones.

Tsaballa *et al.* (2013) reportan cambios morfológicos en el fruto, cambios que son heredados genéticamente y que son observados por lo menos durante dos generaciones más. Tsaballa *et al.* (2012) reportan que la forma del fruto es modificada cuando se realiza el injerto. Resultados similares fueron obtenidos cuando se injertaron un chile de fruto largo sobre un chile tipo campana (portainjerto), los resultados encontrados muestran características diferentes tanto en la planta (cantidad de nudos, ramas y tamaño del estoma y hoja) como en el fruto obtenido (forma, color, contenido de capsaicina y dirección del fruto (Taller *et al.*, 1998).

El problema del uso del injerto, es su alto costo relativo, aunque su uso podría compensar el costo por el manejo de enfermedades, en particular la desinfección del suelo. El costo de una planta de semillero vegetal injertada es cinco veces mayor que la de una planta de semillero no injertada, sin embargo el desarrollo de la tecnología del injerto y las practicas hortícolas pueden reducir el costo de la plántula (Oka *et al.*, 2004).



### 2.7.2. Portainjertos y plántulas para injertado

Entre los métodos alternativos para controlar *P. capsici* destaca el injerto sobre patrones resistentes, cuyo uso ha aumentado debido a su eficacia e inocuidad para el ambiente (Santos y Goto, 2004). En Corea se injertan cerca de 6 millones de plantas de chile para controlar la marchitez o secadera del chile (Lee y Oda, 2003).

Para realizar el injerto, es necesario contemplar dos factores; 1) el período de germinación de la variedad y portainjerto y 2) el tipo de crecimiento. Tomando en cuenta estos dos factores, las semillas del portainjerto pueden ser sembradas 5-6 días antes que la semilla de la variedad. Sin embargo algunas semillas de variedades de chile, germinan al mismo tiempo. El desfase de las fechas de siembra es porque el diámetro de chile del portainjerto se desarrolla más lento que el diámetro del tallo de un chile dulce, especialmente cuando la temperatura del ambiente es menor a 25 °C, lo que conduce a una distancia corta del entrenudo de los cotiledones a la primera hoja verdadera (Palada y Wu, 2012).

Winoc (2014) reporta que el uso de *C. baccatum* como portainjerto promueve de dos a tres veces más raíces, comparado con los portainjertos de Snooker y Tresaor. El tipo de crecimiento del injerto y del portainjerto varía de temporada a temporada y de variedad a variedad, lo que con lleva a programar las actividades del injerto y/o a ajustar el tiempo de propagación de las dos especies de interés en base a las condiciones específicas de la estación del año (Palada y Wu, 2012). En E.U.A. se han empleado portainjertos para pimiento de la especie *C. chinense* (Jacq.) denominaciones PA-353, PA-398 y PA 426, y *C. annuum* cultivares Carolina Cayenne, Carolina Wonder y Charleston Belle.

M'Hamdi *et al.* (2010) reportan que en los países en los que desarrolla la agricultura con injerto, emplean portainjertos seleccionados específicamente por el productor, dependiendo del propósito y/o uso de este, en España se emplea el portainjerto Atlante, en Italia Tresaor, Rocal y Atlante, en Francia emplean los portainjertos conocidos como Tresaor, Galaxy y Snooker, todos ellos materiales para realizar el injerto de chile, y reportan al portainjerto "Brutus" resistente a *P. nicotianae*.

Con el objetivo de evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de dos variedades de pimiento (Edo y Lux), se evaluaron cinco portainjertos comerciales: 'Snooker' (Syngenta, USA), 'Tresor' (Nuhmens, Holland), 'RX360' (Royal Sluis, Holland), 'DRO8801' (De Ruitter, Holland) y '97.9001' (SAIS, Italy), dichos materiales mostraron que las plántulas injertadas aumentaron el rendimiento en 29 % respecto al control (Edo y Lux sin injertar) (Colla *et al.*, 2008).

### **2.7.3. Métodos de injerto**

El método de injerto varía de acuerdo con el tipo de cultivo que se desea injertar, preferencia, experiencia de los productores, tipo de injerto y de máquinas o robots disponibles. En sandías el tipo de injerto de inserción de hipocótilo se ve favorecido, de tal manera que el método de injerto de lengua es despreciado por los agricultores y por aquellos que no tienen un invernadero con un buen sistema de control de microclima. Otros métodos de injertos son: de empalme, de tubo y el de empalme de cotiledones. El injerto de empalme ofrece la ventaja que se puede realizar a mano, a máquina o robots, además la unión de estas plantas injertadas es fuerte y saludable ya que todos los haces vasculares del vástago se fusionan con los del portainjerto, siendo lo adecuado para tolerar el manejo postinjerto. El injerto de hendidura, es otro método que muestra buenos resultados, sin embargo el costo de los materiales a emplear son altos. El injerto de inserción ha resultado ser mejor con respecto a la técnica de hendidura y de aproximación en 90% de supervivencia (Lee, 1994; M'Hamdi *et al.*, 2009 y Colla *et al.*, 2008).

Martínez (2014) realizó el injerto entre *C. annuum* y *C. pubescens*, cuando el tallo de las plántulas a injertar tenían entre 1.5 y 1.8 mm de diámetro, a 1.5 cm por arriba del nudo de los cotiledones. Así mismo reporta que a las plántulas se les suspendió el riego dos días antes de realizar el injerto y se les aplicaron 100 mg·L<sup>-1</sup> de ácido ascórbico al follaje, para promover el prendimiento. Realizó el injerto de empalme.

#### **2.7.3.1. Cámaras de injertado**

El injerto del chile puede realizarse cuando las plántulas tengan desarrolladas de dos a seis hojas verdaderas, cuando el diámetro de la variedad y del portainjerto sean

similares (1.5 a 2.0 mm) o cuando las plántulas tengan 35-40 días de edad. Después de realizar el injerto, las plántulas son introducidas a la cámara de aclimatación donde pasaron siete y diez días mínimo para proveerle alta humedad relativa (>85 %), reducir la intensidad luminosa durante el desarrollo del callo en la unión del injerto y minimizar el calor acumulado del injerto con temperatura de 25 y 32 °C, posteriormente el injerto se introduce siete u ocho días en el invernadero de aclimatización para seguir dicho proceso, y obtener plántulas injertadas de 50 a 55 días, las cuales son aptas para ser trasplantadas (Palada y Wu, 2012).

Tsaballa *et al.* (2013) desarrollaron injertos de chile cuando las plántulas tenían desarrolladas de dos a tres hojas verdaderas, con diámetro de la variedad y del portainjerto de 1.5 a 2.0 mm, en una cámara de ambiente controlado, con temperatura de 25 °C, humedad relativa de 85-95 %, luz de 2000 lux y un fotoperiodo de 16 h, durante 2 semanas. Por su parte Osuna-Ávila *et al.* (2012) realizaron la aclimatización de los injertos en un túnel de plástico, a temperatura 28 °C y una humedad relativa de 80 % por un periodo de 15 días, posteriormente fueron adaptadas gradualmente a condiciones de invernadero. Oka *et al.* (2004) reportan que la temperatura adecuada para realizar el injerto es de  $27 \pm 2$  °C, con un fotoperiodo de 13 h. por dos semanas.

La temperatura es trascendental sobre la unión del injerto, debido a que influye en la división celular y consecuentemente, en la formación de tejido de callo y la formación de nuevos haces vasculares. A temperaturas bajas o altas los procesos disminuyen o se paralizan, por tal motivo es necesario mantener las plántulas en un rango de temperatura de entre 24 y 27 °C. La humedad relativa permite que las células situadas en la periferia de la unión del injerto formen callo, con una humedad relativa de 90-100 % el callo es capaz de unir el injerto, mientras que con humedad relativa baja ocurre una deshidratación y suberización de las células del parénquima que forman el tejillo de callo, lo que inhibe su formación y aumenta la tasa de desecación de las células. El injerto depende de la superficie de contacto, de la técnica del injerto, del diámetro del tallo del portainjerto, variedad y de la disposición de los haces conductores (Miguel y Cebolla, 2005).

En algunos casos la aclimatación de las plántulas injertadas se desarrollada por muchos productores al introducir las plántulas en bolsas de plástico negro, para evitar la acumulación de calor, período donde permanecen mínimo siete días, durante el cual no se adiciona riego (Lee, 1994).

Las señales hormonales, en particular de auxinas, se cree que desempeñan un papel importante en la cicatrización de heridas y la regeneración vascular dentro de la zona unión del injerto (Goldschmidt, 2014). Comúnmente se ha observado un disturbio en la conformación de la orientación de los elementos vasculares, lo que conduce un cambio en el flujo normal de auxinas endógenas, las cuales juegan un rol fundamental en la diferenciación vascular (Soumelidou *et al.* 1994). Yin *et al.* (2012) demuestran la participación de la auxina en las primeras etapas de la formación de callo en la zona de unión del injerto.

En injertos de abeto Sitka, la adhesión entre las células de la púa y el portainjerto es ayudado por un "cemento" o material de unión, parecido al callo que contiene una matriz homogénea formada por una mezcla de pectina, hidratos de carbono, proteínas y ácidos grasos, y un componente de fibrillas y vesículas compuestas principalmente por hidratos de carbono y pectinas, así mismo se ha reportado que las proteínas PP1 y PP2 son sintetizadas en la reconocimiento y diferenciación de los elementos entre el complejo del transporte del floema, esta expresión de proteínas se relaciona con etapas definidas de diferenciación de floema (Pina y Errea, 2005). Por su parte López (2013) empleo los medios MS (Murashige y Skoog) al 100% de sus macrosales, el medio agua-agar (6 g L<sup>-1</sup>) más 6-bencil adenina y el medio agua-agar (6 g L<sup>-1</sup>), para lograr la unión del injerto del chile manzano sobre CM-334. Martínez (2014) realizó el injerto en "cámaras de prendimiento" donde mantuvieron los injertos por 20 días, posteriormente aclimataron las plántulas por siete días más en un invernadero, en ese período se mantuvo una radiación fotosintéticamente activa de 239-358  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 65 % de humedad relativa y temperatura de entre los 10-40 °C. Este proceso le permitió obtener plántulas injertadas de chile manzano sobre CM-334, después de 31 días.

Cookson *et al.* (2014) reportan a 1105 genes involucrados en el proceso de cicatrización del injerto, los cuales juegan un rol fundamental en la degradación y formación de la pared celular, organización celular, transcripción y regulación del ARN, receptores de estrés biótico, señalización de G-proteínas, etc.

## **2.8 Crecimiento secundario.**

### **2.8.1 Corteza secundaria**

#### 2.8.1.1. Descripción del Felógeno.

##### Origen

Estructuralmente la peridermis está compuesta de tres partes: el felógeno, súber o corcho y la felodermis (conecta con los tejidos de reserva). En muchos tallos el primer felógeno se origina del estrato de células de la sub-epidermis, y tan solo en unas pocas plantas el felógeno surge de la epidermis directamente (*Nerium olenader*) o del parénquima del floema secundario. En algunas ocasiones el felógeno se forma particularmente de la epidermis, particularmente de las células sub epidérmicas. En algunos otros el felógeno surge cerca de la región vascular o directamente del floema, así mismo el felógeno tiene una composición relativamente simple, ya que está compuesto de un solo tipo de células. Las células del felógeno son principalmente rectangulares aunque lagunas son radiales. En vistas longitudinales estas pueden ser de forma irregular. El felógeno se deriva de divisiones periclinales, en estas divisiones aparentemente no ocurre nada citológicamente (Esau, 1965).

##### Derivados

El felógeno forma hacia el interior células felodérmicas, aunque algunas no cuentan con este tipo de células y en otras este tejido está compuesto de una o más de tres estratos de células, el número de estratos de células felodérmicas puede variar dependiendo de la edad de la planta, así mismo origina hacia afuera células corchosas o suberizadas (Esau, 1965).

##### Funciones

La actividad cambial del felógeno lo clasifica como un meristemo dado que se producen nuevas capas consecutivas de felodermis y corcho (Lulai y Freeman, 2001 y Esau, 1965).

#### 2.8.1.2. Descripción de la corteza secundaria

##### Origen

La corteza secundaria es originada a partir de las células cambiales (procámbium) que producen hacia afuera floema secundario, este tejido se produce a partir de divisiones celulares iniciales cambiales tangenciales (periclinales). La formación de las células del floema inicia cuando las divisiones de la zona madre celular del xilema llegan a su máximo y continúa hasta que la actividad cambial termina (Esau, 1965).

##### Derivados

En la corteza secundaria se puede encontrar elementos cribosos (células acompañantes y tubos cribosos), células parenquimáticas, fibras y esclereidas. Las células acompañantes se originan al igual que los tubos cribosos de la misma célula meristemática. Las células parenquimáticas se caracterizan por ser células de almacenamiento de almidón, lípidos, taninos y resinas, además de otros materiales orgánicos. Las fibras son derivadas del procámbium o cámbium. En el cámbium las fibras surgen de células iniciales fusiformes. Otro derivado de la corteza secundaria es el floema no funcional, el cual se caracteriza por tener células de almacenamiento de almidón y taninos, esta no funcionalidad del floema se debe al colapso de las células del parénquima y células acompañantes, debido a una intensa esclerificación, particularmente por el desarrollado de fibras y esclereidas (Esau, 1965).

##### Funciones

La interpretación de la función depende del entendimiento correcto de su contenido celular, estudios fisiológicos demuestran que en el floema se mueven solutos orgánicos, así como la translocación de fotoasimilados (Esau, 1965).

### 2.8.1.3. Descripción del ritidoma

#### Origen

Este se desarrolla a partir de los estratos celulares del felógeno hacia afuera, las cuales al estar en contacto con el exterior se sellan con sustancias grasas y suberina. Este bloqueo requiere de condiciones externas óptimas, así como una mezcla adecuada de aire.

#### Derivados

Células del parénquima y fibras del corcho.

#### Funciones

Este tejido se caracteriza por contener fibras, las cuales son rígidas, por su característica de presentar pared engrosada, este tejido es una estructura de resistencia contra el ataque de plagas y enfermedades (Esau, 1965).

## **2.8.2. Continuidad tisular en la corteza secundaria**

### 2.8.2.1. 1<sup>ro</sup> con la función del cámbium vascular formando floema secundario.

El cámbium vascular es un meristemo lateral que forma el crecimiento secundario vascular. Se localiza entre el xilema y el floema. Son células iniciales fuciformes, uniseriadas, isodiamétricas y de tamaño pequeño, dichas células dan origen a células del floema al exterior del tejido, este crecimiento del floema da lugar a la formación de los elementos cribosos, fibras del parénquima floemático y esclereidas. El floema formado por divisiones tangenciales (periclinales) de células iniciales, inicia cuando las células de la zona madre del xilema llegan a su máximo y la actividad cambial de esta zona llega al final. El floema muestra características citológicas únicas, se puede clasificar en primario y secundario clasificados por el tiempo de aparición en relación al desarrollo de los órganos de las plantas. El floema primario se desarrolla inicialmente en el embrión (Esau, 1965).

Las células especializadas llamadas elementos criboso (células acompañantes y tubos cribosos), se caracterizan por presentar perforaciones que ayudan al movimiento de solutos a través de este tejido. Otros tejidos como fibras y parénquima floemático son encontrados en la corteza secundaria. Por su combinación de crecimiento intrusivo y simplástico las fibras pueden ser muy largas, con desarrollo de pared secundaria y lignificada en algunas ocasiones. El colapso de los elementos cribosos origina una disrupción en la conducción de sustancias, formando un floema no funcional, el cual se caracteriza por almacenar sustancias de reserva como almidón. Este crecimiento llega hasta la felodermis (Esau, 1965).

2.8.2.2. 2<sup>do</sup> con la función del felógeno formando felodermis cicatrizante hacia adentro y súber cicatrizante y aislante hacia afuera.

La formación de la peridermis es un fenómeno que ocurre en tallos y raíces, estructuralmente la peridermis está compuesto por tres partes; el felógeno o cámbium corchoso que produce súber o corcho hacia afuera, y felodermis hacia adentro. El felógeno es el principal componente de este crecimiento secundario, ya que este origina a los demás tejidos (Esau, 1965).



### III. CAPÍTULO 1. EFECTO DEL PORTAINJERTO CM-334 SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, CALIDAD DEL FRUTO Y FOTOSÍNTESIS NETA DE CHILE PIMIENTO

#### RESUMEN

En México, el pimiento morrón es la segunda hortaliza de exportación, con un volumen de producción de 675, 112 ton y un valor aproximado de 668 millones de dólares. Sin embargo, *Phytophthora capsici* constituye una seria limitante para su cultivo, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el porcentaje de prendimiento, el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis neta, el rendimiento y calidad de los frutos, obtenidos a partir de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar. Las plantas fueron cultivadas bajo el sistema de producción semi-forzada por seis meses, en un invernadero de mediana tecnología. Después del injerto, la tasa de sobrevivencia fue 85 y 86 % para los injertos de pimiento morrón sobre CM-334 y los autoinjertos respectivamente. El pimiento morrón sin injertar y el pimiento injertado sobre el portainjerto CM-334 obtuvieron el mismo crecimiento, rendimiento, calidad del fruto y fotosíntesis neta ( $p \leq 0.05$ ). Los valores promedio de las variables vegetativas y de rendimiento fueron similares en plantas injertadas en comparación con las plantas sin injertar. El uso del CM-334 como portainjerto de pimiento morrón es una alternativa viable para producción bajo un sistema a campo abierto, como en condiciones de invernadero, así mismo se recomienda emplear en ambientes con alta presión del patógeno y/o en sistemas donde existan posibilidades de una rápida diseminación de la enfermedad o el uso de fungicidas está restringido.

Palabras clave: Sistema de producción, injerto, *Phytophthora capsici*.

### III. CHAPTER 1. EFFECT OF THE ROOTSTOCK CM-334 UPON GROWTH, YIELD, FRUIT QUALITY AND NET PHOTOSYNTHESIS ON BELL PEPPER.

#### ABSTRACT

In Mexico, the bell pepper is the second vegetable export, with production volume of 675,000 ton and an estimate value of 668 millions of dollars. However, *Phytophthora capsici* is a serious limitation for its grow, so, the aim of this work it was to evaluate the percentage of grafting success, growth, net photosynthesis, yield and fruit quality obtained from bell pepper plants grafted on CM-334, self-grafted and ungrafted. These plants were grown under a half-forced system of production for seven months, in a low-media technology greenhouse. After the grafting, the survival rate was 85 and 86 % for the bell pepper grafted on CM-334 and self-grafted plants respectively. The ungrafted bell pepper and the bell pepper grafted on stock CM-334 had the same growth, yield fruit quality and net photosynthesis ( $p \leq 0.05$ ). The average values of the vegetative variables and yield were similar in grafted plants in comparison with the ungrafted plants. The use of CM-334 as rootstock of bell pepper is a viable alternative for the growing as in an open field system as in greenhouse conditions, also, it's recommended the use in environments with high incidence of the pathogen and/or in systems where there are possibilities of a quick spread of the disease or the usage of fungicides is restricted.

**Key words:** production system, graft, *Phytophthora capsici*.

### 3.1. Introducción

El análisis del crecimiento de las plantas en un enfoque explicativo, holístico, integrado ayuda a interpretar la forma y la función de la planta, este análisis utiliza datos primarios simples como peso, área, volumen y contenido de componentes en la planta (Hunt *et al.*, 2002), indicadores de crecimiento, fotosíntesis, contenido de clorofila *a* y *b* también son empleados para determinar el efecto de condiciones adversas en las plantas, ya sea por cuestiones bióticas o abióticas, como condiciones de estrés causadas por sales (NaCl), agua (hídrico), intensidad lumínica o bien para evaluar el uso de portainjertos (Voutsela *et al.*, 2012; Bachiega *et al.*, 2011; Wyzgolik *et al.*, 2008; Bethke y Drew, 1992).

El crecimiento y desarrollo son una combinación de muchos eventos a diferentes niveles, sin embargo el desarrollo puede ser definido como un orden de cambios o progresos a menudo hacia más alto, ordenado y hacia un estado más complejo. Así el desarrollo puede tener lugar sin el crecimiento y el crecimiento sin desarrollo, pero a menudo combinados en un solo proceso. El desarrollo implica cambios, los cuales pueden ser graduales o muy abruptos. Ciertamente eventos importantes de desarrollo como la germinación, floración o senescencia resultan de pronto en un importante cambio en el patrón de vida o el crecimiento de una planta (Bidwell, 1993).

El pimiento posee un elevado valor nutritivo, ya que es fuente de un elevado contenido de vitamina A, B, C y E, y minerales como molibdeno, manganeso, potasio, ácido fólico, fibra y una elevada cantidad de antioxidantes (Kothari *et al.*, 2010). La calidad del fruto de pimiento morrón se ve afectada por las características genéticas del fruto, suelo (nutrición), manejo del cultivo, temperatura, humedad relativa, madurez al corte y manejo del producto después de la cosecha (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

Así mismo la técnica del injerto puede influenciar positiva o negativamente la calidad del fruto (Chávez-Mendoza *et al.*, 2013). Al igual que la fotosíntesis varía dependiendo de la ontogenia de la planta, especie y dentro de la misma especie, por ejemplo mediciones de fotosíntesis neta en plantas injertadas de Chile (*C. annuum*) fueron empleadas para identificar las plantas tolerantes al estrés hídrico, los resultados indicaron que el portainjerto CM-334 no afecta dicho parámetro (Penella *et al.*, 2014).

En México las condiciones de producción son heterogéneas, y pueden ir desde invernaderos de vidrio de alta y mediana tecnología, hasta instalaciones económicas como son los bio-espacios o casas sombras. Sin embargo, independiente del nivel tecnológico del invernadero, son múltiples los factores que, procedidos de diferentes prácticas agronómicas del cultivo, se manifiestan en la nutrición de la planta y en la cantidad y la calidad de la producción (Muñoz, 2004). Es por ello que existen tecnologías de postcosecha que han sido ampliamente utilizadas para aminorar los problemas de almacenamiento y para modificar el comportamiento fisiológico de frutas y hortalizas, para lograr así una mayor calidad y durabilidad para su comercialización, es así como otros factores y no menos importantes son empleados para determinar el mejor tiempo de cosecha y obtener mejores índices de calidad como °Brix, color, firmeza, número de semillas, forma y grosor de pericarpio, los cuales además brindan un mejor conocimiento y auxilian en el retraso o deterioro fisiológico de la fruta (Loyola y Areola, 2012).

### **3.2. Objetivos particulares**

Evaluar el porcentaje de prendimiento de las plántulas de chile pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas.

Evaluar el crecimiento de plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334 (*Capsicum annuum* L.), autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Observar anatómicamente la conexión del patrón con el pimiento injertado.

Evaluar la fotosíntesis neta de las plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334 para determinar la funcionalidad de los mismos.

Evaluar el rendimiento de las plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Evaluar la calidad del fruto (°Brix, firmeza, grosor de pericarpio, número de semillas y color) del chile pimiento obtenido a partir de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

### 3.3. Materiales y Métodos

#### 3.3.1. Material vegetal y sitio experimental

Se empleó pimiento rojo variedad Zidenka (Rijk Zwaan®) (*Capsicum annuum* L.) como púa y la línea homogénea de chile serrano Criollo de Morelos no. 334 (CM-334, *Capsicum annuum* L.) como portainjerto, obtenida por López (2013), por medio de agrupaciones con el coeficiente de Nei and Li Dice (1979) generados del análisis de la matriz de datos binarios decodificados a partir perfiles de la Amplificación Aleatoria del DNA Polimórfico (RAPD, por sus siglas en inglés). El cual utilizó la agrupación que incluyó el mayor número de individuos para llevarlos al invernadero en donde se multiplicaron por tres generaciones consecutivas por autopolinización, siendo las semillas de la tercera generación las que se utilizaron para realizar la caracterización morfológica y molecular.

El experimento se realizó en un invernadero del campo experimental del Campus Montecillo, del Colegio de Postgraduados, Estado de México, a 98° 54' 11" longitud oeste y 19° 27' 38" de latitud norte.

#### 3.3.2. Manejo de plántula en almacigo

Se sembraron 150 semillas de chile pimiento y 150 semillas de chile CM-334, en charolas de polietileno negro de 50 cavidades con turba orgánica (peat moss) marca premier como sustrato. El portainjerto fue sembrado siete días antes que el pimiento para hacer coincidir los tallos de la variedad/portainjerto. Las plántulas se fertilizaron con 3 g de triple 16 por charola, cada cinco días a partir de la emergencia, la cual ocurrió en los dos materiales a los 7 días después de la siembra. La fertilización de los materiales se realizó hasta un día antes del injerto.

Cuadro 2. Fechas de siembra del chile pimiento y del CM-334 para sincronizar el injerto.

Fecha de siembra	Material vegetal
7 de diciembre	CM-334
14 de diciembre	Pimiento

### **3.3.3. Método de injerto**

El injerto del chile pimiento sobre CM-334 y autoinjerto, se realizaron a los 67 dds. El injerto del pimiento sobre el CM-334 y el autoinjerto se realizó cuando las plántulas del pimiento tenían entre cinco y seis hojas verdaderas y cuando el diámetro del tallo del portainjerto y variedad a injertar era de entre 1.5 y 2 mm. Para realizar el injerto del pimiento sobre CM-334, a las plántulas de pimiento se les corto aproximadamente 5 o 6 cm del tallo, hasta dejar una púa con un diámetro en su base del tallo de 1.5 a 2 mm.

Las plántulas se injertaron por el método de empalme descrito por Lee y Oda *et al.* (2003) con el uso de clips o pinzas de silicona de 1.5 y 2 mm de diámetro. Antes de realizar el injerto, las plántulas de ambos materiales fueron regadas. Las plántulas del portainjerto y la variedad fueron cortadas por encima de los cotiledones en ángulo de 45° con navaja de rasurar. La variedad injertada se defolió, dejando únicamente dos hojas verdaderas. Posteriormente, las plántulas fueron llevadas a la cámara de aclimatación.

### **3.3.4. Fase de aclimatación del injerto en cámara e invernadero**

La fase de aclimatación del injerto de pimiento, se llevó a cabo en una cámara de crecimiento con ambiente controlado, donde pasaron dos días en obscuridad total y cuatro días con intensidad lumínica de  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a temperatura constante de 20 °C, seguido de siete días a una intensidad lumínica de  $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y temperatura de 25/18°C (día/noche); durante los periodos con luz se utilizó un fotoperiodo de 12 h. Posteriormente, los injertos fueron trasladados a un invernadero rústico con cubierta plástica para continuar su aclimatación, durante seis días, con una temperatura de entre 15-35 °C, una humedad relativa de entre 60 y 75 % e intensidad lumínica con malla sombra de 90, 85 y 60 %. Dando un total de 17 días para el injerto Pimiento/CM-334 y Pimiento/Pimiento.

### **3.3.5. Manejo agronómico**

Las plántulas injertadas, autoinjertadas y sin injertar fueron trasplantadas 13 días después de ser sacadas del invernadero de aclimatación, en macetas de polietileno negro de 10 L, en una mezcla de tezontle y turba como sustrato en relación 2:1 (v/v).

El cultivo fue fertirrigado con solución nutritiva Steiner al 50 % durante los primeros siete días del trasplante y durante el resto del experimento se utilizó al 100 %. El riego fue aplicado diariamente, en cantidad promedio de 1 L de solución nutritiva por maceta. Se empleó una malla sombra del 70 % para obtener  $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de intensidad lumínica. Las plántulas fueron conducidas a dos tallos. A las plántulas se les eliminó la flor de la primera bifurcación y segunda flor de cada tallo.

### 3.3.6. Microtecnica Vegetal

Después de 125 días de ser trasplantadas las plantas, se muestreo una planta de los injertos Pimiento/CM-334 y Pimiento/Pimiento, para realizar la microtecnica. El tallo de cada planta muestreada fue cortado 0.5 cm por encima y por debajo de la zona de unión del injerto con pinzas de podar, para extraer un trozo de aproximadamente 1 cm de largo (Figura 1). Posteriormente al trozo obtenido se le realizó un corte longitudinal-tangencial, con nava cutter y se introdujo en FAA (Formol-Acético-Alcohol-FAA). Para proceder a realizar la microtecnica.



Figura 1. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto Pimiento/CM-334 para realizar la microtecnica.

Para la obtención de los cortes anatómicos, de las plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, en la Figura 2, imágenes a, b, c, d y e, se describe dicho procedimiento.

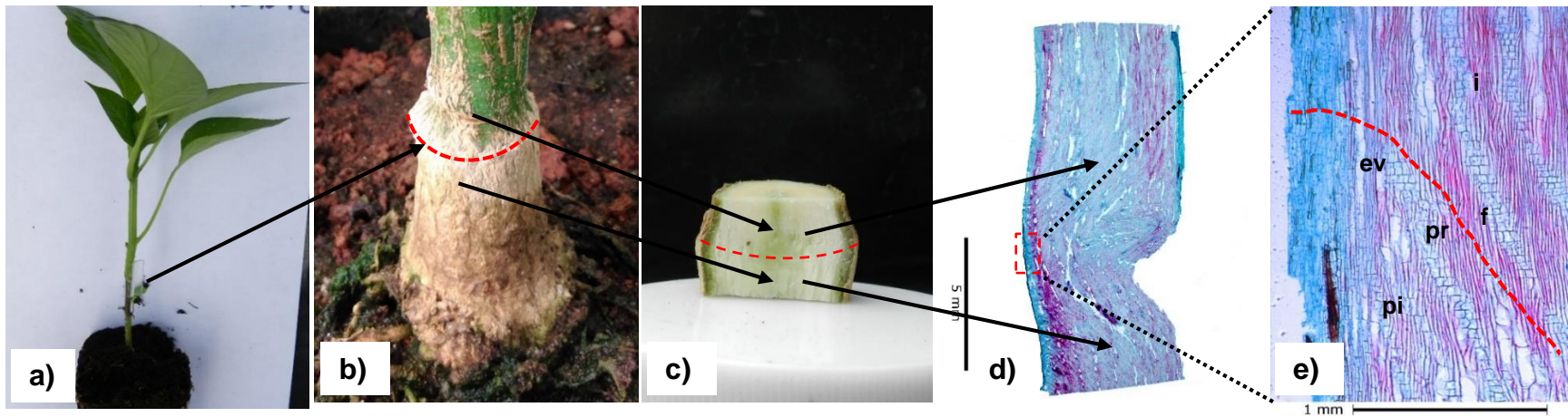


Figura 2. Plantas injertadas y cortes anatómicos de chile pimienta sobre CM-334, obtenidos después de 125 ddi.

a) Plántula de chile pimienta injertada sobre CM-334; b) Zona de unión del injerto de chile Pimiento/CM-334; c) Corte del tallo en la zona de unión del injerto de la planta de chile Pimiento/CM-334; d) Preparación del corte anatómico del injerto Pimiento/CM-334 y e) Corte anatómico de la zona de unión del injerto Pimiento/CM-334.



El procedimiento para preparar los cortes fue el mencionado por Sandoval (2005) y Sass (1951 y 1968):

1.- De la muestra original se tomó una sección de 1 cm de longitud, la cual se colocó por 12 h en un recipiente con fijador de tejidos vegetales (Formol-Acético-Alcohol-FAA), a concentración de 5% ácido acético, 10% formaldehído, 52% alcohol etílico al 96% y 33% agua, posteriormente se lavó con agua corriente por 10 min, seguido de ello, la muestra se deshidrató en los siguientes solventes por seis horas en cada uno, a).- Alcohol al 30%, b).-Alcohol al 50%, c).- Alcohol al 70%, d).- Alcohol al 85%, e).- Alcohol al 100%, f).- Alcohol al 100%, g).- Alcohol 50% y xileno 50%, h).- Xileno absoluto, i).- Xileno absoluto y j).- Xileno absoluto.

2.- Se colocó parafina fundida caliente (60-65 °C) en un recipiente de aluminio, seguido de ellos se introdujo la muestra en orientación longitudinal-radial por 12 h, (hasta dejar solidificar la parafina), la muestra se colocó y pegó con parafina en bloques de madera, para cortar las esquinas y darle forma de una pirámide, y proceder a realizar cortes de 20 µm en el micrótomo.

3.- Obtenidos los cortes, estos se adhieren al portaobjetos agregando dos gotas de adhesivo de cromo al portaobjetos, posteriormente se coloca una platina caliente (58-60 °C) hasta que la parafina se expande y se deja escurrir por 20 min.

4.- Las muestras se colocaron en la platina caliente por 12 h, para ser desparafinadas en vasos con las siguientes soluciones a) xileno absoluto, b) xileno absoluto, c) xileno absoluto, d) alcohol al 100 %, e) alcohol al 100 %, f) alcohol al 85 %, g) alcohol al 70 % y h) alcohol al 50 %.

5.- Posteriormente se tiñen las muestras en safranina (0.05 g safranina, 2 g sal de mar o gruesa y 100ml de agua destilada) y verde fijo 0.12 % (3 % verde fijo o verde rápido, 100 ml de alcohol al 70 % etílico o isopropílico, de este compuesto se toman 10 ml y se afora a 250 ml con alcohol etílico o isopropílico al 96 %, quedando una solución de uso al 0.12 %), para lo cual se deja la muestra en safranina por 12, posteriormente se aplicó alcohol al 50, 70, 85 y 100 %, se agregó verde fijo durante 10 s y se vertió el exceso, se empleó nuevamente alcohol al 100 % en dos ocasiones y se vertió xileno absoluto por

tres más, para finalmente aplicar unas gotas de resina en el portaobjetos el cual fue cubierto con el cubreobjetos y se dejó secar por 12 h, en la platina caliente.

### **3.3.7. Variables de estudio**

El porcentaje de prendimiento del injerto, fue evaluado después de la fase de aclimatación en invernadero.

Vegetativas. Estas variables se registraron cada siete ddt a partir del séptimo día hasta los 91 ddt. Posteriormente se registró el último dato a los 159 ddt. Las variables fueron: incremento de altura de la planta (IAT, cm), medida desde la base del tallo al extremo distal en su primera medición, posteriormente los incrementos de crecimiento a la siguiente evaluación hasta los 91 ddt, haciendo la última medición a los 159 ddt; incremento del diámetro del tallo del portainjerto (IDT, cm), medido a 1 cm por debajo de la zona de unión del injerto; incremento del diámetro de tallo en la unión del injerto (IDTU, mm), medido a los 21 ddt; incremento del diámetro del tallo de la variedad (IDTV, mm), medida a 1 cm por encima de la zona de unión del injerto.

Parámetros fotosintéticos. Radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire, evaporación, temperatura de la hoja y fotosíntesis neta (FN), fueron registradas con el equipo portátil PP Systems modelo TPS2. Las mediciones tomadas se realizaron a los 90, 106, 110 y 136 ddt, a partir de las 11:30 h.

Los parámetros fotosintéticos en su primera evaluación del chile pimienta fue a los 90 ddt, en la hoja madura más próxima al ápice de la planta, la segunda medición fue a los 106 ddt, ambas mediciones correspondieron a la etapa de fructificación (amarre, crecimiento y maduración de frutos), en su tercera medición a los 110 ddt correspondió al inicio de cosecha y la cuarta correspondió a los 136 ddt cuando en el experimento se terminaba el periodo de cosecha.

Anatomía vegetal. Los cortes anatómicos de la zona de unión del injerto Pimiento/CM-334, fueron analizados con el fotomicroscopio Carl Zeiss III del laboratorio de morfología de insectos, del postgrado de fitopatología del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Se empleó el programa Gimp para el procesamiento de las imágenes.

Rendimiento: La evaluación del rendimiento y calidad de los frutos de chile pimiento, se realizó mediante la cosecha de frutos maduros, cuando estos tenían entre 75 y 80 % del color característico del fruto, rojo en caso del chile pimiento. El rendimiento total expresado en kg/planta, fue determinado cuando se cosecharon los frutos de 32 plantas que conformaban cada tratamiento, durante ocho semanas de corte.

La clasificación de los frutos de chile pimiento rojo var. "Zidenka", fue realizada en base a la característica de peso establecida por la marca México Calidad Suprema (SAGARPA-ASERCA-BANCOMEXT-SE, 2005).

Los frutos fueron llevados a los laboratorios de fisiotécnia vegetal y de postcosecha de frutales de los postgrados en Fisiología vegetal y Fruticultura, del Colegio de Postgraduados, para determinar el color, la firmeza, el número de semillas y lóculos, el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y grosor del pericarpio.

El peso de los frutos fue medido en una báscula electrónica Marca NOVAL modelo TH-I-EK, así mismo para los parámetros de longitud y ancho de los frutos fueron medidos con un vernier digital marca TRUPER, modelo CALDI-6MP. Las variables mencionadas anteriormente se tomaron de 50 frutos de cada uno de los diferentes tratamientos evaluados.

La determinación de color se realizó mediante un colorímetro por reflexión, con el equipo Hunter Lab, el cual se basa en el empleo de funciones trigonométricas. Una rueda de color dividida en 360°; con rojo púrpura situado en el extremo derecho en el ángulo cero; el amarillo en 90°; el verde-azul en 180° y el azul en 270°, el colorímetro, indicó el cambio de coloración en el fruto en tres direcciones: L, a, b, las cuales marcan los cambios de brillantez (L; mide la oscuridad y luminosidad, a; representa al rojo si es positivo y verde si es negativo y b; representa el amarillo si es positivo y azul si es negativo. La medición se realizó en un pequeño círculo que se marcó en la parte ecuatorial del fruto dos veces para obtener un valor promedio (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010). Las lecturas de "a" y "b" obtenidas del equipo Hunter Lab, fueron procesadas para calcular los valores c (croma) y h (ángulo del tono) respectivamente, para lo cual se empleó el programa estadístico The SAS (Stadistics Analisis System) para Windows 9.0.

La firmeza fue determinada por penetración con puntal cónico de 0.8 mm, con el texturómetro universal marca Force Five modelo FDV-30. La medición de este parámetro se realizó tomando dos mediciones por fruto de chile en la zona ecuatorial para obtener un valor promedio.

La valoración del contenido de sólidos solubles totales (SST), se realizó por medio de un refractómetro, con el equipo portátil PAL-1 (Atago) con escala de 0-53 % el cual expresa los resultados como °Brix. La medición de la muestra fue tomada a temperatura ambiente (23 °C). Para obtener los valores del contenido de SST, se colocaron tres gotas de jugo, por dos ocasiones, en la cara de separación del prisma, para obtener un promedio (Márquez, 2009)

El grosor de pericarpio se midió en la zona ecuatorial del fruto, para lo cual los chiles se cortaron dicha zona. Posteriormente el grosor del pericarpio se midió con un vernier electrónico Truper® modelo CALDI-6MP.

El número de semillas por fruto se contabilizó de forma manual. Para determinar este parámetro, a los frutos cortados de chile pimiento se les retiraron las semillas de la placenta.

El número de lóculos fue contabilizado una vez que el fruto fue cortado en la parte ecuatorial perpendicular a la placenta, para para no cometer errores ya que en algunas ocasiones los septos no se pueden observar adecuadamente.

### **3.4. Diseño experimental**

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con 32 repeticiones. Se evaluaron tres tratamientos: Pimiento/CM-334; Pimiento/Pimiento y Pimiento sin injertar y se consideró a una planta como una unidad experimental.

### **3.5. Análisis estadístico**

Se utilizaron seis repeticiones para las variables vegetativas y cinco para determinar los parámetros fotosintéticos, considerando como una repetición una planta. Para las variables de calidad se utilizaron diez repeticiones por tratamiento. Para determinar las

diferencias de rendimiento se empleó la prueba de t de Student ( $p \leq 0.05$ ). Los datos fueron analizados con el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) del programa estadístico SAS System 9.0. En tanto para determinar las diferencias significativas del porcentaje de prendimiento, se empleó la prueba de Chi-cuadrada, con ajuste de Bonferroni ( $p \leq 0.004$ ).

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Porcentaje de prendimiento

La evaluación del porcentaje de prendimiento de las plantas injertadas, debe de incluir en su estudio el tratamiento del autoinjerto (homoinjertos), ya que estos ayudan a diferenciar el efecto del injerto, de la respuesta que generalmente produce la combinación injerto/portainjerto (Olmstead *et al.*, 2006). En nuestros resultados el porcentaje prendimiento del injerto del pimiento sobre CM-334 fue de 85 %, mientras que para las plantas autoinjertadas de pimiento el porcentaje de prendimiento fue de 86 % (Cuadro 3). Los resultados de prendimiento de los injertos de chile pimiento, coinciden con lo reportado por Osuna *et al.* (2012), los cuales obtuvieron valores de 88 y 94 %, en plantas injertadas de chile de la misma especie (*C. annuum*), por su parte Martínez (2013), reporta valores de prendimiento para injertos de chile de la misma especie de 78 % (cv. Cannon/CM-334) y para autoinjertos (cv. Cannon/cv. Cannon) valores de 92 %.

M'Hamdi *et al.* (2010) reportaron para injertos de chile pimiento diferencias en el porcentaje de prendimiento entre los tipos de injertos evaluados, con 28 % en el de aproximación, 74 % en el de hendidura y 89 % con el de inserción. Por otro lado, en España Rojas y Rivero (2002) consiguieron un 90 % de prendimiento, al utilizar el injerto de aproximación y entre el 60 y 70 % con el injerto de púa en chile (no mencionan la especie), lo cual indica que el porcentaje de prendimiento no depende de la interacción vegetal patrón/injerto, para chiles de la misma especie *C. annuum* L. sino que depende del tipo de injerto empleado.

En este experimento, las semillas del portainjerto CM-334 provenían de una línea homogénea, al igual que las semillas del chile pimiento, por lo que es probable que la homogeneidad del material haya influido en un mayor porcentaje de prendimiento.

Katoh *et al.* (2004) mencionan que las diferencias entre los diámetros de los tallos causan una baja tasa de supervivencia durante la aclimatación en plantas injertadas de pimiento, y causa la defoliación del injerto y afecta la translocación de agua entre los tallos. Así mismo los resultados de supervivencia pueden verse limitados por el genotipo, la técnica y la habilidad del injertador o por las condiciones ambientales, por ejemplo Acosta (2005) reporta que para que la unión del injerto en Chile sea exitosa se necesita una temperatura de entre 25 y 27 °C, una humedad relativa entre 80 y 100 %, un ambiente rico en oxígeno y que el patrón este en crecimiento activo, sin embargo en este estudio el prendimiento se logró a temperaturas de entre 25.8 y 19.2 °C (día/noche) por 13 días y una humedad relativa entre 42.7 y 98.6 %, mencionado lo anterior se puede considerar que el porcentaje de prendimiento en este experimento es bueno, ya que se encuentra dentro del rango óptimo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentajes de prendimiento para plantas de Chile pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas.

Tratamiento	Total de injertos	% de prendimiento
Pimiento/CM-334	41	85 a <sup>z</sup>
Pimiento/Pimiento	43	86 a
$\chi^2 = 2.876; p = 0.089$		

<sup>z</sup> Medias con letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Bonferroni,  $p \leq 0.004$ ).

#### 4.2. Altura de las plantas

En la Figura 3, se observa la altura de las plantas de pimiento injertadas, autoinjertadas y sin injertar, en dicha figura se puede apreciar que las alturas de las plantas son similares, sin embargo los datos muestran que las de menor tamaño siempre son las injertadas con el CM-334, seguido de las plantas autoinjertadas, resultado que fue causado debido a la sección del tallo que se les quitó cuando se realizó el injerto.

Los análisis estadísticos para el incremento de altura de las plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar en las semanas 1, 8, 13 y 23 dt indican que las plantas incrementan su tamaño de manera similar, así mismo se puede

observar que en la semana 13 dt las plantas de pimienta sin injertar incrementan su tamaño 50 %, comparado con el incremento obtenido de las plantas de pimienta injertadas sobre CM-334. La altura final de las plantas de pimienta injertadas sobre CM-334 obtuvieron una altura de 13 y 5 % menor que las plantas de pimienta sin injertar y autoinjertadas respectivamente (Cuadro 4).

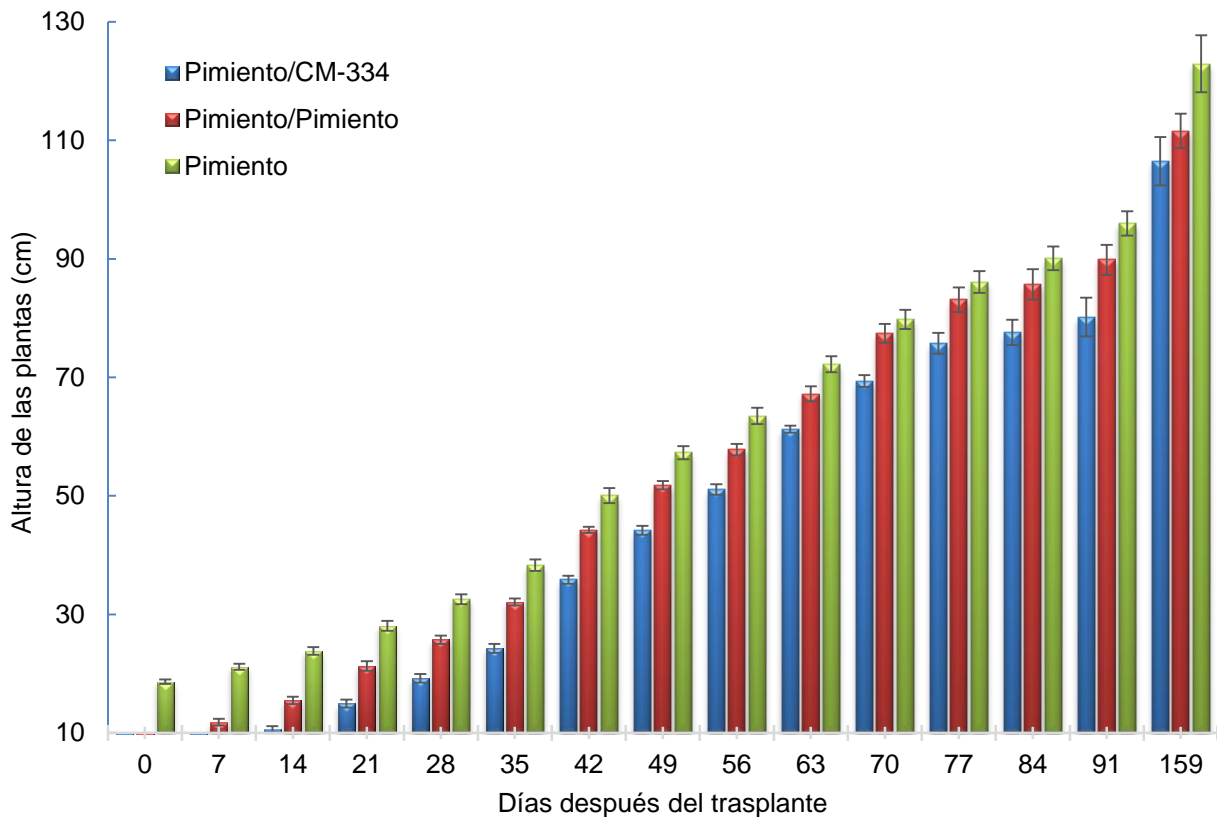


Figura 3. Dinámica de crecimiento las plantas de pimienta injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a 159 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

El crecimiento de las plantas está influenciado por varios factores como las condiciones climáticas, la nutrición y la actividad hormonal, los cuales están relacionados con diferentes procesos fisiológicos. Los resultados obtenidos para las variables vegetativas (IAP, IDTP, IDTU e IDTV), coinciden con lo reportado por Voutsela *et al.* (2012), los cuales mencionan que estas variables no se modifican aun y cuando las plantas son injertadas y manejadas tanto en campo abierto, como en invernadero.

Martínez (2013) reporta que las plantas injertadas de pimiento disminuyen su crecimiento 19 %, lo cual no coincide con los resultados obtenidos en este experimento, ya que las plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334 mostraron el mismo incremento o ganancia de altura comparadas con las plantas sin injertar, con una diferencia final de altura entre estas plantas de 16 cm, sin embargo esto puede ser atribuido al injerto, ya que cuando se realizó el injerto de Pimiento/CM-334, se les quito aproximadamente 5-6 cm, para hacer coincidir el diámetro del tallo del portainjerto con el injerto.



Cuadro 4. Altura de la planta y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	AP	IAP	AP	IAP	AP	IAP	AP	IAP	AF
	cm								
	SDT								
	0	1	7	8	12	13	13	23	23
Pimiento/CM-334	6.3±1.3	2.3±0.7a <sup>z</sup>	44.1±3.8	6.9±3.0a	77.6±6.8	2.6±1.6b	80.1±7.1	26.3±11 a	106.5±16
Pimiento/Pimiento	8.6±1.9	3.1±0.6a	51.8±2.4	6.0±1.1a	85.6±8.9	4.1±2.2ab	89.8±8.8	21.7±9.6a	111.6±10
Pimiento	18.6±1.5	2.1±0.8a	56.9±2.6	6.2±1.2a	89.7±7.3	5.2±4.5a	95.6±11.3	26.9±6.9a	122.6±14
Media		2.5		6.4		4.2		25.0	
CV %		41		30.8		71.9		46.2	

AP: Altura de la planta; IAP: Incremento de altura de la planta; AF: Altura final; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 4.3. Crecimiento en diámetro del tallo de los portainjertos y variedad sin injertar.

En cuanto al diámetro del tallo de los portainjertos CM-334 y pimiento, en la Figura 4, se observa una dinámica de crecimiento similar, sin embargo al final de las evaluaciones el diámetro del tallo de las plantas de pimiento sin injertar tiene 2 mm menos que el diámetro tallo del portainjerto de pimiento, y 1 mm menos que el diámetro del tallo del portainjerto CM-334.

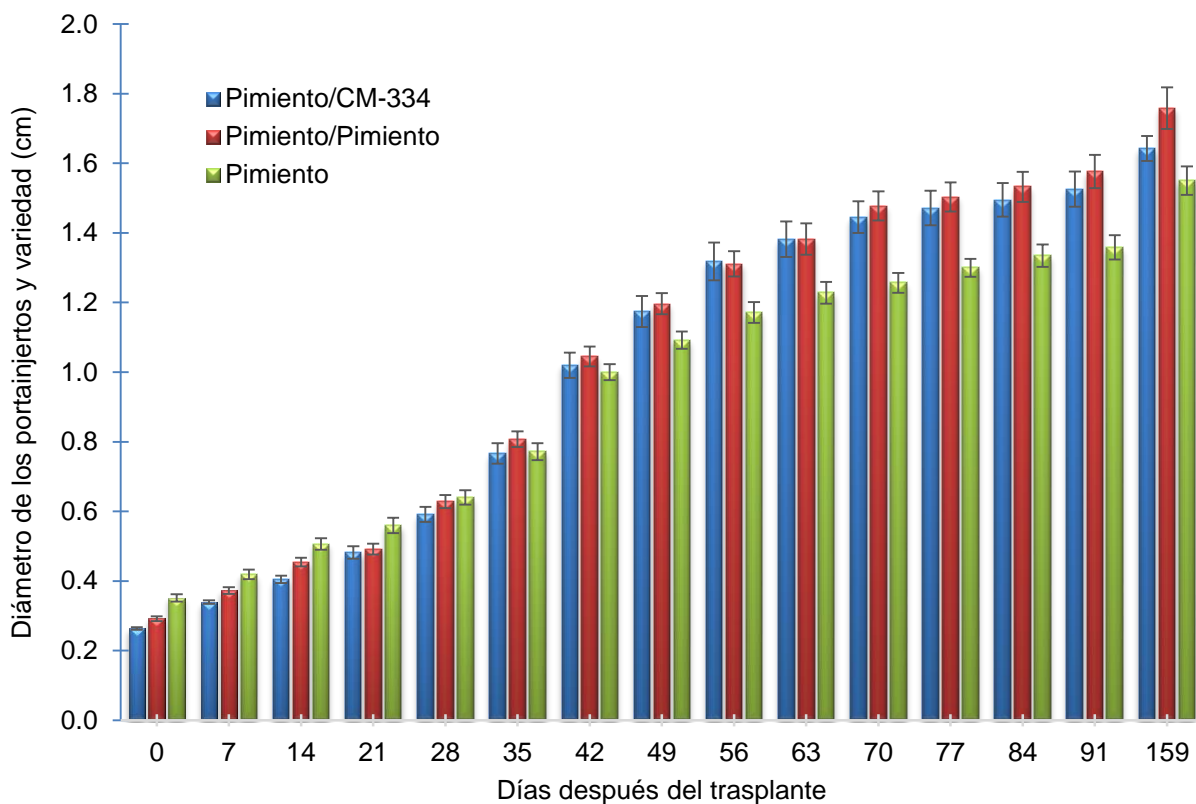


Figura 4. Diámetro del tallo de los portainjertos y variedad sin injertar a los 159 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

En el Cuadro 5 se muestran las medias estadísticas para el incremento del diámetro del tallo del portainjerto y variedad sin injertar en las semanas 1, 8, 13 y 23 dt, en dicho cuadro, se puede observar que solo en la semana 8 dt hay diferencias estadísticas, siendo el diámetro del tallo de los portainjertos CM-334 y pimiento mayores en 40 y 35 %, respecto al diámetro del tallo del pimiento sin injertar (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Hernández (2010) al evaluar los portainjertos de calabaza, chilacayote, estropajo y pepino en una variedad de pepino, reporta diferencias estadísticas significativas para el diámetro del tallo del portainjerto, y menciona que el portainjerto de calabaza es el que produce un mayor crecimiento, seguido del portainjerto del chilacayote, pepino y por último el portainjerto del estropajo, estos resultados fueron asociados al vigor de cada material vegetal. Al respecto, en nuestros resultados del diámetro del tallo de los portainjertos (CM-334 y pimiento) y del pimiento sin injertar muestran el mismo crecimiento, esta característica, confiere para la variable diámetro del tallo de pimiento injertado sobre CM-334 y pimiento, que crezcan y se desarrollen de igual manera (Figura 6).

Cuadro 5. Diámetro del tallo de los portainjertos y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DTF
	cm								
	SDT								
	0	1	7	8	12	13	13	23	23
Pimiento/CM-334	0.26±0.01	0.08±0.03a <sup>z</sup>	1.3±0.1	<b>0.13±0.05a</b>	1.5±0.1	0.03±0.03a	1.5±0.1	0.12±0.11a	1.6±0.1
Pimiento/Pimiento	0.29±0.02	0.08±0.04a	1.3±0.1	<b>0.12±0.03a</b>	1.5±0.1	0.04±0.03a	1.5±0.1	0.17±0.11a	1.7±0.2
Pimiento	0.35±0.04	0.07±0.06a	1.2±0.1	0.08±0.04b	1.3±0.1	0.02±0.05a	1.4±0.1	0.19±0.17a	1.5±0.1
Media		0.07		0.11		0.03		0.16	
CV %		58.6		37.6		120		81.5	

DT: Diámetro del tallo; IDT: Incremento del diámetro del tallo; DTF: Diámetro del tallo final; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.4. Crecimiento en diámetro del tallo en la zona de unión de los injertos.

En la Figura 5, se puede observar la dinámica de crecimiento para el diámetro del tallo en la zona de unión de los injertos (Pimiento/CM-334 y Pimiento/Pimiento). En dicha figura se puede apreciar un desarrollo similar, el diámetro del tallo de la zona de unión de los injertos varió de 0.02 a 0.2 mm por semana.

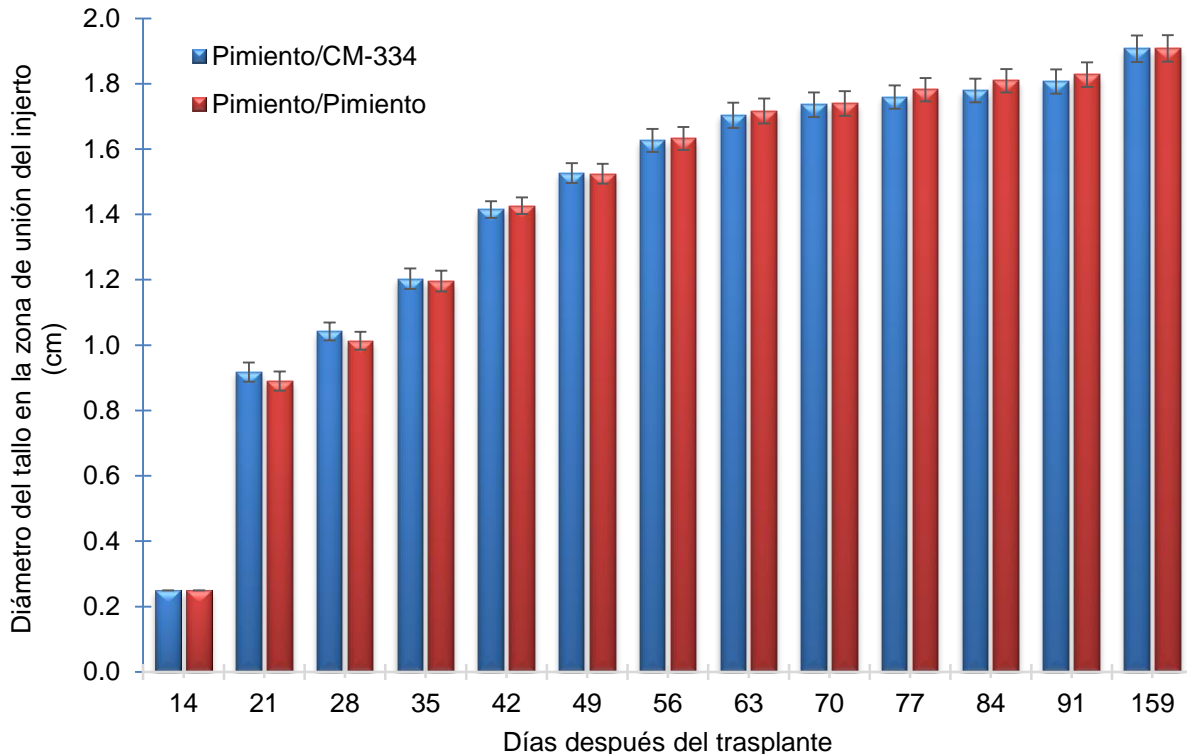


Figura 5. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto de chile pimiento sobre CM-334 y autoinjertado a los 159 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

Para la variable diámetro del tallo en la zona de unión del injerto de pimiento con CM-334 y del autoinjerto en el Cuadro 6, se puede observar que para ninguna de las semanas en las que se realizó el análisis estadístico se obtienen diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). En este experimento el incremento del diámetro del tallo en la zona de unión, coinciden con los resultados obtenidos por González *et al.* (2006). Así mismo se puede observar que el diámetro del tallo de las plantas de pimiento sin injertar, al término del experimento son menores en 21 %, comparado con el diámetro del tallo de las plantas

pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas.

Cuadro 6. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 3, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	DTU	IDT	DTU	IDT	DTU	IDT	DTU	IDT	DFT
	cm								
	SDT								
	0	3	7	8	12	13	13	23	23
Pimiento/CM-334	0.2±0.01	0.6±0.1a <sup>z</sup>	1.5±0.1	0.1±0.04a	1.7±0.1	0.02±0.04a	1.8±0.1	0.10±0.05a	1.9±0.1
Pimiento/Pimiento	0.2±0.01	0.6±0.06a	1.5±0.1	0.1±0.04a	1.8±0.1	0.02±0.02a	1.8±0.2	0.08±0.08a	1.9±0.1
Pimiento	0.35±0.04	0.07±0.06	1.2±0.1	0.08±0.04	1.3±0.1	0.02±0.05	1.4±0.1	0.19±0.17	1.5±0.1
Media		0.6		0.1		0.02		0.09	
CV %		12		36		122		71	

DTU: Diámetro del tallo en la unión del injerto; IDT: Incremento del diámetro del tallo de la unión del injerto; DFT: Diámetro final del tallo; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.5. Crecimiento en diámetro del tallo de la variedad injertada

En la Figura 6 se presenta la dinámica de crecimiento de los diámetros de los tallos del pimiento injertado sobre CM-334 y del pimiento autoinjertado, en dicha figura se puede observar que los diámetros de los tallos de pimiento son similares. El diámetro del tallo del pimiento injertado sobre CM-334 es 0.16 cm menor, que el diámetro del tallo de pimiento autoinjertado, el cual obtuvo un diámetro final de 1.46 cm.

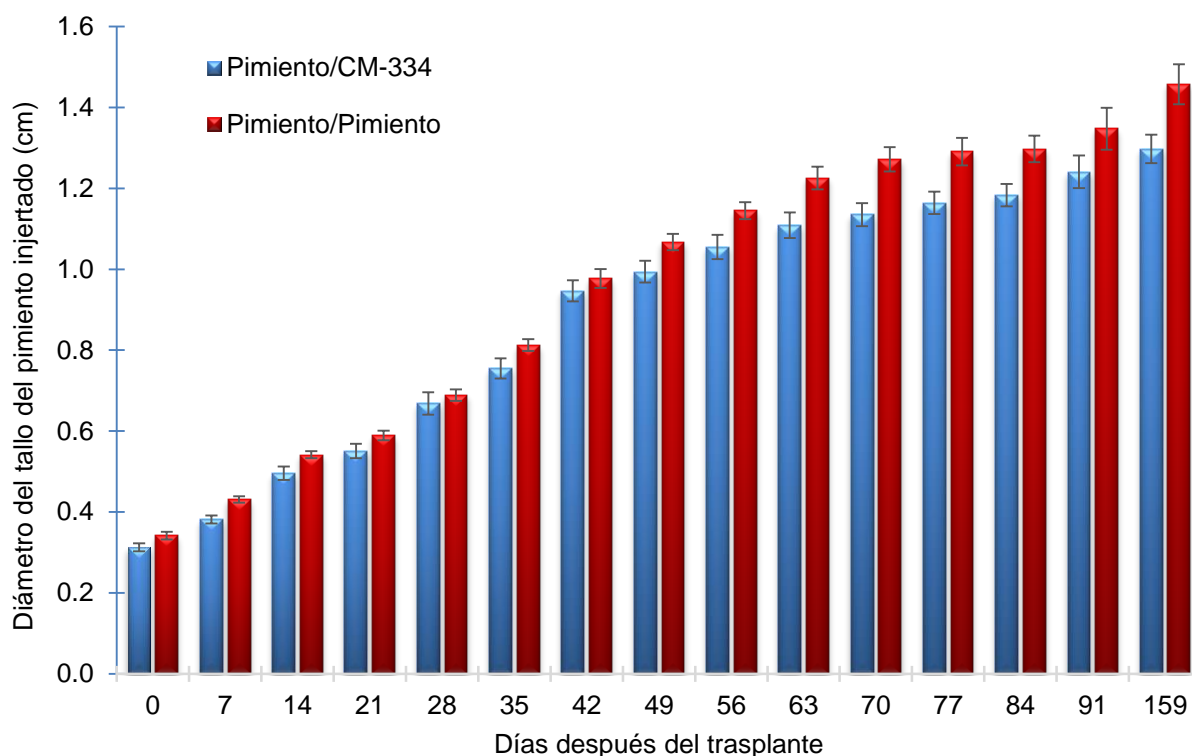


Figura 6. Diámetro de los tallos de la variedad injertada a los 159 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

En el Cuadro 7 se presentan las medias estadísticas para el incremento del diámetro del tallo de la variedad injertada, en dicho cuadro se puede observar que para ninguna de las semanas en las que se realizó el análisis estadístico hay diferencias estadísticas significativas.

Para la variable incremento del diámetro del tallo de la variedad injertada, se reporta que esta característica está asociada al vigor que confiere el patrón el cual proporciona agua y nutrientes en cantidad suficiente como lo demanda la variedad injertada (Ruiz *et al.*, 1997). Nuestros resultados para esta variable indican que el diámetro del tallo del pimiento injertado sobre el CM-334, crece y se desarrolla de forma similar que cuando se autoinjerta.

Cuadro 7. Diámetro del tallo y su incremento consecutivo de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 23, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DTF
	cm								
	SDT								
	0	1	7	8	12	13	13	23	23
Pimiento/CM-334	0.3±0.03	0.07±0.03a <sup>z</sup>	1.0±0.09	0.06±0.04a	1.1±0.1	0.05±0.1a	1.2±0.1	0.05±0.1a	1.3±0.1
Pimiento/Pimiento	0.3±0.03	0.09±0.03a	1.0±0.07	0.07±0.04a	1.3±0.1	0.05±0.1a	1.3±0.1	0.11±0.1a	1.4±0.1
Pimiento	0.35±0.04	0.07±0.06	1.2±0.1	0.08±0.04	1.3±0.1	0.02±0.05	1.4±0.1	0.19±0.17	1.5±0.1
Media		0.07		0.07		0.05		0.08	
CV %		40		56		197		80	

DT: Diámetro del tallo; IDT: Incremento del diámetro del tallo; DTF: Diámetro del tallo final; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.



<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Así mismo en el Cuadro 7 se puede observar que al término del experimento el diámetro del tallo del pimiento sin injertar fue mayor en 14 y 7 % respecto al diámetro del tallo del pimiento injertado sobre CM-334 y autoinjertado.

#### **4.6. Cortes anatómicos**

En la Figura 7, se observa un corte anatómico de la zona de unión del injerto Pimiento/CM-334, en dicha figura se puede apreciar que la unión del chile pimiento (*C. annuum* L.) con el portainjerto CM-334 (*C. annuum* L.) se dio perfectamente. Así mismo se pueden observar conexiones entre el parénquima radial (pr) y entre las fibras (f) de ambos materiales, de igual manera se pueden observar conexiones entre los elementos de vasos del xilema (ev), de tal manera, que el chile pimiento injertado sobre CM-334 no presenta rupturas en la continuidad de los tejidos vegetales después de 125 días del injerto.

Martínez (2013) reporta que las plantas de pimiento se encuentran totalmente unidas a los diez días después del injerto (ddi) de pimiento sobre CM-334, mientras que en los injertos de jitomate y berenjena, la unión seda entre los 5 y 8 ddi, efecto causado en pimiento debido a la falta de formación de callo.

Por ejemplo en la Figura 7 del injerto Pimiento/CM-334, se aprecia el entrelazamiento de las células del injerto/portainjerto, debido al aumento en tamaño de las nuevas células del callo, las cuales confieren mayor resistencia mecánica en el punto de unión como las fibras y parénquima radial, las cuales tienen pared lignificada, así mismo, algunas células del parénquima maduro del xilema pueden almacenar carbohidratos en forma de almidón, dichas células juegan un rol muy importante en la formación, regeneración de callo y diferenciación de las células funcionales del xilema. Al respecto Goldschmidt, (2014), Soumelidou *et al.* (1994) y Yin *et al.* (2012) reportan que las señales hormonales, en particular de auxinas, desempeñan un papel importante en la cicatrización de heridas y la regeneración vascular dentro de la zona unión del injerto, ya que comúnmente se ha

observado un disturbio en la conformación de la orientación de los elementos vasculares, lo que conduce un cambio en el flujo normal de auxinas endógenas, y demuestran la participación de la auxina en las primeras etapas de la formación de callo en la zona de unión del injerto.

Durante la formación de la unión del injerto, muchos investigadores han observado la proliferación de callo (tanto del portainjerto como del injerto), la formación de puentes de callos, la diferenciación de nuevo tejido vascular a partir de células de callo y la producción de xilema y floema secundario (Hartmann *et al.*, 2010). Una formación baja o incorrecta de callo entre el patrón y el injerto podría conducir a la defoliación, la reducción del crecimiento del vástago y la baja supervivencia de las plantas injertadas (Oda *et al.*, 2005), resultado no encontrado en este experimento, ya que el porcentaje de prendimiento, el crecimiento de los tallos de los portainjertos y variedad injertada, y la altura de las plantas fueron similares en los tres tratamientos.

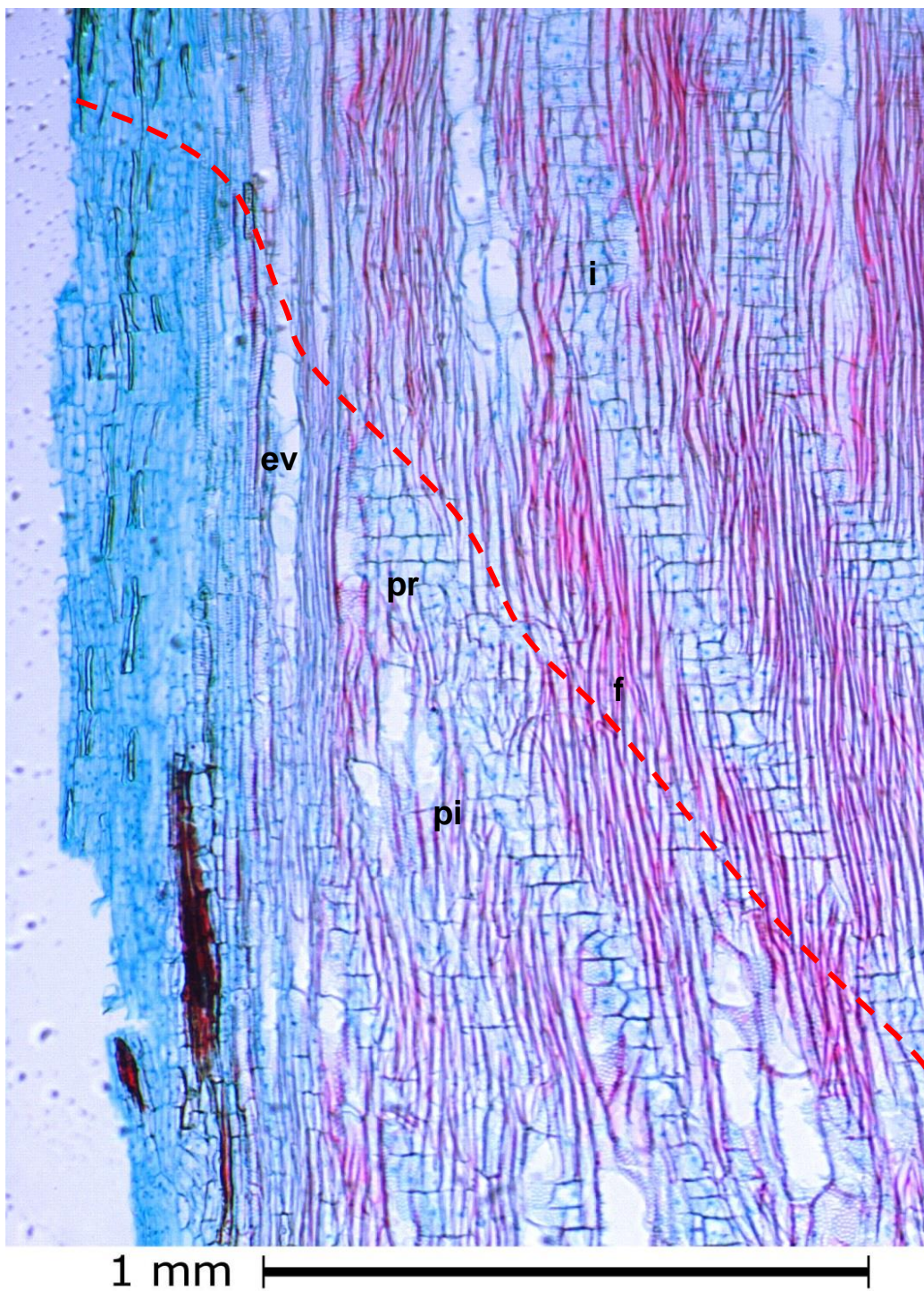


Figura 7. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto de pimiento sobre el CM-334 a los 125 ddt.

pi: Portainjerto CM-334, i: Injerto de pimiento, f: Fibras, ev: Elementos de vasos y pr: Parénquima radial.

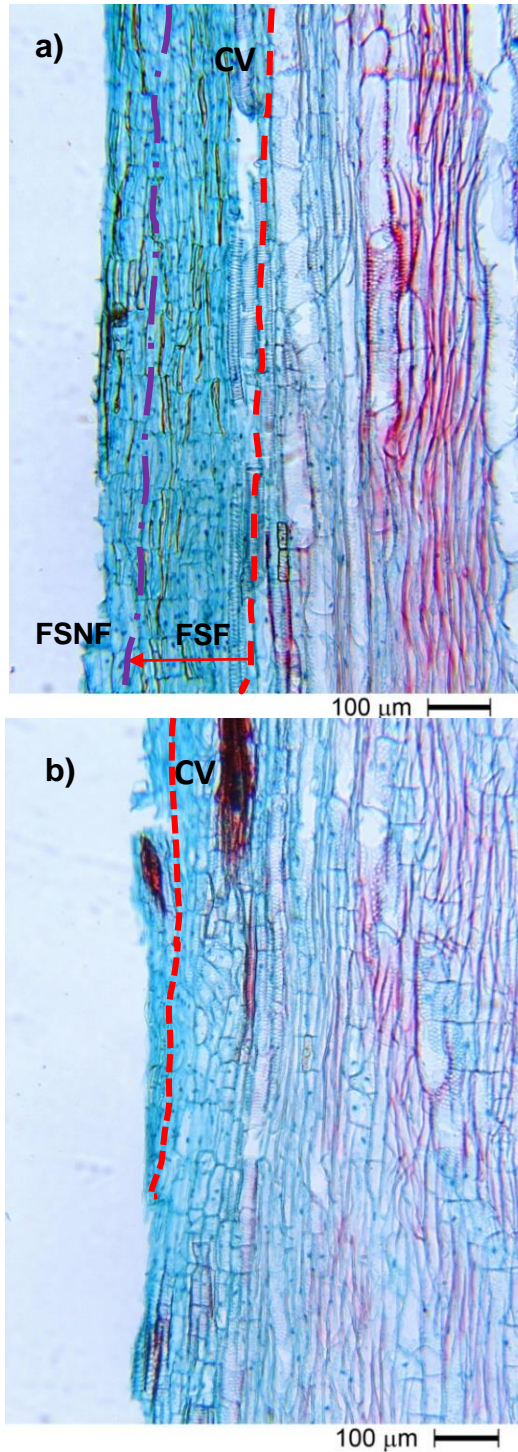
En nuestros resultados anatómicos es necesario comenzar a describir la estructura anatómica de la corteza de los chiles, e iniciar con la formación de la peridermis.

La peridermis es un conjunto de estratos celulares, denominados súber, felógeno y felodermis. Siendo el origen del primer felógeno el estrato de células de la subepidermis (corteza primaria), aunque posteriormente este se desarrolla a partir del floema y parénquima secundario.

Es difícil observar la corteza secundaria del chile ya que esta se desprende, debido a que contiene y/o abarca todo un conjunto de tejido muerto localizado lejos del cámbium vascular (floema secundario funcional) (Figura 8, imágenes a y b).

En la corteza secundaria se espera un caso de compatibilidad, una continuidad entre los elementos de tubos cribosos y sus células acompañantes desde el portainjerto hasta la variedad. Así mismo, se pudo observar una continuidad entre los tejidos del parénquima floemático. Finalmente como síntoma de compatibilidad se espera encontrar la formación del felógeno secundario que se origina de la peridermis protectora más externas como se aprecia en la Figura 9.



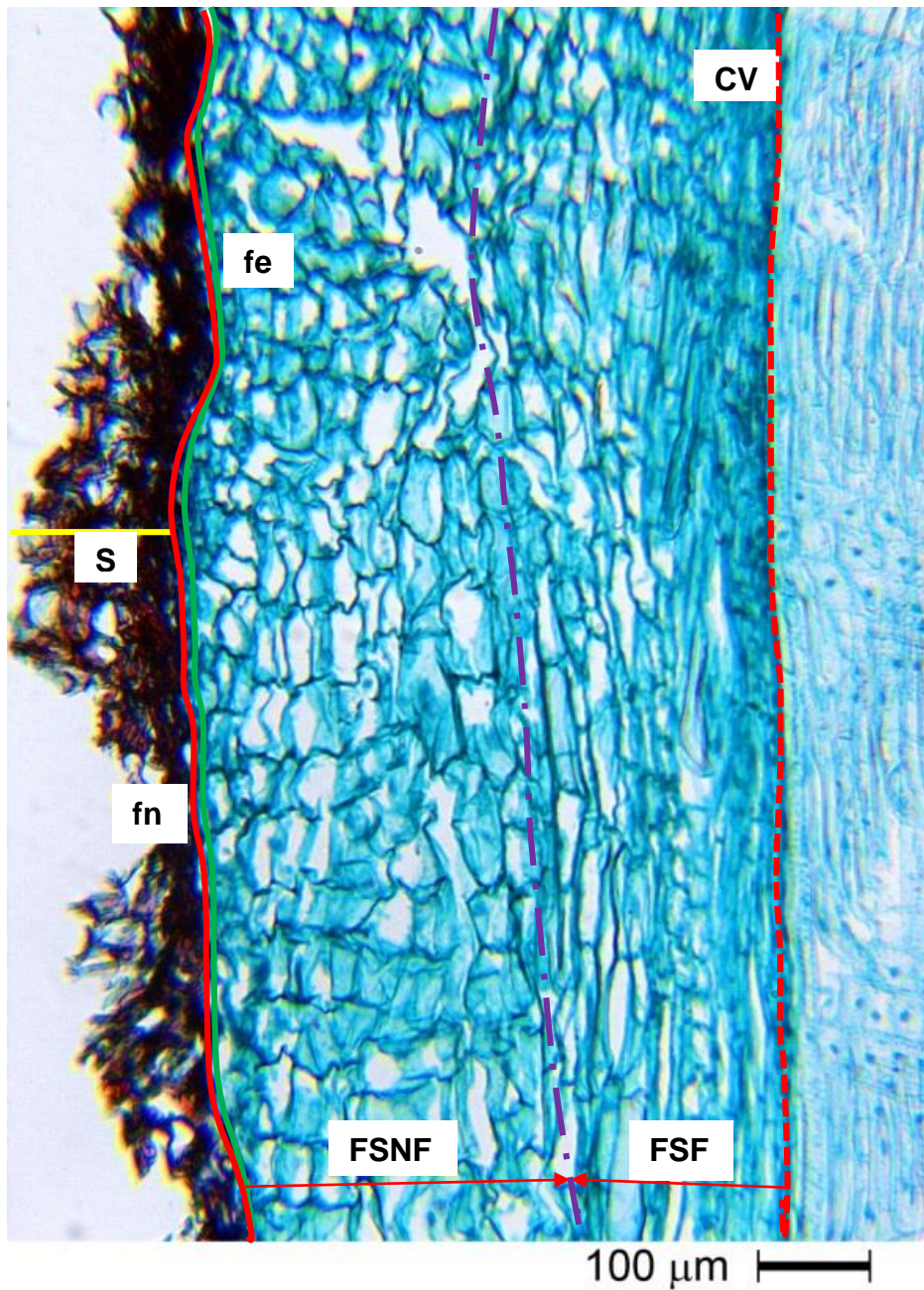


Simbología:

-----Cámbium Vascular (CV)

..... Delimitación de floema secundario funcional (FSF) hacia dentro y floema secundario no funcional (FSNF).

Figura 8. a) Corteza secundaria del pimiento, b) Corteza secundaria del portainjerto CM-334 unido al pimiento.



Simbología:

- Cámbium vascular (CV).
- · - · - Delimitación de floema secundario funcional (FSF) hacia dentro y floema secundario no funcional (FSNF) hacia afuera.
- Felógeno (fn).
- Felodermis (fe).
- Delimitación del súber (S).

Figura 9. Corteza secundaria del portainjerto CM-334 a los 125 ddi.

#### 4.7. Parámetros fotosintéticos

Para determinar el efecto de la fotosíntesis neta sobre las plantas injertadas y no injertadas se evaluaron otros parámetros, que pueden afectar esta variable de estudio, como la radiación fotosintéticamente activa, temperatura de la hoja y del aire y la evaporación, en este contexto en el Cuadro 8, se observan las medias estadísticas y la prueba de comparación medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para los parámetros mencionados anteriormente, y para la fotosíntesis neta (FN) a los 90 ddt, en las plantas de chile pimienta injertadas sobre el CM-334, autoinjertadas y sin injertar.

Los resultados obtenidos para los parámetros mencionados anteriormente, estos fueron iguales estadísticamente, lo que indica que el injerto no afecta la FN. Sin embargo, aun y cuando no se encontraron diferencias significativas y se obtuvo un aumento de 8 % en la FN en las plantas de pimienta injertadas sobre CM-334, en comparación con las plantas de pimienta sin injertar (Cuadro 13).

Cuadro 8. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimienta injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 90 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire ( $^{\circ}\text{C}$ )	Evap (%)	Thoja ( $^{\circ}\text{C}$ )	FN ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Pimiento/CM-334	986 a <sup>z</sup>	29.5 a	11.0 a	26.3 a	28.5 a
Pimiento/Pimiento	986 a	28.7 a	8.9 a	26.3 a	26.5 a
Pimiento	751 a	29.8 a	10.2 a	26.6 a	26.2 a
Media	907	29.3	10.1	26.4	27.1
CV %	8.69	3.92	11.6	2.4	6.8
DMS	329.5	4.8	4.8	2.65	7.7

RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; FN: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con misma letra en una columna son iguales estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En el Cuadro 9, se muestran las medias estadísticas para los parámetros RFA, Taire, Evap, Thoja y FN de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar de pimienta. Los resultados obtenidos a los 106 ddt indican que existen diferencias significativas solo para algunos parámetros (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Para el caso de las plantas de Chile pimienta injertadas con CM-334, autoinjertadas y sin injertar se obtuvieron diferencias significativas en la RFA, Taire, Evap y Thoja, lo que indicó que las plantas de pimienta autoinjertadas son diferentes estadísticamente a las plantas sin injertar. En tanto para el tratamiento Pimiento/CM-334 y Pimiento sin injertar los resultados fueron similares estadísticamente. Así mismo, para la variable FN en los tres tratamientos de pimienta no se encontraron diferencias significativas, lo que indicó que el injerto del pimienta con el CM-334 no afecta este parámetro, independientemente de los parámetros evaluados.

Cuadro 9. Parámetros fotosintéticos de plantas de Chile pimienta injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 106 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire ( $^{\circ}\text{C}$ )	Evap (%)	Thoja ( $^{\circ}\text{C}$ )	FN ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Pimiento/CM-334	672.2 ab <sup>z</sup>	26.7 ab	5.8 ab	25.1 b	18.4 a
Pimiento/Pimiento	766.7 a	27.4 a	6.a	26.0 a	19.2 a
Pimiento	503.7 b	26.3 b	4.5 b	26.1 b	18.1 a
Media	647.5	26.8	5.5	25.4	18.5
CV %	31.6	2.8	24.0	2.1	34.5
DMS	227.3	0.8	1.4	0.6	7.1

RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; FN: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En el Cuadro 10, se presentan las medias estadísticas de los parámetros RFA, Taire, Thoja, Evap y FN de las plantas de Chile pimienta injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 110 ddt. En dicho cuadro se muestra que al comparar



los parámetros de RFA, Taire, Evap, Thoja y FN, estos fueron iguales estadísticamente entre los tres tratamientos del chile pimiento (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 10. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 110 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire ( $^{\circ}\text{C}$ )	Evap (%)	Thoja ( $^{\circ}\text{C}$ )	FN ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ )
Pimiento/CM-334	856.1 a <sup>z</sup>	30.8 a	9.4 a	28.1 a	20.9 a
Pimiento/Pimiento	859.8 a	30.2 a	8.8 a	27.8 a	20.2 a
Pimiento	869.4 a	30.6 a	9.2 a	27.9 a	21.3 a
Media	861.7	30.6	9.1	27.9	20.8
CV %	7.3	3.0	14.8	3.0	11.3
DMS	69.7	1.0	1.5	0.9	2.6

RFA: Radiación fotosintéticamente activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; FN: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Las medias estadísticas de los parámetros fotosintéticos después de 136 ddt, para las plantas de chile pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar son presentadas en el Cuadro 11. En este cuadro se puede observar que entre los tratamientos evaluados de chile pimiento, no hubo diferencias estadísticas significativas para los parámetros RFA, Thoja y FN. En tanto para los parámetros Taire y Evap entre los tratamientos Pimiento y Pimiento/Pimiento hubo diferencias estadísticas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ), sin embargo estas diferencias no afectaron la FN.

Cuadro 11. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile pimienta injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 136 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire ( $^{\circ}\text{C}$ )	Evap (%)	Thoja ( $^{\circ}\text{C}$ )	FN ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Pimiento/CM-334	785.1 a <sup>z</sup>	28.9 ab	7.8 ab	26.7 a	20.3 a
Pimiento/Pimiento	807.1 a	29.4 a	8.5 a	26.9 a	20.5 a
Pimiento	826.3 a	28.7 b	7.2 b	26.8 a	20.1 a
Media	806.2	29.0	7.8	26.8	20.3
CV%	15.6	1.9	14.0	2.0	16.1
DMS	139.2	0.6	1.2	0.6	3.6

RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; FN: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Jun-Gou y Hui-ling (2010) reportan que las plantas injertadas de calabaza aumentan la FN cuando son tratadas con NaCl, por el contrario se disminuye en plantas no injertadas. Díaz-Pérez (2013) reporta que la FN en plantas de chile pimienta es afectada por la cantidad de sombra empleada en el cultivo, y menciona que este parámetro disminuye 50 % con malla sobre de 80 %. Penella *et al.* (2013) reportaron que la FN no se modifica aun y cuando las plantas se mantiene bajo condiciones de alta salinidad (5  $\text{dSm}^{-1}$ ), en 18 materiales considerados como portainjertos para Chile, entre ellos el CM-334. Lycoskoufis *et al.* (2005) mencionan que la FN disminuye notablemente cuando las plantas de pimienta fueron expuestas a salinidad (NaCl: 8  $\text{dSm}^{-1}$ ), contrario a lo sucedido en las plantas que se mantienen bajo solución nutritiva normal, así mismo reportan que la fotosíntesis puede variar debido a las limitaciones en el suministro de  $\text{CO}_2$  derivadas de un cierre parcial de los estomas, o por alterar el mecanismo bioquímico de la fijación de  $\text{CO}_2$ . López-Marín *et al.* (2013) reportan que la FN no es afectada cuando se emplean los portainjertos conocidos como Atlante, Terrano y Creonte, sino que además, pueden mejorar la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  después de siete, diez y 15 días de iniciada la

fructificación. En general, las plantas cultivadas en alta irradiación muestran altas tasas de fotosíntesis, mientras que las plantas cultivadas en baja irradiación tienen una menor tasa de FN. Algunos reportes indican que las plantas crecidas bajo condiciones de poca radiación afectan el tamaño de la planta, lo que ocasiona un aumento del tamaño del tallo (Fu *et al.*, 2010).

En el presente experimento, los resultados obtenidos para la FN fueron similares entre los genotipos y fechas en las que se evaluó este parámetro. Lo que indica que las plantas de pimiento injertadas con el CM-344 no afectan este parámetro fisiológico.

#### **4.8. Rendimiento total de frutos de pimiento**

En cuanto al rendimiento total del pimiento por planta, no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 12), lo que demuestra que el injerto de las plantas de chile pimiento sobre CM-334, es una alternativa para producir frutos de chile. Las plantas de pimiento sin injertar fueron las que obtuvieron el mayor rendimiento (0.99 kg /planta) seguido de las plantas de pimiento autoinjertadas y de las plantas de pimiento injertadas sobre CM-334 (0.93 kg /planta). En México se obtienen rendimientos que dependen de la tecnología usada, por ejemplo en invernaderos con cubierta plástica y de tecnología intermedia se obtienen  $130 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; mientras que al usar tecnología mediana-alta se producen  $180 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y en alta tecnología se logran hasta  $250 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Sin embargo, en este experimento, con el uso del CM-334 como portainjerto no se observó una disminución significativa en el rendimiento, ya que este se encuentra por arriba de la media, la cual es de  $18.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en campo abierto.

Cuadro 12. Rendimiento total de pimiento rojo var. “Zidenka” injertado sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Rendimiento total (kg/planta)	Rendimiento por ha (4.7 plantas m <sup>-2</sup> )
Pimiento/CM-334	0.93 a <sup>z</sup>	43.7
Pimiento/Pimiento	0.95 a	44.6
Pimiento	0.99 a	46.5

<sup>z</sup> los valores son promedios de 16 plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son diferentes estadísticamente (*t*-Student,  $p \leq 0.05$ ).

Oka *et al.* (2004) injertaron plantas de chile del cv. Cecilia sobre nueve portainjertos, y obtuvieron rendimientos de 38 a 61 ton ha<sup>-1</sup>, con una densidad de población de 3.3 plantas m<sup>-2</sup>, en invernadero de alta tecnología. Morra y Bilotto (2006), al comparar diferentes portainjertos para producir pimiento, reportan rendimientos que van de 0 a 96 ton ha<sup>-1</sup>, en invernadero de alta tecnología, con una densidad de población de 2.2 plantas m<sup>-2</sup>. Jang *et al.* (2013) reportan rendimientos por planta de chile injertadas sobre cinco portainjertos diferentes de 0.5 a 2.2 kg, bajo un sistema de producción semi-forzada, en invernadero de alta tecnología. En nuestros resultados, el rendimiento obtenido equivale a obtener 46.59, 44.6 y 43.7 ton ha<sup>-1</sup> durante ocho semanas de corte, para los tratamientos Pimiento, Pimiento/Pimiento y Pimiento/CM-334 respectivamente, bajo un sistema de producción semi-forzada en invernadero de baja-mediana tecnología con densidad de población de 4.7 plantas m<sup>-2</sup>.

#### 4.9. Clasificación de los frutos de pimiento

México cuenta con la marca México Calidad Suprema para pimiento morrón (SAGARPA y BANCOMEXT), la cual permite al productor comercializar a precios por encima de los demás productores y/o empresas interesadas (PC-022-2005). Esta norma establece que la calidad del fruto, depende del tamaño, inocuidad y etiquetado, los cuales dan certeza al consumidor sobre las características del producto como estado de madurez, turgencia de los frutos, grosor del pericarpio, color del fruto, contenido de capsicina, tamaño y uniformidad entre otros (FAO/OMS, 2008).

La clasificación de los frutos de chile pimiento morrón tiene como objetivo el desarrollo de nuevos mercados de alto valor económico, con base en la diferenciación de productos de alta calidad, a través de un signo distintivo respaldado por certificaciones imparciales e independientes (SAGARPA-ASERCA-BANCOMEXT-SE-México Calidad suprema. 2005). Por su parte Saenz y D'Alolio (2007) y Jovicich (2004) señalan que calidad de los frutos, depende de diversos factores, y algunas empresas pueden aceptar chiles de menor calidad.

En el Cuadro 13, se muestra la clasificación de frutos de chile pimiento, en dicho cuadro se aprecia que para las categorías chico, mediano y grande, no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo para las categorías de fruto extra grande, jumbo y frutos no comercializables, los tratamientos que produjeron la mayor cantidad de estos fueron el Pimiento, seguido del Pimiento/Pimiento y por ultimo Pimiento/CM-334 respectivamente, cantidades fueron diferentes estadísticamente a lo obtenido los tres tratamientos (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Aun y cuando el rendimiento obtenido por planta no fue diferente estadísticamente, si fue la cantidad de frutos no comercializables, ya que el tratamiento Pimiento/CM-334 produjo 55 % más de estos frutos, que el tratamiento Pimiento, sin embargo el rendimiento comercializable no cambio ya que la cantidad de frutos comercializables fue la misma estadísticamente entre los tres tratamientos. La cantidad y calidad de los frutos se podría resolver, aplicando diferentes técnicas de manejo, como es el raleo de frutos, aplicaciones foliares de calcio y potasio, así como diferentes técnicas de poda, para aumentar el tamaño del fruto.

Cuadro 13. Clasificación de frutos de pimiento rojo obtenidos a partir de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Categorías de fruto <sup>x</sup>						
	Ch	M	G	EG	J	FNC	FC
Pimiento/CM-334	11 a <sup>z</sup>	12 a	6 a	9 ab	22 ab	27 a	60 a
Pimiento/Pimiento	11 a	11 a	6 a	8 b	31 a	16 ab	65 a
Pimiento	9 a	20 a	9 a	15 a	20 b	12 b	75 a
Media	10	14	7	10	24	18	66
CV %	56.8	23.7	36.4	15.3	9.5	19.7	10.5
DMS	25.2	15.3	10.9	6.8	9.7	14.4	29.0

<sup>x</sup> Categorías de fruto: Ch; Chico, M; Mediano, G; Grande, EG; Extra Grande, J; Jumbo, FNC; Frutos no comercializable; FC; Frutos comercializables; CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.10. Peso, largo y ancho de frutos de chile pimiento

El peso de los frutos obtenidos del tratamiento Pimiento/Pimiento (autoinjerto) fue diferente estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ), con respecto al peso obtenido de los frutos de los tratamientos Pimiento y Pimiento/CM-334. El en Cuadro 14, se puede observar que los frutos de mayor peso son los obtenidos por las plantas autoinjertadas de pimiento (218.29 g), seguido de los frutos de los tratamientos Pimiento/CM-334 y Pimiento, ya que produjeron frutos con un peso menor en 9 y 17 % respectivamente (Cuadro 14).

Las medias estadísticas según el ANOVA del Cuadro 14 indicaron que existen diferencias estadísticas significativas para las variables longitud y ancho del fruto del pimiento. El portainjerto CM-334 cambió la forma del fruto obteniendo frutos más anchos que largos, comparados con los de la variedad sin injertar, los cuales fueron más largos que anchos. Así mismo los frutos cosechados de las plantas que fueron autoinjertadas produjeron frutos de la misma forma que las plantas sin injertar (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Estos resultados indican que portainjerto CM-334 afectó la forma del fruto de los chiles de pimiento, ya que el fruto del chile pimiento variedad Zidenka es designado como tipo lamuyo (el fruto debe ser más largo que ancho). Este resultado coincide con lo que reportan Tsaballa *et al.* (2012 y 2013), por su parte Taller (1998) menciona que al injertar una planta que produce chiles largos sobre una planta que produce chiles tipo campana, los frutos obtenidos varían mucho de forma, ya que algunos son más largos, otros más anchos y pequeños y otros deformes, y que la planta injertada también sufre cambios morfológicos.

Cuadro 14. Peso, largo y ancho de frutos obtenidos de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)
Pimiento/CM-334	198.9 b <sup>z</sup>	8.3 b	9.0 a
Pimiento/Pimiento	218.3 a	9.0 a	8.6 a
Pimiento	182.6 b	9.0 a	8.1 b
Media	199.9	8.8	8.57
CV %	19.4	13.1	9.41
DMS	18.4	0.5	0.4

CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.11. Índices de Calidad

Para las variables de calidad no se encontraron diferencias significativas (SST, grosor de pericarpio, número de semilla y lóculos y firmeza) según el ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 15). Sin embargo, el contenido de SST aumentó de 2.5 hasta 8 % en plantas de pimiento que fueron injertadas, efecto que no se puede concluir que haya sido provocado por la práctica del injerto. Así mismo, el grosor del pericarpio de los frutos cosechados de las plantas injertadas aumentó entre

0.2 y 0.4 mm en los tratamientos Pimiento/CM-334 y Pimiento/Pimiento respectivamente. Chávez-Mendoza *et al.* (2013), al evaluar dos cultivares de pimiento (Fascinato y Jeanette) injertados sobre Terrano (portainjerto), reportan que el portainjerto afecta la calidad del fruto, resultados que no coinciden con lo reportado en este experimento.

La firmeza de los frutos de chile pimiento no es modificada a causa del injerto independientemente del tipo de portainjerto que se emplee, pero si pueden cambiar (aumentando o disminuyendo) las propiedades físicas de tamaño, peso y forma, dependiendo además del tiempo de producción (Jang *et al.*, 2013).

Muramatsu (1981) reporta que las especies que son cosechadas en estado inmaduro como el pepino, la firmeza del fruto incrementa debido al injerto y acorta el ciclo de producción, es decir que puede tener mayor vida de anaquel, además de otros beneficios. Hernández-Fuentes *et al.* (2010) mencionan que el contenido de SST, no cambia estadísticamente en frutos de pimiento morrón para cada una de las evaluaciones realizadas a los cero, diez, 20 y 30 días después de cosechados los frutos.



Cuadro 15. Calidad del fruto obtenidos de plantas de pimiento injertadas sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	SST (°Brix)	Grosor de pericarpio (mm)	No. Semillas	No. Lóculos	Firmeza (N/cm <sup>2</sup> )
Pimiento/CM-334	6.5 a <sup>z</sup>	7.3 a	253.0 a	4 a	79.0 a
Pimiento/Pimiento	6.7 a	7.1 a	297.2 a	4 a	74.8 a
Pimiento	6.2 a	6.9 a	326.6 a	4 a	78.4 a
Media	6.5	7.1	292.2	4	77.4
CV %	9.9	9.6	39.8	16.5	11.9
DMS	0.7	0.7	129.1	0.6	10.2

CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.12. Color de fruto

Hernández-Fuentes *et al.*, (2010) reportan que al evaluar el color de los frutos de pimiento morrón después de cero (0), diez, 20 y 30 días de ser cortados, cambio la luminosidad (L) después diez días, característica que disminuye 17 %.

El color de los frutos de pimiento obtenidos a partir de plantas injertadas con CM-334, autoinjertadas y sin injertar según el ANOVA, presentadas en el Cuadro 16, indican que ni el injerto, ni el portainjerto afectaron este parámetro, es decir los frutos contaron con uno los parámetros fundamentales para ser comercializados. Este cuadro permite observar que la luminosidad (L), el croma (c) y el ángulo de tono (h), fueron estadísticamente similares entre los tratamientos y que esta propiedad física se mantuvo en los frutos de las plantas injertadas y no injertadas.

Cuadro 16. Color del fruto de pimiento obtenidos de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	L	C	H
Pimiento/CM334	21.4 a <sup>z</sup>	18.6 a	31.9 a
Pimiento/Pimiento	20.8 a	16.9 a	34.9 a
Pimiento	21.8 a	17.3 a	36.4 a
Media	21.3	17.6	34.4
CV %	11.0	26.7	30.4
DMS	2.6	5.2	11.6

CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.13. Correlación de las características de calidad

La correlación de las variables de calidad para frutos de pimiento morrón rojo, indican que solo existe correlación entre las variables firmeza-número de lóculos y peso del fruto-grosor de pericarpio, variables que tienen un valor de correlación entre ellas de 0.43 y 0.41 respectivamente ( $p \leq 0.05$ ). Estos resultados indican que la firmeza y el peso de los frutos aumentaron conforme se incrementó el número de lóculos y el grosor del pericarpio respectivamente. Por otra parte se pudo observar una correlación negativa entre la variable peso del fruto-SST ( $^{\circ}$ Brix), lo que demuestra que cuando el peso de los frutos aumenta, el contenido de SST disminuye. (Cuadro 17).

Cuadro 17. Correlación entre los parámetros de calidad en frutos de pimiento rojo injertado sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Parámetros	Firmeza	Peso	Grosor del pericarpio	SST (°Brix)	No. Semillas	No. Lóculos
Firmeza	1.0	0.2	0.3	-0.06	-0.17	<b>0.43</b>
		0.27	0.1	0.7	0.3	<b>0.01</b>
Peso		1.0	<b>0.4</b>	<b>-0.4</b>	0.14	-0.04
			<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	0.4	0.8
Grosor del pericarpio			1.0	-0.14	-0.23	0.004
				0.44	0.2	0.9
SST (°Brix)				1.0	-0.21	-0.03
					0.2	0.8
No. semillas					1.0	-0.003
						0.9
No. Lóculos						1.00

SST: Sólidos solubles totales.

## **5. Conclusiones**

El portainjerto CM-334 no afectó la altura de la planta, el diámetro del tallo ni la fotosíntesis neta del pimiento rojo variedad Zidenka.

El rendimiento y calidad de los frutos cosechados de pimiento rojo variedad Zidenka, obtenidos de plantas injertadas sobre CM-334 fue similar a los obtenidos en las plantas autoinjertadas y no injertadas.

El portainjerto CM-334 tuvo influencia en la forma del fruto obteniéndose frutos más anchos que largos, sin embargo estos aun cuentan con mercado para ser comercializados.

## 6. Anexos



A-C: Acondicionamiento del invernadero de producción, D: Plántula injertada de Pimiento sobre CM-334; E: Plántula autoinjertada de Pimiento; F-I: Transplante de plántulas al invernadero de producción de chile pimiento y ; J: Corte del fruto de chile pimiento con color 80% de rojo y 20 % de verde; K: Medición de fotosíntesis ; L: Monitoreo de plagas, enfermedades y de los goteros de riego; M: Frutos verdes de chiles de plantas de Pimiento/CM-334; N: Frutos verdes de chiles de plantas de Pimiento y O: Frutos maduros de plantas de Pimiento injertadas sobre CM-334 (izquierda), autoinjertadas (en medio) y sin injertar (derecha).

## 7. Literatura citada

- Acosta, A. 2005. La técnica del injerto en plantas hortícolas. Viveros extra. Horticultura Internacional. Barcelona, España. pp. 62-65.
- Bachiega, Z., F., C. D. Mattos Jr., and J. P. Syvertsen. 2011. Plant growth, leaf photosynthesis, and nutrient-use efficiency of citrus rootstocks decrease with phosphite supply. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 487-495.
- Bethke, P. C., and M. Drew C. 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Journal of Plant Physiology* 99: 219-226.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. 1a. Ed. AGT Editor. México D.F. 784 p.
- Chávez-Mendoza, C., E. Sánchez, E. Carvajal-Millán, E. Muñoz-Márquez, and A. Guevara-Aguilar. 2013. Characterization of the Nutraceutical Quality and Antioxidant Activity in Bell Pepper in Response to Grafting. *Molecules* 18:15689-15703.
- Díaz-Pérez, J. C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *Horticultural Science* 48: 175-182.
- FAO/OMS. 2008. Propuestas de enmiendas a la lista de prioridades para la normalización de frutas y hortalizas frescas. Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Frescas.
- Fu, Q. S., B. Zhao, Y. J. Wang, S. Ren, and Y. D. Guo. 2010. Stomatal development and associated photosynthetic performance of capsicum in response to differential light availabilities. *Photosynthetica* 48: 189-198.
- Goldschmidt, E. E. 2014. Lant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Journal of Plant Physiology* 5: 1-9.
- González, F. M., A. Casanova, A. Hernández, M. Méndez, R. González, A. Delgado, y E. Bravo. 2006. Efecto de la aplicación del Biobras-16 en la producción de plántulas injertadas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. *Temas de Ciencia y Tecnología* 9: 53-56.
- Hartmann, H. T., D. E. Kester, F. T. Divies, y T. Geneve R. 2010. *Plant Propagation: Principles and Practices*. Séptima edición. pp. 416-463.

- Hernández, G. Z. 2010. Efecto de tres patrones en el desarrollo vegetativo y de raíz, producción y calidad de fruto en pepino. Tesis Maestro en Ciencias. Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo. pp: 58-61.
- Hernández-Fuentes, A., D. R. Campos-Montiel, y J. M. Pinedo-Espinoza. 2010. Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11: 82-91.
- Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley, and A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. Annals of Botany 90: 485-488.
- Jang, Y., M. Ji-Hye, L. Ji-Weon, L. Sang G., K. Seung Y., and C. Changhoo. 2013. Effects of Different Rootstocks on Quality of Grafted Pepper (*Capsicum annuum* L.). Korean Journal of Horticultural Science and Technology 31:687-699.
- Jovicich, E., D. J. Cantliffe, S. A. Sargent, and L. S. Osborne. 2004. Production of greenhouse-grown peppers in Florida. Department of Horticultural Sciences, University of Florida HS979.
- Jun-Gou, Z., and H. Hui-Ling. 2010. Effect of different rootstocks on nitrogen metabolism on grafter cucumber leaves under NaCl stress. Plant Nutrition and Fertilizer Science 16: 1217-1223.
- Kothari, S., L., A. Joshi, S. Kachhwaha, and N. Ochoa-Alejo. 2010. Chilli peppers: A review on tissue culture and transgenesis. Biotechnology Advances 28: 35-48.
- Lee, J., M. and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. Horticultural Reviews 28: 61-124.
- López-Marín, J., A. González, F. Pérez-Alfocea, C. Egea-Gilabert, and J. A. Fernández. 2013. Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. Scientia Horticulturae 149: 39-46.
- Loyola, N., and M. Ariola. 2012. Alternativas de manejo de poscosecha para pimientos y arándanos orgánicos. *Ingeniero Agrónomo M. Sc.*, 111. Producción. Hortofrutícola orgánica. Boletín INIA N° 232. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile. 192 p.



- Lycoskoufis I. H., D. Savvas, and G. Mavrogianopoulos. 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Horticulturae* 106: 147-161.
- M'Hamdi, M., N. Boughalleb, N. Ouhaibi, N. Tarchoun, M. Souli, and L. Belbahri. 2010. Evaluation of grafting techniques and a new rootstock for resistance of pepper (*Capsicum annuum* L.) towards *Phytophthora nicotianae*. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8: 135-139.
- Márquez, C., C., J. 2009. Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. Elita). 274 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. 80 p.
- Morra, L., y M. Bilotto. 2006. Evaluation of new rootstocks for resistance to soil-borne pathogens and productive behavior of pepper (*Capsicum Annuum* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81: 518-524.
- Muñoz, R., J., J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. INTAGRI. México. 2ª. (Ed.). pp. 257-281.
- Muramatsu, V. 1981. Problems on vegetable grafting [in Japanese]. *Shisetu Engei* 10: 48-53.
- Oda, M., M. Maruyama, G. Mori. 2005. Water transfer at graft union of tomato plants grafted onto *Solanum* rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 74: 458-463.
- Oka, Y., R. Offenbach, and S. Pivonia. 2004. Peppers rootstock graft compatibility and response to *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. *Journal of Nematology*. 36:137-141.
- Olmstead, M., N.S. Lang, F. W. Ewers, and S. A. Owens. 2006. Xylemvessel anatomy of sweet cherries grafted onto dwarfing and nondwarfing rootstocks. *Journal of The American Society for Horticultural Science* 131: 577-585.

- Osuna-Ávila, P., J. Aguilar-Solís, S. Fernández-Pavía, H. Godoy-Hernández, B. Corral-Díaz, J. P. Flores-Márquez, A. Borrego Ponce, y E. Olivas. 2012. Injertos en chiles tipo Cayene, Jalapeño y Chilaca en el noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 739-750.
- Penella, C. S. G. Nebauer, S. López-Galarza, A.S. Bautista, E. Gorbe, and A. Calatayud. 2013. Evaluation for salt stress tolerance of pepper genotypes to be used as rootstocks. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11 (3 y 4):1101-1107.
- Penella, C. S., G. Nebauer, S. López-Galarza, A. San Bautista, A. Rodríguez-Burruezo, and A. Calatayud. 2014. Evaluation of some pepper genotypes as rootstocks in water stress conditions. *Horticultural Science* 41: 192-200.
- Rojas, P. L., y F. Riveros B. 2002. Prendimiento de injertos en hortalizas. *Terra Adentro* 45: 30-31.
- Ruiz, J., M. A. Belakbir, I. López-Cantarero, L. Romero. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants: a model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Horticulturae* 71: 227-234.
- Sáenz, C., A., y O. D' Alolio A. 2007. Identificación de pérdidas poscosecha de chile jalapeño (*Capsicum Annuum* L.) cultivar Mitla para uso Agroindustrial. Consejo Nacional de Producción. 12 p.
- SAGARPA-ASERCA-BANCOMEXT-SE-México Calidad suprema. 2005. PC-2005 pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema para pimiento.
- SAS. 2006. Statistical Analysis Software. Institute Inc. SAS. Version 9. North Caroline. USA.
- Sass, J., E. 1951. Botanical Microtechnique. Second Edition. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. pp. 14-16.
- Sass, J., E. 1968. Botanical Microtechnique. 3rd Edition. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 227 p.
- Soumelidou, K., N. H. Battey, P. John, and J. R. Barnett. 1994. The anatomy of the developing bud union and its relationship to dwarfing in apple. *Annals of Botany* 74: 605-611.

- Taller, J., Y. Hirata, N. Yagishita, M. Kita, and S. Ogata. 1998. Graft-induced genetic changes and the inheritance of several characteristics in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 97: 705-713.
- Tsaballa, A., C. Athanasiadis, K. Pasentsis, I. Ganopoulos, I. Nianiou-Obeidat, and A. Tsaftaris. 2013. Molecular studies of inheritable grafting induced changes in pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit shape. *Scientia Horticulturae* 149: 2–8.
- Tsaballa, A., K. Pasentsis, and A. S. Tsaftaris. 2012. The role of a gibberellin 20-oxidase gene in fruit development in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Molecular Biology Reporter* 30: 556-565.
- Voutsela, S., G. Yarsi, S. A. Petropoulos, and E. M. Khan. 2012. The effect of grafting of five different rootstocks on plant growth and yield of tomato plants cultivated outdoors and indoors under salinity stress. *African Journal of Agricultural Research* 7: 5553-5557.
- Wyzgolik, G., J. Nawara, y M. Leja. 2008. Photosynthesis and some growth parameters of sweet pepper grown under different light conditions. *Sodininkyste Ir Daržininkyste* 27: 93-98.
- Yin, H., B. Yan, J. Sun, P. Jia, Z. Zhang, X. Yan, J. Chai, Z. Ren, G. Zheng, and H. Liu. 2012. Graft-union development: a delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. *Journal of Experimental Botany* 63: 4219-4232.

## CAPÍTULO 2. EFECTO DEL PORTAINJERTO CM-334 SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, CALIDAD DEL FRUTO Y FOTOSÍNTESIS NETA DE PLANTAS INJERTADAS DE CHILE MANZANO

### RESUMEN

En México, el chile manzano es una especie que ha iniciado a cultivarse bajo invernadero en los últimos diez años. La producción de chile manzano a cielo abierto depende de las condiciones de temporal y sus rendimientos van de 5 a 7 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que, en un sistema de producción intensivo en invernadero, se alcanzan 75 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, al igual que sus parientes de la especie *C. annuum* también son susceptibles a *Phytophthora capsici*, enfermedad que reduce significativamente el rendimiento. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el porcentaje de prendimiento, el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis neta, el rendimiento y calidad de los frutos del chile manzano injertado sobre el patrón CM-334, y su comparación con los obtenidos en plantas autoinjertadas y sin injertar. Las plantas fueron cultivadas en un sistema de producción semi-forzada por siete meses, en un invernadero de baja-mediana tecnología. El porcentaje de prendimiento fue del 92 % para los injertos de chile manzano sobre CM-334 y del 89 % para los autoinjertos. Las plantas de chile manzano sin injertar y las injertadas sobre el CM-334 obtuvieron el mismo crecimiento y calidad del fruto ( $p \leq 0.05$ ), sin embargo el rendimiento obtenido por planta, fue significativamente diferente ( $p \leq 0.05$ ), los resultados indicaron que el tratamiento Manzano/CM-334 fue mayor que el de las plantas de chile sin injertar. Esta diferencia equivale a obtener 5 t ha<sup>-1</sup> más de producción. Así mismo el portainjerto CM-334 aumentó en 18.5 % fotosíntesis neta en las plantas de chile manzano. La producción de chile manzano a partir de plantas injertadas con el CM-334, bajo un sistema de producción semi-intensivo es una alternativa viable, ya que aumenta significativamente la producción, comparado con un sistema a cielo abierto.

Palabras clave: Producción, injerto, *Phytophthora capsici*.

## CHAPTER 2. EFFECT OF THE STOCK CM-334 UPON GROWTH, YIELD, FRUIT QUALITY AND NET PHOTOSYNTHESIS OF GRAFTED PLANTS WITH MANZANO HOT PEPPER.

### ABSTRACT

In Mexico, the Manzano hot pepper is a specie that started to be grown under greenhouse conditions in the last ten years. The yield of the Manzano hot pepper under open field depends of the conditions of the season and the yields go from 5 to 7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, while, in an intensive system of production under greenhouse it reaches 75 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. However, just like its relatives of the specie *C. annum*, it's also susceptible to *Phytophthora capsici*, which is a disease that significantly reduces the yield. The aim of the present study it was to evaluate the percentage of grafting success, growth, net photosynthesis, yield and fruit quality of Manzano hot pepper grafted on the rootstock CM-334, and its comparison with those obtained from self-grafted and ungrafted plants. These plants were grown under a half-forced system of production for seven months, in a low-media technology greenhouse. The percentage of grafting success was 92 % for the Manzano hot pepper plants grafted on CM-334 and 89 % for the self-grafted pepper. The ungrafted plants Manzano hot pepper plants and those grafted on CM-334 had the same growth and fruit quality ( $p \leq 0.05$ ), however, the yield per plant was significantly different ( $p \leq 0.05$ ), the results indicated that the treatment Manzano/CM-334 was higher than those ungrafted pepper plants. This difference equals to obtain 5 t ha<sup>-1</sup> more of yield. Likewise, the stock CM-334 increased in 18.5% the net photosynthesis in Manzano hot pepper plants. The grow of Manzano hot pepper starting from grafted plants on CM-334 and under a half-intensive system is a viable alternative, due to, it increases significantly the yield, it compared to an open field system.

**Key words:** Yield, graft, *Phytophthora capsici*.

## 4.1. Introducción

El crecimiento y desarrollo son una combinación maravillosa de muchos eventos a diferentes niveles, sin embargo el desarrollo puede ser definido como un orden de cambios ordenados, y hacia un estado más complejo. Así el desarrollo puede tener lugar sin el crecimiento y el crecimiento sin desarrollo, pero a menudo combinados en un solo proceso. El desarrollo implica cambios, los cuales pueden ser graduales o muy abruptos. Ciertamente eventos importantes de desarrollo como la germinación, floración o senescencia resultan de pronto en un importante cambio en el patrón de vida o el crecimiento de una planta (Bidwell, 1993). Indicadores de crecimiento, fotosíntesis, contenido de clorofila *a* y *b* son empleados para determinar el efecto de condiciones adversas en las plantas, ya sea por cuestiones bióticas o abióticas, como condiciones de estrés causadas por sales (NaCl), agua (hídrico), intensidad lumínica o bien para evaluar el uso de portainjertos (Voutsela *et al.*, 2012; Bachiega *et al.*, 2011; Wyzgolik *et al.*, 2008; Bethke y Drew, 1992).

La producción de hortalizas en México ha tenido un dinamismo especial en las últimas dos décadas. Una de las hortalizas más importantes es el cultivo del chile (*Capsicum* spp.) por ser un alimento fundamental en la dieta diaria de los mexicanos. En la diversidad de chiles que se cultivan en el territorio nacional, el chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.) ha cobrado mayor importancia en los últimos 15 años. Los sistemas de producción de chile manzano en México son de campo abierto e intensivo en invernadero, estos presentan grandes diferencias que reflejan un efecto directo en la calidad de los frutos. Aunque se ha demostrado que el intensivo bajo condiciones de invernadero es mejor que el de campo abierto, pues presenta ventajas de productividad, volumen de producción, calidad y producción constante a lo largo del año (Pérez y Castro, 2008).

Las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación para el cultivo de chile manzano en invernadero pueden favorecer la aparición de plagas que causan daños a los frutos, lo que demerita la calidad de los mismos. Además es

importante emplear un sistema de producción que disminuya los riesgos de pérdidas para los productores y consumidores, dicho sistema es el intensivo bajo invernadero.

Por ello, es importante tener en cuenta que la calidad de los frutos puede disminuir debido a factores ambientales, plagas y manejo inadecuado del producto en la postcosecha y comercialización. No obstante, se han generado técnicas como lo son el uso combinado de bajas temperaturas y de atmósfera modificada que facilita el almacenamiento de frutas y hortalizas, permitiendo con ello la conservación de la calidad comercial por más tiempo (Monaco *et al.*, 2005).

#### **4.2. Objetivos particulares**

Evaluar el porcentaje de prendimiento de las plántulas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas.

Evaluar el crecimiento de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 (*Capsicum annuum* L.), autoinjertadas y sin injertar en condiciones de invernadero.

Observar anatómicamente la conexión del patrón con el manzano injertado.

Evaluar la fotosíntesis neta de las plantas de chile manzano injertas sobre CM-334 para determinar la funcionalidad de los mismos.

Evaluar el rendimiento de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Evaluar la calidad del fruto (°Brix, firmeza, grosor de pericarpio, número de semillas y color) de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

#### **4.3. Materiales y Métodos**

##### **4.3.1. Material vegetal y sitio experimental**

Se empleó chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.) como injerto y la línea homogénea de chile serrano Criollo de Morelos no. 334 (CM-334, *Capsicum annuum* L.)

como portainjerto, obtenida por López (2013), por medio de agrupaciones con el coeficiente de Nei and Li Dice (1979) generados del análisis de la matriz de datos binarios decodificados a partir perfiles de la Amplificación Aleatoria del DNA Polimórfico (RAPD, por sus siglas en inglés). El cual utilizó la agrupación que incluyó el mayor número de individuos para llevarlos al invernadero en donde se multiplicaron por tres generaciones consecutivas de autopolinización, siendo las semillas de la tercera generación las que se utilizaron para realizar la caracterización morfológica y molecular.

El experimento se realizó en un invernadero del campo experimental del Campus Montecillo, del Colegio de Postgraduados localizado en Montecillo, Estado de México, a 98° 54' 11" longitud oeste y 19° 27' 38" de latitud norte.

#### **4.3.2. Manejo de plántula en almacigo**

Se sembraron 150 semillas de chile manzano y 150 semillas de chile CM-334, en charolas de polietileno negro de 50 cavidades con turba orgánica (peat moss) marca premier como sustrato. El portainjerto fue sembrado siete días después que el chile manzano para hacer coincidir los tallos de la variedad/portainjerto. (Cuadro 18). Las plántulas se fertilizaron con 3 g de triple 16 por charola, cada cinco días a partir de la emergencia, la cual ocurrió en los dos materiales a los 7 días después de la siembra. La fertilización de los materiales se realizó hasta un día antes del injerto. Esta calendarización de las fechas de siembra de ambos materiales, no coincide con lo que comúnmente se realiza, por ejemplo Palada y Wu (2012), mencionan que se debe sembrar primero el portainjerto que la variedad de interés agronómico, debido a que el portainjerto desarrolla su diámetro del tallo, más lento que el diámetro de la variedad. Sin embargo dado el crecimiento de la variedad, esta fue sembrada siete días antes que el portainjerto.



Cuadro 18. Fechas de siembra del portainjerto CM-334 y del chile manzano para realizar el injerto.

Fecha de siembra	Material vegetal
7 de diciembre	Manzano
14 de diciembre	CM-334

#### 4.3.3. Método de injerto

El injerto del chile manzano sobre CM-334 se realizó a los 75 dds. El injerto Manzano/CM-334 y autoinjerto del chile manzano, se realizó cuando las plántulas tenían entre cuatro y cinco hojas verdaderas y cuando el diámetro del tallo del portainjerto y del chile manzano era de 1.5-2 mm.

Las plántulas se injertaron por el método de empalme descrito por Lee y Oda *et al.* (2003) en plantas hortícolas y ornamentales y con el que López (2013) y Arellano- Ostoa., *et al.* (2014) lograron el mayor prendimiento en los injertos entre Manzano/CM-334 ayudados con clips o pinzas de silicona de 1.5 y 2 mm de diámetro. Antes de realizar el injerto, las plántulas de ambos materiales fueron regadas. Las plántulas del portainjerto y la variedad fueron cortadas por encima de los cotiledones en ángulo de 45° con navaja de rasurar. Las plantas de chile manzano a injertar se defoliaron, dejando únicamente dos hojas verdaderas. Posteriormente, las plántulas fueron llevadas a la cámara de aclimatación.

#### 4.3.4. Fase de aclimatación del injerto en cámara e invernadero

La fase de aclimatación del injerto de chile manzano, se llevó a cabo en una cámara de crecimiento con ambiente controlado, donde pasaron dos días en obscuridad total y cuatro días con intensidad lumínica de  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a temperatura constante de 20 °C, seguido de siete días a una intensidad lumínica de  $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y temperatura de 25/18°C (día/noche); durante los periodos con luz se utilizó un fotoperiodo de 12 h. Posteriormente, los injertos fueron trasladados a un invernadero rústico con cubierta plástica para continuar su aclimatación durante siete días más, con temperatura de entre 15-35 °C, humedad relativa de 60 al 75 % y una intensidad lumínica atenuada con malla

sombra de 90, 85 y 60 %. Haciendo un total de 18 días para las plantas injertadas de chile manzano sobre CM-334 y para plantas de chile manzano autoinjertadas.

#### **4.3.5. Manejo agronómico**

Las plántulas injertadas de chile manzano sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar fueron trasplantadas 13 días después de ser sacadas del invernadero de aclimatación, en macetas de polietileno negro de 10 L, en una mezcla de tezontle y turba como sustrato en relación 2:1 (v/v).

El cultivo fue fertirrigado con solución nutritiva Steiner al 50% durante los primeros siete días del trasplante y durante el resto del experimento se utilizó al 100 %. La frecuencia del riego fue cada tercer día, agregando un litro por maceta. Se empleó una doble malla sombra para obtener  $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de intensidad lumínica en el cultivo. Las plántulas fueron conducidas a dos tallos. Las plántulas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar abortaron las flores de los primeros cuatro o cinco entrenudos, a causa de la alta intensidad lumínica que era similar a la del chile pimienta durante los dos primeros meses de evaluación (Figura 10).

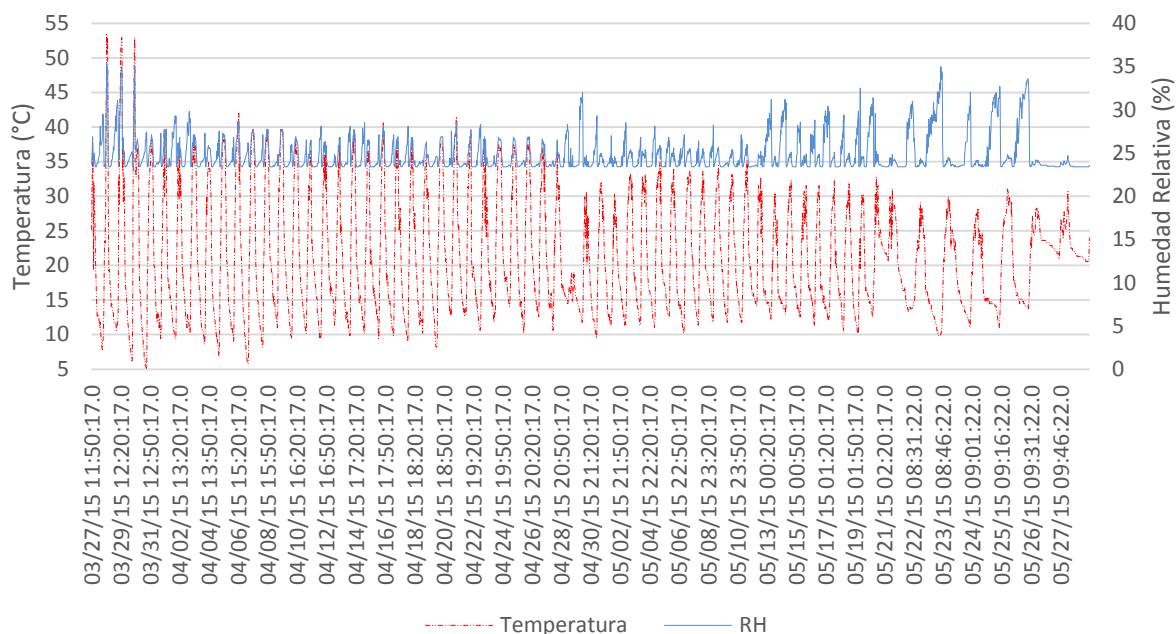


Figura 10. Temperatura y humedad relativa en el invernadero de producción de chile manzano durante los dos primeros meses de evaluación (marzo a mayo).

#### 4.3.6. Microtecnia Vegetal

Después de 125 días del trasplante, se muestreo una planta de los injertos Manzano/CM-334 y Manzano/Manzano, para realizar la microtecnia. El tallo de cada planta injertada fue cortada 0.5 cm por encima y por debajo de la zona de unión del injerto con pinzas de podar para extraer un trozo de aproximadamente 1 cm de largo (Figura 11). Posteriormente al trozo obtenido se le realizó un corte longitudinal-tangencial, con nava cutter y se introdujo en la solución de Formol-Acético-Alcohol (FAA).



Figura 11. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto del chile manzano con CM-334 para realizar la microtecnica a los 125 ddi.

El procedimiento para preparar los cortes anatómicos fue el mismo que se empleó para chile pimiento injertado sobre CM-334, del capítulo dos.

Para la obtención de los cortes anatómicos, de las plantas de manzano injertadas sobre CM-334, en la Figura 12, imágenes a, b, c, d y e, se describe dicho procedimiento.

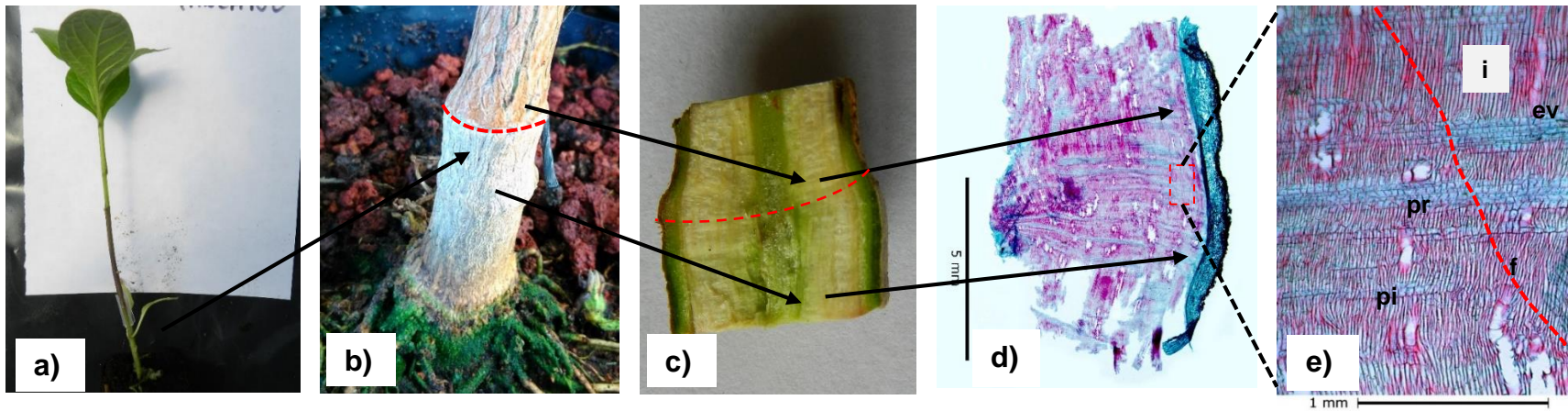


Figura 12. Plantas injertadas y cortes anatómicos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334.

a) Plántula de chile manzano injertada sobre CM-334; b) Zona de unión del injerto de chile Manzano/CM-334; c) Corte del tallo en la zona de unión del injerto de la planta del chile Manzano/CM-334; d) Preparación del anatómico del injerto Manzano/CM-334 y e) Corte anatómico de la zona de unión del injerto Pimiento/CM-334.

#### **4.3.7. Variables de estudio**

El porcentaje de prendimiento del injerto, fue evaluado después de un día de la fase de aclimatación en invernadero.

Vegetativas. Las variables vegetativas se registraron a partir del séptimo día hasta los 91 ddt. Las variables fueron: 1) incremento de altura de la planta (IAT, cm), medida desde la base del tallo al extremo distal en su primera medición, después cada siete se registraron los incrementos de crecimiento hasta los 91 ddt y posteriormente se registró el último dato a los 231 ddt. 2) se evaluaron los incrementos del diámetro del tallo del portainjerto (IDT, cm), medido a 1 cm por debajo de la zona de unión del injerto y el diámetro del tallo de la variedad (IDTV, mm), medida a 1 cm por encima de la zona de unión del injerto cada siete días y se evaluó el diámetro de la unión del injerto (IDTU, mm) a los 21 ddt.

Los frutos se llevaron a los laboratorios de fisiotécnica vegetal y de postcosecha de frutales para determinar el color, la firmeza, el número de semillas y lóculos, el contenido de sólidos solubles totales (°Brix), el volumen y grosor del pericarpio.

La metodología empleada para la determinación de los parámetros fotosintéticos, cortes anatómicos, rendimiento de fruto, color, firmeza, peso, grosor de pericarpio, número de semillas y lóculos, y contenido de sólidos solubles totales (SST) fue el mismo que se describió en el capítulo 2 de chile pimiento.

El volumen de los frutos fue determinado sumergiendo los frutos en una probeta graduada de un litro, y se consideró el desplazamiento de la columna de agua como el volumen de los mismos.

#### **4.4. Diseño experimental**

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con 32 repeticiones. Se evaluaron tres tratamientos: i) plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 (Manzano/CM-334); ii) plantas de chile manzano autoinjertadas (Manzano/Manzano) y

iii) plantas sin injertar (Manzano) y se consideró a una planta como una unidad experimental.

#### **4.5. Análisis estadístico**

Para el análisis de las variables vegetativas se evaluaron seis plantas y cinco para determinar los parámetros fotosintéticos, considerando una planta como una repetición. Y para las variables de calidad se utilizaron diez repeticiones por tratamiento. Los datos fueron analizados con el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) del programa estadístico SAS System 9.0. Para determinar las diferencias de rendimiento se empleó la prueba de t de Student ( $p \leq 0.05$ ). En tanto que, para determinar las diferencias significativas entre los porcentajes de prendimiento, se empleó la prueba de Chi-cuadrada, con ajuste de Bonferroni ( $p \leq 0.004$ ).

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Porcentaje de prendimiento

El primer reporte de éxito en la asociación entre *C. annuum* (CM-334) y *C. pubescens* fue hecha por López (2013), quien comprobó que dicha asociación podría realizarse en condiciones *in vitro*, obteniendo porcentajes de prendimiento entre 70 y 90 % después de 21 días. Arellano-Ostoa *et al.* (2014) desarrollaron un protocolo de micropropagación de una línea homogénea del CM-334 y los brotes enraizados fueron utilizados como portainjerto de *C. pubescens* y para superar la incompatibilidad entre ambas especies, durante la cicatrización de la unión, utilizó un medio con agua-agar (6 g L<sup>-1</sup>) adicionado con BA (0.1 mg L<sup>-1</sup>) logrando el 100% de prendimiento en los injertos de tipo diagonal o lengüeta. Posteriormente los injertos fueron transferidos a un medio MS suplementado con ANA+BA (0.01+0.1 mg L<sup>-1</sup>) + TRIA (10 µg L<sup>-1</sup>) donde el portainjerto mejoró el sistema radical y la unión del injerto fue fortalecida.

Tomando en cuenta la factibilidad de usar a la línea homogénea del CM-334 como portainjerto en este trabajo se planteó llevar a cabo los injertos en condiciones *ex vitro* entre ambas especies. Los resultados indican que las condiciones de injertación y aclimatización de los injertos fue adecuada, ya que se logró un prendimiento del 92 %, para Manzano/CM-334, mientras que para el autoinjerto (Manzano/Manzano) este fue menor con 89 % (Cuadro 19). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Martínez (2014) quien asegura haber obtenido el 90 % de prendimiento en la misma asociación en una cámara de curado, sin embargo no reporta la procedencia y calidad de las semillas del CM-334 utilizadas, mientras que en los injertos que realizó *in vitro* con los mismos materiales obtuvo un prendimiento menor (55.3 %). Es probable que la variación genética de las semillas haya influido en estos resultados y probablemente también influya en el nivel de resistencia a *P. capsici*, por lo que cobra mayor importancia el uso de una línea homogénea del portainjerto.

Por otro lado, M'Hamdi *et al.* (2010) reportan para injertos de chile pimiento diferencias en el prendimiento entre los tipos de injertos evaluados, con 28 % en el de aproximación, 74 % en el de hendidura y 89 % con el de inserción. En España Rojas y Rivero (2002)



reportan un 90 % de prendimiento con el injerto de aproximación y entre 60 y 70 % con el tipo de púa en chile (no mencionan la especie), lo cual indica que el porcentaje de prendimiento no depende de la interacción vegetal patrón/injerto, para los genotipos de la misma especie de chile, sino que depende del tipo de injerto empleado y nuestros resultados indican que tampoco para los genotipos de diferentes especies pero del mismo género.

Rodríguez y Bosland (2010) reportan que para que exista una mejor unión entre patrón e injerto, en chile es indispensable que los diámetros de ambos materiales sean similares, por lo que diámetros de tallo de entre 1.5 a 2 mm son los mejores para injertar, con estos diámetros se pueden usar clips de silicón de 1.5 mm de diámetro interno. Existen trabajos de injertos realizados en otras especies hortícolas como los reportados por Baixauli *et al.* (2013) quienes trabajaron con injertos de sandía (*Citrullus lanatus*) sobre diferentes especies de calabaza (*C. moschata*, *C. Máxima* x *C. Moschata* y *Lagenaria siceraria*) y Privitera (1999) quien reporta injertos exitosos entre jitomate y los híbridos intraespecíficos *Solanum lycopersicum* L. y *Solanum pimpinellifolium* L.; y sobre híbridos interespecíficos obtenidos de parentales silvestres (*Solanum lycopersicum* L. x *Solanum habrochaites* S. Knapp y D. M.).

Algunos reportes indican que el chile ha sido injertado sobre un portainjerto de jitomate (*C. annum* L/*Solanum lycopersicon* L.), y que fue indispensable que los diámetros de ambos materiales coincidieran y el diámetro ideal fue de 1.5 mm el cual obtuvo mejores resultados de prendimiento (58 %), mientras que diámetros de 2 mm el prendimiento disminuyó a 4 % (Rodríguez y Bosland, 2010).

El éxito de la unión de los injertos puede verse también afectado, además del genotipo, por la técnica, la habilidad del injertador y/o por las condiciones ambientales, por ejemplo Acosta (2005) afirma que en chile se necesita una temperatura de 25 a 27 °C, con una humedad relativa de 80 al 100 % y un ambiente rico en oxígeno y finalmente que el patrón este en crecimiento activo, sin embargo en este estudio el prendimiento de los injertos del chile manzano sobre el CM-334 se logró con temperaturas de entre 25.8 y 19.2 °C (día/noche) y una humedad relativa de 42.7 a 98.6 % condiciones mantenidas durante los primeros 13 días en la cámara.

Como ya se mencionado la semilla utilizada del CM-334, provenía de una línea homogénea obtenida mediante la comparación y agrupación por similitud de huellas genéticas y es probable que esta homogeneidad del material haya influido para obtener mayor porcentaje de prendimiento, que fue similar al obtenido por López (2013) ya que se trata de especies diferentes. Los resultados obtenidos en el presente experimento, sugieren que existió una compatibilidad fisiológica como consecuencia de un reconocimiento celular y la presencia de reguladores de crecimiento.

Cuadro 19. Porcentaje de prendimiento de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas.

Tratamiento	Total de injertos	% de prendimiento
Manzano/CM-334	125	92 a <sup>z</sup>
Manzano/Manzano	55	89 a
$\chi^2 = 0.3981; p = 0.52$		

<sup>z</sup> Medias con letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Chi-cuadrada, Bonferroni,  $p \leq 0.004$ ).

## 5.2. Altura de las plantas

En la Figura 13, se observa la altura alcanzada de las plantas injertadas, autoinjertadas y sin injertar de chile manzano después de 231 ddt. En esta figura se puede apreciar que la cinética de crecimiento de las plantas para los tres tratamientos tuvo una tendencia similar, se puede observar que las plantas injertadas sobre el CM-334 fueron las de menor tamaño durante todo el período de evaluación, seguido de las plantas autoinjertadas, las cuales tuvieron un 5 % más de incremento que las plantas injertadas sobre CM-334.

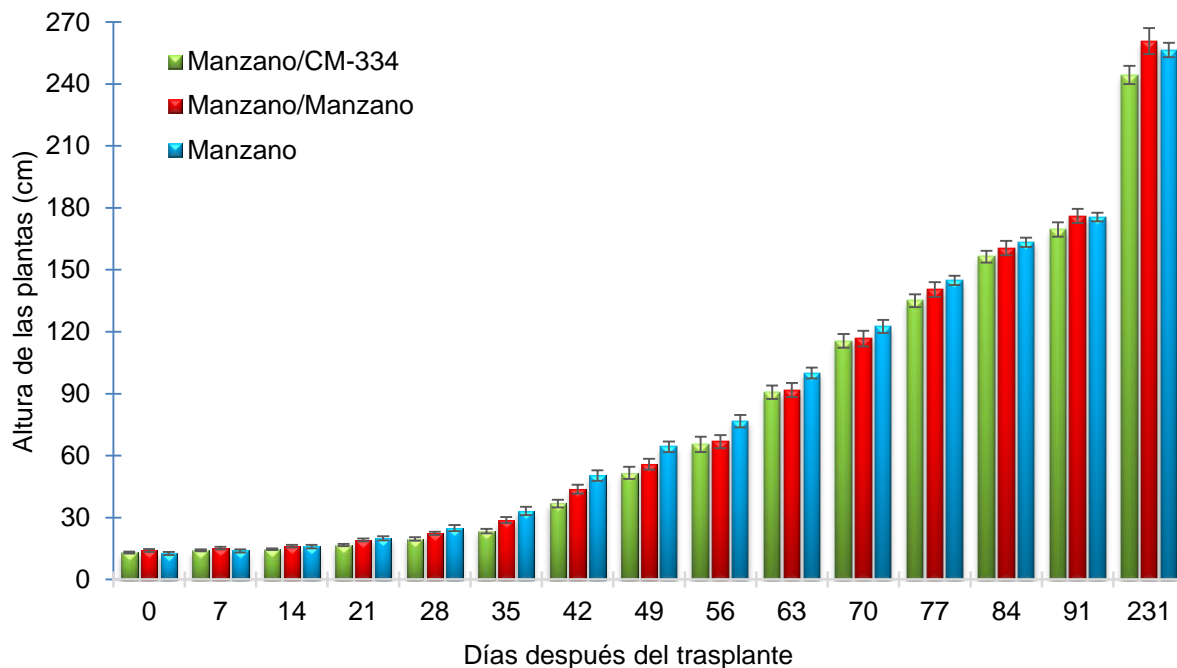


Figura 13. Altura de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 231 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

El crecimiento de las plantas está influenciado por varios factores como las condiciones climáticas, nutrición y la actividad hormonal entre otras, las cuales están relacionados con diferentes procesos fisiológicos. En nuestros resultados el análisis del incremento consecutivo (IAP) durante las semanas 1, 8, 13 y 33 después del transplante (ddt), fueron estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ ), sin embargo al final de la evaluación, las plantas de chile manzano injertadas sobre el CM-334 crecieron 12 cm menos que las plantas sin injertar (Cuadro 20).

Voutsela *et al.* (2012) reportan resultados similares a los obtenidos en este experimento al evaluar el crecimiento en plantas injertadas de tomate, sobre cinco portainjertos diferentes de tomate. Por otro lado, Martínez (2013) reporta que la altura final de las plantas injertadas de pimiento sobre CM-334 fueron diferentes significativamente e indica que hubo un 19 % en la disminución del crecimiento, estos resultados no están en línea con lo encontrado en este trabajo, ya que las plantas

injertadas de chile manzano sobre CM-334 y autoinjertadas al final de ciclo mostraron una altura semejante al de las plantas sin injertar.

Cuadro 20. Altura de la planta y su incremento consecutivo en plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	AP	IAP	AP	IAP	AP	IAP	AP	IAP	AF
	cm								
	SDT								
	0	1	7	8	12	13	13	33	33
Manzano/CM-334	13.0±1.6	1.0±0.4a <sup>z</sup>	51.6±10.1	14±3.2a	156.3±10	13.2±7.0a	169.6±12	74.8±13a	244.4±15
Manzano/Manzano	14.0±2.5	1.1±1.1a	55.8±9.0	11±2.4a	160.5±12	15.6±5.1a	176.0±11	84.7±20a	260.8±22
Manzano	12.5±2.7	1.2±1.2a	64.3±8.8	12±4.2a	163.3±7	12.2±3.9a	175.5±7	80.9±9a	256.5±12
Media		1.1		12.3		13.7		80.1	
CV %		88.2		27.4		40.3		19.1	

AP: Altura de la planta; IAP: Incremento de altura de la planta; AF: Altura final; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 5.3. Crecimiento en diámetro del tallo de los portainjertos y variedad

El diámetro de los tallos del portainjerto (CM-334) y del chile manzano autoinjertado y sin injertar, mostraron la misma tendencia que la altura de planta, así mismo en la Figura 14, se puede observar que desde el inicio de las evaluaciones (7 ddt) y hasta los 56 ddt, que el portainjerto CM-334 presentó menor diámetro, sin embargo, después de 63 ddt el crecimiento alcanzado fue muy similar a los otros tratamientos. Por otro lado, se puede observar también que a los 231 ddt, es decir al final de las evaluaciones, el diámetro del CM-334 fue mayor en 4 y 15 % en comparación con el diámetro del tallo obtenido en las plantas sin injertar y las autoinjertadas.

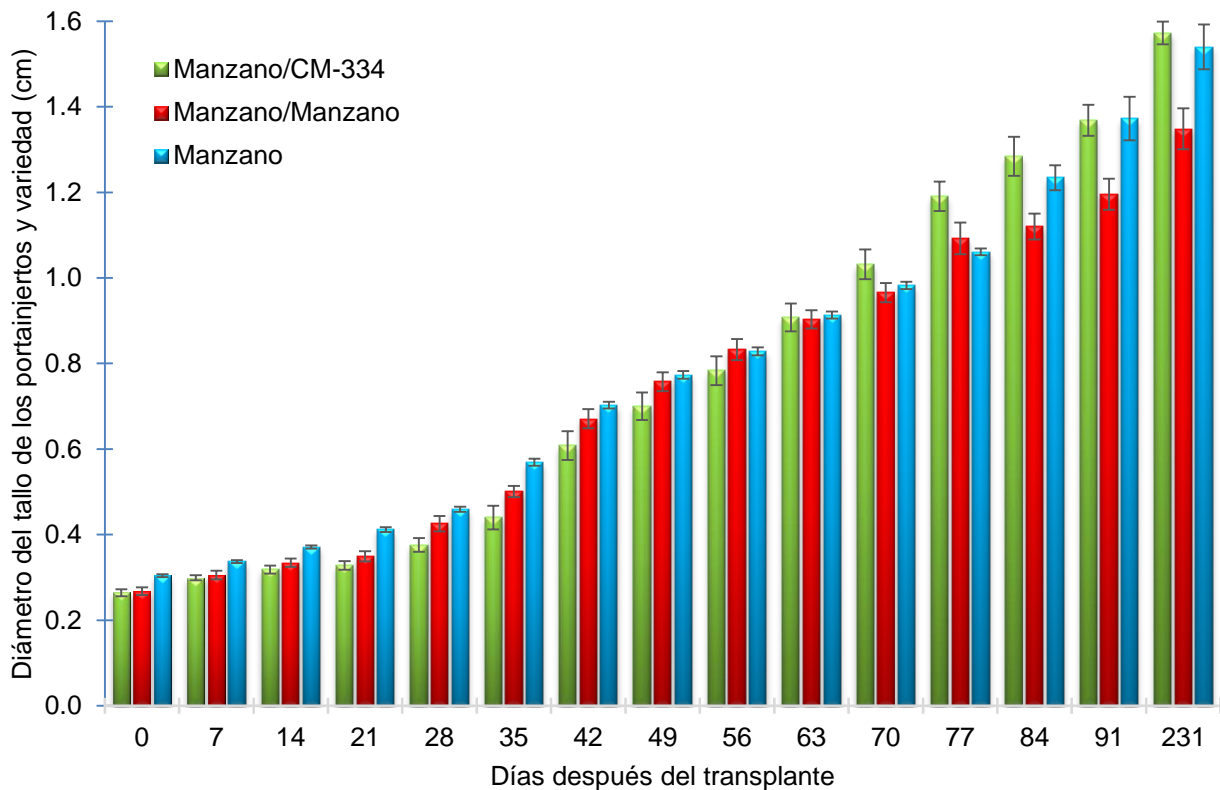


Figura 14. Diámetro del tallo de los portainjertos y del chile manzano sin injertar a los 231 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

Hernández (2010) reporta que al evaluar el efecto de los portainjertos de calabaza, chilacayote, estropajo y pepino, sobre una variedad de pepino encontró que hubo diferencias estadísticas significativas para el crecimiento en el diámetro del tallo de los portainjerto y el portainjerto de calabaza fue el que creció más, seguido del chilacayote y del pepino y por último el estropajo, indicando que los resultados estuvieron asociados al vigor de cada uno de los materiales empleados, lo que concuerda con los resultados presentados en el presente estudio..

En el Cuadro 21, se presentan las medias de los incrementos en el diámetro de los tallos del portainjerto CM-334 y la variedad autoinjertada y sin injertar. El análisis estadístico indica que en la semana 8 ddt hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), dado que el incremento del diámetro del portainjerto CM-334 fue mayor en 37 %, comparado con lo obtenido para el chile manzano sin injertar. Así mismo en el Cuadro 21 se puede apreciar que el diámetro final del tallo de los portainjertos y del chile manzano sin injertar después 33 semanas de evaluación fueron similares.

Cuadro 21. Diámetro del tallo y su incremento consecutivo de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DFT
	cm								
	SDT								
	0	1	7	8	12	13	13	33	33
Manzano/CM-334	0.2±0.03	0.03±0.03a <sup>z</sup>	0.7±0.1	0.08±0.03a	1.2±0.16	0.08±0.05 <sup>a</sup>	1.3±0.13	0.2±0.13a	1.5±0.09
Manzano/Manzano	0.2±0.03	0.03±0.02a	0.7±0.08	0.07±0.02ab	1.1±0.11	0.07±0.08a	1.2±0.13	0.2±0.07a	1.3±0.17
Manzano	0.3±0.04	0.03±0.02a	0.7±0.1	0.05±0.02b	1.2±0.35	0.11±0.27 <sup>a</sup>	1.3±0.61	0.2±0.06a	1.5±0.6
Media		0.03		0.07		0.09		0.16	
CV %		65.2		33.9		187		66.6	

DT: Diámetro del tallo; IDT: Incremento del diámetro del tallo; DFT: Diámetro final del tallo; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).



#### 5.4. Crecimiento en diámetro del tallo en la zona de unión de los injertos

El diámetro del tallo en la zona de unión del injerto del chile manzano con CM-334 y del autoinjerto fueron similares, sin embargo al final de las evaluaciones (231 ddt) la unión del injerto del chile manzano sobre CM-334 mostró 10 % de mayor crecimiento, respecto al diámetro del tallo de la zona de unión de las plantas autoinjertadas (Figura 15).

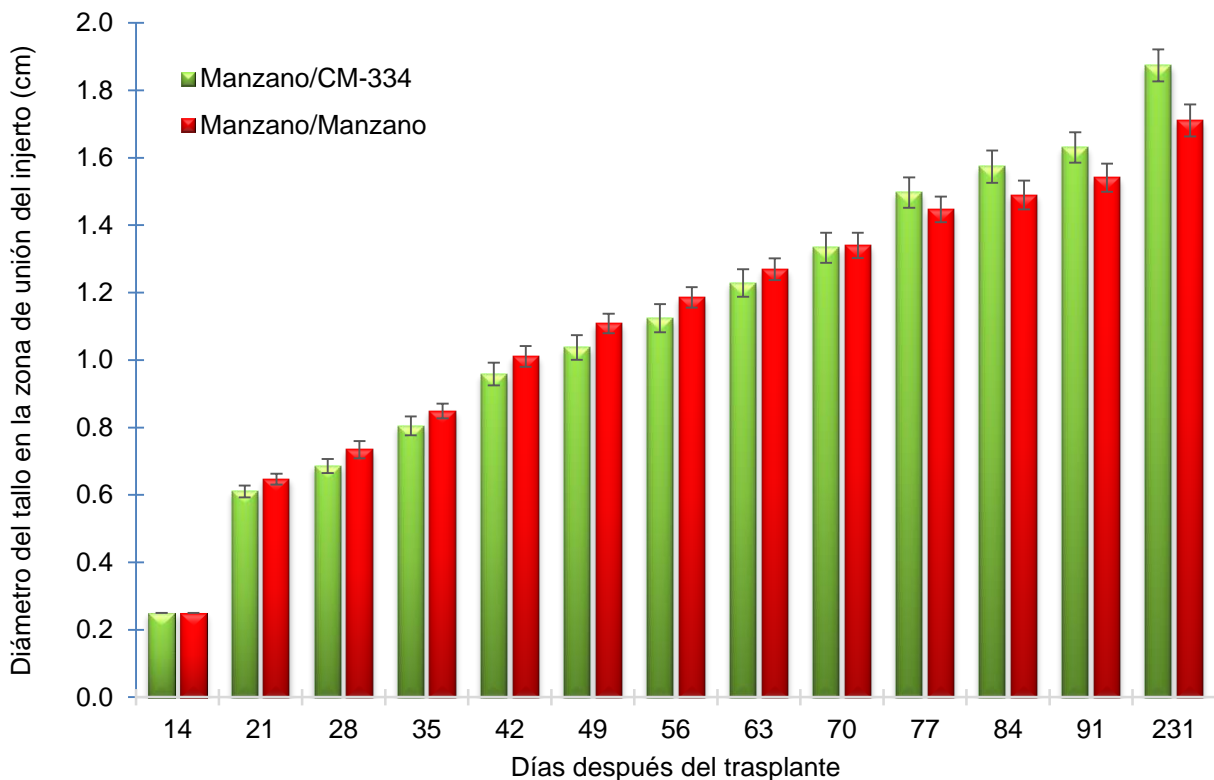


Figura 15. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto y autoinjerto de chile manzano a los 231 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

No se encontraron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) en los incrementos de los diámetros de los tallos en la zona de unión del injerto, durante las 3, 8, 13 y 33 dt. Sin embargo, al final del experimento la asociación Manzano/CM-334 fue 30 % mayor que el diámetro del tallo que presentaron los autoinjertos Manzano/Manzano (Cuadro 22).

Sin embargo, Martínez (2014) al evaluar y comparar el diámetro del tallo en la zona de unión del injerto, con plantas no injertadas a los 90 ddt y 270 ddt, reporta diámetros de 1.96 y 2.6 cm respectivamente, diferencias que fueron significativas. En nuestros resultados al evaluar y comparar el incremento del diámetro del tallo en la zona de unión del injerto a los 231 ddt, no se encontraron diferencias significativas entre las plantas injertadas de chile manzano con CM-334 y las plantas de chile manzano autoinjertadas.

Cuadro 22. Diámetro del tallo en la zona de unión del injerto y su incremento consecutivo de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 3, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	DTU	IDT	DTU	IDT	DTU	IDT	DTU	IDT	DTF
	cm								
	SDT								
	0	3	7	8	12	13	13	33	33
Manzano/CM-334	0.2±0.01	0.4±0.06a <sup>z</sup>	1.0±0.13	0.07±0.03a	1.5±0.17	0.07±0.04a	1.6±0.16	0.16±0.08a	1.9±0.16
Manzano/Manzano	0.2±0.01	0.4±0.06a	1.1±0.1	0.06±0.02a	1.5±0.15	0.06±0.03a	1.5±0.14	0.12±0.07a	1.7±0.16
Manzano	0.3±0.04	0.03±0.02	0.7±0.1	0.05±0.02	1.2±0.35	0.11±0.27	1.3±0.61	0.2±0.06	1.5±0.6
Media		0.37		0.06		0.06		0.14	
CV %		61		35.6		82.4		43.5	

DTU: Diámetro del tallo de la unión del injerto; IDT: Incremento del diámetro del tallo en la zona de unión del injerto; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En cuanto al diámetro del tallo en la zona de unión del injerto final de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, estos son mayores en 21 y 12 % respecto al diámetro del tallo de las plantas de chile manzano sin injerta.

### 5.5. Crecimiento en diámetro del tallo de la variedad injertada

En cuanto al diámetro del tallo en la variedad injertada, se puede observar en la Figura 16, que al final de las evaluaciones el diámetro en el chile manzano injertado sobre CM-334 fue 7 % mayor que el diámetro del chile manzano autoinjertado.

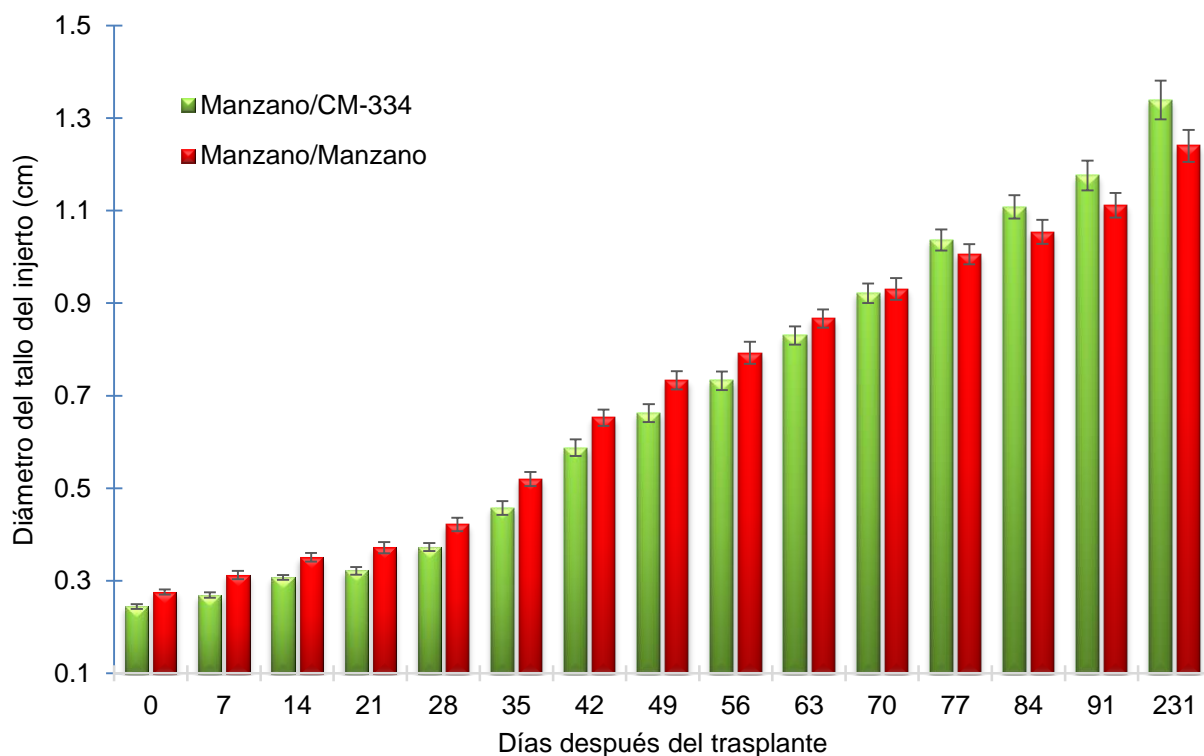


Figura 16. Diámetro del tallo del chile manzano injertado y autoinjertado a los 231 ddt.

Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de 12 repeticiones.

En tanto para la variable incremento del diámetro del tallo de las variedades injertadas, se reporta que esta característica está asociada al vigor que confiere el patrón el cual proporciona agua y nutrientes en cantidad suficiente como lo demanda la variedad injertada (Ruiz *et al.*, 1997). En este experimento los resultados para el diámetro del tallo del chile manzano injertado sobre CM-334 y autoinjertado indican que no hubo diferencias estadísticas en ninguna de las semanas evaluadas en las que se realizó el análisis estadístico ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 23).

Nuestros resultados indican que el diámetro del tallo de los portainjertos CM-334 y manzano crece de forma similar, lo que ayudo a que el diámetro del tallo de la variedad injertada se desarrolle de manera normal. Sin embargo al término de las evaluaciones el diámetro del tallo de las plantas injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, son menores en 14 y 20 % respecto al diámetro del tallo de las plantas de chile manzano sin injertar.

Cuadro 23. Diámetro del tallo de la variedad injertada y su incremento consecutivo de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 y autoinjertadas, después del trasplante (semana 0) 1, 7, 8, 12, 13 y 33, bajo condiciones de invernadero.

	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DT	IDT	DTF
Tratamiento	cm								
	SDT								
	0	1	7	8	12	13	13	33	33
Manzano/CM-334	0.2±0.02	0.02±0.02a <sup>z</sup>	0.6±0.07	0.07±0.02a	1.1±0.09	0.07±0.06 <sup>a</sup>	1.1±0.1	0.16±0.07a	1.3±0.1
Manzano/Manzano	0.2±0.02	0.03±0.02a	0.7±0.07	0.06±0.03a	1.0±0.09	0.06±0.05 <sup>a</sup>	1.1±0.1	0.12±0.05a	1.2±0.1
Manzano	0.3±0.04	0.03±0.02	0.7±0.1	0.05±0.02	1.2±0.35	0.11±0.27	1.3±0.61	0.2±0.06	1.5±0.6
Media		0.03		0.06		0.06		0.14	
CV %		61		35.6		82.4		43.5	

DT: Diámetro del tallo; IDT: Incremento del diámetro del tallo; DTF: Diámetro del tallo final; SDT: Semanas después del trasplante; CV: Coeficiente de variación.

<sup>z</sup> los valores son promedios de seis plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

## 5.6. Análisis anatómico

Existen pocos trabajos anatómicos relacionados con el proceso de injertación en Chile, sin embargo aun y cuando el injerto se pueda realizar entre especies del mismo género, no siempre es posible realizarlo, ya que pueden existir algunas barreras físicas o incompatibilidad entre los tejidos (Hartmann *et al.* 2010). El primer reporte de haber logrado la asociación entre las dos especies de *Capsicum* fue López (2013) en condiciones *in vitro* y posteriormente Martínez (2014). En otras especies se han tenido también informes como los indicados por Baixauli *et al.* (2013) y Privitera (1999).

En la Figura 17, se observa un corte anatómico de la zona de unión del injerto del Chile manzano sobre CM-334, en dicha figura se puede apreciar que la unión del tallo del portainjerto CM-334 (*C. annuum* L.) con el tallo del Chile manzano (*C. pubescens* R. & P.) se dio perfectamente. En esta figura al igual que en la unión del tallo del injerto de pimiento sobre CM-334, se observan conexiones entre el parénquima radial (pr), entre las fibras (f) y entre los elementos de vasos del xilema (ev) de ambos genotipos. Así mismo el injerto de Chile manzano sobre CM-334 no presenta rupturas en la continuidad de los tejidos vegetales, lo que establece su compatibilidad anatómica, sin embargo no se tienen datos sobre la vida útil de la asociación, dado que solo existe un reporte de evaluación agronómica por Martínez (2014), quien evaluó las plantas hasta 194 dds.

En nuestros resultados, la formación de callo en la zona de unión del injerto se dio de manera exitosa, sin embargo es necesario evaluar esta característica, ya que al final del experimento del Chile manzano el diámetro del tallo en la zona de unión del injerto fue mayor en 10 %, comparado con el diámetro del tallo en la zona de unión del autoinjerto, lo que podría causar una futura incompatibilidad que se podría ver reflejada en el rendimiento, sin embargo dicha incompatibilidad del injerto normalmente se produce en etapas tempranas, cuando las conexiones vasculares se están formando, pero pueden presentarse en fechas tardías como en la etapa de fructificación, cuando la planta tiene una alta demanda de agua y nutrientes, lo cual no sucedió en este experimento después

de 231 dt, para ninguna de las interacciones vegetales (Manzano/CM-334 y Manzano/Manzano) (Tokuda, 2006). Sin embargo, ya que la planta es considerada como perenne es necesario seguir evaluando esta asociación. Martínez (2014) observó que a los 13 días después del injerto de chile manzano sobre CM-334, puentes de callo que unían las células del parénquima, a los 17 ddi observó que la zona más externa del injerto aún no se unían y a los 21 ddi observó cicatrización en la zona más externa de la unión del injerto, y menciona que después de esta fecha fue más notoria la cicatrización del injerto.

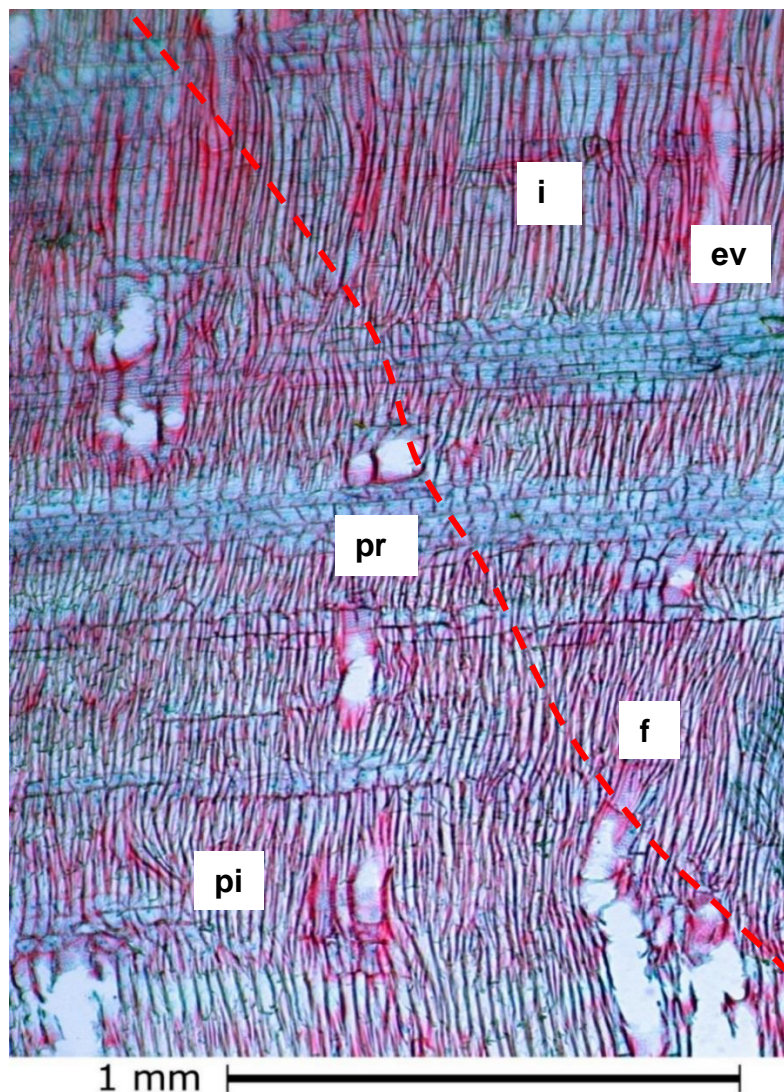


Figura 17. Corte longitudinal tangencial de la zona de unión del injerto Manzano/CM-334 a los 125 ddt.

pi: Portainjerto CM-334, i: Injerto de manzano, f: Fibras, ev: Elementos de vasos y pr: Parénquima radial.

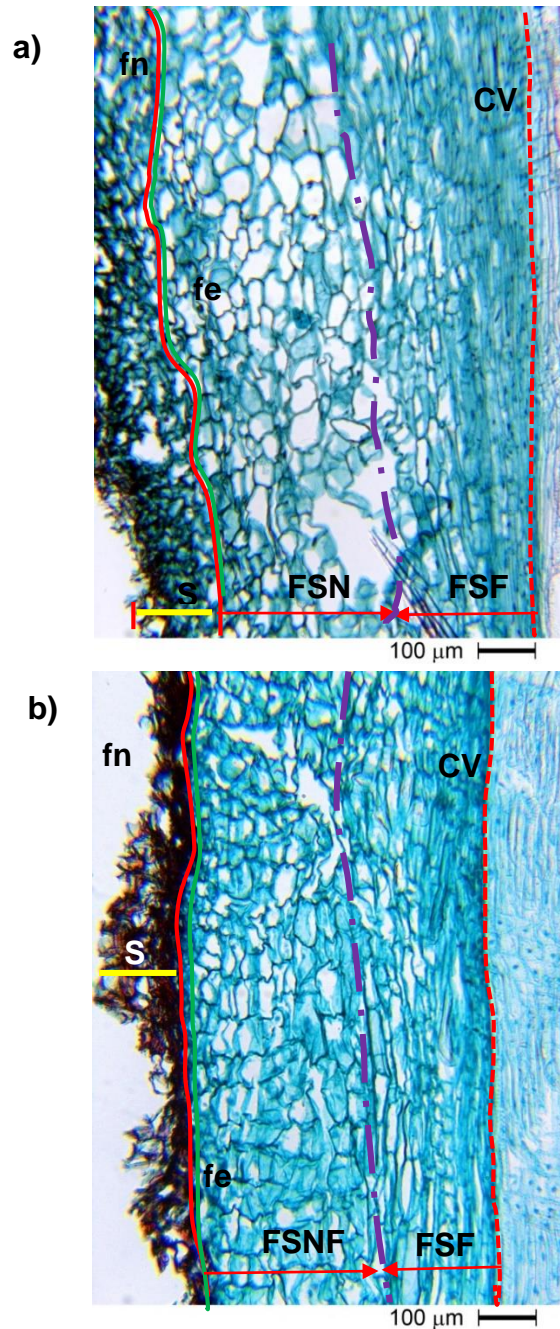
En las siguientes figuras se describe la formación de estructuras como el felógeno, felodermis y unión de la corteza secundaria, entre otras estructuras. Para describir la estructura anatómica de la corteza de los chiles injertados es preciso iniciar con la formación de la peridermis.

Por ejemplo, la peridermis es un conjunto de estratos celulares, denominados súber, felógeno y felodermis. Siendo el origen del primer felógeno el estrato de células de la subepidermis (corteza primaria), aunque posteriormente este se desarrolla a partir del floema y parénquima secundario. El felógeno que se puede observar en la Figura 18, imágenes a) y b), se formó del parénquima floemático secundario más interno ya que este es el más funcional (Esau, 1965).

En algunos materiales se pudo cortar la corteza secundaria completa (Figuras 18, imágenes a y b) del injerto manzano sobre CM-334, en dichas imágenes se observa todo el tejido muerto constituido de: súber, restos de felógeno y felodermis, restos de floema secundario no funcional, en estratos sucesivos hasta encontrar más internamente el último felógeno (funcional).

En la corteza secundaria del injerto de chile manzano sobre CM-334 se observa una compatibilidad, ya que hubo continuidad entre los elementos de tubos cribosos y sus células acompañantes desde el portainjerto hasta la variedad. Así mismo se observó una continuidad entre los tejidos del parénquima floemático. Por último como síntoma de compatibilidad se observó la formación del felógeno secundario que origina la peridermis protectora más externa como se aprecia en la Figura 19. Una formación baja o incorrecta de callo entre el patrón y el injerto podría conducir a la defoliación, la reducción del crecimiento del vástago y la baja supervivencia de las plantas injertadas (Oda *et al.*, 2005). Resultados que no se manifiestan en este experimento, ya que tanto el incremento de la altura, como el incremento de los diámetros de los tallos de los portainjertos y variedad injertada, indicaron que las plantas injertadas después de 231 días de evaluación no presentaron problemas de compatibilidad.





Simbología:

----- Cámbium Vascular (CV)

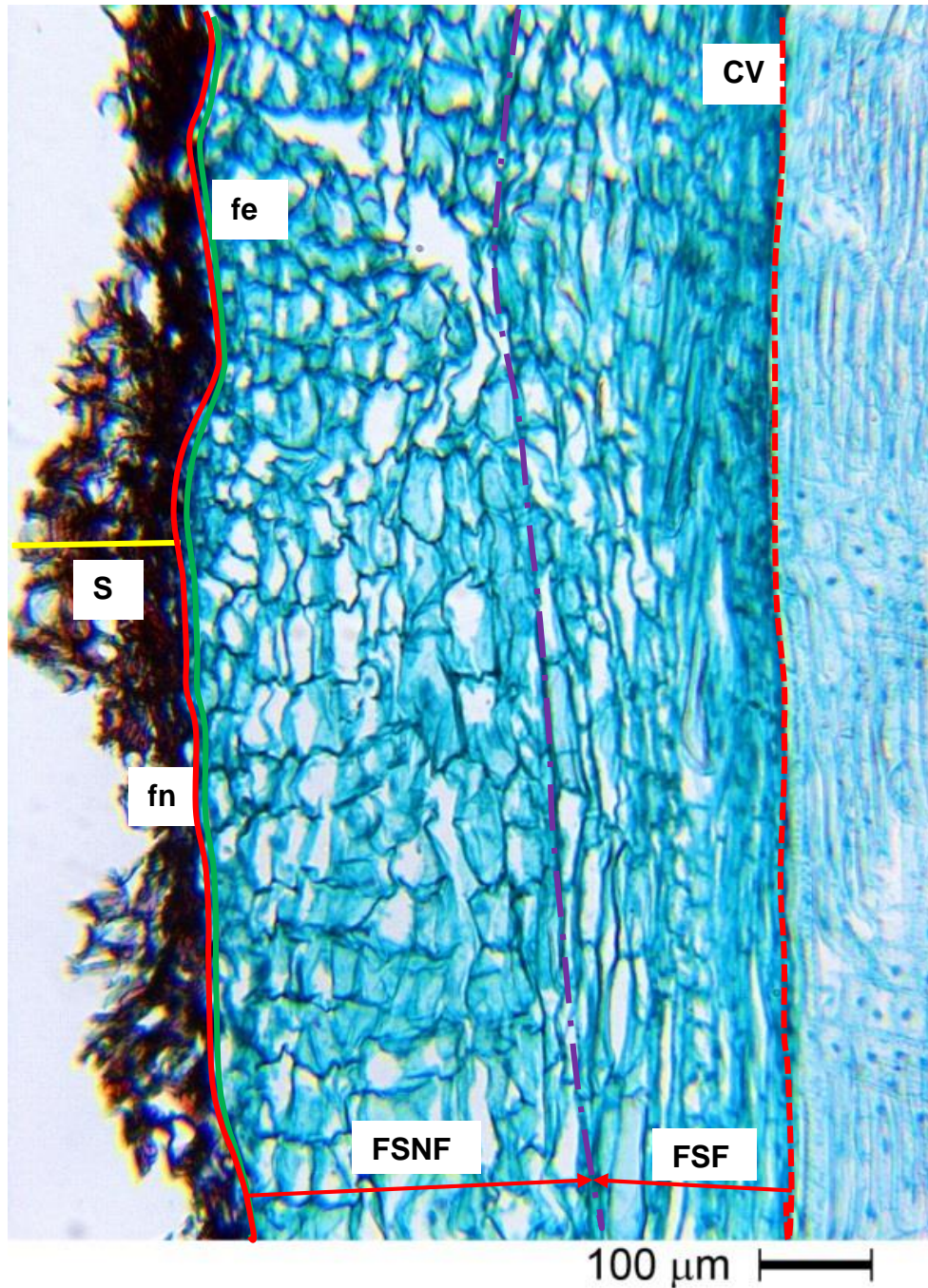
- · - · - Delimitación de floema secundario funcional (FSF) hacia dentro y floema secundario no funcional (FNF) hacia afuera

— Felógeno (fn)

— Felodermis (fe)

— Delimitación del súber (S)

Figura 18. c) Corteza secundaria del chile manzano, b) Corteza secundaria del portainjerto CM-334 unido al manzano.



Simbología:

----- Cámbium vascular (CV).

- · - · - Delimitación de floema secundario funcional (FSF) hacia dentro y floema secundario no funcional (FSNF) hacia afuera.

— Felógeno (fn).

— Felodermis (fe).

— Delimitación del súber (S).

Figura 19. Corteza secundaria del portainjerto CM-334.

Se ha reportado, la diferenciación del cámbium vascular para formar callo y un nuevo cámbium para unir los haces vasculares que conformen el paquete vascular original de ambos tallos, comienza a los 4 y 8 días después del injerto y se desarrolla totalmente después del 15 días (Fernández-García *et al.*, 2004). Turquois y Malone (1996) observaron que las conexiones hidráulicas ocurren en injertos de jitomate cinco días después del injerto. Martínez (2013) reporta que las plantas de pimiento se encuentran totalmente unidas a los diez días después del injerto (ddi), contrario a lo que sucede en los injertos de jitomate y berenjena, donde la unión seda entre los 5 y 8 ddi, efecto causado en pimiento debido a la falta de formación de callo.

### **5.7. Parámetros Fotosintéticos**

Para probar el efecto que causa el portainjerto e injerto en las plantas es necesario evaluar diferentes parámetros, uno de ellos es la medición de la fotosíntesis neta (FN), en este contexto Jun-Gou y Hui-ling (2010) reportan que las plantas injertadas de calabaza aumentan la FN cuando las plantas son tratadas con NaCl, contrario a las plantas no injertadas que la disminuyen.

En el Cuadro 24, se observan las medias estadísticas para las lecturas de radicación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire (Taire), evaporación (Evap), temperatura de la hoja (Thoja) y fotosíntesis neta (FN) a los 90 ddt, en plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar.

Los resultados obtenidos fueron estadísticamente iguales entre los tres tratamientos, lo que significó que a pesar de los factores de temperatura de la hoja y del aire, de la evaporación y de la RFA, las asociaciones estudiadas no afectaron la FN. Así mismo, en las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334 se registraron un aumento del 40 % en la fotosíntesis neta (FN), en comparación con las plantas sin injertar.

Cuadro 24. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 90 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire ( $^{\circ}\text{C}$ )	Evap (%)	Thoja ( $^{\circ}\text{C}$ )	Fn ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Manzano/CM-334	422 a <sup>z</sup>	29.0 a	7.4 a	26.6 a	15.6 a
Manzano/Manzano	330 a	28.8 a	6.1 a	26.7 a	10.4 a
Manzano	326 a	28.6 a	5.0 a	27.0 a	9.4 a
Media	359	28.83	6.2	26.7	11.8
CV %	30.1	5.7	31.2	3.8	29.5
DMS	453.29	6.9	8.1	4.2	14.6

RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; Fn: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Díaz-Pérez (2013) reporta que la FN es afectada por la cantidad de sombra empleada en el cultivo, demostrando que este parámetro disminuye 50 % con malla sobra de 80 % en plantas de chile pimiento, estos resultados coinciden con lo encontrado en este experimento, donde la FN fue 40 % menor bajo una malla sombra de 75 %, a una RFA de  $166 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Penella *et al.* (2013) reporta que la FN no cambia bajo condiciones normales y de alta salinidad ( $5 \text{ dSm}^{-1}$ ) en 18 materiales empleados como portainjertos, para chile. Martínez-Ballesta *et al.* (2004) reportan diferencias en la FN en plantas injertadas de chile pimiento bajo condiciones salinas, lo que ocasiona una disminución en la conductancia estomática a través del tiempo, mientras que las plantas de chile injertadas bajo condiciones normales de salinidad no muestran efectos negativos. Lycoskoufis *et al.* (2005) reportan que la FN disminuye notablemente cuando las plantas de pimiento son expuestas a salinidad (NaCl) de  $8 \text{ dSm}^{-1}$  y mencionan que la salinidad puede afectar negativamente la FN, ya sea debido a las limitaciones en el suministro de  $\text{CO}_2$  derivadas de un cierre parcial de los estomas, o por alterar el mecanismo bioquímico

de la fijación de CO<sub>2</sub>, en tanto las plantas de pimiento bajo condiciones normales de salinidad no mostraron efectos negativos en la FN.

En nuestros resultados, los parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar son mostrados en el Cuadro 25. En este cuadro se puede observar que los tratamientos Manzano/CM-334 y Manzano fueron iguales estadísticamente en todos los parámetros evaluados, sin embargo fueron diferentes estadísticamente al tratamiento de las plantas de chile manzano autoinjertadas para el parámetro RFA y la variable FN, en tanto para los parámetros Taire, Evap y Thoja los tratamientos son iguales estadísticamente. Las diferencias encontradas para la FN respecto a la media del tratamiento Manzano/CM-334 fueron 13 y 65 % mayores que las medias de los tratamientos Manzano y Manzano/Manzano respectivamente, así mismo se puede apreciar que la peor RFA registrada ( $164 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en las plantas autoinjertadas con respecto a la RFA registrada en las plantas de chile Manzano sin injertar, es el factor que más influyó para obtener una menor FN en las plantas autoinjertadas.

Cuadro 25. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 106 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire (°C)	Evap (%)	Thoja (°C)	FN ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Manzano/CM-334	353.5 a <sup>z</sup>	28.4 a	5.1 a	26.7 a	8.0 a
Manzano/Manzano	163.9 b	28.7 a	5.1 a	26.8 a	2.9 b
Manzano	324.8 a	28.8 a	4.8 a	27.3 a	7.3 a
Media	280.7	28.6	5.0	26.9	6.0
CV %	51.1	6.9	33.0	6.3	58.0
DMS	159	2.2	1.8	1.9	3.9

RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; Fn: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).



Los parámetros fotosintéticos evaluados para los tratamientos de chile manzano después de 110 dt, son presentados en el Cuadro 26, los resultados obtenidos indican que no hubo diferencias significativas para las lecturas de RFA, Taire, Evap y Thoja. Sin embargo, la FN fue diferente estadísticamente entre el tratamiento de chile Manzano sin injertar y el tratamiento Manzano/CM-334, esta diferencia estadística representó un incremento para la FN de 34.4 % para las plantas de chile manzano injertadas sobre el CM-334, de forma similar el parámetro que mostró mayor efecto sobre la FN fue la RFA, ya que esta fue 17 % menor, con respecto a la registrada en las pantas de chile manzano injertadas sobre CM-334.

Cuadro 26. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 110 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire ( $^{\circ}\text{C}$ )	Evap (%)	Thoja ( $^{\circ}\text{C}$ )	Fn ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Manzano/CM-334	628.4 a <sup>z</sup>	31.6 a	5.3 a	30.2 a	10.1 a
Manzano/Manzano	546.3 a	32.7 a	7.0 a	30.5 a	8.9 ab
Manzano	520.8 a	32.9 a	6.1 a	31.1 a	6.9 b
Media	565.1	32.4	6.1	30.6	8.6
CV %	34.2	4.4	31.7	4.9	29.5
DMS	214.8	1.6	2.2	1.6	2.8

RFA: Radiación fotosintéticamente activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; Fn: Fotosíntesis net; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos para los parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar después de 136 dt, son presentados en el Cuadro 27. Nuestros resultados indican que los parámetros RFA y Evap, fueron estadísticamente similares entre los tres tratamientos evaluados (Tukey,  $p \leq 0.05$ ), mientras que los valores registrados para la Taire, Thoja y la Fn fueron

estadísticamente diferentes. El tratamiento Manzano/Manzano presentó un incremento de 6 % en la Taire y la Thoja, respecto al tratamiento Manzano/CM-334; este incremento afectó negativamente la FN en ese tratamiento, ya que la FN fue 40 % menor que la observada en el tratamiento Manzano/CM-334. Lo anterior puede ser causado debido a que la temperatura puede causar un cierre parcial de estomas, lo que limita la absorción de CO<sub>2</sub>, disminuyendo la FN.

Cuadro 27. Parámetros fotosintéticos de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar a los 136 ddt.

Tratamiento	RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taire (°C)	Evap (%)	Toja (°C)	Fn ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ )
Manzano/CM-334	476.0 a <sup>z</sup>	29.8 b	4.9 a	28.4 b	7.1 a
Manzano/Manzano	523.5 a	31.7 a	4.9 a	30.4 a	4.2 b
Manzano	422.4 a	30.6 ab	5.2 a	29.0 b	6.8 a
Media	473.9	30.7	5.0	29.3	6.0
CV%	25.4	3.8	24.86	3.9	39.0
DMS	133.8	1.3	1.4	1.3	2.6

RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Taire: Temperatura del aire; Evap: Evaporación; Thoja: Temperatura de la hoja; Fn: Fotosíntesis neta; CV: Coeficiente de variación y DSM: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Nuestros resultados de FN en las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, indican que el portainjerto aumenta este parámetro en 18.5 %, en comparación con las plantas sin injertar, e independientemente de la temperatura de la hoja y del aire, de la evaporación y etapa fenológica en la que se encuentre la planta, sin embargo en la etapa de fructificación (amarre, crecimiento y desarrollo del fruto) se presentó el mayor porcentaje de FN con 23 % para las plantas injertadas de chile manzano.

## 5.8 Rendimiento total de chile Manzano

Pérez-Grajales *et al.* (2009) reportan rendimientos de fruto de chile manzano de 1.6 a 1.8 kg por planta, con una densidad de 2 plantas por m<sup>2</sup>. Pérez-Grajales *et al.* (2004) al evaluar seis variedades locales de chile manzano reportan rendimientos que van de 4 a 19.2 ton ha<sup>-1</sup>, empleando una densidad de población de 12, 500 plantas por hectárea (1.25 plantas/m<sup>2</sup>). Por su parte Espinosa *et al.* (2014) reportan rendimientos de 16 ton ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>, 13.9 ton ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> y 70.6 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para los sistemas de producción a campo abierto bajo sombra de pino, con duración de la planta de 1.5 años, a campo abierto asociado al cultivo de aguacate con duración de la planta 1.3 años y en un sistema de producción intensivo en condiciones de invernadero con duración de la planta 5 años, respectivamente. Rocha (2010) reporta rendimientos de chile manzano de 0.21 kg m<sup>-2</sup>, durante ocho semanas de corte, con una densidad de 1.06 plantas m<sup>-2</sup> en un invernadero de alta tecnología.

En nuestros resultados de rendimiento de chile manzano, los valores obtenidos por planta equivalen a producir 24.4, 19.8 y 11.9 ton ha<sup>-1</sup>, al cosechar los frutos durante siete semanas, para las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, sin injertar y autoinjertadas respectivamente, con densidad de 4.7 plantas por m<sup>2</sup> en un invernadero de baja-media tecnología, rendimientos que superan a lo reportado por Rocha (2010), por Pérez-Grajales *et al.* (2004) y por Espinosa (2014). Jovicich (2004), menciona que las diferencias encontradas de rendimiento del fruto varia debido a la ubicación del invernadero, estación de crecimiento, densidad de población, sistema de entutorado, cultivar, riego, fertilizantes empleados y tecnología empleada en el invernadero.



Cuadro 28. Rendimiento total de chile manzano injertado sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Rendimiento total (kg/planta)	Rendimiento por ha (4.7 plantas m <sup>-2</sup> )
Manzano/CM-334	0.52 a <sup>z</sup>	24.4
Manzano/Manzano	0.25 b	11.9
Manzano	0.42 ab	19.8

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (t-Student,  $p \leq 0.05$ ).

Martínez (2014) reporta rendimientos para plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, conducidas a dos y cuatro tallos y plantas sin podar de 11, 10 y 6 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, durante un periodo de cosecha de 15 semanas, con una densidad de población 0.62 plantas m<sup>-2</sup>. Los resultados obtenidos en el presente experimento para las plantas injertadas de chile manzano sobre CM-334, conducidas a dos tallos equivalen a producir 24 t ha<sup>-1</sup>, en siete semanas de cosecha, con densidad de 4.7 plantas m<sup>-2</sup>, rendimiento que supera por más del doble y en la mitad de tiempo de cosecha, a lo obtenido por Martínez (2014).

### 5.9. Clasificación de frutos de chile manzano

El comité del códex sobre frutas y hortalizas frescas, elaboró una norma de calidad mundial para diferentes frutos de chile entre ellos el fruto del chile manzano. Esta norma al igual que la establecida por México Calidad Suprema permite al productor comercializar a precios por encima de los demás productores y/o empresas. Así mismo esta norma establece que la calidad depende del tamaño, inocuidad y etiquetado, los cuales dan certeza al consumidor sobre las características del producto como estado de madurez, turgencia de los frutos, grosor del pericarpio, color del fruto, contenido de capsicina, tamaño y uniformidad entre otros (FAO/OMS, 2008). En México actualmente se cuenta la norma internacional del comité del códex para frutas y hortalizas, y establece que todos los frutos independientemente del tamaño del chile manzano son aptos para ser comercializados.

En nuestros resultados del Cuadro 29, de un total de 963 frutos de chile manzano cosechados entre los tres tratamientos, el 47.6 % correspondió a lo obtenido en el tratamiento Manzano/CM-334, el 33.2 % para el tratamiento de chile Manzano sin injertar y el 19.2 % para el tratamiento de las plantas autoinjertadas Manzano/Manzano. Los resultados del ANOVA y prueba de medias indican que para las categorías de fruto chico y mediano los mejores tratamientos fueron el Manzano/CM-33 y Manzano, y fueron diferentes estadísticamente al tratamiento Manzano/Manzano. Los frutos de la categoría chico aumentaron en el tratamiento Manzano/CM-334, en 82 y 55 % respecto a lo obtenido en los tratamientos de las plantas autoinjertadas y sin injertar de chile manzano.

En la categoría de fruto mediano el incremento de la producción del tratamiento Manzano/CM-334 representó un aumento de 47 y 22 % respecto los tratamientos de las plantas autoinjertadas y sin injertar de chile manzano. Así mismo para la categoría de fruto grande, el ANOVA y la prueba de medias indican diferencias estadísticas entre los tratamientos Manzano y Manzano/CM-334, siendo el mejor tratamiento el de las plantas de chile manzano sin injertar.

Los resultados indicaron que hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos para la cantidad total de frutos, donde se encontró que Manzano/CM-334, obtuvo más del doble de frutos que el tratamiento Manzano/Manzano que resultó estadísticamente igual a lo obtenido por las plantas sin injertar. Esas diferencias estadísticas representaron una disminución en el número total de frutos para los tratamientos Manzano/Manzano y Manzano de 59 y 30 % respecto al rendimiento obtenido por las plantas injertadas con el CM-334 (Cuadro 29).

Cuadro 29. Clasificación de frutos de chile manzano obtenidos a partir de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Chico	Mediano	Grande	Frutos totales
Manzano/CM-334	106 a <sup>z</sup>	119 a	4b	230 a
Manzano/Manzano	19 b	62 b	11 ab	93 b
Manzano	47 ab	92 ab	20 a	159 ab
Media	57.5	91.0	12	160.0
CV %	29.8	10.0	27.6	15.8
DMS	71.7	38.1	13.8	105.8

CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, en total 963 frutos evaluados, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 5.10. Peso, largo y ancho de frutos de chile manzano

Los resultados obtenidos para la variable peso del fruto, se muestran en el Cuadro 30, estos resultados nos permitieron identificar que el tratamiento de las plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, produjeron frutos con menor peso (35.7 g) con 24 % menos en tamaño, que los frutos obtenidos de las plantas de chile manzano sin injertar. Esta diferencia nos indica que el cultivo de chile manzano injertado sobre CM-334 debe ser manejado bajo otras condiciones de manejo o sistema de producción, con cambios en la solución nutritiva, con otro sistema de entutorado o manejo de poda y de conducción de las plantas y obtener frutos de mayor peso.

En cuanto a la forma de los frutos cosechados de las plantas de chile manzano, en el Cuadro 30 se muestran las medias estadísticas de longitud y ancho de los mismos, los resultados indicaron que hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos Manzano/CM-334 y Manzano sin injertar en cada una de variables, sin embargo esas

diferencias no demostraron que la forma del fruto cambio, ya que se mantuvieron las mismas proporciones.

Las medias estadísticas del volumen del fruto del chile manzano, son presentadas en el Cuadro 30, en dicho cuadro se puede observar que hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. El volumen obtenido de las plantas de chile manzano autoinjertadas y sin injertar, resultó diferente estadísticamente al volumen de los frutos obtenido de plantas injertadas con CM-334, ya que el volumen de estos fue menor en 20 y 19 % respecto al volumen de los frutos obtenidos en los tratamientos Manzano/Manzano y Manzano. Los resultados obtenidos en este experimento para el largo y ancho de los frutos, coinciden con los datos reportados por Martínez (2014), sin embargo el peso y volumen de los mismos en esta investigación son menores en 50 % aproximadamente, comparado con el peso y volumen obtenido por ese mismo autor.

Cuadro 30. Peso, largo, ancho y volumen de frutos de chile manzano obtenidos a partir de plantas injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Volumen
Manzano/CM-334	35.7 b <sup>z</sup>	4.2 b	4.5 b	46.1 b
Manzano/Manzano	48.0 a	4.6 a	5.0 a	58.3 a
Manzano	47.4 a	4.4 a	5.0 a	57.0 a
Media	43.7	4.4	4.8	53.8
CV %	21.9	9.7	10.4	30.8
DMS	4.5	0.2	0.2	7.8

CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa.

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 5.11. Índices de calidad

La firmeza de los frutos de chile pimiento según el experimento realizado por Jang *et al.* (2013) reportan que esta característica de calidad no es modificada por el injerto independientemente del tipo de portainjerto que se emplee, resultados que concuerdan con los nuestros. Hernández (2011), reporta que no hubo diferencias estadísticas para el diámetro ecuatorial y polar del fruto, grosor del pericarpio, firmeza y sólidos solubles totales, siendo la variable volumen del fruto la única que presenta diferencias estadísticas, esto al evaluar diferentes tipos de ácidos húmicos y fúlvicos en la producción hidropónica de chile manzano bajo invernadero. Sin embargo en nuestros resultados de volumen del fruto fue estadísticamente igual en todos los tratamientos, lo que sugiere que esta característica no es influenciada por el portainjerto.

Al evaluar diferentes colectas de chile manzano criollo Pérez-Grajales *et al.* (2009) reportan diferencias estadísticas para las variables número de semillas, lóculos, espesor de pericarpio y volumen del fruto, diferencias que les permitieron seleccionar las mejores poblaciones, para posteriormente realizar cruza y mejorar la calidad y rendimiento del fruto de chile manzano. Los resultados obtenidos para las variables SST, firmeza, número de semillas y lóculos en frutos de chile manzano, en los tres tratamientos evaluados, fueron estadísticamente iguales (la prueba de medias de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) sin embargo, el grosor del pericarpio fue diferente entre el tratamiento Manzano/Manzano y el tratamiento Manzano/CM-334.

Los resultados de grosor de pericarpio y número de lóculos, en este experimento coinciden con lo obtenido por Martínez (2014), mientras que para el número de semillas por fruto, los resultados obtenidos no coinciden, ya que frutos de mayor peso (70 g), tiene pocas semillas (66) y frutos pequeños (35 g) producen mayor cantidad de semillas (99).

Cuadro 31. Calidad del fruto de chile manzano obtenido a partir de plantas de chile manzano injertadas sobre CM-334, autoinjertadas y sin injertar bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	SST (°Brix)	Grosor de pericarpio (mm)	No. Semillas	No. Lóculos	Firmeza (N/cm <sup>2</sup> )
Manzano/CM-334	5.2 a <sup>z</sup>	0.50 b	99.5 a	3.0 a	1.8 a
Manzano/Manzano	5.1 a	0.57 a	82 a	3.1 a	2.3 a
Manzano	5.3 a	0.54 ab	83.9 a	3.0 a	2.2 a
Media	5.2	0.54	88.4	3.0	2.1
CV %	8.2	8.8	26.8	18.9	25.5
DMS	0.5	0.05	26.3	0.6	0.6

SST: Sólidos solubles totales; CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 5.12. Color del fruto

Los resultados obtenidos en este experimento para el color de los frutos de chile manzano no cambiaron cuando se realizó el injerto, e indicaron que la luminosidad (L), cromaticidad (c) y ángulo de tono (h) son iguales estadísticamente entre los tratamientos evaluados según las medias estadísticas del ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 32).

Cuadro 32. Color del fruto de chile manzano injertado sobre CM-334, autoinjertado y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	L	c	h
Manzano/CM-334	46.5 a <sup>z</sup>	29.1 a	66.6 a
Manzano/Manzano	45.2 a	29.6 a	681.0 a
Manzano	44.1 a	28.3 a	69.2 a
Media	45.3	29.0	67.9
CV (%)	6.0	4.5	4.8
DMS	3.0	1.5	3.6

L: Luminosidad; c: Cromaticidad y h: Ángulo de tono; CV: Coeficiente de variación y DMS: Diferencia mínima significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>z</sup> los valores son promedios de cinco plantas por repetición y tratamiento, medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 5.13. Correlación de las características de calidad

La correlación entre las variables de calidad para los frutos de chiles manzano Cuadro 33, indican que solo existe correlación entre los parámetros peso del fruto-volumen del fruto con un valor de 0.974 ( $< 0.001$ ), lo que nos indica que cuanto mayor sea el peso del fruto, también será el volumen del fruto.

Cuadro 33. Correlación de los parámetros de calidad de frutos de chile manzano injertado con CM334, autoinjertado y sin injertar, bajo condiciones de invernadero.

Variable	Grosor del Pericarpio	SST (°Brix)	Firmeza	No. Semillas	No. Lóculos	Peso	Volumen
Grosor de Pericarpio	1.00	-0.15	0.3	-0.3	-0.23	-0.09	-0.06
		0.42	0.10	0.06	0.21	0.61	0.75
SST (°Brix)		1.00	-0.09	-0.2	-0.003	0.01	0.01
			0.60	0.13	0.98	0.94	0.95
Firmeza			1.00	-0.086	0.13	-0.17	-0.15
				0.065	0.46	0.34	0.41
No. Semillas				1.00	0.33	-0.001	-0.04
					0.06	0.99	0.80
No. Lóculos					1.00	0.07	-0.04
						0.69	0.81
Peso						1.00	<b>0.97</b>
							<b>&lt;0.001</b>
Volumen							1.00

SST: Sólidos solubles totales.



## **6. Conclusiones**

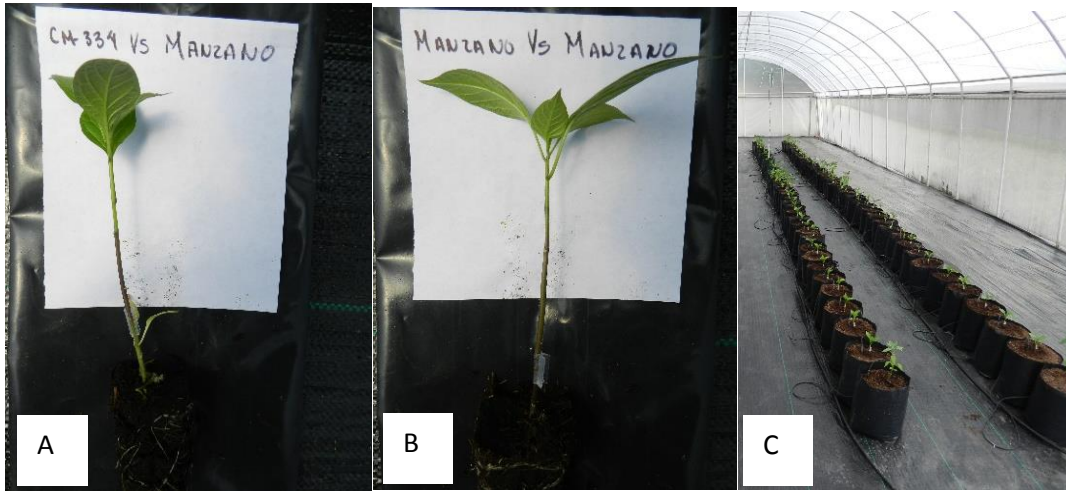
El portainjerto CM-334 no afecto la altura de la planta, el diámetro del tallo ni la fotosíntesis neta del chile manzano.

La producción de frutos de chile manzano, a partir de plantas injertadas sobre CM-334 es factible, ya que supera el rendimiento de las plantas de chile manzano sin injertar, en cinco toneladas.

La calidad de los frutos cosechados a partir de plantas injertadas de chile manzano sobre CM-334, fue similar a la calidad observada en los frutos obtenidos a partir de plantas de chile manzano sin injertar.

El portainjerto CM-334 no afecto la forma del fruto de las plantas de chile manzano.

## 7. Anexos





A: Plántula injertada de Manzano sobre CM-334; B: Plántula autoinjertada de Manzano; C: Invernadero de producción de chile manzano; D: Plántula de Manzano/CM-334 trasplantada en tezontle y peat moss; E: Plántula de Manzano/Manzano trasplantada en tezontle y peat moss; F: Plántula de Manzano sin injertar; G: Conducción de las plantas a dos tallos en forma de “V”; H: Primeros frutos amarrados de chile manzano, I: Aplicación de insecticidas; J: Frutos de chile manzano; K: Frutos de chiles de plantas de Manzano/CM-334; L: Frutos de chiles de plantas de Manzano/Manzano y M: Frutos de chiles de plantas de Manzano sin injertar.

## 8. Literatura citada

- Acosta, A. 2005. La técnica del injerto en plantas hortícolas. Viveros extra. Horticultura Internacional. Barcelona, España. pp. 62-65.
- Arellano-Ostoa G., López-López A. y Rojas-Martínez. R. I. 2014. Micropropagación del chile CM-334 (*Capsicum annuum* L.) y su compatibilidad con *Capsicum pubescens* R. & P., mediante injertación *in vitro*. LX Anual Meeting of the interamerican Society for Tropical Horticulturae (I.S.T.H.) and V Congreso de Horticultura Colombiano, Medellín, Colombia del 6 al 10 de Octubre pp:10-13.
- Bachiega, Z., F., C. D. Mattos Jr., and J. P. Syvertsen. 2011. Plant growth, leaf photosynthesis, and nutrient-use efficiency of citrus rootstocks decrease with phosphite supply. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 487-495.
- Baixauli C., A. Giner, J. M. Aguilar, I. Nájera y A. Núñez. 2013. Estudio del comportamiento de diferentes portainjertos en un cultivo de sandía sin pepitas. In: Memoria del VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. 26-29 de agosto Madrid, España. pp. 2.
- Bethke, P. C., and M. Drew C. 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Journal of Plant Physiology* 99: 219-226.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. 1a. Ed. AGT Editor. México D.F. 784 p.
- Díaz-Pérez, J. C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *Horticultural Science* 48: 175-182.
- Esau, K. 1965. Plant Anatomy. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York. 767 p.
- Espinosa, T., L., E. O. Ramírez A., G. Barrios P., y E. Figueroa H. 2014. Evaluación técnica, financiera y comercial de los sistemas de producción de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) en México. *Análisis Económico* 29:209-219.
- FAO/OMS. 2008. Propuestas de enmiendas a la lista de prioridades para la normalización de frutas y hortalizas frescas. Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Frescas.

- Fernández-García, N., M. Carvajal, and E. Olmos. 2004. Graft Union Formation in Tomato Plants: Peroxidase and Catalase Involvement. *Annals of Botany* 93: 53-60.
- Fu, Q. S., B. Zhao, Y. J. Wang, S. Ren, and Y. D. Guo. 2010. Stomatal development and associated photosynthetic performance of capsicum in response to differential light availabilities. *Photosynthetica* 48: 189-198.
- González, F. M., A. Casanova, A. Hernández, M. Méndez, R. González, A. Delgado, y E. Bravo. 2006. Efecto de la aplicación del Biobras-16 en la producción de plántulas injertadas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. *Temas de Ciencia y Tecnología* 9: 53-56.
- Hernández, G. Z. 2010. Efecto de tres patrones en el desarrollo vegetativo y de raíz, producción y calidad de fruto en pepino. Tesis Maestro en Ciencias. Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo pp. 58-61.
- Hernández, H., A. 2011. Ácidos húmicos y fúlvicos en la producción hidropónica de chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) en invernadero. Tesis de maestría en ciencias. 87 p.
- Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley, and A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90: 485-488.
- Jang, Y., M. Ji-Hye, L. Ji-Weon, L. Sang G., K. Seung Y., and C. Changhoo. 2013. Effects of Different Rootstocks on Quality of Grafted Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 31:687-699.
- Jovicich, E., D. J. Cantliffe, S. A. Sargent, and L. S. Osborne. 2004. Production of greenhouse-grown peppers in Florida. Department of Horticultural Sciences, University of Florida HS979.
- Jun-Gou, Z., and H. Hui-Ling. 2010. Effect of different rootstocks on nitrogen metabolism on grafter cucumber leaves under NaCl stress. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 16: 1217-1223.
- Lee, J., M. and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews* 28: 61-124.



- López, L. A. 2013. Homogenización molecular de resistencia a *Phytophthora capsici* del Chile CM-334, su micropropagación y uso como portainjerto de *Capsicum pubescens* R & P. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. 81 p.
- Lycoskoufis I. H., D. Savvas, and G. Mavrogianopoulos. 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Horticulturae* 106: 147-161.
- M'Hamdi, M., N. Boughalleb, N. Ouhaibi, N. Tarchoun, M. Souli, and L. Belbahri. 2010. Evaluation of grafting techniques and a new rootstock for resistance of pepper (*Capsicum annuum* L.) towards *Phytophthora nicotianae*. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8: 135-139.
- Márquez, C., C., J. 2009. Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. Elita). 274 p.
- Martínez, S. 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. 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. 80 p.
- Martínez-Ballesta, M., C., V. Martínez, and M. Carvajal. 2004. Osmotic adjustment, water relations and gas exchange in pepper plants grown under NaCl or KCl. *Environmental and Experimental Botany* 52: 161-174.
- Monaco, E., A. Chiesa, G. Trincherro, y A. Frascina. 2005. Selección de películas poliméricas para su empleo con lechuga en Atmosfera Modificada. INTA. Argentina. *RIA*; 34(1): 59-70.
- Oda, M., M. Maruyama, G. Mori. 2005. Water transfer at graft union of tomato plants grafted onto *Solanum* rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 74: 458-463.

- Onus, A., N., and B. Pickersgill. 2004. Unilateral incompatibility in *Capsicum* (Solanaceae): Occurrence and taxonomic distribution. *Annals of Botany* 94: 289-295.
- Penella, C. S. G. Nebauer, S. López-Galarza, A.S. Bautista, E. Gorbe, and A. Calatayud. 2013. Evaluation for salt stress tolerance of pepper genotypes to be used as rootstocks. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11 (3 y 4):1101-1107.
- Penella, C. S., G. Nebauer, S. López-Galarza, A. San Bautista, A. Rodríguez-Burruezo, and A. Calatayud. 2014. Evaluation of some pepper genotypes as rootstocks in water stress conditions. *Horticultural Science* 41: 192-200.
- Pérez-Grajales, M., V. A. González-Hernández, A. Peña-Lomelí, and J. Sahagún-Castellanos. 2009. Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:47-55.
- Pérez-Grajales, M., V. A. González-Hernández, Ma. C. Mendoza-Castillo, and C. Peña-Valdivia. 2004. Physiological Characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. *Journal of the American Society Horticultural Science* 129:88-92.
- Rocha U. N. 2010. Estudio de mercado y análisis de costos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) bajo condiciones de invernadero en Amazcala, Querétaro. Tesis de licenciatura en Ingeniería de invernaderos. 81 p.
- Rodríguez, M., M., and P. W. Bosland. 2010. Grafting *Capsicum* to Tomato Rootstocks. *Journal of Young Investigators* 20: 1-6.
- Rojas, P. L., y F. Riveros B. 2002. Prendimiento de injertos en hortalizas. *Terra Adentro* 45: 30-31.
- Ruiz, J., M. A. Belakbir, I. López-Cantarero, L. Romero. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants: a model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Horticulturae* 71: 227-234.
- SAS. 2006. Statical Analysis Sistem. Institute Inc. SAS. Version 9. North Caroline. USA.
- Sass, J., E. 1951. Botanical Microtechnique. Second Edition. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. pp. 14-16.

- Sass, J., E. 1968. *Botanical Microtechnique*. 3rd Edition. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 227 p.
- Tokuda, A., T. Shibuya, Y. Kitaya, y M. Kiyota. 2006. Bottom heat treatment reduces water stress of Cucurbitaceae and Solanaceae stock-plant cuttings during low air temperature storage. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 75: (Suppl. 2): 285 (In Japanese).
- Turquois, N., and M. Malone. 1996. Non-destructive assessment of developing hydraulic connections in the graft union of tomato. *Journal of Experimental Botany* 47: 701-707.
- Voutsela, S., G. Yarsi, S. A. Petropoulos, and E. M. Khan. 2012. The effect of grafting of five different rootstocks on plant growth and yield of tomato plants cultivated outdoors and indoors under salinity stress. *African Journal of Agricultural Research* 7: 5553-5557.
- Wyzgolik, G., J. Nawara, y M. Leja. 2008. Photosynthesis and some growth parameters of sweet pepper grown under different light conditions. *Sodininkyste Ir Daržininkyste* 27: 93-98.



## V. DISCUSIÓN GENERAL

La tasa absoluta de crecimiento de las plantas injertadas, autoinjertadas y no injertadas de chile pimiento y manzano, fue similar estadísticamente para cada una de las fechas en las que se realizó el ANOVA, sin embargo cabe destacar que para realizar el injerto de chile pimiento sobre CM-334, a las plántulas de pimiento se les cortó aproximadamente 6 cm de tallo, dejando solamente dos hojas verdaderas, obteniendo plántulas injertadas de aproximadamente 10 y 15 cm de altura al momento de trasplante, comparado con las plántulas de pimiento sin injertar que tenían aproximadamente 20 cm. Aun y cuando las plántulas que se trasplantaron no tenían el mismo tamaño, el crecimiento semanal fue similar (Figura 2).

En general, las plantas cultivadas en alta irradiación muestran altas tasas de fotosíntesis, mientras que las plantas cultivadas en baja irradiación tienen una menor tasa de FN. En nuestros resultados de FN se observa que una RFA del chile manzano de  $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , es de casi la mitad en comparación con la del chile pimiento, esta radiación, causó la disminución de la FN en 50 % aproximadamente en plantas de chile manzano sin injertar. Algunos reportes indican que las plantas crecidas bajo condiciones de poca radiación afectan el tamaño de la planta, lo que ocasiona un aumento del tamaño del tallo (Fu *et al.*, 2010), resultados que no coinciden con lo reportado en este experimento, ya que las plantas injertadas de manzano crecen igual que las plantas sin injertar, y desarrollan el mismo diámetro de tallo.

El rendimiento de chile manzano, se vio afectado por las altas temperaturas, baja humedad relativa y alta radiación ( $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), al inicio del experimento (abril-mayo) ya que las flores de los primeros cinco entrenudos abortaron a causa de estas condiciones, sin embargo el amarre de las flores se realizó cuando se colocó malla sombra de 70 %, el día 29 de abril de 2015, para lo cual en la figura 15 se puede observar que a partir de esa fecha hasta el 27 de mayo las temperaturas fueron menores comparadas con las del mes de marzo y abril.

En nuestros resultados de cortes anatómicos, se puede observar que la compatibilidad entre las dos especies injertadas (*C. annuum* y *C. pubescens*), es factible y no se

presentan problemas de incompatibilidad, sin embargo para Chile manzano debido a su característica de permanecer siempre verde, es necesario realizar evaluaciones durante otros periodos de producción, para evaluar el costo de producción de este Chile, ya que este podría disminuir ya que se emplearía la misma planta injertada, y se podría obtener frutos durante los meses que donde el producto adquiere el mejor precio (febrero a junio), porque es el momento en que los productores de cielo abierto no tienen cosecha o tienen muy pocos frutos, así mismo menciona que la relación costo-beneficio de un cultivar de Chile manzano bajo invernadero es de \$1 por \$1.5, es decir, por cada peso invertido se obtienen 1.5 pesos, comercializando el producto en el mercado a 14 pesos el kilo, como precio más bajo y a 30 pesos por kilo, como precio más alto.

Dada la necesidad de contar con portainjertos que ayuden al control de plagas y enfermedades, la producción de Chile manzano y Chile pimiento sobre CM-334, es factible. El costo económico es uno de los problemas, ya que el precio de las semillas del portainjerto y los gastos en la operación, estos gastos suelen desalentar al productor. Por ejemplo, en Estados Unidos el precio de una plántula de tomate sin injertar es de 0.30 a 0.40 dólares, mientras que el costo de una plántula de tomate injertada es de 0.90 dólares; un aumento de 125 % en costo (Kubota y *et al.*, 2008). La Agencia de Protección Ambiental (APA) reporta un costo por fumigación con bromuro de metilo entre 0.41 y 0.92 dólares/plántula, similar al costo de plántulas injertadas. Sin embargo, explotando todos los beneficios del portainjerto, la técnica del injerto paga su inversión. Mencionado lo anterior es importante realizar evaluaciones sobre la calidad de las plántulas injertadas, sometiéndolas a producción agrícola, para evaluar el rendimiento y/o producto final, ya sea en peso y calidad del mismo.

Así mismo el cultivo de tejidos (*in vitro*), ofrece una alternativa para obtener plantas injertadas, sin embargo es necesario evaluar el costo de producción, ya que obtener plántulas injertadas por medio de esta técnica, sin duda alguna elevaría el costo unitario de la planta, ya que se emplean productos específicos (grado reactivo) y mano de obra más especializada.

## VI. CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación demostraron que existe compatibilidad entre el chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) y el chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.) con el portainjerto chile serrano “Criollo de Morelos 334” (*Capsicum annuum* L.), obteniendo un buen porcentaje de prendimiento de los injertos realizados, el cual se encuentra dentro del rango óptimo para realizar injertos en México (85 %).

El portainjerto CM-334 no influyó en el rendimiento, la calidad del fruto y la fotosíntesis neta bajo condiciones de invernadero, en las plantas de chile pimiento por lo que puede ser empleado en lugares donde se presentan problemas con *Phytophthora capsici* L. y mejorar la producción de forma sustentable.

El injerto de chile manzano sobre CM-334 es una alternativa para la producción de chile manzano, ya que aumenta significativamente el rendimiento y mantiene la calidad de fruto.

Se sugiere continuar con la evaluación del rendimiento y la calidad de los frutos de chile manzano injertados sobre CM-334, ya que la planta es perenne y se puede obtener una mayor cantidad cortes de frutos, lo que nos indicaría si la planta injertada mantiene sus características agronómicas a través del tiempo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G., N. 2011. Fitopatología. Segunda Edición. Limusa. 856 p.
- Alexopoulos, C., J., y C. W. Mins. 1985. Introducción a la micología. Ediciones Omega. Barcelona. 1<sup>ra</sup> Edición. 176 p.
- Aloni, B., R. Cohen, L. Karni, H. Aktas, and M. Edelstein. 2010. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae* 127: 119-126.
- Anaya-López, J., L. M. M. González-Chavira, E. Villordo-Pineda, R. Rodríguez-Guerra, R. Rodríguez-Martínez, R. G. Guevara-González, L. Guevara-Olvera, V. Montero-Tavera, e I. Torres-Pacheco. 2011. Selección de genotipos de chile resistentes al complejo patogénico de la marchitez. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 373-383.
- Bartual, R., E. A. Carbonell, J. I. Marsal, J. C. Tello, and T. Campos. 1991. Gene action in the resistance of peppers (*Capsicum annuum*) to *Phytophthora* stem blight (*Phytophthora capsici* L.). *Euphytica* 54: 195-200.
- Biles, C., L., D. L. Lindsey, and C. M. Liddell. 1992. Control of *Phytophthora* root rot of chile peppers by irrigation practices and fungicides. *Crop Protection* 11: 225-228.
- Blancard, D., H. Lecoq, M. Pitrat, and M. Javoy. 1991. Enfermedades de las *Cucurbitáceas*. Observar, Identificar, Luchar. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. Reimpresión. 300 p.
- Bosland, P., W., and D. L. Lindsey. 1991. A seedling screen for *Phytophthora* root rot of pepper, *Capsicum annuum*. *Plant Disease* 75:1048-1050.
- Castañón-Nájera, G., L. Latournerie-Moreno, J. M. Leshner-Gordillo, E. Cruz-Lázaro, and M. Mendoza-Elos. 2010. Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 26: 225-234.
- Chew, M. Y. I., A. Vega P., M. Palomo R., y F. Jiménez D. 2008. Principales enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.). Folleto Técnico no. 15. 42 p.
- Climet, P., S. 1985. Manual del Injertador. Editorial Sites, S. A. España. 239 p.
- Colla, G., Y. Roupshael, C. Leonardi, and B. Zhilong. 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*. 127:147-155.

- Colla, G., Y. Rouphael, M. Cardarelli, O. Temperini, E. Rea, A. Salerno, and F. Pierandrei. 2008. Influence of grafting on yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae* 782: 359-364.
- Cookson, S. J., M. J. Clemente-Moreno, C. Hevin, L. Z. Nyamba M., S. Delrot, N. Magnin, C. Trossat-Magnin, and N. Ollat. 2014. Heterografting with nonself rootstocks induces genes involved in stress responses at the graft interface when compared with autografted controls. *Journal of Experimental Botany* 65: 2473-2481.
- Cruz-Alcalá, A., C. Mendoza-Zamora, y S. Romero-Cova. 2000. Identificación de hongos causantes de pudriciones de raíz y cuello del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el sureste del estado de México, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6: 25-32.
- Cuéllar, M., E., y F. J. Morales. 2006. La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vectora de virus en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Colombiana de Entomología* 32: 1-9.
- Del Amor, F., M., J. López-Marín, and A. González. 2008. Effect of photoselective sheet and grafting technique on growth, yield, and mineral composition of sweet pepper plants. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1108-1120.
- Delahaut, K., A., and A. C. Newenhouse. 1997. A3685 Growing Tomatoes, Peppers, and Eggplants in Wisconsin: A Guide for Fresh-Market Growers. University of Wisconsin- System Board of Regents and University of Wisconsin. Extension, Cooperative Extension. 4 p.
- Demirozer, O., K. Tyler-Julian, J. Funderburk, N. Lepplac, and S. Reitzd. 2012. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) integrated pest management programs for fruiting vegetables in Florida. *Pest Management Science* 68:1537-1545.
- Egea-Gilabert, C., G. Bilotti, M. E. Requena, M. Ezziyani, J. M. Vivo-Molina, and M. E. Candela. 2008. Pepper morphological traits related with resistance to *Phytophthora capsici*. *Biologia Plantarum* 52: 105-109.
- Esau, K. 1965. *Plant Anatomy*. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York. 767 p.
- Faria, M., and S. P. Wraight. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Protection* 20: 767-778.

- Fernández-Pavía, S., P., y C. M. Liddell. 1998. 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.
- Flint, M., L. 2013. Aphids. Pest notes. University of California. Agriculture and Natural Resources. Statewide Integrated Pest Management Program. 7404. 7 p.
- Flores, F., A., G. Silva A., M. Tapia V., y P. Casals B. 2007. Susceptibilidad de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) colectada en *Primula obconica* Hance y *Convolvulus arvensis* L. a acaricidas. *Agricultura Técnica* 67: 219-224.
- Flores, F., B. P. Sánchez-Bel, M. T. Estaño, M. M. Martínez-Rodríguez, E. Moyano, B. Morales, J. F. Campos, J. O. García-Abellán, M. I. Egea, N. Fernández-García, F. Romojaro, y M. C. Bolarín. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae* 125: 211-217.
- García-Rodríguez, Ma., R., E. Chiquito-Almanza, P. D. Loeza-Lara, H. Godoy-Hernández, P. E. Villordo, J. L. Pons-Hernández, M. M. González-Chavira, y J. L. Anaya-López. 2010. Producción de chile ancho injertado sobre Criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora Capsici*. *Agrociencia* 44: 701-709.
- Gasca-González, Ma., R., Y. Rivera-Herrera, I. Torres-Pacheco, M. M. González-Chavira, L. Guevara-Olvera, C. I. Muñoz-Sánchez, y R. G. Guevara-González. 2008. Estudio del transcriptoma en *Capsicum chinense* Jacq., resistente al virus huasteco vena amarilla del chile. *Agrociencia* 42: 107-117.
- Gerling, D., O. Alomar, and J. Arnó. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection* 20: 779-799.
- Godínez-Vidal, D., M. Rocha-Sosa, E. B. Sepúlveda-García, J. Lara-Reina, R. Rojas-Martínez, and E. Zabaleta-Mejía. 2008. Phenylalanine ammoniase activity in chili CM-334 infected by *Phytophthora capsici* and *Nacobbus aberrans*. *European Journal Of Plant Pathology* 120: 299-303.
- Goldschmidt, E. E. 2014. Lant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Journal of Plant Physiology* 5: 1-9.
- González, C., y M. Suris. 2011. Incidencia de las poblaciones de Trips sobre tres especies de Solanáceas en diferentes sistemas de cultivos. *Revista de Protección Vegetal* 26: 92-99.

- Green, S., K., and J. S. Kin. 1991. Characteristics aid control of viruses infecting peppers: a literature review. Asian Vegetable Research and Development Center. Technical Bulletin no. 18, 60 p.
- Guevara, M., M. Siles, y O. Bracamonte. 2000. Análisis cariotípico de *Capsicum pubescens* R & P (Solanaceae) "rocoto". Revista Peruana de Biología 7: 134-141.
- Haro, T., W., V., y M. F. Montenegro L. 2015. Estudio de la composición fitoquímica de la oleorresina de ají Rocoto (*Capsicum pubescens*) Procedente del Valle de Tumbaco. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. 93 p.
- Hartmann, H., T., D. E. Kester, F. T. Divies, y T. Geneve R. 2010. Plant Propagation: Principles and Practices. Séptima edición. pp: 416-463.
- Hausbeck, K. M., y H. K. Lamour. 2004. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: research progress and management challenges. Plant Disease 88: 1292-1303.
- Hwang, J., J. Li, L. Wing-Yee, A. Song-Ji, C. Hwajin, H. H. Nam, I. Yeam, D. Kim, and K. Byoung-Cheor. 2009. Double mutations in eIF4E and eIFiso4E confer recessive resistance to chili veinal mottle virus in pepper. Molecules and Cells 27: 329-336.
- Jang, Y., E. Goto, Y. Ishigami, B. Mun, and C. Chun. 2011. Effects of light intensity and relative humidity on photosynthesis, growth and graft-take of grafted cucumber seedlings during healing and acclimatization. Horticulture, Environment and Biotechnology 52: 331-338.
- Jang, Y., M. Ji-Hye, L. Ji-Weon, L. Sang G., S. Y. Kim, and C. Chun. 2013. Effects of different rootstocks on quality of grafted pepper (*Capsicum annuum* L.). Korean Journal of Horticultural Science Technology 31: 687-699.
- Kollmannsberger, H., A. Rodríguez-Burruezo, S. Nitz, and F. Nuez. 2011. Volatile and capsaicinoid composition of ají (*Capsicum baccatum*) and rocoto (*Capsicum pubescens*), two Andean species of chile peppers. Journal of the Science Food Agriculture 91: 1598-1611.
- Kubota, C. M., N. McClure, M. G. Kokalis-Burelle, y E. N. Roskopf. 2008. Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America. Horticulture Science. 43:1664-1669.

- Leal-Fernández, C., H. Godoy-Hernández, C. A. Núñez-Colin, J. L. Anaya-López, S. Villalobos-Reyes, and J. Z. Castellanos. 2013. Morphological response and fruit yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted onto different commercial rootstocks. *Biological Agriculture and Horticulture* 29: 1-11.
- Lee, J., M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current Status, Grafting Methods, and Benefits. *Horticultural Science* 29: 235-239.
- Lee, J., M. and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews* 28: 61-124.
- Lippert, L., F. P. G. Smith, y B. O. Bergh. 1966. Cytogenetics of the vegetable crops. Garden pepper, *Capsicum* sp. *The Botanical Review* 32: 24-55.
- Long T. J. 2009. "Los senderos prehispánicos del *Capsicum*" Universidad Nacional Autónoma de México, e Instituto de Investigaciones Históricas. 690 p.
- López, L. A. 2013. Homogenización molecular de resistencia a *Phytophthora capsici* del Chile CM-334, su micropropagación y uso como portainjerto de *Capsicum pubescens* R & P. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. 81 p.
- López-Martínez, N., Ma. T. Colinas-León, C. B. Peña-Valdivia, Y. Salinas-Moreno, P. Fuentes-Montiel, M. Biesaga, and E. Zavaleta-Mejía. 2011. Alterations in peroxidase activity and phenylpropanoid metabolism induced by *Nacobbus aberrans* thorne and allen, 1944 in chilli (*Capsicum annuum* L.) CM334 resistant to *Phytophthora capsici* Leo. *Plant Soil* 338: 399-409.
- López-Puc, G., A. Canto-Flick, y N. Samanta-Buzzy. 2009. El Reto biotecnológico del chile habanero. *Ciencia* 60: 30-35.
- Lucero-Flores, J., M., y C. Sánchez-Verdugo. 2012. Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 83 p.
- Lulai, E., C., and T. P. Freeman. 2001. The importance of phellogen cells and their structural characteristics in susceptibility and resistance to excoriation in immature and mature potato tuber (*Solanum tuberosum* L.) periderm. *Annals of Botany* 88: 555-561.



- Luna, R., J., K., y O. Vásquez M. 1996. Perspectivas del mejoramiento genético y la propagación in vitro en el cultivo de chile (*Capsicum* spp.) Revista investigación y ciencia 5: 2-6.
- M'Hamdi, M., N. Boughalleb, N. Ouhaibi, N. Tarchoun, M. Souli, and L. Belbahri. 2010. Evaluation of grafting techniques and a new rootstock for resistance of pepper (*Capsicum annuum* L.) towards *Phytophthora nicotianae*. Journal of Food, Agriculture and Environment 8: 135-139.
- Martínez, S. 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. 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: 80 p.
- Martínez-Ballesta, M., C., C. Alcaraz-López, B. Muries, C. Mota-Cadenas, y M. Carvajal. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. Scientia Horticulturae 127: 112-118.
- Miguel, A., y V. Cebolla. 2005. Unión del injerto. Terralia 53: 50-60.
- Minamiyama, Y., M. Tsuru, T. Kubo, and M. Hirai. 2007. Qtl analysis for resistance to *Phytophthora Capsici* in pepper using a high density SSR–based map. Breeding Science 57: 129-134.
- Morra, L., y M. Bilotto. 2006. Evaluation of new rootstocks for resistance to soil-borne pathogens and productive behavior of pepper (*Capsicum Annuum* L.). Journal of Horticultural Science and Biotechnology 81: 518-524.
- Navarro, L. 1979. Microinjerto de ápices caulinares *in vitro* para la obtención de plantas de agrios libres de virus. Boletín de Servicios de Plagas 5: 127-148.
- Nuez, F., R. Gil O., y J. Costa G. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi-Prensa. 586 p.

- Oelke, L., M., and P. W. Bosland. 2003. Differentiation of races specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. Journal American Society Horticultural Science 128: 213-218.
- Oka, Y., R. Offenbach, and S. Pivonia. 2004. Peppers rootstock graft compatibility and response to *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. Journal of Nematology 36: 137-141.
- Osuna-Ávila, P., J. Aguilar-Solís, S. Fernández-Pavía, H. Godoy-Hernández, B. Corral-Díaz, J. P. Flores-Márquez, A. Borrego Ponce, y E. Olivas. 2012. Injertos en chiles tipo Cayene, Jalapeño y Chilaca en el noroeste de Chihuahua, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 739-750.
- Ousmane, S., and P. W. Bosland. 2005. Inheritance of *Phytophthora* stem blight resistance as compared to *Phytophthora* root rot and *Phytophthora* foliar blight resistance in *Capsicum Annuum* L. Journal American Society Horticultural Science 130: 72-78.
- Palada, M., C., y Wu D.-L. 2012. Grafting sweet pappers for production in the hot-wet Season. Guide International Cooperators. AVRDC-the world Vegetable Center 09-722-e.
- Pegard, A., G. Brizzard, A. Fazari, O. Soucaze, P. Abad, and C. Djian-Caporalino. 2005. Histological characterization of resistance to different root-knot nematode species related to phenolic accumulation in *Capsicum annuum*. Phytopathology 95: 158-165.
- Pérez Grajales, M. 2010. Chile manzano en invernadero. Diario del Yaqui. [online] Available at: <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar&notald=81263127451b69ce074cac> [Accessed 28 Mar. 2016].
- Pérez, G., M., y R. Castro B. 2008. El Chile Manzano. Universidad Autónoma Chapingo. 128 p.
- Pina, A., and P. Errea. 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. Scientia Horticulturae 106: 1-11.
- Redondo, J., E. R. Rodríguez M., L. Ortega D., A. Larque S., M. Engleman E. 1989. Mecanismos de infección y patología de las plantas de chile susceptibles y resistentes al hongo *Phytophthora capsici* Leo. Agrociencia 77: 123-137.

- Reifschneider, F., J., B. L. S. Boiteux, P. T. Della V., J. M. Poulos, and N. Kuroda. 1992. Inheritance of adult-plant resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Euphytica* 2: 45-49.
- Riva-Souza, E., M., R., Rodrigues, C. P. Sudré, M. G. Pereira, A. P. Viana, A. T. do Amaral Júnior. 2007. Obtaining pepper F2:3 lines with resistance to the bacterial spot using the pedigree method. *Horticultura Brasileira* 25: 567-571.
- Roca, W., M., y L. A. Mroginski. 1991. Cultivo de tejidos en la agricultura. *Fundamentos y Aplicaciones*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 969 p.
- Sadras, V., O., L. J. Wilson, and D. A. Lally. 1998. Water deficit enhanced cotton resistance to spider mite herbivory. *Annals of Botany* 81: 273-286.
- SAGARPA. 2005. PC-022-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca Oficial México Calidad Suprema en pimiento morrón.
- Sakinah, A., S., M. Roff M., N., and A. B. Idris. 2014. Effect of starvation on vein preference of whitefly (*Bemisia tabaci*) on chilli as host plant. AIP. Conference. *Proceedings* 1614: 684-687.
- Salas, B., W., y V. Sánchez G. 2006. Avances en el control biológico de *Botrytis cinerea* en chile y tomate cultivados bajo techo. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 78: 56-62.
- Sandoval Z., E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. *Cuadernos del Instituto de Biología Vegetal* 38. Secretaria del Instituto de Biología. UNAM. 277 p.
- Santos, H., S., and R. Goto. 2004. Enxertia em plantas de pimentao no controle da murcha de fitoftora em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 22: 45-49.
- Santos, M., F. Diáñez, M. de Cara, F. Camacho, y J. Cesar T. 2010. El control biológico de plagas y enfermedades. Un encuadre crítico. CEA01. 61-72.
- SIAP. SAGARPA. 2013. Sistema de Información Agrícola y Pesquero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
- SIAP. SAGARPA. 2014. Sistema de Información Agrícola y Pesquero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

- Soumelidou, K., N. H. Battey, P. John, and J. R. Barnett. 1994. The anatomy of the developing bud union and its relationship to dwarfing in apple. *Annals of Botany* 74: 605-611.
- Stevenson, W. R., James R. V., and Rand R. E. 2001. Evaluation of selected fungicides to control *Phytophthora* blight and fruit rot of cucumber. *Fungicide and Nematicide Tests* 56:V16.
- Tahboud, M., B., S. Sanogo, P. W. Bosland, and L. Murray. 2008. Heat level in chili pepper in relation to root and fruit infection by *Phytophthora capsici*. *Horticultural science* 43: 1846-1851.
- Taller, J., Y. Hirata, N. Yagishita, M. Kita, and S. Ogata. 1998. Graft-induced genetic changes and the inheritance of several characteristics in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 97: 705-713.
- Than, P., P., H. Prihastuti, S. Phoulivong, P. W. J. Taylor, and K. D. Hyde. 2008. Chili anthracnose disease caused by *Colletotrichum* species. *Journal of Zhejiang University Science B* 9: 764-778.
- Tsaballa, A., C. Athanasiadis, K. Pasentsis, I. Ganopoulos, I. Nianiou-Obeidat, and A. Tsaftaris. 2013. Molecular studies of inheritable grafting induced changes in pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit shape. *Scientia Horticulturae* 149: 2–8.
- Tsaballa, A., K. Pasentsis, and A. S. Tsaftaris. 2012. The role of a gibberellin 20-oxidase gene in fruit development in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Molecular Biology Reporter* 30: 556-565.
- Vavilov, N., I. 1930. México y Centroamérica como centro básico de origen de las plantas cultivadas del nuevo mundo. *Boletín de Botánica Aplicada, Genética y Fitomejoramiento* 26: 14-34.
- Wahua, C., B. E. Okoli, and S. M. Sam. 2013. Comparative morphological, anatomical, cytological and phytochemical studies on *Capsicum frutescens* L. and *Capsicum annuum* L. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 4: 1-20.
- Waizel-Bucay, J., and R. Camacho M. 2011. El Genero *Capsicum* spp. ("chile"). Una versión panorámica 60: 67-79.

- Walker, S., J., and P. W. Bosland. 1999. Inheritance of *Phytophthora* root rot and foliar blight resistance in pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124: 14-18.
- Winoc, H., J. 2014. Capsicum rootstock. Patent application publication. Pub. N0.: US 2014/0096289 A1.
- Yin, H., B. Yan, J. Sun, P. Jia, Z. Zhang, X. Yan, J. Chai, Z. Ren, G. Zheng, and H. Liu. 2012. Graft-union development: a delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. *Journal of Experimental Botany* 63: 4219-4232.
- Zapata, M., S. Bañon, y P. Cabrera. 1992. *El Pimiento para el Pimentón*. Editorial Mundi-Prensa. 240 p.