



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE HÍBRIDOS DE CHILE
MANZANO (*Capsicum pubescens*) INJERTADOS SOBRE EL
CM-334 (*Capsicum annuum*), CULTIVADOS EN SUELO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta

TABITA QUEREN PÉREZ REYES

Bajo la supervisión de: **Dr. MARIO PÉREZ GRAJALES**

Chapingo, Estado de México, mayo de 2023



**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens*) INJERTADOS SOBRE EL CM-334 (*Capsicum
annuum*), CULTIVADOS EN SUELO**

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

DOCTORA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



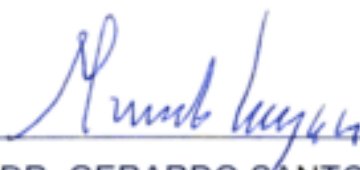
DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:



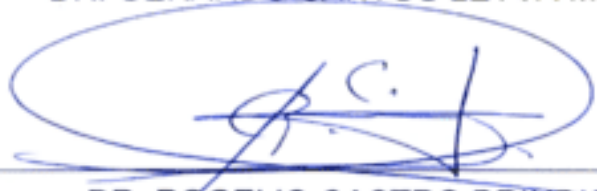
DRA. MA TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR:



DR. GERARDO SANTOS LEYVA MIR

ASESOR:



DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

LECTOR EXTERNO:



DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
DATOS BIBLIOGRÁFICOS.....	xi
RESUMEN GENERAL.....	xii
GENERAL ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Importancia del chile manzano.....	4
2.2 Marchitez del chile.....	5
2.3 Chile serrano criollo de Morelos (CM-334).....	6
2.4 Injerto.....	6
2.5 Importancia de las auxinas.....	7
2.6 <i>Trichoderma</i> spp.....	7
2.7 Rendimiento.....	8
2.8 Calidad de fruto.....	8
2.9 Caracterización morfológica.....	8
2.10 LITERATURA CITADA.....	9
CAPÍTULO III. RESISTENCIA A <i>Phytophthora capsici</i> , RENDIMIENTO DE FRUTO Y TAMAÑO DE RAÍCES DE CHILE MANZANO INJERTADO EN CM-334, CULTIVADO EN SUELO INFESTADO Y CON APLICACIONES DE AUXINAS Y <i>Trichoderma harzianum</i>	16
RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	17
3.1 INTRODUCCIÓN.....	18
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.2.1 Sitio experimental.....	19
3.2.2 Tamaño radical de los híbridos ‘Maruca’, ‘Jhos’ y ‘Dali’ tanto injertados sobre el CM-334 como los no injertados.....	19
3.2.3 Resistencia a <i>P. capsici</i> , rendimiento de fruto y tamaño radical de plantas injertadas del híbrido Dali sobre CM-334, y de plantas no injertadas en respuesta a auxinas y <i>T. harzianum</i>	20
3.2.3.1 Material vegetal.....	20
3.2.3.2 Proceso de injertación.....	21
3.2.3.3 Caracterización morfológica de <i>P. capsici</i> aislado de suelo.....	21
3.2.3.4 Manejo de plantas injertadas y no injertadas.....	22

3.2.3.5 Proceso de patogénesis	22
3.2.3.6 Caracterización morfológica de <i>P. Capsici</i> aislado de tejido vegetal	23
3.2.3.7 Rendimiento.....	24
3.2.3.8 Tamaño radical.....	24
3.2.3.9 Análisis estadístico	25
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.3.1 Tamaño radical de ‘Maruca’, ‘Jhos’ y ‘Dali’ injertados sobre CM-334 y no injertados	25
3.3.2 Resistencia a <i>P. capsici</i> , rendimiento de fruto y tamaño radical de plantas injertadas del híbrido Dali sobre CM-334, y de plantas no injertadas en respuesta a auxinas y <i>T. harzianum</i>	26
3.3.2.1 Caracterización morfológica de <i>P. capsici</i> aislado de suelo.....	26
3.3.2.2 Proceso de patogénesis	27
3.3.2.3 Caracterización morfológica de <i>P. capsici</i> aislado de tejido vegetal	29
3.3.2.4 Rendimiento.....	30
3.3.2.5 Tamaño radical de plantas injertadas y no injertadas con aplicaciones de auxinas y <i>T. harzianum</i>	34
3.4 CONCLUSIONES.....	36
3.5 LITERATURA CITADA	37
CAPITULO IV. CALIDAD MORFOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE FRUTO DE CHILE MANZANO INJERTADO EN CM-334 CRECIDO EN SUELO INFESTADO CON <i>Phytophthora capsici</i> Y TRATADO CON AUXINAS	43
RESUMEN	43
ABSTRACT	44
4.1 INTRODUCCIÓN.....	45
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
4.2.1 Sitio experimental.....	46
4.2.2 Material vegetal	46
4.2.3 Proceso de injertación.....	46
4.2.4 Manejo de plantas en invernadero	46
4.2.5 Diseño experimental y de tratamientos	47
4.2.6 Tamaño de muestra para medir variables de fruto.....	47
4.2.6.1 Variables morfológicas de calidad.....	47
4.2.6.2 Variables físicas de calidad.....	48
4.2.6.3 Variables químicas de calidad	48
4.2.7 Análisis estadístico.....	49
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.3.1 Variables morfológicas de calidad.....	49
4.3.1.1 Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencias.....	49
4.3.1.2 Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia.....	52

4.3.2 Variables físicas de calidad	55
4.3.2.1 Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencias.....	55
4.3.2.2 Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia.....	56
4.3.3 Variables químicas de calidad	58
4.3.3.1 Efectos principales del injerto, concentración y frecuencias de AIB.....	58
4.3.3.2 Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia.....	60
4.4 CONCLUSIONES.....	63
4.5 LITERATURA CITADA	64
CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL CHILE SERRANO CRIOLLO DE MORELOS CM-334, RESISTENTE A <i>Phytophthora capsici</i>	69
RESUMEN	69
ABSTRACT	70
5.1 INTRODUCCIÓN.....	71
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	73
5.2.1 Sitio experimental.....	73
5.2.2 Material vegetal	73
5.2.3 Manejo de plantas en invernadero	73
5.2.4 Fases del experimento	73
5.2.4.1 Fase I: Resistencia a <i>P. capsici</i>	74
5.2.4.2 Fase II: Caracterización morfológica del CM-334.....	75
5.3 RESULTADOS	75
5.3.1 Fase I. Resistencia a <i>P. capsici</i>	75
5.3.2 Fase II. Caracterización morfológica.....	76
5.4 DISCUSIÓN.....	83
5.5 CONCLUSIÓN	84
5.6 LITERATURA CITADA	84
CONCLUSIÓN GENERAL.....	87
LITERATURA CITADA GENERAL.....	89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Producción, rendimiento y valor de la producción nacional de chile manzano a campo abierto y en invernadero.	4
Cuadro 2. Volumen, peso fresco y peso seco de raíces de plantas de chile manzano de ‘Maruca’, ‘Jhos’ y ‘Dali’ injertadas en CM-334 vs. plantas no injertadas cultivadas bajo invernadero en sistema hidropónico, en Chapingo, México de 2017 a 2019.	26
Cuadro 3. Medias de número de frutos por planta, peso de frutos por planta y rendimiento por hectárea de fruto de chile manzano de plantas injertadas sobre CM-334 vs. no injertadas, con y sin aplicación de AIB y <i>T. harzianum</i>	33
Cuadro 4. Tamaño de raíces de plantas de chile manzano no injertadas e injertadas sobre el CM-334, con y sin aplicación de AIB y <i>T. harzianum</i>	36
Cuadro 5. Medias de variables morfológicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano en respuesta al injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación.	52
Cuadro 6. Comparación de medias de las interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación sobre variables morfológicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano cultivado en suelo infestado con <i>P. capsici</i>	54
Cuadro 7. Medias de variables físicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano en respuesta al injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB.	56
Cuadro 8. Comparación de medias de la interacción de los factores injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB en variables físicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano cultivado en suelo infestado con <i>P. capsici</i>	57
Cuadro 9. Medias de variables químicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano en respuesta al injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación.	60
Cuadro 10. Comparación de medias de la interacción de los factores injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación en variables químicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano cultivado en suelo infestado con <i>P. capsici</i>	62
Cuadro 11. Características cualitativas del CM-334.	77
Cuadro 12. Características cuantitativas del CM-334.	83

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Elaboración propia de escala arbitraria para evaluación de incidencia y severidad causada por *P. capsici* en plantas del híbrido ‘Dali’ de chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) cultivado en macetas con suelo infestado con *P. capsici*. 23
- Figura 2.** Raíz del híbrido de chile manzano sin injertar vs injertado en CM-334 cultivados en hidroponía e invernadero en Chapingo, México de 2017 a 2019. A) ‘Maruca’ B) ‘Maruca’ injertado C) ‘Jhos’ D) ‘Jhos’ injertado E) ‘Dali’ y F) ‘Dali’ injertado. 26
- Figura 3.** Esporangio bipapilado y micelio liso; B) Esporangio unipapilado con oosporas de *P. capsici* obtenido de suelo infestado en Chapingo, México 27
- Figura 4.** Área bajo la curva del progreso de *P. capsici* en chile manzano en plantas cultivadas en Chapingo, México, de 2020 a 2021. ddt: días después del trasplante. D: ‘Dali’ sin injertar, d: días (frecuencia de aplicación). ²Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas (LSD de Fisher $P \leq 0.05$). 29
- Figura 5.** Caracterización morfológica de *Phytophthora capsici* en plantas enfermas. A) crecimiento algodonoso, B y C) esporangios bipapilados de *P. capsici* en chile manzano. 30

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme llegar a este momento de mi vida

A mi esposo Juan Ramos Jiménez

Por ser mi apoyo en cada paso y juntos llegar a esta meta. Gracias por su amor, paciencia, y por motivarme a cumplir todo lo que me proponga.

A mi hijo Santiago Ramos Pérez

Por ser mi mayor motivación para no rendirme, por darme la dicha de conocer el amor más puro y sincero del mundo. Te amo y te amaré hasta la eternidad.

A mi madre María Reyes Cruz

Con todo mi corazón, agradezco su amor, consejos y enseñanzas.

A mi padre Juan Pérez Zúñiga †

Que vive siempre en mi memoria.

A mis hermanos Celita, Arón, Juan, Saraí, Abraham, Eva y Noé

Por su incondicional apoyo.

A mis sobrinas Berenice y Viridiana

Por esas risas y pláticas interminables, en especial a Viry por el infinito amor, tiempo, paciencia y cuidados para mi pequeño.

A mis amigos

A todos y cada uno de los amigos que encontré en el camino desde mi llegada a Chapingo, cada uno fue importante en su momento y espacio.

En particular a Rosalva Olmos Cervantes por su valiosa amistad.

AGRADECIMIENTOS

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

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

A mi comité asesor **Dr. Mario Pérez Grajales, Dra. Ma Teresa Martínez Damián, Dr. Rogelio Castro Brindis y Dr. Gerardo Santos Leyva Mir** del Departamento de Fitotecnia y Parasitología Agrícola por su paciencia, asesoría, correcciones y contribuciones para realizar esta investigación.

Al **Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego**, Coordinador del Posgrado en Horticultura por las correcciones para la mejora del presente trabajo.

A la **Lic. Itzel Nayelli Silvestre González** por su apoyo y asesoría en las determinaciones de calidad de fruto en el Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia.

A **Mariana Calzada Millán** por todas las sugerencias y su infinita paciencia en el laboratorio de Micología del Departamento de Parasitología.

Al **Dr. Moisés Camacho Tapia** por su apoyo en la toma de fotografías.

Al **Dr. Víctor Arturo González Hernández** y al **M.C. Iván Ramírez Ramírez** del Colegio de Posgraduados por su comprensión, asesoría en la determinación de capsaicinoides y sus atinadas correcciones y sugerencias en este trabajo.

Al **M.C. Efrén Cíntora Portuguesez** por compartir sus conocimientos de fitopatología y por el apoyo en las determinaciones de capsaicinoides.

Al **M.C. Ismael Hernández Hernández** por su apoyo en cada fase del experimento en invernadero y en mediciones de calidad en laboratorio.

Al **Ing. Juan Ramos Jiménez** por su participación en todas las etapas de este proyecto, sin su determinación y valioso apoyo esto no hubiera sido posible.

Al **Sr. Jorge Galicia Sánchez** y a **Don Chebito †** por su tiempo, disposición y apoyo técnico en la fase de invernadero.

A mis compañeros y amigos **Karina Sandibel, Ivan Maryn, Héctor Delín y César Ramírez** por hacer más ligero y ameno este camino.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Tabita Queren Pérez Reyes
Nació el 27 de noviembre de 1990
En Oaxaca de Juárez, México
CURP: PERT901127MOCRYB08



Realizó sus estudios de Licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial (2009-2013), donde obtuvo el grado de Ingeniera Agroindustrial. Trabajó como asesor técnico de 2014 a 2016 en el Estado de México y CDMX, en el Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio (CAFPT) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura en el Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo de enero de 2016 a diciembre 2017.

Trabajó como prestador de asistencia técnica en el año 2018, en el Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria (PESA).

Inició sus estudios de Doctorado en Ciencias en Horticultura en el Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo en enero de 2019.

RESUMEN GENERAL

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens*) INJERTADOS SOBRE EL CM-334 (*Capsicum annuum*), CULTIVADOS EN SUELO

Phytophthora capsici ocasiona pérdidas del 100 % en *Capsicum pubescens* y no existen variedades comerciales resistentes. Una alternativa es el uso del portainjerto CM-334, resistente al oomiceto. Se estudió el comportamiento del tamaño de raíz del CM-334 al injertar híbridos de chile manzano ('Maruca', 'Jhos' y 'Dali'); la resistencia del injerto a *Phytophthora capsici* en suelo infestado y su rendimiento, así como su tamaño radical del CM-334 con aplicaciones de auxinas y *Trichoderma harzianum*. También se evaluó la calidad morfológica y fisicoquímica de fruto del híbrido 'Dali' injertado en el CM-334 con aplicaciones de auxinas. Y se caracterizó al CM-334 con la guía UPOV para *Capsicum annuum* L. El portainjerto presentó 50, 53 y 75 % de menor volumen de raíz, peso fresco y peso seco, respectivamente, comparado con los híbridos no injertados. Con el CM-334 no hubo incidencia de *P. capsici* y el rendimiento de fruto disminuyó solo 2 % e incluso con *T. harzianum* solo o combinado con 1200 ppm de AIB incrementó 8 %. El CM-334 como portainjerto presentó 32, 50, 50 y 76 % de menor longitud radical, volumen, peso fresco y peso seco, respectivamente, comparado con el híbrido sin injertar, por lo que se sugieren aplicaciones de 1.25 kg ha⁻¹ de *T. harzianum* y 1200 ppm de AIB cada 20 días. La calidad morfológica y fisicoquímica del fruto no disminuyó por efecto del portainjerto, por el contrario, incrementó en grosor de pericarpio, firmeza y contenido de capsaicinoides. De acuerdo con la caracterización morfológica el CM-334 es una planta anual, erecta, con flores blancas y/o con líneas púrpuras, hojas y frutos pequeños. El uso de híbridos de chile manzano en el CM-334 es una alternativa viable y sustentable para producir este tipo de chile en condiciones de suelo infestado por *P. capsici*.

Palabras clave: auxinas, injerto, *Phytophthora capsici*, portainjerto, *Trichoderma harzianum*.

GENERAL ABSTRACT

YIELD AND QUALITY OF FRUIT OF MANZANO PEPPER HYBRIDS (*Capsicum pubescens*) GRAFTED ONTO CM-334 (*Capsicum annuum*), GROWN IN SOIL

Phytophthora capsici causes 100% losses in *Capsicum pubescens* and there are no resistant commercial varieties. An alternative is the use of the CM-334 rootstock, resistant to the Oomycete. The behavior of the root size of CM-334 was studied after grafting manzano pepper hybrids ('Maruca', 'Jhos' and 'Dali'); as well as graft resistance to *Phytophthora capsici* in infested soil and its yield, and root size of CM-334 with auxin and *Trichoderma harzianum* applications. The morphological and physicochemical quality of the hybrid 'Dali' fruit grafted on CM-334 with auxin applications was also evaluated. CM-334 was characterized with the UPOV guide for *Capsicum annuum* L. The rootstock presented 50, 53 and 75 % lower root volume, fresh weight and dry weight, respectively, compared to non-grafted hybrids. With CM-334 there was no incidence of *P. capsici* and fruit yield decreased only 2 % and even with *T. harzianum* alone or combined with 1200 ppm AIB increased 8 %. The CM-334 as a rootstock presented 32, 50, 50 and 76 % lower root length, volume, fresh weight and dry weight, respectively, compared to the non-grafted hybrid, therefore applications of 1.25 kg ha⁻¹ of *T. harzianum* and 1200 ppm of AIB are suggested every 20 days. The morphological and physicochemical quality of the fruit did not decrease due to the effect of the rootstock, on the contrary, it increased in pericarp thickness, firmness and capsaicinoid content. According to the morphological characterization, CM-334 is an annual plant, erect, with white flowers and/or with purple lines, leaves, and small fruits. The use of manzano pepper hybrids in CM-334 is a viable and sustainable alternative to produce this type of chili in soil conditions infested by *P. capsici*.

Key words: auxins, graft, *Phytophthora capsici*, rootstock, *Trichoderma harzianum*.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El chile (*Capsicum* spp.) es una de las hortalizas más importantes en el mundo (López et al., 2016). México es el segundo productor con 3,238,244.81 toneladas (FAOSTAT, 2020) y destaca por su alta diversidad genética (Rincón et al., 2010). Tiene una amplia variedad de usos como producto fresco, seco o en polvo. Se usa en la industria farmacéutica, así como en colorantes naturales y cosméticos, como planta ornamental, y como nutriente se caracteriza por sus altos niveles de vitaminas A y C, hierro, magnesio, potasio, caroteno, fenoles, capsaicinoides, xantofilas y flavonoides (Grubben & Mohamed, 2004).

El género *Capsicum* está compuesto por 30 especies (Agostini-Costa et al., 2017), de las que destacan: *C. annuum* L., *C. chinense* J., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L. y *C. pubescens* R y P (Naegele et al., 2016; Tripodi y Kumar, 2019).

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) tiene su origen en las partes altas de Perú y Bolivia. Fue introducido a México a principios del siglo XX donde se cultiva en altitudes de 1700 a 2400 m (Pérez & Castro, 2008). La mayor producción se encuentra en los estados de Michoacán, Puebla, Estado de México y Veracruz y en menor escala en Chiapas y Oaxaca (Espinosa-Torres & Villa-Galindo, 2008). La superficie sembrada en México en el año 2013 fue de 1500 ha a campo abierto y 60 ha en condiciones de invernadero, con un rendimiento promedio de 10.59 t ha⁻¹ y 78.38 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2014).

En los últimos años se ha registrado una demanda creciente de este cultivo. Sin embargo, su productividad se ve afectada por la marchitez del chile ocasionada por *Phytophthora capsici* (Barchenger et al., 2018) que causa la pudrición del tallo, el cuello, la raíz y el tizón de la hoja y fruta (Richins et al., 2010). La infección por este oomiceto se desencadena principalmente durante los períodos de fuertes lluvias o riego excesivo, alta humedad y un sistema de drenaje deficiente (Granke et al., 2012), y provoca pérdidas de 25 a 100 %.

El control de la enfermedad es complejo y comúnmente se realiza mediante fungicidas (Colla et al., 2012), pero generalmente es insuficiente (Richins et al., 2010) y causa un impacto ambiental negativo, toxicidad en los humanos (Lamour, 2009) y resistencia en el patógeno (Colla et al., 2012; Sy et al., 2008). La mejor forma de controlar la enfermedad es mediante variedades resistentes (Glosier et al., 2008), pero aún no existen variedades de chiles resistentes a este patógeno (García-Rodríguez et al., 2010). Un método alternativo para controlar la marchitez del chile es el uso de portainjertos resistentes (Zhao et al., 2011).

El chile serrano criollo (*Capsicum annuum* L.) de Morelos 334 (CM-334) destaca por su alta resistencia a *P. capsici* (Castro-Rocha et al., 2016; Naegele & Hausbeck, 2020). El fruto de este chile no tiene valor comercial, pero su planta se ha empleado como portainjerto de híbridos comerciales de pimiento, chile ancho y chile manzano, entre otros (García-Rodríguez et al., 2010; Leal-Fernández et al., 2013; Pérez-Grajales et al., 2021; Pintado-López et al., 2017).

El injerto puede afectar directamente la producción y calidad del fruto (Jang et al., 2012), y podría derivarse en la incompatibilidad entre injerto y portainjerto (King et al., 2010). En pimiento, Penella et al. (2017) afirmaron que el injerto mejora las características agronómicas, la resistencia al estrés biótico, el rendimiento y la calidad del fruto. Pero en otros casos ocurre lo contrario, dado que los portainjertos alteran la arquitectura radical lo que reduce la absorción de agua y nutrientes (Kumar et al., 2017; Ropokis et al., 2019). No obstante, la aplicación exógena de auxinas y *Trichoderma* spp. puede promover y acelerar la formación de raíces adventicias (Báez-Pérez et al., 2015; Larios et al., 2019).

En chile manzano Pérez-Grajales et al. (2021) comprobaron la compatibilidad entre híbridos de este tipo de chile y el portainjerto CM-334 en condiciones de cultivo hidropónico. En el presente estudio se evaluó el comportamiento del tamaño radical del CM-334 como portainjerto de los híbridos comerciales de chile manzano 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali'; y también la resistencia a *Phytophthora capsici* de plantas 'Dali' injertadas sobre el CM-334 vs. las no injertadas en condiciones de suelo infestado con el Oomiceto. Además se evaluó el efecto en rendimiento

de fruto de 'Dali' y el tamaño radical del CM-334 en respuesta a las aplicaciones de auxinas y *Trichoderma harzianum*. Las hipótesis fueron las siguientes: el tamaño radical del CM-334 como portainjerto de los híbridos injertados de chile manzano es menor que la de los híbridos sin injertar; el portainjerto CM-334 es resistente a *P. capsici* y no provoca disminución del rendimiento en el injerto ('Dali'); el tamaño radical de las plantas injertadas se incrementa con la aplicación de auxinas y *Trichoderma harzianum*.

Por otra parte, se evaluó el efecto del portainjerto CM-334 (*Capsicum annuum* L.) y la aplicación de auxinas sobre características morfológicas y fisicoquímicas de la calidad de fruto del híbrido 'Dali' de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) crecido en condiciones de suelo infestado por *P. capsici*. La hipótesis fue que el portainjerto no causa efectos negativos en la calidad de fruto del injerto.

También se realizó la primera, de dos, caracterizaciones morfológicas del chile serrano criollo de Morelos (CM-334) mediante la guía UPOV para *Capsicum annuum* L. (2006, 2015 y 2018) con la finalidad de iniciar el proceso de registro de un genotipo de alto valor para el mejoramiento genético del género *Capsicum* y como portainjerto (resistente a *P. capsici*) de híbridos de chile manzano, bajo la hipótesis que las plantas del CM-334 utilizadas en el presente estudio, son resistentes a las inoculaciones de 300 000 oosporas de *P. capsici*, en contraste con las plantas testigo del híbrido 'Dali' de chile manzano que son susceptibles.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del chile manzano

El chile es un ingrediente fundamental y representativo en la dieta alimenticia de los mexicanos (Hernández-Verdugo, 2014; Pérez et al., 2015). Es distinguido por el picor de sus frutos, causada principalmente por los capsaicinoides: nordihidrocapsaicina, dihidrocapsaicina y capsaicina (Sánchez-Sánchez et al., 2010). Su valor alimenticio es importante por el contenido de compuestos antioxidantes que ayudan en la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas (López-López et al., 2015).

En los últimos diez años (2011-2021) el rendimiento, la calidad y valor de la producción de chile manzano se ha incrementado (Cuadro 1) por el uso de sistemas intensivos de producción con técnicas de cultivo como crecimiento en invernadero, riego por goteo, sistema de tutoreo, poda de ramas y hojas, control de plagas y enfermedades, y aplicaciones de mejoradores de suelo y de fitorreguladores del crecimiento y desarrollo.

Cuadro 1. Producción, rendimiento y valor de la producción nacional de chile manzano a campo abierto y en invernadero.

Año	Producción (t)		Rendimiento (t ha ⁻¹)		Valor de la producción (miles de pesos)	
	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero
2011	2,039.30	140	7.21	70	16,255.20	1,750.00
2012	3,604.40	1,902.50	10.96	87.27	43,891.66	31,413.50
2013	1,849.00	2,883.50	7.61	78.36	22,551.70	46,158.00
2014	3,122.30	1,837.50	10.8	43.44	38,866.82	18,157.35
2015	2,759.56	3,812.53	12.75	77.02	27,615.18	33,534.34
2016	3,705.22	2,179.92	17	45.42	31,140.20	19,191.29
2017	5,833.85	2,404.01	14.77	48.08	47,077.85	26,389.13
2018	6,284.29	2,295.20	14.27	45.9	46,659.88	23,389.69
2019	5,235.51	2,824.95	14.62	56.11	37,748.38	27,273.87
2020	5,359.70	2,776.47	15.32	56.69	40,875.15	29,083.22
2021	4,397.62	2,545.67	15.35	51.15	34,128.09	26,397.45

Fuente: SIACON, 2022.

2.2 Marchitez del chile

La principal enfermedad que ataca al género *Capsicum* en todo el mundo, es la marchitez del chile (Majid et al., 2017), ocasionada por el oomiceto *Phytophthora capsici* que fue identificado por Leonian en 1922.

En condiciones de campo, el agua favorece la reproducción asexual de *P. capsici* a través de la producción de esporangios y zoosporas móviles flageladas (Barchenger et al., 2018) que se diseminan fácilmente con el agua de lluvia o la de riego. Una vez que los esporangios y zoosporas entran en contacto con el sistema radical, se desprenden de los flagelos y se adhieren a la epidermis radical mediante un tubo germinativo que penetra la cutícula (Kurt et al., 2012). El patógeno tiene la capacidad de degradar la pared celular al secretar enzimas como poligalacturonasas, pectinmetil esterases y pectato liasas, así como penetrar la membrana celular mediante la secreción de la elicetina conocida como capsiceína (Chávez-Díaz & Zavaleta-Mejía, 2019).

P. capsici puede afectar al cultivo en cualquier etapa de desarrollo, causando pérdida de turgencia en la planta, clorosis, pudrición radical, tizón en tallo, hoja y fruto. Esto puede provocar muerte prematura de la planta por marchitamiento, asociado con la obstrucción de los haces vasculares (Sanogo & Ji, 2012). El nivel de afectación fluctúa del 10 hasta 100% (Jiménez-Camargo et al., 2018). La gravedad de la enfermedad depende del estado de madurez de la planta, pues las plantas adultas generalmente son más resistentes que las plántulas o que los frutos jóvenes (Mansfeld et al., 2017).

El control del patógeno se hace principalmente con fungicidas, pero estos pesticidas causan daños al ambiente y a la salud humana, y generan resistencia en el patógeno. Por ello que se buscan alternativas viables y sustentables para disminuir este problema (Jang et al., 2012), como el uso de portainjertos resistentes a este oomiceto.

2.3 Chile serrano criollo de Morelos (CM-334)

El Centro Mundial de Vegetales ha reportado al CM-334 como un portainjerto útil para el control de *P. capsici* en pimiento (Louws et al., 2010). Sin embargo, cuando una planta se injerta pueden existir problemas de compatibilidad (King et al., 2010), que cambien el patrón fenológico del cultivo y potencialmente el rendimiento y la calidad del fruto con respecto a las plantas no injertadas (Colla et al., 2008; King et al., 2010).

La resistencia del chile CM-334 es dominante pero su herencia es compleja debido a que es poligénica y también a la probable existencia de efectos epistáticos (Minamiyama et al., 2007; Naresh et al., 2019). Por ello, aunque se ha utilizado en programas de mejoramiento (Monroy-Barbosa et al., 2008), no se ha logrado generar cultivares comerciales de chile con resistencia al patógeno (Oelke et al., 2003).

2.4 Injerto

El injerto es un método de propagación vegetativa que consiste en unir una parte de una planta a otra que ya está establecida (Miguel & Cebolla, 2005). La planta injertada se desarrolla como un solo individuo, pero con atributos, beneficios y características del portainjerto que es la planta que recibe la porción de tejido del injerto proveniente de otra planta (Aparecido et al., 2017). El portainjerto regularmente no tiene valor comercial, pero genéticamente puede ser resistente o tolerante al estrés biótico o abiótico (Zhao et al., 2011). La variedad o injerto es una parte o fragmento de tallo o yema que se une al portainjerto para que en conjunto desarrollen ramas, hojas, flores y frutos. En hortalizas el propósito inicial de realizar injertos era evadir las enfermedades causadas por patógenos del suelo, como *P. capsici* (Louws et al., 2010), pero actualmente también se emplea para evitar problemas de estrés abiótico.

El injerto puede mejorar el crecimiento de las plantas, el rendimiento, la calidad del fruto (King et al., 2010) y la tolerancia al estrés abiótico (Colla et al., 2010).

Pero también puede ocurrir lo contrario, dado que los portainjertos proporcionan una arquitectura radical alterada que podría reducir el transporte de agua y nutrientes (Kumar et al., 2017; Ropokis et al., 2019). Pero la aplicación exógena de auxinas y *Trichoderma spp.* podría promover y acelerar la formación de raíces adventicias que mejoren la absorción y el transporte (Báez-Pérez et al., 2015; Larios et al., 2019).

2.5 Importancia de las auxinas

Las auxinas son fitohormonas importantes, que estimulan el alargamiento celular (Woodward & Bartel, 2005). También controla diversos aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas al regular procesos celulares fundamentales como su expansión, división y diferenciación (Du et al., 2020). El AIB es un regulador de crecimiento que promueve y acelera la formación de raíces adventicias y laterales en las plantas (Báez-Pérez et al., 2015).

2.6 *Trichoderma spp.*

Trichoderma spp. es un ascomiceto que funciona como agente biológico muy eficaz para inducir un rápido crecimiento y desarrollo vegetal (Howell, 2003). Este agente es antagonista de hongos patógenos mediante mecanismos de competencia por nutrientes y espacio, micoparasitismo, antibiosis, promoción del crecimiento vegetal, e inducción de respuestas de defensa vegetal (Guillén-Cruz et al., 2006; Vargas-Hoyos & Gilchrist-Ramelli, 2015). Este ascomiceto también puede inducir respuestas de defensa en las raíces cuando patógenos del suelo penetran su región rizodérmica, mediante aumento de la actividad de las enzimas peroxidasa y quitinasa, y también mediante deposición de calosa en las paredes celulares de la planta (La Spada et al., 2020). Además de ser empleado como un agente de biocontrol, *Trichoderma spp.* también mejora el crecimiento radical y el desarrollo de las plantas (Chirino-Valle et al., 2016; Salazar-Badillo et al., 2015).

Sus especies más conocidas son *T. afroharzianum*, *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. brevicompactum*, *T. citrinoviride*, *T. dorotheopsis*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis* y *T. virens* (Jiang et al., 2016; Tomah et al., 2020).

2.7 Rendimiento

El rendimiento de un sistema de producción es de vital importancia para el desarrollo económico de los agricultores, dado que es el resultado de la producción por unidad sembrada (Aneani & Ofori-Frimpong 2013).

El rendimiento es un carácter determinado por el potencial genético de la planta y por factores ambientales que, en conjunto, moldean los rasgos morfológicos y los procesos fisiológicos y hormonales como el hábito de crecimiento, el número de flores, el tamaño y la cantidad de frutos y la densidad del cultivo (Vallejo & Estrada, 2002).

Los componentes del rendimiento para chile manzano son: el número de frutos cosechados y su peso individual cuando han alcanzado su madurez fisiológica o comercial (Pérez & Castro, 2008).

2.8 Calidad de fruto

La calidad de fruto de chile es una combinación de atributos visuales como tamaño, forma y color, y de propiedades organolépticas detectables al degustarlo como dulzor, acidez, aroma y picor (Devi et al., 2021; Kyriacou et al., 2017).

Los indicadores de calidad pueden clasificarse en visuales (color y forma del fruto), físicos (firmeza y peso) y químicos (acidez titulable, sólidos solubles totales, acidez, vitamina C, contenido de carotenoides y capsaicinoides). Además se consideran aspectos fitosanitarios como fisiopatías y enfermedades (Espinoza-Torres et al., 2010). Una característica exclusiva que distingue a los frutos del género *Capsicum* es la acumulación de capsaicinoides, principalmente en la placenta (Ben-Chaim et al., 2006) que son los responsables del picor de los frutos, muy apreciado en varias culturas.

2.9 Caracterización morfológica

Las especies domesticadas de *Capsicum* exhiben considerable variación morfológica relacionada principalmente con la forma, color y tamaño del fruto

debido a que han estado sujetas a selección natural y artificial, durante los procesos de domesticación (Walsh & Hoot 2001).

La caracterización morfológica se realiza para identificar inequívocamente un cultivar (Eldeen et al., 2016), para conocer la diversidad genética existente de cada característica y para conocer su potencial de uso en mejoramiento genético (Govindaraj et al., 2015).

2.10 LITERATURA CITADA

Agostini-Costa, T. S., Silva, I. G., Martins, L. A. P., Becke, F. J. R. & Costa, C. S. R. (2017). Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.020>.

Aneani, F. & Ofori-Frimpong K. (2013). "An analysis of yield gap and some factors of cocoa (*Theobroma cacao*) yields in Ghana." *Sustainable Agriculture Research*, 2 (4), 117. <https://doi.org/10.5539/sar.v2n4p117>.

Aparecido, L., Trevisan, L., & Falleiros, R. (2017). Grafting in Vegetable Crops: A Great Technique for Agriculture. *International Journal of Vegetable Science*, 24(5): 1-18. DOI:10.1080/19315260.2017.1357062

Báez-Pérez, A., González-Molina, L., Solís, E. M., Bautista-Cruz, A. & Bernal-Alarcón, M. A. (2015). Efecto de la aplicación del ácido indol-3-butírico en la producción y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 523-537.

Barchenger, D. W., Lamour, K. H. & Bosland, W. P. (2018). Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>

Ben-Chaim, A., Borovsky, Y., Falise, M., Mazourek, M., Byoung-Cheorl, K., Paran, I. & Jahn, M. (2006). QTL analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 113, 1481-1490. doi:10.1007/s00122-006-0395-y

Castro-Rocha, A., Shrestha, S., Lyon, B., Grimaldo-Pantoja, G. L., Flores-Marges, J. P., Valero-Galvan, J., Aguirre-Ramírez, M., Osuna-Ávila, P., Gómez-Dorantes, N., Ávila-Quezada, G., Luna-Ruiz, J. J., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S. P. & Lamour, K. (2016). An initial assessment of genetic diversity for *Phytophthora capsici* in Northern and Central Mexico. *Mycological Progress*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>

Chávez-Díaz, I. F. & Zavaleta-Mejía, E. (2019). Molecular communication in the pathosystem *Capsicum* species-*Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37, 251-278. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1901-3>

- Chirino, V. I., Kandula, D., Littejohn, C., Hill, R., Wlaker, M., Shields, M., Cummings, N., Heittiarachchi, D. & Wratten, S. (2016). Potential of the beneficial fungus *Trichoderma* to enhance ecosystem-services provision in the biofuel grass *Miscanthus x giganteus* in agriculture. *Scientific Reports*, 6, 1-7. doi: 10.1038/srep25109
- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Temperini, O., Rea, E., Salerno, A. & Pierandrei, F. (2008). Influencia del injerto en el rendimiento y calidad de frutos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en condiciones de invernadero. *Acta Horticulturae*, 782, 359-363.
- Colla, G., Roupshael, Y., Leonardi, C. & Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.004>
- Colla, G., Roupshael, Y., Rea, E., & Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae*, 135, 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.023>
- Devi, P., Tymon, L., Keinath, A. & Miles, C. (2021). Progress in grafting watermelon to manage *Verticillium* wilt. *Plant Pathology*, 70, 767-777. <https://doi.org/10.1111/ppa.13344>
- Du, M., Spalding, E. P. & Gray, W. M. (2020). Rapid auxin-mediated cell expansion. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 379-402. doi:10.1146/annurev-arplant-073019-025907
- Eldeen, I., Effendy, M. & Tengku-Muhammad, T. (2016). Ethnobotany: challenges and future perspectives. *Research Journal of Medicinal Plants*, 10, 382-387. <https://doi.org/10.3923/rjmp.2016.450.456>
- Espinosa-Torres, L. E. & Ramírez-Abarca, O. (2016). Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (2), 325-335. doi: 20.500.11799/54950
- Espinosa-Torres, L. E. & Villa-Galindo, A. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Revista Extensión Campo*, 7, 8-12.
- Food and Agriculture Data (FaoStat). (2020). Crops and livestock products Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 20 October 2022).
- García-Rodríguez, M. R., Chiquito-Almanza, E., Loeza-Lara, P. D., Godoy-Hernández, H., Villordo-Pineda, E., Pons-Hernández, J. L., González-Chavira, M. M. & Anaya-López, J. L. (2010). Producción de chile ancho injertado sobre Criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*, 44, 701-709.
- Glosier, B. R., Ogundiwin, E. A., Sidhu, G. S., Sischo, D. R. & Prince, J. P. (2008). A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 162, 23-30. doi: 10.1007/s10681-007-9532-1

- Govindaraj, M., Vetriventhan, M., & Srinivasan M. (2015). Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genetics Research International*, 2015, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/431487>
- Granke, L. L., Quesada-Ocampo, L., Lamour, K., & Hausbeck, M. K. (2012). Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Disease*, 96, 1588-1600. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0211-FE>
- Grubben, G. J. H. & Mohamed, E. I. T. I. (2004). "*Capsicum annum* L.," in PROTA 2: Vegetables/Legumes, eds Grubben GJH, Denton OA (Wageningen: PROTA) 2:154-163.
- Guillén-Cruz, R., Hernández-Castillo, F. D., Gallegos-Morales, G., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar-González, C. N., Padrón-Corral, E. & Reyes-Valdés, M. H. (2006). *Bacillus* spp. como biocontrol en un suelo infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24, 105-114.
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R. G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S. & Osuna-Enciso, T. (2012). Caracterización y variación ecográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *Glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, 33, 175-191.
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87, 4-10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>
- Jang, Y., Yang, E., Cho, M., Um, Y., Ko, K. & Chum, C. (2012). Effect of graftin on growth and incidence of *Phytophthora blight* and bacterial wilt of pepper (*Capsicum annum* L.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 53, 9-19. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0074-7>
- Jiang, H., Zhang, L., Zhang, J. Z., Ojaghian, M. R., & Hyde, K. D. (2016). Antagonistic interaction between *Trichoderma asperellum* and *Phytophthora capsici* in vitro. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)*, 17, 271-281. <http://dx.doi.org/10.1631/jzus.B1500243>
- Jiménez-Camargo, A., Valadez-Moctezuma, E. & Lozoya-Saldaña, H. (2018). Antagonismo de *penicillium* sp. contra *Phytophthora capsici* (Leonian). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41, 137-148. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.137-148>
- King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X. & Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*, 127, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.001>
- Kumar, P., Rouphael, Y., Cardarelli, M. & Colla, G. (2017). Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1130. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01130>

- Kurt, H. L., Stam, R., Jupe, J. & Huitema, E. (2012). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13, 329-337. DOI: 10.1111/J.1364-3703.2011.00754.X
- Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Colla, G., Zrenner, R. & Schwarz, D. (2017). Injerto de hortalizas: las implicaciones de un imperativo agronómico creciente para la calidad de la fruta vegetal y el valor nutritivo. *Ciencia de las Plantas*, 8, 741.
- Lamour, K. H. & Kamoun, S. (2009). Oomycete genetics and genomics: Diversity, interactions, and research tools. *Hoboken, Nueva Jersey: Wiley-Blackwell Publishing*. doi: 10.1002/9780470475898
- Larios, L. E. J., Valdovinos, N. J. J. W., Chan, C.W., García, L. F. A., Manzo, S. G. & Buenrostro, N. M. T. (2019). Biocontrol de Damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de *Capsicum chinense* (Jacq) con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 471-483. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.332>
- La Spada, F., Stracquadanio, C., Riolo, M., Pane, A. & Cacciola, S. O. (2020). *Trichoderma* counteracts the challenge of *Phytophthora nicotianae* infections on tomato by modulating plant defense mechanisms and the expression of crinkler, necrosis-inducing *Phytophthora* Protein 1, and cellulose-binding elicitor lectin pathogenic effectors. *Frontiers in Plant Science*, 11 (583539), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.583539>
- Leal-Fernandez, C., Godoy-Hernandez, H., Nortetúñez-colln, C. A., Anaya-Lopez, J. L., Villalobos-Reyes, S. & Castellanos, J. Z. (2013). Respuesta morfológica y rendimiento de fruto de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) injertadas sobre diferentes portainjertos comerciales. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 29, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2012.746063>
- Leonian, L. H. (1922). Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici*. *Phytopathology*, 12, 401-408.
- López-López, Á., Espinoza-Santana, S., Ceceña-Duran, C., Ruiz-Alvarado, C., Núñez-Ramírez, F. & Araiza-Zúñiga, D. (2015). Biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre compuestos antioxidantes del fruto del cultivo del chile (*Capsicum* spp.). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 17, 50-57.
- López, L. P., Rodríguez, H. R. & Bravo, M. E. (2016). Impacto económico del chile huacle (*Capsicum annuum* L) en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios* 38,317-328.
- Louws, F. J., Rivard, C. L. & Kubota, C. (2010). Injerto de vegetación fructíferables para manejar patógenos del suelo, patógenos foliares, artrópodos y malezas. *Ciencia Horticultura*, 127, 127-146.
- Majid, M. U., Awan, M. F., Fatima, K., Tahir, M. S., Ali, Q., Rashid, B., Rao, A. Q., Nasir, I. A. & Husnain, T. (2017). Genetic resources of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) against *Phytophthora capsici* and their induction through various

biotic and abiotic factors. *Cytology and Genetics*, 51, 296-304. <https://doi.org/10.3103/S009545271704003X>

Mansfeld, B. N., Colle, M., Kang, Y., Jones, A. D. & Grumet, R. (2017). Los análisis transcriptómicos y metabolómicos de la cáscara de la fruta del pepino revelan un aumento en el desarrollo de los glucósidos terpenoides asociado con la resistencia relacionada con la edad a *Phytophthora capsici*. *Horticultor*, 4, 17022. doi: 10.1038/hortres. 2017.22

Miguel, A. & Cebolla, V. (2005). Unión del injerto. *Terralia*, 11 (53), 50-60.

Minamiyama, Y., Tsuru, M., Kubo, T. & Hirai, M. (2007). QTL analysis for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper using a high density SSR-based Map. *Breeding Science*, 57, 129-134. DOI:10.1270/jsbbs.57.129

Monroy-Barbosa, A. & Bosland, P. W. (2008). Genetic analysis of *Phytophthora* root rot race specific resistance in Chile pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133, 825-829. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.6.825>

Naegele, R. P. & Hausbeck, M. K. (2020). *Phytophthora* root rot resistance and its correlation with fruit rot resistance in *Capsicum annuum*. *HortScience*, 55, 1931-1937. <https://doi.org/10.21273/hortsci15362-20>

Naegele, R. P., Mitchell, J. & Hausbeck, M. K. (2016). Genetic diversity, population structure, and heritability of fruit traits in *Capsicum annuum*. *PLOS ONE* 11(7), e0156969. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0156969>

Oelke, L. M., Bosland, P. W. & Steiner, R. (2003). Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 213-218. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0213>

Penella, C., Nebauer, S. G., López-Galarza, S., Quiñones, A., San Bautista, A. & Calatayud, A. (2017). Grafting pepper onto tolerant rootstocks: An environmental-friendly technique overcome water and salt stress. *Scientia Horticulturae*, 226, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.020>

Pérez, L., Castañón, G., Ramírez, M. & Mayek, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4), 117-128. <https://doi.org/10.19136/era.a2n4.721>

Pérez, G. M. & Castro, R. B. (2008). El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 128 p.

Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117, 332-346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>

- Pintado-López, L. M., Guzmán-Plazola, A. R., Ayala-Escobar, V. & Aguilar-Rincón, H. V. (2017). Grafting on CM-334 controls serrano chili wilting caused by *Phytophthora capsici* and changes phenology but does not affect fruit yield. *Journal of Phytopathology*, 165, 494-499. <https://doi.org/10.1111/jph.12585>
- Richins, R. D., Micheletto, S. & O'Connell, M. A. (2010). Gene expression profiles unique to chile (*Capsicum annuum* L.) resistant to *Phytophthora* root rot. *Plant Science*, 178, 192-201.
- Rincón, V. H. A., Torres, T. C., López, P. L., Moreno, L. L., Meraz, M. R., Mendoza, H. V., & Castillo, J. A. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI. 114 p.
- Ropokis, A., Ntatsi, G., Kittas, C., Katsoulas, N. & Savvas, D. (2019). Effects of temperature and grafting on yield, nutrient uptake, and water use efficiency of a hydroponic sweet pepper crop. *Agronomy*, 9, 110-135. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020110>
- Salazar-Badillo, F. B., Sánchez-Rangel, D., Becerra-Flores, A., López-Gómez, M., Nieto, J. F., Mendoza-Mendoza, A. & Jiménez-Bremont, J. F. (2015). *Arabidopsis thaliana* polyamine content is modified by the interaction with different *Trichoderma* species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 95, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.07.003>
- Sánchez-Sánchez, H., González-Hernández, V. A., Cruz-Pérez, A. B., Pérez-Grajales, M., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Gardeja-Bejar, A. A. & Gómez-Lim, M. A. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*C. pubescens* R. y P.). *Agrociencia*, 44, 655-665.
- Sanogo, S. & Ji, P. (2012). Integrated management of *Phytophthora capsici* on Solanaceous and Cucurbitaceous crops: Current status, gaps in knowwledge, and research needs. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34, 479-492. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.732117>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2014). Anuario Estadístico en la Producción Agrícola. Disponible online: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>.
- Sy, O., Steiner, R. & Bosland, P. W. (2008). Recombinant inbred line differential identifies race-specific resistance to *Phytophthora* root rot in *Capsicum annuum*. *Phytopathology*, 98, 867-870. <https://doi.org/10.1094/phyto-98-8-0867>
- Tomah, A. A., Alamer, I. S., Li, B. & Zhang, J. Z. (2020). A new species of *Trichoderma* and gliotoxin role: A new observation in enhancing biocontrol potential of *T. virens* against *Phytophthora capsici* on chili pepper. *Biological Control*, 145, 104261. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104261>
- Tripodi, P. & Kumar, S. (2019). The *Capsicum* Crop: An Introduction. Biochemistry and Cell Biology of Ageing: Part I. *Biomedical Science*, 1, 1-8. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_1

Unión internacional para la protección de las obtenciones vegetales (UPOV). (2006, 2015 y 2018). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad: ají, chile, pimiento. Ginebra Suiza. 47 p.

Vallejo, F. A. & Estrada, E. I. (2002). Mejoramiento genético de plantas. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 401 p.

Vargas-Hoyos, H. A. & Gilchrist-Ramelli, E. (2015). Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de *Fusarium* aisladas de cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista Mexicana de Micología*, 42, 9-16.

Walsh, B. M. & Hott, S. B. (2001). Phylogenetic relationships of *Capsicum* (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: The chloroplast atpB-rbcL spacer region and nuclear waxy introns. *International Journal of Plant Sciences*, 162, 1409-1418. DOI:10.1086/323273

Woodward, A. W. & Bartel, B. (2005) Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany*, 95, 707-735. DOI: 10.1093/aob/mci083

Zhao, X., Ghuo, Y., Huber, D. J. & Lee, J. (2011). Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-ethylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Scientia Horticulturae*, 130, 581-587. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.010>

CAPÍTULO III. RESISTENCIA A *Phytophthora capsici*, RENDIMIENTO DE FRUTO Y TAMAÑO DE RAÍCES DE CHILE MANZANO INJERTADO EN CM-334, CULTIVADO EN SUELO INFESTADO Y CON APLICACIONES DE AUXINAS Y *Trichoderma harzianum*

RESUMEN

Phytophthora capsici ocasiona pérdidas hasta de 100 % en *Capsicum pubescens* y no existen variedades comerciales resistentes. Una alternativa viable y sustentable es emplear el portainjerto CM-334 (*Capsicum annuum* L) resistente a *P. capsici*. Se estudió el comportamiento del tamaño radical del CM-334 al injertarse los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' de chile manzano; la resistencia del injerto a *P. capsici* en suelo infestado y su rendimiento ('Dali'), así como el tamaño radical del CM-334 con aplicaciones de auxinas y *T. harzianum*. El CM-334 como portainjerto presentó 50, 53 y 75 % de menor volumen de raíz, peso fresco y peso seco, respectivamente, comparado con los híbridos no injertados. Con el portainjerto CM-334 no hubo incidencia de *P. capsici* y el rendimiento disminuyó solo 2 % e incluso con *T. harzianum* solo o combinado con 1200 ppm de AIB incrementó 8 %. 'Dali' injertado presentó 32, 50, 50 y 76 % de menor longitud radical, volumen, peso fresco y peso seco, respectivamente, comparado con el híbrido sin injertar, por lo que se sugieren aplicaciones de 1.25 kg ha⁻¹ de *T. harzianum* y 1200 ppm de AIB cada 20 días para mejorar el tamaño radical.

Palabras clave: *Capsicum pubescens*, *Capsicum annuum*, marchitez del chile, Ácido 4-indol-3 butírico (AIB), tamaño de raíces.

CHAPTER III. RESISTANCE TO *Phytophthora capsici*, FRUIT YIELD AND ROOT SIZE OF MANZANO PEPPER GRAFTED ON CM-334, GROWN IN INFESTED SOIL AND WITH APPLICATIONS OF AUXIN AND *Trichoderma harzianum*

ABSTRACT

Phytophthora capsici causes losses of up to 100 % in *Capsicum pubescens* and there are no resistant commercial varieties. A viable and sustainable alternative is to use the rootstock CM-334 (*Capsicum annuum* L) resistant to *P. capsici*. The behavior of the root size of CM-334 when grafting the 'Maruca', 'Jhos' and 'Dali' hybrids of manzano pepper was studied; the resistance of the graft to *P. capsici* in infested soil and its yield ('Dali'), as well as the root size of CM-334 with applications of auxins and *T. harzianum*. The CM-334 as rootstock presented 50, 53 and 75 % lower root volume, fresh weight and dry weight, respectively, compared to non-grafted hybrids. With the CM-334 rootstock there was no incidence of *P. capsici* and the yield decreased only 2 % and even with *T. harzianum* alone or combined with 1200 ppm of AIB it increased 8 %. 'Dali' grafted presented 32, 50, 50 and 76 % lower root length, volume, fresh weight and dry weight, respectively, compared to the ungrafted hybrid, so are suggested applications of 1.25 kg ha⁻¹ of *T. harzianum* and 1200 ppm of AIB every 20 days to improve root size.

Keywords: *Capsicum pubescens*, *Capsicum annuum*, chile wilting, 4-indole-3 butyric acid (IAB), root size.

Thesis of PhD of Sciences in Horticultural, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Tabita Queren Pérez Reyes.
Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales.

3.1 INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) es originario de las partes altas de Perú y Bolivia, fue introducido a México a principios del siglo XX y se cultiva en altitudes de 1700 a 2400 m (Pérez & Castro, 2008). Las principales zonas de producción se encuentran ubicadas en los estados de Michoacán, Puebla, Estado de México y Veracruz, en menor escala en Chiapas y Oaxaca (Espinosa-Torres & Villa-Galindo, 2008). La superficie sembrada para 2020 fue de 2,800 ha a campo abierto y 400 ha en invernadero, con un rendimiento promedio de 12.30 t ha⁻¹ y 60.82 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2021). Este cultivo ha tenido un incremento en su producción, sin embargo, su productividad se ve afectada por el oomiceto *Phytophthora capsici* (Barchenger et al., 2018).

Phytophthora capsici fue reportado por primera vez por Leonian (1922), quien lo identificó como el agente causal de la marchitez del chile, considerada como una de las enfermedades más destructivas del género *Capsicum* (Majid et al., 2017). El oomiceto puede afectar al cultivo en cualquier etapa de desarrollo, causando pérdida de turgencia en la planta, clorosis, pudrición radical, caída de hojas y muerte, es decir, con nivel de afectación entre el 10 y 100 % (Jiménez-Camargo et al., 2018).

Entre los métodos alternativos para controlar la marchitez del chile se encuentra el uso de portainjertos resistentes (Zhao et al., 2011). El Serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334) destaca por su alta resistencia a *P. capsici* (Castro-Rocha et al, 2016; Mallard et al., 2013; Naegele & Hausbeck, 2020), sin embargo, Flores et al. (2010) señalaron que el uso de portainjertos afecta el desarrollo de las plantas injertadas de jitomate en la translocación de agua, de nutrientes y de hormonas y en *Capsicum annuum* Jang et al. (2012) mencionan que afecta directamente la producción y calidad del fruto, que podría derivarse de la incompatibilidad entre los genotipos (King et al., 2010).

En chile manzano Pérez-Grajales et al. (2021) comprobaron la compatibilidad entre híbridos de este tipo de chile y el portainjerto CM-334 sin diferencias

significativas en rendimiento de fruto de plantas injertadas vs. no injertadas, pero cultivadas en sustrato inerte (tezontle rojo). Es decir, no en condiciones de suelo infestado con *P. capsici*, como generalmente se encuentran los suelos de forma natural en donde se produce este tipo de chile. Tampoco se evaluó el comportamiento radical del portainjerto serrano Criollo de Morelos (*Capsicum annuum*) que es una planta de porte pequeño y de cultivo anual en contraste del chile manzano (*Capsicum pubescens*) que es una planta de porte alto y de cultivo perenne.

Por lo tanto, en el presente estudio se evaluó el comportamiento del tamaño radical del CM-334 como portainjerto de los híbridos comerciales de chile manzano 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali'; y también la resistencia a *Phytophthora capsici* de plantas 'Dali' injertadas sobre el CM-334 vs. las no injertadas, en condiciones de suelo infestado con el oomiceto. Además se evaluó el efecto del portainjerto en el rendimiento de fruto del híbrido 'Dali' (injerto) y el tamaño radical del CM-334 en respuesta a las aplicaciones de auxinas y *T. harzianum*.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Sitio experimental.

Las plantas crecieron en el invernadero de chile manzano ubicado en el lote P-2 del campo experimental del Departamento de Fitotecnia, y los análisis se efectuaron en el laboratorio de Micología de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, en las coordenadas 19° 29' 22.2" LN y 98° 52' 24.7" LO, a una altitud de 2250 m. Los promedios de temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa y CO₂ del invernadero fueron 18.7 °C, 68.9 %, 525 $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$ y 80 %, respectivamente.

3.2.2 Tamaño radical de los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' tanto injertados sobre el CM-334 como los no injertados

En marzo de 2017 se trasplantaron en macetas rellenas con sustrato y en sistema de hidroponía en invernadero, plantas de 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' de chile manzano con registros SNICS 1351, 1298 y 1299, respectivamente, y plantas

previamente injertadas en el CM-334 de cada uno de los tres híbridos como lo menciona Pérez Grajales et al. (2021). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con seis tratamientos (tres híbridos injertados y tres sin injertar) y siete repeticiones cada uno, la unidad experimental y de muestreo fue una planta. Las plantas fueron cultivadas durante dos años, en condiciones de invernadero e hidroponía de acuerdo con la propuesta de Pérez & Castro (2008). Dos años después del trasplante, en mayo de 2019, se realizó la determinación del tamaño radical de los seis tratamientos, para lo cual se extrajeron las raíces de las macetas y se lavaron con abundante agua, después se pesaron en una balanza digital con sensibilidad de 0.1 g (Ohaus®, México) y se midió el volumen de raíz por desplazamiento de agua en un recipiente de 10 L graduado en mL. También se midió el peso seco (g) de las raíces después de ser secadas en una incubadora de convección mecánica (GCA Precision Scientific® 6M, USA) a 70 °C durante 72 horas.

A los datos de peso fresco, volumen y peso seco de raíz de los tratamientos se les aplicó análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para comparar los seis tratamientos, y “t” de Student ($P \leq 0.05$) para comparar los dos grupos de tratamientos (plantas injertadas y no injertadas). En todos los procedimientos estadísticos se empleó el programa de análisis estadístico SAS 9.1.3.

3.2.3 Resistencia a *P. capsici*, rendimiento de fruto y tamaño radical de plantas injertadas del híbrido Dali sobre CM-334, y de plantas no injertadas en respuesta a auxinas y *T. harzianum*

3.2.3.1 Material vegetal

El material vegetal empleado como injerto fue ‘Dali’, obtenido del programa de mejoramiento genético de chile manzano de la UACH, con registro SNICS 1299. El portainjerto fue el cultivar de chile Serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334), resistente universal a *P. capsici*. Para hacer coincidir los diámetros de los tallos (1.5 a 1.8 mm) de las plántulas del injerto y portainjerto, ‘Dali’ fue sembrado el 2 de agosto de 2020 en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con

turba y vermiculita, en proporción 2:1; el CM-334 se sembró 10 días después, en charolas de 60 cavidades con el mismo sustrato y proporción.

3.2.3.2 Proceso de injertación

Una vez sincronizados los diámetros del tallo del injerto y portainjerto, 70 días después de la siembra (2 de octubre de 2020) se realizó el procedimiento de injertado tipo empalme a 1.5 cm arriba de los cotiledones (Pérez-Grajales et al., 2021). Las plantas injertadas se colocaron en una cámara de crecimiento con temperatura de 25 °C y humedad relativa inicial superior a 85 %, con una disminución gradual a 50 %, diez días después del proceso de injertación (ddi).

3.2.3.3 Caracterización morfológica de *P. capsici* aislado de suelo

Para determinar la presencia de *P. capsici*, a utilizar en el experimento, se desarrolló una técnica de recuperación de sus esporangios a partir de una muestra compuesta de suelo tipo limoso (1 kg), obtenida a 30 cm de profundidad, en cinco diferentes puntos de 1 ha de terreno en el lote X4 del campo experimental de Fitotecnia de la UACH.

Para el aislar de *P. capsici* a partir de suelo, se empleó la metodología propuesta por Aristizábal & Torres (2015) con algunas modificaciones. Para ello, se pesaron 10 g de suelo y se mezclaron con 90 mL de agua destilada estéril, de esta solución se tomó una alícuota de 1 mL y se aforó con agua destilada estéril a 10 mL, esto se repitió dos veces. Después se colocó una gota de la última dilución en una caja petri estéril y se llenó con medio PDA líquido a temperatura ambiente, se dejó reposar durante siete días para el crecimiento del micelio. Con la finalidad de purificar el hongo se realizó punta de hifa, y para la formación de esporangios el oomiceto puro fue transferido a cajas petri que contenían jugo V8®-agar como medio de cultivo, en donde permaneció seis días a 26 °C y en completa oscuridad. Para la liberación de oosporas, el patógeno fue sometido a estrés térmico: dos horas a 5 °C y una hora a 26 °C (Ortíz & Camargo, 2005). Posteriormente, se realizaron preparaciones en porta y cubreobjetos, y con la ayuda del programa Motic Plus 3.0 se midió largo y ancho de papilas de 50

esporangios del oomiceto. La identificación morfológica se basó en las claves tabulares propuestas por Martin et al. (2012).

3.2.3.4 Manejo de plantas injertadas y no injertadas

El 11 de diciembre de 2020 (70 ddi), las plantas de 'Dali' injertadas sobre el CM-334, así como las no injertadas fueron trasplantadas en bolsas de plástico de 50 x 50 cm (calibre 600) rellenas de suelo infestado de manera natural con *P. capsici* proveniente del lote X4. Las plantas fueron cultivadas y manejadas en condiciones de invernadero como propone Pérez & Castro (2008). Tres meses después del trasplante se iniciaron las aplicaciones de ácido 4-indol-3 butírico (AIB) y *T. harzianum* (Th) dirigidas a la raíz de las plantas injertadas y de las no injertadas (durante cuatro meses), de acuerdo con los tratamientos siguientes: 1) 0.18 g de Th por planta cada 20 días; 2) 0.18 g de Th combinado con 1200 ppm de AIB cada 20 días; 3) AIB a 1600 ppm cada 15 días; 4) AIB a 1600 ppm cada 30 días; 5) AIB a 1600 ppm cada 45 días; 6) AIB a 1200 ppm cada 15 días; 7) AIB a 1200 ppm cada 30 días; 8) AIB a 1200 ppm cada 45 días; 9) AIB 800 ppm a los 15 días; 10) AIB 800 ppm cada 30 días; 11) AIB 800 ppm cada 45 días; y 12) el testigo sin aplicación de auxinas y *T. harzianum*.

El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental y de muestreo fue una planta.

3.2.3.5 Proceso de patogénesis

Una vez iniciados los tratamientos, se realizaron evaluaciones visuales cada tres días con la finalidad de detectar plantas con síntomas de marchitez causados por *P. capsici*. La incidencia se hizo mediante la identificación de plantas con síntomas típicos del oomiceto respecto al número total de plantas del experimento, mientras que para el nivel de daño se propuso una escala visual arbitraria que se muestra en la Figura 1.

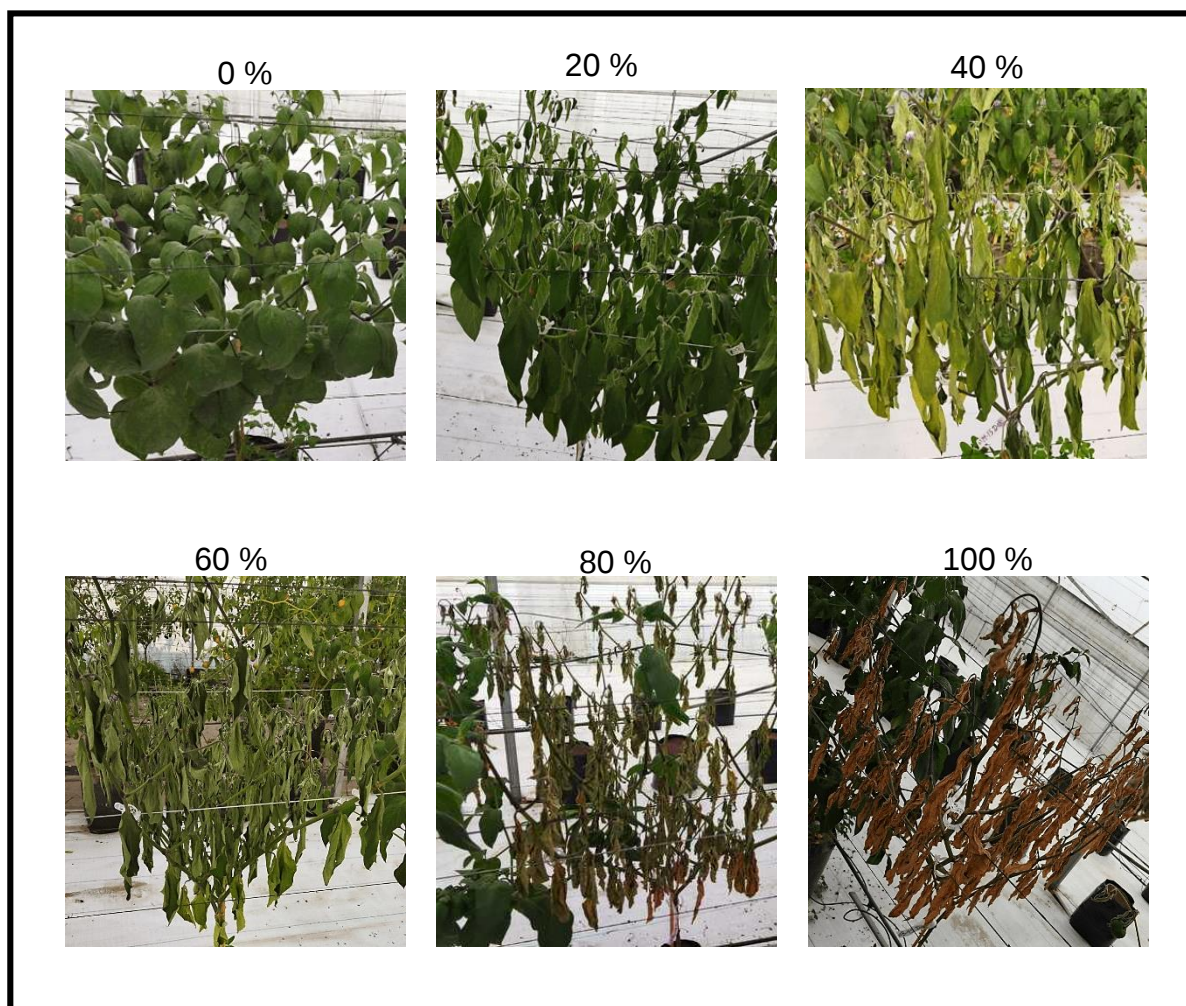


Figura 1. Elaboración propia de escala arbitraria para evaluación de incidencia y severidad causada por *P. capsici* en plantas del híbrido 'Dali' de Chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en macetas con suelo infestado con *P. capsici*.

Con los datos obtenidos del nivel de daño, se calculó el porcentaje de severidad del ataque de *P. capsici* y se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Para ello se empleó el método de integración trapezoidal propuesto por Shaner & Finney (1977). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de medias LSD de Fisher ($P \leq 0.05$), que se aplicaron con el paquete estadístico SAS 9.1.3.

3.2.3.6 Caracterización morfológica de *P. Capsici* aislado de tejido vegetal

Una vez observada la sintomatología de marchitez en las plantas no injertadas de 'Dali', se realizaron tres muestreos al azar (en diferentes tiempos) de plantas enfermas para aislar el agente causal. Para ello se tomaron cinco porciones de 1

cm de tallo y de raíz, y fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 3 % y sembradas en medio PDA (Soto-Plancarte et al., 2017); a los siete días se inició el proceso de purificación mediante punta de hifa. Una vez puro el cultivo del oomiceto, se realizaron preparaciones que fueron observadas en un microscopio compuesto y con la ayuda del programa Motic Plus 3.0 se midió el largo y ancho de papilas de 50 esporangios. La identificación morfológica se realizó con el apoyo de claves tabulares de Martin et al. (2012).

3.2.3.7 Rendimiento

Se realizaron siete cosechas de fruto (una cada 15 días) y se contabilizó el número y peso de los frutos totales por planta en cada corte; y el rendimiento por hectárea se calculó al considerar una densidad de 0.694 plantas/m² multiplicada por el peso de fruto por planta, y se extrapolo a una hectárea de invernadero.

3.2.3.8 Tamaño radical

La medición de tamaño de raíces se llevó a cabo a los 14 meses después del trasplante, una vez concluida la evaluación de rendimiento de fruto. Debido a la incidencia y severidad de *P. capsici* no fue posible evaluarla en seis de los 24 tratamientos, a saber: 'Dali' sin injertar con aplicaciones de 1600, 1200 y 800 ppm de AIB cada 15 días, 'Dali' sin injertar a 1600 y 1200 ppm cada 30 días, y 'Dali' sin injertar a 800 ppm cada 45 días. Las raíces colectadas se lavaron con abundante agua hasta eliminar la mayor cantidad de suelo. Posteriormente, en cada planta se midió longitud de raíz con una cinta métrica graduada en mm, y su peso fresco en una balanza digital con sensibilidad de 0.1 g (Ohaus®, México). El volumen de raíz se calculó por desplazamiento de agua en un recipiente de 10 L graduado en mL (Gamboa-Angulo et al., 2020); y el peso seco (g) después de ser secadas en incubadora de convección mecánica (GCA Precision Scientific® 6M, USA) a 70 °C durante 72 horas.

3.2.3.9 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov & Bartlett, respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995). Después se realizó análisis de varianza (ANOVA) y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), y “t” de Student ($P \leq 0.05$) para dos grupos de tratamientos (plantas injertadas y no injertadas). En todos los procedimientos se utilizó el programa de análisis estadístico SAS 9.1.3.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Tamaño radical de ‘Maruca’, ‘Jhos’ y ‘Dali’ injertados sobre CM-334 y no injertados

La comparación múltiple de medias de Tukey mostró que no hubo diferencias estadísticas significativas en volumen, peso fresco y peso seco de raíces entre ‘Maruca’, ‘Jhos’ y ‘Dali’ sin injertar, ni tampoco entre los híbridos cuando fueron injertados sobre el CM-334 (Cuadro 2).

En cambio, al comparar los dos grupos con una prueba de “t” de Student (Cuadro 2), se encontró que el tamaño radical de los híbridos sin injertar en promedio fueron 52, 70 y 50 % superiores en volumen, peso fresco y peso seco de raíz con respecto a los híbridos injertados en el CM-334 (Figura 2). El menor tamaño radical de las plantas injertadas se explica porque el portainjerto CM-334 es una planta de porte pequeño, de ciclo anual y de otra especie diferente (*Capsicum annuum*), que contrasta con el injerto (chile manzano, *Capsicum pubescens*) que es de porte alto y de ciclo perenne.

Para promover la formación de raíces en el portainjerto CM-334 y con ello favorecer la absorción de nutrimentos se ha sugerido la aplicación exógena de auxinas y de *Trichoderma* spp. Al respecto, López-Elías et al. (2005) reportaron incrementos de hasta 42 % en volumen de raíz, 35 % de peso fresco y 4 % en peso seco con aplicaciones de AIB en pimiento, mientras que en chile habanero (*C. chinense*), Larios et al. (2019) encontraron incrementos de 42 y 55 % en longitud y volumen de raíz, respectivamente.

Cuadro 2. Volumen, peso fresco y peso seco de raíces de plantas de chile manzano de 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' injertadas en CM-334 vs. plantas no injertadas cultivadas bajo invernadero en sistema hidropónico, en Chapingo, México de 2017 a 2019.

Tratamiento	Volumen (mL)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
'Maruca'	512.86 a ^{z*}	506.50 a*	133.714 a*
'Maruca' injertado	267.14 b	145.37 b	67.586 b
'Jhos'	468.57 a*	513.57 a*	140.214 a*
'Jhos' injertado	197.14 b	164.81 b	70.186 b
'Dali'	515.71 a*	511.69 a*	134.243 a*
'Dali' injertado	204.29 b	148.70 b	67.429 b
Coefficiente de variación	13.91	12.82	13.11

^zMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). *Significativo de acuerdo con la prueba de "t" de Student ($P \leq 0.05$).

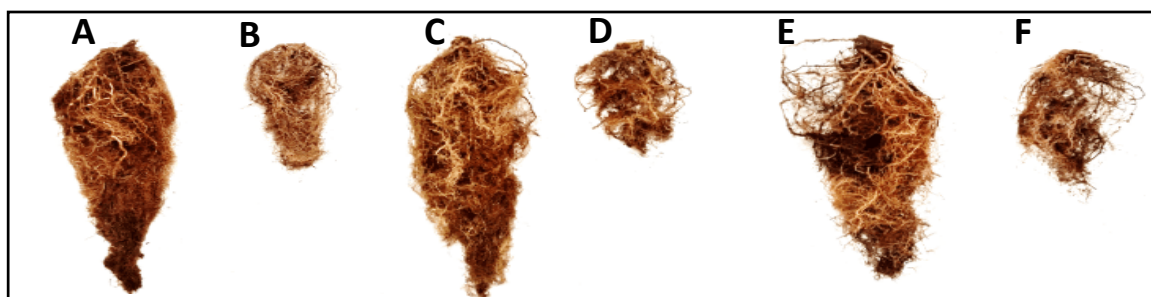


Figura 2. Raíz del híbrido de chile manzano sin injertar vs. injertado en CM-334, cultivados en hidroponía e invernadero en Chapingo, México de 2017 a 2019. A) 'Maruca'; B) 'Maruca' injertado; C) 'Jhos'; D) 'Jhos' injertado; E) 'Dali'; y F) 'Dali' injertado.

3.3.2 Resistencia a *P. capsici*, rendimiento de fruto y tamaño radical de plantas injertadas del híbrido Dali sobre CM-334, y de plantas no injertadas en respuesta a auxinas y *T. harzianum*

3.3.2.1 Caracterización morfológica de *P. capsici* aislado de suelo.

El aislado obtenido del suelo infestado mostró crecimiento micelial cenocítico blanco algodonoso con 15 esporangios por mL (alícuota), con largo de 28.24 a 49.61 μm , ancho de 27.29 a 37.41 μm , y ancho de papila de 4.8 a 6.5 μm (Figura 3). Las características morfológicas observadas del oomiceto concuerdan con las descritas por Díaz-Nájera et al. (2015) para *P. capsici* en cucurbitáceas, y con las reportadas por Silva-Rojas et al. (2009) para *C. annuum* L. Se confirma así que el suelo utilizado en el experimento estaba infestado de manera natural con *P. capsici*.

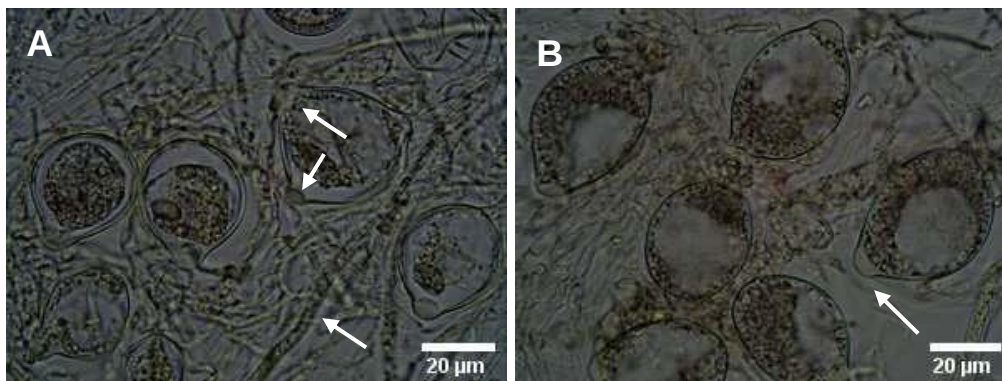


Figura 3. Esporangio bipapilado y micelio liso; B) Esporangio unipapilado con oosporas de *P. capsici* obtenido de suelo infestado en Chapingo, México

3.3.2.2 Proceso de patogénesis

En las plantas no injertadas de chile manzano, la incidencia de *P. capsici* fue del 70 %, que inició a los 100 días después del trasplante (ddt). En contraste, las plantas injertadas sobre el CM-334 no tuvieron incidencia de la enfermedad. Esto confirma el alto nivel de resistencia del portainjerto de chile Serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334) a *P. capsici* (Grosier et al., 2008; Lamour et al., 2012; Sy et al., 2008). Por tanto, el uso de plantas injertadas de chile manzano sobre el CM-334 es una opción viable de producción para producción de chile manzano en suelos infestados con este patógeno.

La sintomatología de las plantas infestadas inició con pérdida de turgencia en las hojas, seguida por lesiones color marrón en hojas, cuello del tallo y oscurecimiento del sistema radical, síntomas típicos de la marchitez del chile ocasionada por *P. capsici*, que concuerdan con los reportados por Babadoost et al. (2015); Callaghan et al. (2016) y Moreira-Morrillo et al. (2022) para el género *Capsicum*. La severidad de los síntomas en las plantas afectadas fue en aumento hasta provocar marchitez total de la parte aérea y necrosis del sistema radical, lo cual se consideró como 100 % de daño. La muerte de plantas ocurrió en promedio a los 14 días después de iniciada la marchitez foliar, lo que concuerda con resultados de Barchenger et al. (2018) en plantas adultas de *Capsicum*.

El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) corroboró que todos los tratamientos con plantas injertadas sobre el CM-334 no presentaron la enfermedad durante su desarrollo. Mediante la comparación múltiple de medias

LSD de Fisher (Figura 4), se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos con aplicaciones de auxinas y *T. harzianum* (Figura 4). Por ejemplo, las plantas de 'Dali' con 1200 ppm de AIB aplicado cada 15 días presentaron la mayor severidad de la enfermedad, en contraste con las aplicaciones de *T. harzianum* que no mostraron diferencias significativas en el ABCPE respecto a los tratamientos con plantas injertadas sobre el CM-334, a pesar de que la incidencia de la enfermedad fue del 50 %.

Al respecto, Gallegos-Morales et al. (2022) observaron que con el uso de *T. harzianum* el rendimiento de chile serrano var. Tampiqueño se incrementó en 30 % y la incidencia de *P. capsici* disminuyó en 71 %. En plantas de jitomate previamente tratadas con *T. harzianum* Romero-Arenas et al. (2017) encontraron una incidencia de la enfermedad de 60 a 70 % al inocular *P. capsici* a plantas de jitomate previamente tratadas con *T. harzianum*, lo que se atribuyó a la relación antagónica entre los microorganismos involucrados. Por su parte, Ita et al. (2021) señalaron que *T. harzianum* tiene mayor velocidad de crecimiento que *P. capsici*, por lo que se inhibe el desarrollo del oomiceto, de modo que *T. harzianum* se puede considerar como agente de biocontrol (Mousumi et al., 2018). La Spada et al. (2020) también afirmaron que *Trichoderma* puede inducir respuestas de defensa cuando los fitopatógenos penetran las raíces, mediante aumento de la actividad de las enzimas peroxidasa y quitinasa, así como por la deposición de calosa en sus paredes celulares.

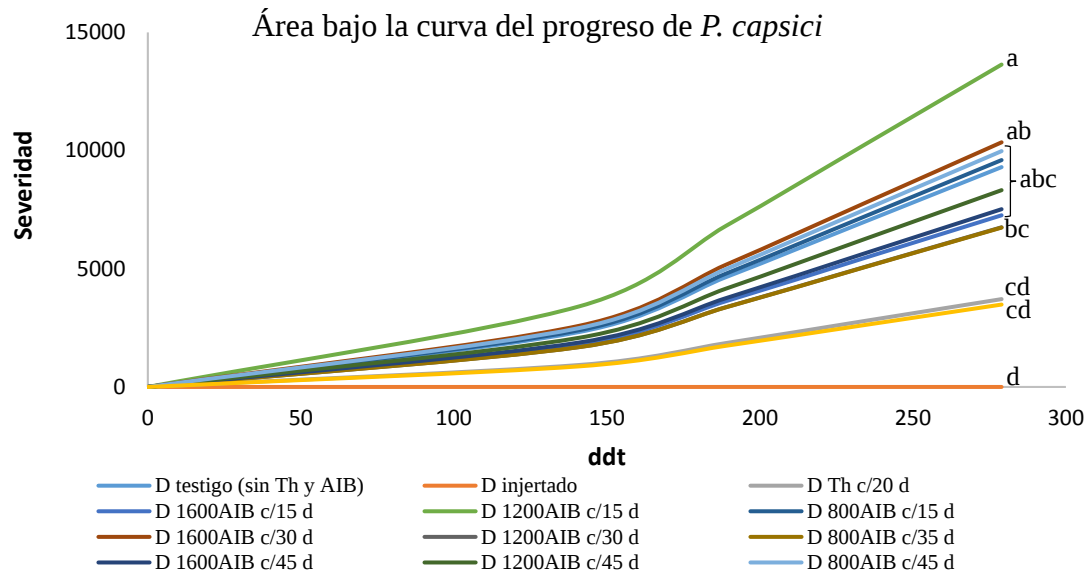


Figura 4. Área bajo la curva del progreso como medida de la severidad de la infección por *P. capsici* en plantas de chile manzano cultivadas en Chapingo, México, de 2020 a 2021. ddt: días después del trasplante. D: 'Dali' sin injertar, d: días (frecuencia de aplicación). ²Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (LSD, $P \leq 0.05$).

3.3.2.3 Caracterización morfológica de *P. capsici* aislado de tejido vegetal

El aislado de plantas con síntomas de *P. capsici* presentó crecimiento micelial cenocítico blanco algodonoso con esporangios con largo de 24.01 a 44.45 μm y ancho de 17.4 a 35.17 μm , y ancho de bipapilas de 3.3 a 6.8 μm (Figura 5). Las características morfológicas observadas son típicas de *P. capsici* y concordaron con las descritas por Callaghan et al. (2016) y Moreira-Morillo et al. (2022) para *Capsicum annuum*, por lo que se confirmó la presencia de este oomiceto en las plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens*) cultivadas en suelo infestado de manera por *P. capsici*.

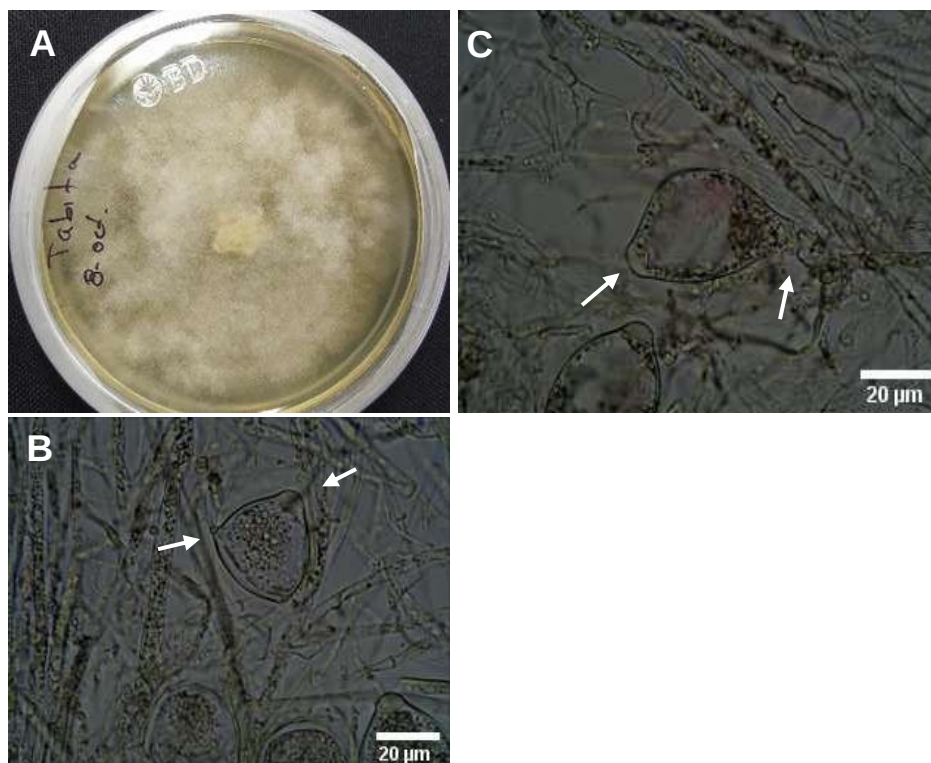


Figura 5. Caracterización morfológica de *Phytophthora capsici* en plantas enfermas. A) Colonias de crecimiento algodonoso, B y C) Esporangios bipapilados de *P. capsici* en chile manzano.

3.3.2.4 Rendimiento

Los componentes directos del rendimiento de fruto en chile manzano son el número de frutos y su tamaño en peso. Sin embargo, Pérez-Grajales et al. (2009) mostraron que existe una correlación negativa entre estas dos variables. En el presente estudio, los tratamientos con mayor número de frutos fueron 'Dali' sin injertar con aplicaciones de 800 ppm de AIB cada 15 días y 'Dali' injertado con aplicaciones de auxinas combinado con *T. harzianum*, con promedios de 86 y 88 frutos por planta (Cuadro 3). En contraste, el tratamiento testigo, 'Dali' sin injertar, sin aplicaciones de auxinas y sin *Trichoderma*, tuvo el menor número de frutos con 70, pero no fue el más bajo en esta variable porque hubo otros tratamientos con aplicaciones de auxinas pero que dieron los menores valores, como 'Dali' a 1200 ppm y 'Dali' sin injertar a 800 ppm cada 45 días, ambas con 66 frutos (Cuadro 3).

Es decir, en este estudio no se observó una asociación clara entre el número de frutos y las aplicaciones de auxinas y de *T. harzianum*. Es decir, no se logró obtener mayor número de frutos por efecto de estos tratamientos.

En cambio, en el peso de fruto por planta extrapolado a rendimiento por hectárea, se detectaron dos tratamientos con el mayor rendimiento de fruto: 'Dali' injertado con aplicaciones de *T. harzianum* cada 20 días y 'Dali' sin injertar a 800 ppm de AIB cada 30 días, ambos con 47.54 t ha⁻¹; seguido de 'Dali' sin injertar con aplicaciones de auxinas a 1600 ppm cada 15 días y de 'Dali' injertado sobre CM-334 con aplicaciones de *T. harzianum* y auxinas a 1200 ppm cada 20 días, con rendimientos de 47.35 y 46.91 t ha⁻¹, respectivamente. Los testigos sin aplicación de auxinas ni *T. harzianum*, que fueron 'Dali' no injertado e injertado, presentaron los rendimientos más bajos con 41.64 y 41.55 t ha⁻¹, respectivamente. Estos resultados son similares a los tratamientos con aplicaciones de auxinas cada 45 días, lo que indica que estas aplicaciones exógenas dirigidas a la raíz cada 45 días no tiene efectos sobre el peso de fruto, pero sí lo tuvieron las aplicaciones más frecuentes, cada 15 y 30 días (Cuadro 3).

El incremento del rendimiento de fruto con el uso de auxinas puede atribuirse a que estas hormonas vegetales regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, y de sus tejidos y órganos, mediante inducción de división, agrandamiento y diferenciación celular (Jordán & Casaretto, 2006). Al respecto, en pimiento Salas et al. (2009) lograron incrementos en el rendimiento de fruto con el uso de auxinas en el sistema de riego. En cambio, Pérez-Jiménez et al (2015) no encontraron diferencias significativas entre plantas de pimiento tratadas con aplicaciones de AIA vs. las del testigo sin aplicación. En relación al uso de *T. harzianum*, Bal & Altintas (2006) y Kumari et al. (2019) obtuvieron mayor número de frutos por planta en pimiento morrón, e incluso Khan et al. (2017) reportaron incrementos de hasta 300 %. Estos resultados positivos con el uso de *Trichoderma* se relacionan con la producción de fitohormonas inducidas por este ascomiceto, a que disminuyen el pH del suelo y a que promueven la disponibilidad de fosfatos

y otros minerales necesarios para el metabolismo de las plantas (Sharma & Gothwal, 2017).

Al comparar el efecto del portainjerto CM-334 en plantas de chile manzano, en 9 de las 12 comparaciones “t” de Student (Cuadro 3) se encontró una disminución significativa de tan solo 2 % en el rendimiento, y en ningún caso se presentó incidencia de *P. capsici*. En tanto que en las plantas no injertadas, 73 % de ellas murieron por enfermedad en el periodo de 100 a 290 días después del trasplante. Estos resultados nuevamente confirman que el injerto de chile manzano en CM-334 es una alternativa viable y sustentable para controlar *P. capsici* en este cultivo, porque ninguna de las plantas injertadas mostró síntomas de marchitez. Resultados parcialmente similares fueron los encontrados por García-Rodríguez et al. (2010) en chile Ancho ‘Rebelde’ cuyas plantas injertadas sobre el CM-334 no presentaron síntomas de infección por *P. capsici*, pero el vigor de las plantas y su rendimiento fue significativamente menor. Según Leal-Fernández et al. (2013) el portainjerto CM-334 disminuyó significativamente el rendimiento de pimiento dulce cv. Triple Star, lo cual pudo estar influenciado por factores como disminución en la absorción de nutrientes, del sistema radical, o por una mayor producción de hormonas endógenas. En el presente estudio, las plantas injertadas, iniciaron la producción de frutos comerciales tres semanas después de que lo hicieran los híbridos sin injertar, sin embargo, pero retraso se vio compensado porque ninguna planta fue afectada por *P. capsici*.

También Pintado-López et al. (2017) reportaron que el cv. Camino Real® de Harris Moran es altamente susceptible a *P. capsici* pero que injertado en CM-334, es capaz de producir frutos perder su rendimiento. Pérez Grajales et al. (2021) concluyeron que el injertado no tuvo efectos significativos en el rendimiento de fruto entre tres híbridos de chile manzano (‘Maruca’, ‘Jhos’ y ‘Dali’) al ser combinados con el portainjerto CM-334 y crecidos en condiciones de invernadero-hidroponía.

En esta tesis se encontró que la aplicación *T. harzianum* cada 20 días combinada con auxinas a 1200 ppm incrementó significativamente en 8 % el rendimiento de

plantas injertadas con relación a las no injertadas (Cuadro 3). Por tanto, estos resultados sugieren que el uso de plantas injertadas de chile manzano en CM-334 es una alternativa viable en el manejo comercial del cultivo ya que se puede producir sin daño por *P. capsici* y a la vez obtener un buen rendimiento de fruto ayudado con aplicaciones de *T. harzianum* combinado y auxinas.

Cuadro 3. Medias de número de frutos por planta, peso de frutos por planta y rendimiento por hectárea de fruto de chile manzano de plantas injertadas sobre CM-334 vs. no injertadas, con y sin aplicación de AIB y *T. harzianum*.

Tratamientos	Frutos totales por planta	Peso total de frutos por planta (kg)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
D testigo sin Th y AIB	69.66 h ^z *	6.00 jk ^{ns}	41.64 jk ^{ns}
D ⁱ testigo sin Th y AIB	74.66 g	5.99 jk	41.55 jk
D Th+AIB 1200 ppm cada 20 días	66.66 ij*	6.32 efg*	43.88 efg*
D ⁱ Th+AIB 1200 ppm cada 20 días	87.66 a	6.85 abc	46.91 abc
D Th 1200 ppm cada 20 días	69.66 h*	6.19 ef*	42.98 g*
D ⁱ Th 1200 ppm cada 20 días	77.66 e	6.85 a	47.54 a
D AIB 1600 ppm cada 15 días	83.33 bc*	6.82 ab*	47.35 ab*
D ⁱ AIB 1600 ppm cada 15 días	70.33 h	6.66 c	46.20 c
D AIB 1200 ppm cada 15 días	76.66 ef *	6.69 bc ^{ns}	46.43 bc*
D ⁱ AIB 1200 ppm cada 15 días	74.66 g	6.46 de	44.81 de
D AIB 800 ppm cada 15 días	86.00 a*	6.49 d*	45.02 d*
D ⁱ AIB 800 ppm cada 15 días	81.66 cd	6.40 def	44.39 def
D AIB 1600 ppm cada 30 días	80.33 d*	6.29 fgh*	43.68 fgh*
D ⁱ AIB 1600 ppm cada 30 días	74.33 g	6.17 hi	42.82 hi
D AIB 1200 ppm cada 30 días	67.66 i*	6.49 d*	45.02 d*
D ⁱ AIB 1200 ppm cada 30 días	74.66 g	6.32 efg	43.86 efg
D AIB 800 ppm cada 30 días	67.66 i*	6.85 a*	47.54 a*
D ⁱ AIB 800 ppm cada 30 días	83.66 b	6.67 c	46.29 c
D AIB 1600 ppm cada 45 días	74.66 g ^{ns}	6.09 ij*	42.26 ij*
D ⁱ AIB 1600 ppm cada 45 días	73.66 g	5.91 kl	41.04 kl
D AIB 1200 ppm cada 45 días	75.33 fg*	5.97 jkl*	41.43 jkl*
D ⁱ AIB 1200 ppm cada 45 días	65.66j	5.82 l	40.41 l
D AIB 800 ppm cada 45 días	65.66 j *	6.19 ghi*	41.70 jk*
D ⁱ AIB 800 ppm cada 45 días	67.66 i	5.8 kl	40.81 kl
Coeficiente de variación	2.80	3.74	3.74

D: 'Dali' sin injertar, Di: 'Dali' injertado sobre el portainjerto CM-334, Th: *T. harzianum*, AIB: Ácido 4-indol-3 butírico, ^zLetras iguales indican que no existe diferencias significativas (Tukey, 0.05), *Significativo y No significativo (ns) de acuerdo con la prueba de "t" (P≤0.05).

3.3.2.5 Tamaño radical de plantas injertadas y no injertadas con aplicaciones de auxinas y *T. harzianum*

Las aplicaciones de auxinas y *T. harzianum* en plantas de 'Dali' injertadas y no injertadas, incrementaron su longitud, volumen, peso fresco y peso seco de raíz (Cuadro 4). El mayor tamaño radical se presentó en raíces de plantas no injertadas con aplicaciones de *T. harzianum* solo o combinado con AIB a 1200 ppm cada 20 días, con longitud de 47.37 cm, volumen de 1367 mL, peso fresco de 1604 g y peso seco de 593.3 g. Este tratamiento también alcanzó los más altos rendimientos de fruto con 47.54 t ha⁻¹. En contraste, el menor tamaño radical ocurrió en plantas injertadas sin aplicaciones de auxinas ni *T. harzianum*, con valores de 37 cm, 283 mL, 363 g y 112 g, respectivamente, con un rendimiento de fruto de 41.55 t ha⁻¹.

Estos resultados demuestran la efectividad de las aplicaciones de auxinas y de *T. harzianum* en plantas injertadas de chile manzano al incrementarles el tamaño radical del portainjerto CM-334 que se reflejó en mayor rendimiento de fruto. El tratamiento 'Dali' injertado con aplicaciones de AIB a 1200 ppm combinado con aplicaciones de *T. harzianum* cada 20 días tuvo 46.91 t ha⁻¹, que representa un incremento de 11 % en relación con las plantas 'Dali' injertadas sin aplicaciones que rindieron 41.55 t ha⁻¹. También Gamboa-Angulo et al. (2020) lograron incrementos de tamaño de raíz en plantas de chile xcat'ik (*C. annuum*) tratadas con *T. harzianum*, aunque no encontraron diferencias significativas en número de frutos y rendimiento. Larios et al. (2019) reportaron ganancias de 41.57 y 55 % en longitud y volumen de raíz, respectivamente, en chile habanero tratado con *Trichoderma* spp. Estos incrementos debidos al efecto de *Trichoderma* se atribuyen a que producen auxinas capaces de estimular el crecimiento de la planta, en particular en el crecimiento del sistema radical (Contreras-Cornejo et al., 2009). De acuerdo con Tucci et al. (2011), *Trichoderma* spp. es también capaz de solubilizar fosfatos, micronutrientes y cationes minerales útiles para el metabolismo de las plantas.

En la comparación de plantas injertadas vs. no injertadas (Cuadro 4), se encontró que en 50 % de las seis comparaciones (tratamientos), las plantas no injertadas tuvieron 32 % de mayor longitud que las injertadas. Pero en todas las comparaciones, las raíces de las plantas no injertadas tuvieron 50 % de más volumen y 76 % de más peso fresco y de peso seco. Estos datos concuerdan con los obtenidos en el primer experimento de este estudio hecho con tres híbridos ('Maruca', 'Jhos' y 'Dali') injertados en el CM-334 (Cuadro 2).

Las plantas con el tratamiento de auxinas a 1200 ppm combinado con *T. harzianum* (0.18 g por planta) cada 20 días presentaron 60 % de mayor volumen de raíz y 56 % de mayor peso fresco respecto a las plantas testigo. Al respecto, López-Elías *et al.* (2005) mencionan que con aplicaciones de AIB en pimiento se incrementó 42 % el volumen de raíz, 35 % de peso fresco y 4 % en peso seco y Larios *et al.* (2019) indican que el uso de *Trichoderma* spp. en chile habanero aumentó 42 % la longitud de raíz y 55 % su volumen. Esto indica la conveniencia de hacer aplicaciones de auxinas y *T. harzianum* cuando se lleva a cabo el injerto de chile manzano en el portainjerto CM-334, para así alcanzar mayor tamaño radical, y con esto lograr un mayor abasto de agua y nutrimentos, ya que a su vez se reflejan en mayor rendimiento de fruto (Cuadro 4). En adición, con el uso del portainjerto se garantiza la resistencia a *P. capsici*. Es decir, que el injertar híbridos de chile manzano en el CM-334 es una alternativa viable y sustentable en la producción comercial porque garantiza la resistencia del chile manzano a *P. capsici* y se logra un mayor tamaño radical si el injerto se complementa con aplicaciones adecuadas de auxinas y *T. harzianum* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tamaño de raíces de plantas de chile manzano no injertadas e injertadas sobre el CM-334, con y sin aplicación de AIB y *T. harzianum*.

Tratamientos	Longitud (cm)	Volumen (mL)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
D testigo sin Th y AIB	53.00 ab*	933.33 bc*	1104.0 bcdef*	550.00 ab*
D ⁱ testigo sin Th y AIB	37.33 abc	283.33 i	363.0 j	112.00 d
D Th+AIB 1200 ppm cada 20 días	47.33 abc ^{ns}	1366.67 a*	1604.0 a*	593.00 a*
D ⁱ Th+AIB 1200 ppm cada 20 días	36.00 abc	708.33 cdef	812.0 defgh	154.67 cd
D Th 1200 ppm cada 20 días	54.67 a*	1266.67 a*	1420.3 ab*	587.33 a*
D ⁱ Th 1200 ppm cada 20 días	37.00 abc	666.67 ef	773.3 efghi	94.67 d
D ⁱ AIB 1600 ppm cada 15 días	34.00 bc	283.33 i	349.3 i	116.67 d
D ⁱ AIB 1200 ppm cada 15 días	37.00 abc	683.33 def	869.7 cdefg	180.33 cd
D ⁱ AIB 800 ppm cada 15 días	46.33 abc	625.00 fg	734.3 fghij	118.00 d
D ⁱ AIB 1600 ppm cada 30 días	31.667 c	383.33ghi	448.3 hij	105.33 d
D ⁱ AIB 1200 ppm cada 30 días	36.00 abc	750.00 bcdef	867.7 cdefg	164.33 cd
D AIB 800 ppm cada 30 días	48.00 abc*	966.67 b*	1239.0 abc*	401.67 ab*
D ⁱ AIB 800 ppm cada 30 días	32.667 c	333.33 hi	411.0 ij	97.67 d
D AIB 1600 ppm cada 45 días	36.33 abc ^{ns}	875.00 bcde*	1174.7 bcd*	443.33 ab*
D ⁱ AIB 1600 ppm cada 45 días	36.67 abc	550.00 fgh	662.0 ghij	112.33 d
D AIB 1200 ppm cada 45 días	44.00 abc ^{ns}	925.00 bcd*	1130.0 bcde*	346.67 bc*
D ⁱ AIB 1200 ppm cada 45 días	39.00 abc	616.67 fg	587.0 ghij	103.00 d
D ⁱ AIB 800 ppm cada 45 días	35.00 bc	400.00 ghi	510.7 ghij	128.00 d
Coeficiente de variación	15.52	11.42	15.33	28.35

D: 'Dali' sin injertar, Dⁱ: 'Dali' injertado sobre el portainjerto CM-334, Th: *T. harzianum*, AIB: Ácido 4-indol-3 butírico, ²Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas (Tukey, 0.05), *Significativo y ns: No significativo de acuerdo con la prueba de "t" de Student (P≤0.05).

3.4 CONCLUSIONES

La raíz de los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' de chile manzano injertados sobre el portainjerto CM-334 presentaron 50, 53 y 75 % menos de volumen radical, peso fresco y peso seco, respectivamente, que los híbridos no injertados.

Las plantas no injertadas presentaron 70 % de incidencia de *P. capsici* cuando se cultivaron en condiciones de suelo infestado, mientras que las injertadas en el portainjerto CM-334 no presentaron incidencia del patógeno. De manera que el injerto de híbridos de chile manzano (*C. pubescens*) en el CM-334 (*C. annuum*), es alternativa viable y sustentable para los productores de este tipo de chile, ya que la mayoría de ellos cultivan en suelos infestados por *P. capsici*.

El rendimiento de fruto de 'Dali' de chile manzano disminuyó en apenas 2 % cuando sus plantas se injertaron en el CM-334, pero rindieron 8 % más cuando se aplicó *T. harzianum* solo o combinado con auxinas a 1200 ppm cada 20 días.

Las plantas injertadas de 'Dali' en el CM-334 presentaron raíces 32 % menos largas, 50 % menos de volumen y peso fresco y 76 % de menos peso seco, respecto a las plantas no injertadas. Mientras que con aplicaciones de *T. harzianum* (0.18 g por planta) combinado con AIB (1200 ppm) cada 20 días las plantas presentaron 60 % de mayor volumen de raíz y 56 % de más peso fresco respecto a las plantas testigo.

3.5 LITERATURA CITADA

Aristizábal, C. N. & Torres, G. C. (2015). Morphological and molecular characterization of *Phytophthora* in pepper (*Capsicum frutescens* var. Tabasco), Valle del Cauca. *Revista de Ciencias*, 19, 71-89.

Babadoost, M., Pavon, C., Islam, S. Z. & Tian, D. (2015). Phytophthora blight (*Phytophthora capsici*) of pepper and its management. *Acta Horticulturae*, 1105, 61-66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1105.9>

Bal, U. & Altintas, S. (2006). Application of the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (TrichoFlow WP™) to root zone increases yield of bell peppers grown in soil. *Biological Agriculture and Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 24, 149-16. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2006.9755016>

Barchenger, D. W., Lamour, K. H. & Bosland, W. P. (2018). Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>

Callaghan, S. E., Williams, A. P., Burgess, T., White, D., Keovorlaja, T., Phitsanoukane, P., Phantavong, S., Vilavong, S., Ireland, K. B., Duckitt, G. S. & Burgess, L. W. (2016). First report of *Phytophthora capsici* in the Lao PDR. *Australasian Plant Pathology Society*, 11, 22. <https://doi.org/10.1007/s13314-016-0210-9>

Castro-Rocha, A., Shrestha, S., Lyon, B., Grimaldo-Pantoja, G. L., Flores-Marges, J. P., Valero-Galvan, J., Aguirre-Ramírez, M., Osuna-Ávila, P., Gómez-Dorantes, N., Ávila-Quezada, G., Luna-Ruiz, J. J., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S. P. & Lamour, K. (2016). An initial assessment of genetic diversity for *Phytophthora capsici* in Northern and Central Mexico. *Mycological Progress*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>

- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortes-Penagos, C. & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 149, 1579-1592. www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.108.130369
- Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Leyva-Mir, S. G., Ayvar-Serna, S., Michel-Aceves, A. C. & Alvarado-Gómez, O. G. (2015). Morphological and molecular identification of *Phytophthora capsici* L. in pipiana pumpkin and its greenhouse management. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21, 157-168. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.02.007>
- Espinosa-Torres, L. E. & Villa-Galindo, A. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Revista Extensión Campo*, 7, 8-12.
- Flores, F. B., Sánchez-Bel, P., Estañ, M. T., Martínez-Rodríguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, F. J., García-Abellán, J. O., Egea, I. M., Fernández-García, N., Romojaro, F. & Bolarín, C. M. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125, 211-217. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026>
- Gallegos-Morales, G., Espinoza-Ahumada, C. A., Figueroa-Reyes, J., Méndez-Aguilar, R., Rodríguez-Guerra, R., Salas-Gómez, A. L. & Peña-Ramos, F. M. (2022). Compatibilidad de especies de *Trichoderma* en la producción y biocontrol de marchitez del chile. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9, 1-7. <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3066>
- Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M. & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xca'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra latinoamericana*, 38, 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- García-Rodríguez, M. R., Chiquito-Almanza, E., Loeza-Lara, P. D., Godoy-Hernández, H., Villordo-Pineda, E., Pons-Hernández, J. L., González-Chavira, M. M. & Anaya-López, J. L. (2010). Producción de chile ancho injertado sobre Criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*, 44, 701-709.
- Glosier, B. R., Ogundiwin, E. A., Sidhu, G. S., Sischo, D. R. & Prince, J. P. (2008). A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 162, 23-30. doi: 10.1007/s10681-007-9532-1
- Ita, V. M. A., Fátima, H. J., Lezama, P. C., Simón, B. A., Cortés, L. G. & Romero-Arenas, O. (2021). Bio-controller effect of four native strains of *Trichoderma* spp., on *Phytophthora capsici* in manzano chili (*Capsicum pubescens*) in Puebla-Mexico. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15, 998-1005. <https://doi.org/10.22207/jpam.15.2.58>
- Jang, Y., Yang, E., Cho, M., Um, Y., Ko, K. & Chum, C. (2012). Effect of graftin on growth and incidence of *Phytophthora blight* and bacterial wilt of pepper

(*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 53, 9-19. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0074-7>

Jiménez-Camargo, A., Valadez-Moctezuma, E. & Lozoya-Saldaña, H. (2018). Antagonismo de *penicillium* sp. contra *Phytophthora capsici* (Leonian). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41, 137-148. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.137-148>

Jordán, M. & Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. *Fisiología vegetal* (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile Pp:15:1-28.

Khan, M.Y., Haque, M. M., Molla, A. H., Rahman, M. M. & Alam, M. Z. (2017). Antioxidant compounds and minerals in tomatoes by *Trichoderma*-enriched biofertilizer and their relationship with the soil environments. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 691-703. [https://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61350-3](https://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61350-3)

King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X. & Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*, 127, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.001>

Kumari, S., Bharat, N. K. & Chauhan, D. S. (2019). Efficacy of PGPR and *Trichoderma* on growth and yield parameters of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Development Sciences*, 11, 493-499.

Lamour, K. H., Stam, R., Jupe, J. & Huitema, E. (2012). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13, 329-337. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00754.x>

Larios, L. E. J., Valdovinos, N. J. J. W., Chan, C.W., García, L. F. A., Manzo, S. G. & Buenrostro, N. M. T. (2019). Biocontrol de Damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de *Capsicum chinense* (Jacq) con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 471-483. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.332>

La Spada, F., Stracquadanio, C., Riolo, M., Pane, A. & Cacciola, S. O. (2020). *Trichoderma* counteracts the challenge of *Phytophthora nicotianae* infections on tomato by modulating plant defense mechanisms and the expression of crinkler, necrosis-inducing *Phytophthora* Protein 1, and cellulose-binding elicitor lectin pathogenic effectors. *Frontiers in Plant Science*, 11 (583539), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.583539>

Leal-Fernández, C., Godoy-Hernández, H., Núñez-Colín, C. A., Anaya-López, J. L., Villalobos-Reyes, S. & Castellanos, J. Z. (2013). Morphological response and fruit yield of Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted onto different commercial rootstocks. *Biological Agriculture and Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 29, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2012.746063>

Leonian, L. H. (1922). Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici*. *Phytopathology*, 12, 401-408.

- López-Elías, J., Salas, M. C. & Urrestarazu, M. (2005) Application of indole-3-butyric acid by fertigation on pepper plants in soilless culture grown in a greenhouse. *Acta Horticulturae*, 697, 475-479.
- Majid, M. U., Awan, M. F., Fatima, K., Tahir, M. S., Ali, Q., Rashid, B., Rao, A. Q., Nasir, I. A. & Husnain, T. (2017). Genetic resources of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) against *Phytophthora capsici* and their induction through various biotic and abiotic factors. *Cytology and Genetics*, 51, 296-304. <https://doi.org/10.3103/S009545271704003X>
- Mallard, S., Cantet, M., Massire, A., Bachellez, A., Ewert, S. & Lefebvre, V. (2013). A key QTL cluster is conserved among accessions and exhibits broad-spectrum resistance to *Phytophthora capsici*: a valuable locus for pepper breeding. *Molecular Breeding*, 32, 349-364. doi: 10.1007/s11032-013-9875-3
- Martin, F. N., Abad, Z. G., Balci, Y. & Ivors, K. (2012). Identification and detection of *Phytophthora*: reviewing our progress, identifying our needs. *Plant Disease*, 96, 1080-1103. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-12-11-1036-fe>
- Moreira-Morrillo, A. A., Monteros-Altamirano, A., Reis, A. & Garcés-Fiallos, F. R. (2022). *Phytophthora capsici* on *Capsicum* Plants: A Destructive pathogen in chili and pepper Crops. *Capsicum - New Perspectives*, 1-16 pp. Doi.10.5772/intechopen.104726.
- Mousumi, D. M., Haridas, M. & Sabu, A. (2018). Biological control of black pepper and ginger pathogens, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici*, using *Trichoderma* spp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.021>
- Naegele, R. P. & Hausbeck, M. K. (2020). *Phytophthora* root rot resistance and its correlation with fruit rot resistance in *Capsicum annuum*. *HortScience*, 55, 1931-1937. <https://doi.org/10.21273/hortsci15362-20>
- Ortíz, E. & Camargo, L. (2005). Doenças da Nogueira Pecan. En Kimati, H., Amorin, L., Bergamin, A., Camargo, L. & Rezende, J. Manual de Fitopatologia, pp 530-535. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda.
- Pérez, G. M. & Castro, R. B. (2008). El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 128 p.
- Pérez-Grajales, M., González-Hernández, V. A., Peña-Lomelí, A. & Sahagún-Castellanos, J. (2009). Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15, 103-109.
- Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117, 332-346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>
- Pérez-Jiménez, M., Pazos-Navarro, M., López-Marín, J., Gálvez, A., Varó, P. & Amor, F. M. (2015). Foliar application of plant growth regulators changes the

- nutrient composition of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 194, 188-193. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.002>
- Pintado-López, L. M., Guzmán-Plazola, A. R., Ayala-Escobar, V. & Aguilar-Rincón, H. V. (2017). Grafting on CM-334 controls serrano chili wilting caused by *Phytophthora capsici* and changes phenology but does not affect fruit yield. *Journal of Phytopathology*, 165, 494-499. <https://doi.org/10.1111/jph.12585>
- Romero-Arenas, O., Rivera, A., Amaro, J. L., Damián, M. A., Valencia de Ita, M. A. & Huerta, M. (2017). Biopreparados de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Phytophthora capsici* en el cultivo de tomate de Puebla, México. *Información Técnica Económica Agraria*, 113, 313-324. <http://doi.org/10.12706/itea.2017.019>
- Salas, M. C., Fernández, M. M. & Urrestarazu, M. (2009). Sweet pepper yield and fruit quality affected by different auxin application methods. *Acta Horticulturae*, 807, 401-406.
- Shaner, G. & Finney, R. E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67, 1051-1056. <https://doi.org/10.1094/phyto-67-1051>
- Sharma, P. K. & Gothalwal, R. (2017). *Trichoderma*: A potent fungus as biological control agent. Pp:113-125. In: Singh J., Seneviratne G. (eds) agro-environmental sustainability. Springer, Cham. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2_6
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2021). Anuario Estadístico en la Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Silva-Rojas, H. V., Fernández-Pavía, S. P., Góngora-Canul, C., Macías-López, B. C. & Ávila-Quezada, G. D. (2009). Distribución espacio temporal de la marchitez del chile (*Capsicum annuum* L.) en Chihuahua e identificación del agente causal *Phytophthora capsici* Leo. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27, 134-147. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61212195006>
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. (1995). Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York.
- Soto-Plancarte, A., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, Y. L., Pedraza-Santos, M. E., López-Pérez, L., Díaz-Celaya, M. & Fernández-Pavía, S. P. (2017). Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* spp. enfoque aplicado a la investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1867-1880. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.708>
- Sy, O., Steiner, R. & Bosland, P. W. (2008). Recombinant inbred line differential identifies race-specific resistance to *Phytophthora* root rot in *Capsicum annuum*. *Phytopathology*, 98, 867-870. <https://doi.org/10.1094/phyto-98-8-0867>
- Tucci, M., Ruocco, M., Masi, L., Palma, M. & Lorito, M. (2011). The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology*, 12, 341-354. <https://dx.doi.org/10.1111/j.13643703.2010.00674.x>

Zhao, X., Ghuo, Y., Huber, D. J. & Lee, J. (2011). Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-ethylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Scientia Horticulturae*, 130, 581-587. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.010>

CAPITULO IV. CALIDAD MORFOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE FRUTO DE CHILE MANZANO INJERTADO EN CM-334 CRECIDO EN SUELO INFESTADO CON *Phytophthora capsici* Y TRATADO CON AUXINAS

RESUMEN

La calidad de fruto de chile manzano es severamente afectada por *Phytophthora capsici* y ocasiona pérdidas hasta del 100 %. Una alternativa de producción en suelos infestados con este oomiceto es el uso del portainjerto CM-334 resistente universal a *P. capsici*. El objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del portainjerto en combinación con auxinas sobre variables de calidad de fruto de 'Dali' de chile manzano. La hipótesis fue que el portainjerto de *C. annuum* no disminuye la calidad de fruto del injerto de *C. pubescens*. Las variables morfológicas fueron: volumen de fruto, grosor de pericarpio, número de lóculos, número de semillas y peso de semillas; las físicas: firmeza y color y; las químicas: acidez titulable, vitamina C, carotenoides y contenido de capsaicinoides. El experimento fue establecido en un diseño completamente al azar con tres repeticiones y la evaluación se realizó en la cuarta cosecha de frutos, de un total de siete. El análisis de varianza y comparación de medias de Tukey con $P \leq 0.05$ fue acorde a un diseño factorial incompleto $2 \times 4 \times 4$. La calidad morfológica y fisicoquímica de fruto no disminuyó por efecto del portainjerto CM-334, por el contrario, en algunos casos se incrementó (grosor de pericarpio, firmeza y contenido de capsaicinoides). El uso de auxinas (AIB) en plantas injertadas incrementó el contenido de capsaicinoides con 800 ppm cada 30 días y en plantas no injertadas incrementó volumen de fruto con 1200 ppm cada 45 días y capsaicinoides con 1600 ppm. Por lo tanto, el uso de plantas injertadas del híbrido 'Dali' de chile manzano es alternativa viable y sustentable para producir frutos de calidad en condiciones de cultivo de suelos infestados con *P. capsici*, incluso sin aplicar auxinas (AIB).

Palabras clave: *Capsicum annuum*, *Capsicum pubescens*, Ácido 4-indol-3 butírico (AIB), injerto, portainjerto.

CHAPTER IV. MORPHOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF THE FRUIT OF THE MANZANO PEPPER GRAFTED ONTO CM-334 GROWN IN SOIL INFESTED *Phytophthora capsici* AND TREATED WITH AUXINS

ABSTRACT

The quality of the manzano pepper fruit is severely affected by *Phytophthora capsici* and causes losses of up to 100 %. An alternative for its production in soils infested with this Oomycete is the use of the rootstock CM-334 universally resistant to *P. capsici*. The objective of this study was to evaluate the impact of the rootstock in combination with auxins on fruit quality variables of the manzano pepper 'Dali'. The hypothesis was that the *C. annuum* rootstock does not diminish the fruit quality of the *C. pubescens* graft. The morphological variables were: volume, pericarp thickness, number of locules, number of seeds and seed weight; the physical ones were: firmness and color; and the chemical variables were: titratable acidity, vitamin C, carotenoids and capsaicinoid content. The experiment was established in a completely randomized design with three repetitions and the evaluation was carried out on the fourth fruit harvest, out of seven total harvests. Tukey's analysis of variance and comparison of means with $P \leq 0.05$ was consistent with a 2x4x4 incomplete factorial design. The morphological and physicochemical quality of the fruit did not decrease due to the effect of the CM-334 rootstock, on the contrary, in some cases it increased (pericarp thickness, firmness and capsaicinoid content). The use of auxins (AIB) in grafted plants increased the capsaicinoids content with 800 ppm every 30 days and in non-grafted plants it increased fruit volume with 1200 ppm every 45 days and capsaicinoids with 1600 ppm. Therefore, the use of grafted plants of the manzano pepper hybrid 'Dali' is a viable and sustainable alternative to produce quality fruits in growing conditions of soils infested with *P. capsici*, even without applying auxins (AIB).

Index words: *Capsicum annuum*, *Capsicum pubescens*, 4-indole-3 butyric acid (AIB), graft, rootstock.

Thesis of PhD of Sciences in Horticultural, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Tabita Queren Pérez Reyes.
Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

4.1 INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) es originario de las partes altas de Perú y Bolivia. Fue introducido a México a principios del siglo XX donde se cultiva en altitudes de 1700 a 2500 m (Pérez & Castro, 2008). La mayor producción se encuentra en los estados de Michoacán, Puebla, Estado de México, Veracruz y en menor escala en Chiapas y Oaxaca (Espinosa-Torres & Villa-Galindo, 2008). La calidad del fruto de chile manzano se ha visto afectada por la marchitez del chile, causada por el oomiceto *Phytophthora capsici* que provoca pérdidas hasta de 100 % (Barchenger et al., 2018). Para el control de este patógeno se recurre a fungicidas sintéticos que resultan poco efectivos y altamente nocivos para la salud y el ambiente (Majid et al., 2016). Una alternativa viable y sustentable es el empleo del portainjerto Criollo de Morelos 334 (CM-334), reconocido como resistente universal a *P. capsici* (Castro-Rocha et al., 2016). Pero según Greathouse et al. (2021), las características de calidad y composición nutrimental del fruto pueden modificarse de manera positiva o negativa como consecuencia del injerto. En pimiento, Penella et al. (2017) afirmaron que el injerto en pimiento mejora las características agronómicas, la resistencia al estrés biótico, el rendimiento y la calidad del fruto. Otros autores difieren en el impacto del injerto; por ejemplo, Kumar et al. (2017) y Ropokis et al. (2019) consideran que los portainjertos alteran la arquitectura radical lo que reduce el transporte de agua y nutrientes. No obstante, la aplicación exógena de auxinas puede promover y acelerar la formación de raíces adventicias en plantas injertadas (Báez-Pérez et al., 2015).

En chile manzano, Pérez-Grajales et al. (2021) comprobaron la compatibilidad de híbridos como injertos en el portainjerto CM-334 en condiciones de hidroponía. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del portainjerto CM-334 (*C. annuum* L) y la aplicación de auxinas sobre variables morfológicas y fisicoquímicas de calidad de fruto de 'Dali' de chile manzano (*C. pubescens* R y P) crecido en suelo infestado por el oomiceto *P. capsici*. La hipótesis fue que el portainjerto CM-334 no disminuye la calidad de fruto en plantas injertadas.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Sitio experimental

La investigación se desarrolló en el invernadero de chile manzano ubicado en el lote P-2 del campo experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, en las coordenadas 19° 29' 22.2" LN y 98° 52' 24.7" LO, a una altitud de 2250 m. Los niveles promedio de temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa y CO₂ del invernadero fueron 18.7 °C, 68.9 %, 525 $\mu\text{moles de fotones m}^2 \text{ s}^{-1}$ y 80 %, respectivamente.

4.2.2 Material vegetal

Para obtener las plantas injertadas, se empleó como injerto al híbrido 'Dali' de chile manzano generado en el programa de mejoramiento genético en la UACH, con registro SNICS 1299, y como portainjerto al chile Serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334) que es resistente a *P. capsici*.

El híbrido 'Dali' se sembró el 02 de agosto de 2020 en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con turba y vermiculita en una proporción 2:1. Diez días se sembró el portainjerto (CM-334), para hacer coincidir los diámetros de tallo (1.5 a 1.8 mm) del injerto con el portainjerto; la siembra de semilla se hizo en charolas de 60 cavidades rellenas con turba y vermiculita en una proporción 2:1.

4.2.3 Proceso de injertación

Una vez sincronizados los diámetros de tallo, a 1.5 cm arriba de los cotiledones y 70 días después de la siembra, se realizó la injertación del tipo empalme, de acuerdo con la metodología empleada por Pérez-Grajales et al. (2021).

4.2.4 Manejo de plantas en invernadero

Setenta días después de la injertación, tanto las plantas de 'Dali' injertadas sobre CM-334, como las plantas de 'Dali' sin injertar, fueron trasplantadas, en bolsas

de plástico de 50 x 50 cm (calibre 600) rellenas con suelo infestado, a una densidad de 0.694 plantas por m². El suelo se obtuvo del lote X4 del campo experimental Xaltepa de Fitotecnia de la UACh, que de manera natural contenía 15 esporangios de *P. capsici* por mL (alícuota) la cual fue determinada con la metodología de Aristizábal & Torres (2015). Las plantas injertadas y no injertadas se cultivaron de acuerdo con la propuesta de Pérez & Castro (2008) para cultivar chile manzano en invernadero provisto con fertirriego.

4.2.5 Diseño experimental y de tratamientos

El experimento se estableció conforme a un diseño experimental completamente al azar, con 20 tratamientos y tres repeticiones cada uno. Los 10 tratamientos aplicados a plantas injertadas y no injertadas, fueron: 1) 1600 ppm de AIB cada 15 días; 2) 1600 ppm de AIB cada 30 días; 3) 1600 ppm de AIB cada 45 días; 4) 1200 ppm de AIB cada 15 días; 5) 1200 ppm de AIB cada 30 días; 6) 1200 ppm de AIB cada 45 días; 7) 800 ppm de AIB cada 15 días; 8) 800 ppm de AIB cada 30 días; 9) 800 ppm de AIB cada 45 días; y 10) el testigo sin aplicaciones de auxinas. Todas las aplicaciones fueron dirigidas a la raíz e iniciaron tres meses después del trasplante y duraron cuatro meses.

4.2.6 Tamaño de muestra para medir variables de fruto

Para cada tratamiento se tomaron los tres frutos de mayor tamaño de cada una de tres plantas. Estos frutos fueron obtenidos de la cuarta cosecha (septiembre de 2021) de un total de siete.

4.2.6.1 Variables morfológicas de calidad

1) Volumen de fruto, medido con el agua desplazada (mL) por un fruto en una probeta graduada de 1 L. 2) Grosor de pericarpio, medido con vernier digital (Truper®, México) en la zona ecuatorial de cada fruto. 3) Número de lóculos, se contados en un corte transversal hecho en la parte media del fruto. 4) Número de semillas maduras (color negro) extraídas de la placenta de cada fruto. 5) Peso de

semillas, con una balanza electrónica portátil digital Scout Pro SP202® (Ohaus, USA) con sensibilidad de 0.01 g.

4.2.6.2 Variables físicas de calidad

1) Firmeza, medida en la zona ecuatorial con un texturómetro digital Compact Gauge® (Mecmesin CE, USA) provisto con puntal en forma de cono de 0.6 mm de altura y 0.7 mm de diámetro; la lectura fue la cantidad de Newtons (N) que se requirieron para lograr la penetración del puntal. 2) Color, se midió en la parte ecuatorial con un colorímetro ColorTec-PCM™ (Cole Palmer, USA) el cual da los valores de L, a y b; con éstos se calculó el matiz (hue) y la pureza del color (chroma) (Minolta, 2007).

4.2.6.3 Variables químicas de calidad

1) Sólidos solubles totales (SST), se midieron con un refractómetro digital manual portátil PAL 1® (ATAGO, USA). En cada medición se pesaron 10 g de fruto y se licuaron con 50 mL de agua destilada en licuadora Osterizer®: de esta mezcla se tomó una gota de jugo y se cuantificó; 2) Acidez titulable, medida de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (1990): se licuaron 10 g de cada fruto con 50 mL de agua destilada; se tomó una alícuota de 10 mL y se neutralizó con NaOH 0.1 N, utilizando fenolftaleína al 1% como indicador. 3) Contenido de vitamina C, se determinó con el método de Tillman (AOAC, 1990) conocido como DFI-2,6 diclorofenol-indofenol; se licuaron 5 g de fruto con 50 mL de ácido oxálico (AO), se tomó una alícuota de 5 mL y fue titulada con solución de Tillman; la concentración se expresó en µg de vitamina C por 100 g de fruto. 4) Contenido de carotenoides, cuantificado con la técnica propuesta por Lichtenhaler (1987): se colocaron 5 g de fruto y se colocaron en 20 mL de acetona al 80 % durante 24 horas en completa oscuridad; la solución obtenida se filtró y aforó a 25 mL; la lectura de absorbancia se hizo a 476, 646 y 663 nm con un espectrofotómetro Genesys™ 10S UV VIS (Thermo Scientific, USA). Los resultados se expresaron en µg·100 gramos de fruto; 5) Cuantificación de capsaicinoides, se realizó mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC); los extractos se

prepararon con frutos deshidratados en liofilizadora FreeZone18 (Labconco, USA) durante 72 horas, y luego molidos en mortero de porcelana hasta obtener 1 g de muestra a la que se adicionaron 5 mL de acetonitrilo; la mezcla se colocó a baño maría durante 5 horas a 70 °C y posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 20 minutos en una centrifuga (Hermile Labortechnik®, Alemania), el sobrenadante se recuperó con pipeta de 5 mL y se filtró con acrodiscos de 0.47 µm; la cuantificación se realizó en HPLC al que se inyectaron 20 µL de cada extracto al cromatógrafo automatizado Agilent® mod. HP-1260 equipado con un detector de UV y una columna Agilent ZORBAX SB-C18, 2,1 x 50 mm 1,8 µm, flujo de 0.5 mL/min y el tiempo de corrida por muestra fue de 22 min. Las unidades de picor Scoville (SHU) se calcularon en partes por millón de picor (ppmH) con base en el peso seco de la muestra, de acuerdo con la ecuación propuesta por American Spice Trade Association (ASTA, 1985). La conversión a unidades de picor Scoville se realizó multiplicando ppmH por 15.

4.2.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico de cada variable se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) conforme a un arreglo factorial incompleto 2x4x4 de un diseño completamente al azar, y la comparación múltiple de medias se hizo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los factores de estudio fueron: injerto (plantas injertadas y no injertadas), concentración de AIB (cero, 800, 1200 y 1600 ppm), y frecuencia de aplicación (cero, 15, 30 y 45 días). En todos los procedimientos de análisis de datos se utilizó el programa Statistical Analysis System 9.1.3.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Variables morfológicas de calidad

4.3.1.1 Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencias

Los análisis estadísticos mostraron que en número de lóculos, número de semillas y peso de semillas no hubo diferencias estadísticas significativas a causa de los factores injerto, concentración y frecuencia de aplicaciones de AIB

(Cuadro 5). Estos resultados coinciden con Pérez-Grajales et al. (2021) para chile manzano y con Gisbert et al. (2010) para pimiento. La falta de efecto del factor injerto se atribuye a que el control de la calidad del fruto reside principalmente en los brotes aéreos de la planta y no en la raíz como postularon Martínez-Rodríguez et al. (2008). Es decir, el injerto expresó su calidad de fruto sin ser afectada negativamente por la raíz del portainjerto.

Es de hacer notar que las diferentes concentraciones y frecuencias de AIB no mejoraron los parámetros de calidad morfológica de los frutos ya que se obtuvieron resultados similares entre tratamientos con aplicaciones de AIB respecto al testigo sin aplicaciones (Cuadro 5).

En volumen de fruto se encontró que el portainjerto CM-334 tampoco tuvo efectos negativos, lo que es un indicador de la compatibilidad entre el injerto y portainjerto (Rasool et al., 2020). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Pérez-Grajales et al. (2021) después de injertar híbridos de chile manzano en CM-334 y luego fueron cultivados en hidroponía. En cambio, en pimiento se ha encontrado que las plantas injertadas producen frutos más pequeños que las no injertadas (Calatayud et al., 2015; Gisbert et al., 2010).

Entre concentraciones y frecuencias de aplicaciones de AIB sí se detectaron diferencias significativas en volumen de fruto. Los frutos con mayor volumen (95.92 mL) fueron de plantas tratadas con 1200 ppm de AIB, y los de menor volumen (86.38 mL y 87.77 mL) correspondieron a plantas sin aplicaciones o con concentración de 1600 ppm de AIB. En cuanto a la frecuencia de aplicación, las plantas que produjeron los frutos de mayor volumen (96.76 mL) correspondieron a aplicaciones cada 45 días, y los frutos más pequeños (86.38 mL) se dieron en plantas sin aplicaciones (Cuadro 5). Aunque no se observó una tendencia clara del efecto de las concentraciones y frecuencias de auxinas sobre el volumen de fruto, destaca el tratamiento de 1200 ppm aplicado cada 45 días que indujo un incremento significativo de 10 %. En calabacita, Ayala-Tafoya et al. (2020), también lograron incrementar de tamaño del fruto al aplicar 600 ppm de la auxina ANA. Tal efecto positivo de las auxinas que aumenta el volumen de fruto se

explica porque promueven la formación de raíces laterales, que incrementan la absorción de agua y nutrientes, y tienen la capacidad de movilizar carbohidratos (Baéz-Pérez et al., 2015).

En grosor de pericarpio se encontraron diferencias significativas por efecto del factor injerto. Los frutos de plantas injertadas tuvieron mayor grosor de pericarpio (6.41 mm), en comparación con los frutos de plantas no injertadas (6.03 mm) (Cuadro 5). De manera similar, Doñas et al. (2014), señalaron que los frutos de pimiento 'Dulce Italiano' injertados presentaron mayor grosor de pericarpio que los no injertados. El grosor de pericarpio es un rasgo morfológico que responde al injerto, y es un atributo positivo dado que, a mayor grosor de pericarpio del fruto hay mayor resistencia a *P. capsici* (Kyriacou et al., 2016; Soteriou et al., 2014), y menor pérdida de peso en poscosecha (Pérez-Grajales et al., 2021).

Los factores concentración y frecuencia de AIB no provocaron diferencias significativas sobre el grosor de pericarpio (Cuadro 5); es decir, las plantas tratadas obtuvieron resultados similares al testigo sin aplicaciones, lo que concuerda con los resultados de Salas et al. (2009) en frutos de pimiento. Por tanto, se pueden obtener frutos de buen grosor de pericarpio en chile manzano, sin necesidad de aplicar auxinas.

Cuadro 5. Medias de variables morfológicas de fruto de ‘Dali’ de chile manzano en respuesta al injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación.

Factor	Niveles	V (mL)	NL	GP (mm)	NS	PS (g)
Injerto	No injertada	91.83 a ²	3.48 a	6.03 b	108.56 a	1.90 a
	Injertada	91.66 a	3.45 a	6.41 a	112.16 a	1.87 a
DMS		3.42	0.18	0.18	11.45	0.22
Concentración de AIB (ppm)	0	86.38 b	3.55 a	6.15 a	104.16 a	1.88 a
	800	93.33 ab	3.53 a	6.42 a	105.66 a	1.83 a
	1200	95.92 a	3.44 a	6.04 a	114.27 a	1.89 a
	1600	87.77 b	3.40 a	6.22 a	113.22 a	1.94 a
DMS		7.17	0.39	0.38	24.02	0.47
Frecuencia (días)	0	86.38 b	3.55 a	6.15 a	104.16 a	1.88 a
	15	90.46 ab	3.42 a	6.14 a	109.55 a	1.82 a
	30	89.81 ab	3.57 a	6.19 a	109.05 a	1.92 a
	45	96.76 a	3.38 a	6.35 a	114.55 a	1.91 a
DMS		7.17	0.39	0.38	24.02	0.47
CV		7.15	10.47	5.71	19.89	22.81

V: volumen de fruto, NL: número de lóculos, GP: grosor de pericarpio, NS: Número de semillas, PS: peso de semillas. ²Valores con la misma letra en la misma columna no presenta diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS: Diferencia mínima significativa honesta, CV: Coeficiente de variación.

4.3.1.2 Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia

Las tres interacciones no presentaron efectos significativos ($P < 0.05$) en número de lóculos, número de semillas y peso de semillas (Cuadro 6). Esto indica que tales variables no dependen de estas interacciones. De hecho, el número de lóculos es determinado por el número de carpelos en el ovario de la flor, y el número de semillas por la cantidad de óvulos fértiles que fueron fecundados durante la polinización.

En volumen de fruto se encontró que el mayor valor (97.02 mL) fue de plantas no injertadas y tratadas con 1200 ppm de AIB, mientras que los de menor volumen ocurrieron en plantas no injertadas y sin aplicaciones de AIB (83.33 mL) (Cuadro 6). Esto posiblemente se deba a que el sistema radical del híbrido ‘Dali’ de chile manzano es de mayor volumen y peso fresco en aproximadamente 50 %, respecto al mismo híbrido injertado en CM-334 (Cuadro 2). El mayor volumen de raíz se asocia con mayor absorción de agua y nutrimentos, lo que también es favorecido por las auxinas aplicadas porque inducen y aceleran la formación de

raíces laterales (Alcantara et al., 2019). Además, las auxinas son importantes para el crecimiento del fruto, desde la etapa de flores hasta la de maduración de los frutos (Estrada-Johnson et al., 2017; Pattison et al., 2014).

En la interacción injerto x frecuencia los frutos de mayor volumen se encontraron en plantas no injertadas que recibieron aplicaciones de AIB cada 45 días (97.22 mL) y plantas injertadas con aplicaciones cada 45 días (96.29 mL). El menor volumen fue en plantas no injertadas sin aplicaciones de AIB. En la interacción frecuencia x concentración el mayor volumen se dio con 1200 ppm de AIB cada 15 días, mientras que el menor fue en plantas tratadas con 1600 ppm cada 15 y 30 días con 84.16 y 85.27 mL, respectivamente (Cuadro 6). Dado que no se encontró una tendencia clara entre los efectos de estas interacciones, se nota que al aplicar AIB a 1200 ppm cada 15 ó 45 días incrementó el volumen de frutos tanto en plantas injertadas como no injertadas, por lo que para disminuir costos sería mejor aplicar cada 45 días. El incremento en el volumen de fruto es un resultado positivo ya que para los consumidores es uno de los parámetros más apreciados (Yetisir et al., 2003). Estos resultados se explican porque las auxinas exógenas generan raíces adventicias y promueven la dominancia apical, que redundan en mayor crecimiento y desarrollo de los frutos (Munguía & Martínez, 2018).

En el efecto de la interacción injerto x dosis sobre grosor de pericarpio, los mayores grosores correspondieron a plantas injertadas sin aplicaciones (6.61 mm) y en injertadas que recibieron 1600 ppm (6.5 mm). El grosor más bajo fue en plantas no injertadas y sin aplicaciones (5.7 mm). En la interacción injerto x frecuencia el mayor grosor (6.61 mm) y el menor (5.7 mm) se dio en frutos de plantas injertadas sin aplicaciones de AIB (Cuadro 6). Estos resultados indican que el principal factor que incrementa el grosor de pericarpio es el injerto, sin importar la concentración de AIB y frecuencia de su aplicación. Resultados similares reportaron Salas et al. (2009), quienes no encontraron diferencias significativas en el grosor de pericarpio de pimiento en plantas tratadas con auxinas.

Cuadro 6. Comparación de medias de las interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación sobre variables morfológicas de fruto de 'Dali' de chile manzano cultivado en suelo infestado con *P. capsici*.

Interacción	V (mL)	NL	GP (mm)	NS	PS (g)
Injerto x concentración de AIB (ppm)					
No injertada x 0	83.33 b	3.44 a	5.7 c	112.00 a	1.83 a
No injertada x 800	94.07 ab	3.51 a	6.43 ab	108.44 a	1.87 a
No injertada x 1200	97.03 a	3.4 a	5.9 bc	106.00 a	1.97 a
No injertada x 1600	87.22 ab	3.55 a	5.87 bc	110.11 a	1.88 a
Injertada x 0	89.44 ab	3.66 a	6.61 a	96.33 a	1.93 a
Injertada x 800	92.59 ab	3.55 a	6.41 ab	102.89 a	1.78 a
Injertada x 1200	94.81 ab	3.40 a	6.18 abc	122.56 a	1.81 a
Injertada x 1600	88.33 ab	3.33 a	6.57 a	116.33 a	2.00 a
DMS	12.1	0.67	0.65	40.51	0.79
Injerto x frecuencia (días)					
No injertada x 0	83.33 b	3.44 a	5.7 c	112.00 a	1.83 a
No injertada x 15	90.74 ab	3.48 a	5.91 bc	101.00 a	1.66 a
No injertada x 30	90.37 ab	3.48 a	5.93 bc	111.67 a	2.00 a
No injertada x 45	97.22 a	3.51 a	6.35 ab	111.89 a	2.07 a
Injertada x 0	89.44 ab	3.66 a	6.61 a	96.33 a	1.93 a
Injertada x 15	90.18 ab	3.37 a	6.38 ab	118.11 a	1.98 a
Injertada x 30	89.26 ab	3.66 a	6.44 ab	106.44 a	1.85 a
Injertada x 45	96.29 a	3.25 a	6.34 abc	117.22 a	1.75 a
DMS	12.1	0.67	0.65	40.51	0.79
Concentración de AIB x frecuencia (días)					
0 x 0	86.38 bc	3.55 a	6.15 ab	104.17 a	1.88 a
800 x 15	86.94 bc	3.44 a	6.36 ab	98.17 a	1.73 a
800 x 30	94.72 abc	3.72 a	6.39 ab	106.83 a	1.83 a
800 x 45	98.33 ab	3.44 a	6.51 ab	112.00 a	1.93 a
1200 x 15	100.27 a	3.38 a	5.89 b	116.00 a	2.01 a
1200 x 30	89.44 abc	3.50 a	6.30 ab	112.67 a	1.86 a
1200 x 45	98.05 ab	3.33 a	5.93 ab	114.17 a	1.80 a
1600 x 15	84.16 c	3.44 a	6.18 ab	114.50 a	1.73 a
1600 x 30	85.27 c	3.49 a	5.87 b	107.67 a	2.08 a
1600 x 45	93.89 abc	3.38 a	6.61 a	117.50 a	2.01 a
DMS	12.68	0.7	0.68	42.43	0.83
CV	7.15	10.47	5.71	19.89	22.81

V: volumen de fruto, NL: número de lóculos, GP: grosor de pericarpio, NS: Número de semillas, PS: peso de semillas. ²Valores con la misma letra en la misma columna no presenta diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

4.3.2 Variables físicas de calidad

4.3.2.1 Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencias

En firmeza de fruto se encontraron diferencias significativas entre niveles de injerto. Las plantas injertadas produjeron los frutos de mayor firmeza (47.69 N) que las plantas no injertadas (40.48 N). Por tanto, la mayor firmeza (15 %) de los frutos de plantas injertadas se debe al portainjerto CM-334. Resultados similares obtuvieron Pérez-Grajales et al. (2021) en chile manzano, pues reportaron 25 % de mayor firmeza en frutos de plantas injertadas en condiciones de cultivo hidropónico; y también concuerdan con Rouphael et al. (2018) quienes observaron que la mayor firmeza de fruto obedece a turgencia celular y a las propiedades químicas de las paredes celulares.

Las concentraciones de AIB y las frecuencias de su aplicación no causaron diferencias significativas en firmeza de fruto (Cuadro 7), ya que la respuesta a las concentraciones y frecuencias de aplicación fueron similares al tratamiento testigo sin aplicación de AIB. Estos resultados coinciden con la falta de efectos encontrado por Salas et al. (2009) al aplicar ANA, y con los resultados de López-Elías et al. (2005) obtenidos con AIB en el cultivo de pimiento.

En el color del fruto medido con los parámetros chroma, hue y luminosidad no hubo diferencias significativas por efecto del injerto, dosis y frecuencia de AIB (Cuadro 7). Estos resultados también coinciden con los mencionados por Pérez-Grajales et al. (2021) para chile manzano, y con los de Sánchez et al. (2015) en pimiento morrón injertado en el portainjerto 'Terrano'. Es decir, estos factores no modificaron el color del fruto. Pérez-Jiménez et al. (2015) tampoco encontraron significativas en el color de frutos de pimiento por efecto de la aplicación de AIA.

Cuadro 7. Medias de variables físicas de fruto de 'Dali' de chile manzano en respuesta al injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB.

Factor	Niveles	Firmeza (N)	Color		
			Chroma	Hue	Luminosidad
Injerto	No injertada	40.48 b	50.56 a	71.46 a	43.50 a
	Injertada	47.69 a	51.23 a	68.94 a	42.53 a
DMS		2.97	4.45	4.46	1.73
Concentración de AIB (ppm)	0	42.63 a	49.27 a	72.17 a	43.80 a
	800	43.03 a	52.59 a	72.63 a	42.88 a
	1200	44.60 a	52.63 a	68.12 a	43.05 a
	1600	45.12 a	48.02 a	69.19 a	42.86 a
DMS		6.24	9.33	9.35	3.63
Frecuencia (días)	0	42.63 a	49.27 a	72.17 a	43.80 a
	15	44.23 a	47.50 a	70.35 a	43.10 a
	30	44.93 a	54.58 a	69.93 a	43.08 a
	45	43.59 a	51.16 a	69.66 a	42.60 a
DMS		6.24	9.33	9.35	3.63
CV		12.93	16.76	12.18	7.71

²Valores con la misma letra en la misma columna no presenta diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05), DMS: Diferencia mínima significativa honesta, CV: Coeficiente de variación.

4.3.2.2 Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia

En ninguna interacción hubo diferencias significativas en firmeza y color de fruto (Cuadro 8). Esto implica que, en términos de color de fruto, el uso de plantas injertadas de chile manzano sin aplicaciones de AIB puede ser una alternativa viable de producción de chile manzano crecido en suelos infestados con *P. capsici*, ya que los frutos producidos conservan importantes parámetros de calidad física (Pérez-López et al., 2007; Wang et al., 2021).

Cuadro 8. Comparación de medias de la interacción de los factores injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB en variables físicas de fruto de 'Dali' de chile manzano cultivado en suelo infestado con *P. capsici*.

Interacciones	Firmeza (N)	Color		
		Chroma	Hue	Luminosidad
Injerto x Concentración de AIB (ppm)				
No injertada x 0	40.29 a	46.29 a	68.02 a	41.95 a
No injertada x 800	37.86 a	55.75 a	74.38 a	43.05 a
No injertada x 1200	41.04 a	50.53 a	69.58 a	42.31 a
No injertada x 1600	42.61 a	46.83 a	71.57 a	42.44 a
Injertada x 0	44.97 a	52.25 a	76.31 a	45.65 a
Injertada x 800	48.19 a	49.43 a	70.88 a	42.71 a
Injertada x 1200	48.16 a	54.72 a	66.67 a	43.79 a
Injertada x 1600	47.63 a	49.21 a	66.80 a	43.27 a
DMS	10.52	15.75	15.78	6.12
Injerto x Frecuencia (días)				
No injertada x 0	40.29 a	46.29 a	68.02 a	41.95 a
No injertada x 15	39.82 a	47.72 a	72.97 a	42.4 a
No injertada x 30	41.98 a	54.18 a	73.81 a	43.21 a
No injertada x 45	39.71 a	51.21 a	68.75 a	42.19 a
Injertada x 0	44.97 a	52.25 a	76.31 a	45.65 a
Injertada x 15	48.64 a	47.28 a	67.72 a	43.8 a
Injertada x 30	47.88 a	54.99 a	66.05 a	42.95 a
Injertada x 45	47.46 a	51.10 a	70.58 a	43.02 a
DMS	10.52	15.75	15.78	6.12
Concentración de AIB (ppm) x Frecuencia (días)				
0 x 0	42.63 a	49.27 a	72.17 ab	43.80 a
800 x 15	41.77 a	50.81 a	70.82 ab	41.44 a
800 x 30	45.93 a	57.03 a	75.23 ab	43.80 a
800 x 45	41.38 a	49.94 a	71.84 ab	43.39 a
1200 x 15	45.45 a	46.27 a	71.71 ab	45.50 a
1200 x 30	41.83 a	53.76 a	58.86 b	42.21 a
1200 x 45	46.52 a	57.85 a	73.80 ab	41.43 a
1600 x 15	45.47 a	45.42 a	68.50 ab	42.35 a
1600 x 30	47.04 a	52.95 a	75.70 a	43.22 a
1600 x 45	42.86 a	45.68 a	63.35 ab	43.00 a
DMS	11.02	16.496	16.53	6.41

^aValores con la misma letra en la misma columna no presenta diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación.

4.3.3 Variables químicas de calidad

4.3.3.1 Efectos principales del injerto, concentración y frecuencias de AIB

La acidez titulable y SST no fueron modificados por los factores injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB (Cuadro 9). De acuerdo con Goldschmidt (2014), esto es resultado de la compatibilidad entre injerto y portainjerto, ya que en caso contrario se vería reflejado en la disminución de calidad de fruto. Resultados similares reportaron otros autores, Birkás et al. (2021), López-Marín et al. (2013), Sánchez et al. (2015) y Vega-Alfaro et al. (2021) quienes también encontraron que la acidez y el dulzor del fruto de híbridos de pimiento no fueron afectados por el injerto en diferentes portainjertos comerciales del mismo cultivo.

En vitamina C y contenido de carotenoides tampoco se encontraron diferencias significativas por el factor injerto, resultados que son similares a los encontrados por Pérez-Grales et al. (2021) en injertos de híbridos de chile manzano y en injertos de híbridos 'Almudén' y 'Coyote' de pimiento morrón en portainjertos 'Foc' y 'Charlot' con tolerancia a *P. capsici* (Sánchez-Torres et al., 2016). En cambio, Chávez-Mendoza et al. (2013) registraron 3.9 % de mayor contenido de ácido ascórbico y 52 % de mayor contenido de β -caroteno en frutos de plantas de pimiento injertadas con respecto a las no injertadas. También López-Marín et al. (2013), encontraron incrementos de vitamina C en el cultivar 'Herminio' de pimiento morrón injertado en el portainjerto 'Atlante' (vigoroso). En cuanto al contenido de carotenoides del fruto por efecto del injerto, Chávez-Mendoza et al. (2013) señalaron que *Capsicum annuum* sí incrementan en unos portainjertos.

En cuanto a las concentraciones de AIB y frecuencia de su aplicación, aquí se encontraron diferencias significativas en contenidos de vitamina C y de carotenoides (Cuadro 9). Los frutos con más vitamina C (42.83 μg por 100 g) fueron en plantas sin aplicaciones de AIB, mientras que en plantas tratadas con AIB la vitamina C se redujo hasta 34.51 μg por 100 g.

En carotenoides el mayor contenido ($2.48 \mu\text{g} \cdot 100 \text{ gramos de fruto}$) fue en frutos de plantas con aplicaciones de 1600 ppm de AIB y un poco más cuando la frecuencia fue cada 15 días ($2.54 \mu\text{g} \cdot 100 \text{ gramos de fruto}$) (Cuadro 9). Lo anterior se atribuye a que las auxinas están involucradas en el aumento de la actividad fotosintética (Sanam & Topno, 2022) y mayor contenido de los pigmentos fotosintéticos carotenoides, como reportaron Medina et al. (2022) en chiles jalapeños tratados con auxinas, en relación al testigo sin aplicación.

En los contenidos de capsaicina, dihidrocapsaicina y capsaicinoides totales, también se encontraron diferencias significativas causadas por los tres factores analizados (injerto, concentración y frecuencia de AIB). Los frutos de plantas injertadas presentaron 18 % más de capsaicina, 20 % más de dihidrocapsaicina y 20 % más de capsaicinoides totales respecto a los frutos de plantas no injertadas (Cuadro 9). El incremento de picor se podría adjudicar al estrés ocasionado por el oomiceto *P. capsici* presente en el suelo de cultivo, y también porque el suelo empleado como sustrato en el presente estudio proporciona menos oxigenación al sistema radical del portainjerto CM-334 con relación al sustrato de tezontle rojo que habitualmente se emplea para el cultivo de chile manzano en condiciones de cultivo en invernadero, tal como mencionan Pérez & Castro (2008). El mayor contenido de capsaicinoides en plantas cultivadas en suelo infestado con *P. capsici* concuerda con Burgos-Valencia, et al. (2020) y Naves et al. (2019) al mencionar que los capsaicinoides protegen a las plantas del ataque de patógenos, principalmente de los hongos que prosperan en condiciones de mucha humedad como es *P. capsici*.

El alto contenido de capsaicinoides en plantas injertadas y cultivadas en condiciones de suelo infestado con *P. capsici* podría ser de interés para la industria farmacéutica, dado que estos compuestos químicos tienen efectos farmacológicos y se ha descubierto que ejercen múltiples efectos analgésicos, anticancerígenos, antiinflamatorios, antioxidantes, antiobesidad, y proveen beneficios a los sistemas cardiovascular y gastrointestinal (Fattori et al., 2016).

En el factor concentración de AIB el mayor contenido de capsaicina se encontró en la de 800 ppm, mientras que los mayores totales de dihidrocapsaicina y capsaicinoides se obtuvieron en plantas a las que se aplicaron 1600 ppm de AIB. En cuanto a la frecuencia de AIB, los picores más altos se presentaron con aplicaciones cada 30 días (Cuadro 9). Estos resultados muestran que las mejores concentraciones son 800 y 1600 ppm, y la mejor frecuencia de aplicación es cada 30 días. Conviene considerar que los contenidos de capsaicinoides son altamente variables debido principalmente a la interacción genotipo x ambiente (Arce-Rodríguez & Ochoa-Alejo 2019; Barbero et al., 2016).

Cuadro 9. Medias de variables químicas de fruto de 'Dali' de chile manzano en respuesta al injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación.

Factor	Niveles	AT	SST	VC	CC	C	D	CT
Injerto	No injertada	0.33 a	1.29 a	37.33 a	2.23 a	6666650 b	8964300 b	447261.61 b
	Injertada	0.31 a	1.31 a	36.18 a	2.02 a	8078400 a	11186450 a	553874.32 a
DMS		0.02	0.06	3.26	0.35	1079	1055	49.385
C (ppm)	0	0.33 a	1.25 a	42.83 a	2.12 ab	3915750 d	8433500 c	394436.27 c
	800	0.33 a	1.34 a	36.43 ab	1.68 b	9556000 a	10157667 b	554602.29 b
	1200	0.30 a	1.28 a	35.79 b	2.21 ab	4878583.3 c	7705333 d	349009.56 d
	1600	0.32 a	1.29 a	36.01 ab	2.48 a	8835250 b	12910417 a	633469.29 a
DMS		0.05	0.13	6.85	0.73	2262.5	2212.4	103.56
F (días)	0	0.33 a	1.25 a	42.83 a	2.12 ab	3915750 d	8433500 c	394436.27 c
	15	0.34 a	1.36 a	34.51 b	2.54 a	5445500 c	6947917 d	375130.55 d
	30	0.33 a	1.23 a	34.51 b	1.79 b	10826500 a	14951583 a	717680.32 a
	45	0.29 a	1.32 a	39.2 ab	2.05 ab	6997833 b	8873917 b	444270.26 b
DMS		0.05	0.13	6.85	0.73	2262.5	2212.4	103.56
CV		14.88	9.66	17.04	31.66	0.03	0.02	22.81

AT: acidez titulable en %, SST: Sólidos solubles totales en °brix, VC: vitamina c en µg por 100 gramos de fruto, CC: contenido de carotenoides en µg por 100 gramos de fruto, C: capsaicina en SHU, D: dihidrocapsaicina en SHU, CT: capsaicinoides totales en SHU, C: Concentración, F: Frecuencia. ^aValores con la misma letra en la misma columna no presenta diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS: Diferencia mínima significativa honesta.

4.3.3.2 Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia

En acidez titulable y vitamina C no hubo diferencias significativas por efecto de las tres interacciones (Cuadro 10). Es decir, estos parámetros de calidad en los frutos son estables. Pero en SST y contenido de carotenoides sí se encontraron diferencias significativas por efecto de la interacción concentración x frecuencia de AIB, donde los valores más altos fueron con aplicaciones de AIB a 1200 ppm

cada 15 días, con 1.41 °brix y 3.24 µg·100 gramos de fruto en contenido de carotenoides (Cuadro 10). Por el contrario, en otra especie de *Capsicum*, Salas et al. (2009) encontraron el mayor contenido de °brix en frutos de pimiento de plantas no tratadas con auxinas (ANA); López-Elías et al. (2005) tampoco detectaron diferencias significativas en plantas de pimiento tratadas con AIB con respecto al testigo no tratado. Pero en chile manzano aquí se demuestra que hay un aumento significativo en SST con aplicaciones de AIB a 1200 ppm cada 15 días, lo cual es benéfico para la calidad del fruto porque el dulzor y la acidez son los parámetros más relevantes que definen las propiedades sensoriales de los chiles, porque influyen en su sabor (Kader, 2008).

En capsaicinoides se encontraron diferencias significativas ocasionadas por las tres interacciones (Cuadro 10). En la interacción injerto x concentración el valor más alto (671,469.61 SHU) de capsaicinoides totales fue en frutos de plantas injertadas tratadas con 800 ppm; de la interacción injerto x frecuencia la concentración más alta (824,863.31 SHU) fue de plantas injertadas con aplicaciones cada 30 días; y de la interacción concentración x dosis el valor más alto fue con 800 ppm cada 30 días (956,345.8 SHU) de donde se concluye que las plantas injertadas incrementan el picor con 800 ppm de AIB aplicados cada 30 días. De acuerdo con Baenas et al. (2019) y Patowary et al. (2017) con picores por arriba de 80,000 SHU los chiles se consideran altamente picosos. El nivel de picor obtenido en este estudio es superior a los máximos (68,337 SHU) reportados por Cruz et al. (2007) para variedades criollas de chile manzano y por Pérez-Grajales et al. (2019) para el híbrido ‘Dali’ del mismo cultivo en condiciones de hidroponía (104,601 SHU).

Cuadro 10. Comparación de medias de la interacción de los factores injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación en variables químicas de fruto de 'Dali' de chile manzano cultivado en suelo infestado con *P. capsici*.

Interacciones	AT	SST	VC	CC	C	D	CT
Injerto x C							
NI x 0	0.33 a	1.26 a	43.47 a	2.36 a	3222000 h	5485500 h	281140.2 h
NI x 800	0.34 a	1.33 a	37.07 a	1.81 a	7428667 d	8215167 e	437734.96 e
NI x 1200	0.30 a	1.25 a	37.92 a	2.30 a	4579833 g	7273000 g	325853.01 g
NI x 1600	0.34 a	1.30 a	34.94 a	2.53 a	9139667 b	12564333 b	633570.66 b
I x 0	0.33 a	1.23 a	42.19 a	1.88 a	4609500 f	11381500 d	507732.34 d
I x 800	0.32 a	1.35 a	35.79 a	1.55 a	11683333 a	12100167 c	671469.61 a
I x 1200	0.29 a	1.33 a	33.66 a	2.13 a	5177333 e	8137667 f	372166.11 f
I x 1600	0.30 a	1.26 a	37.07 a	2.43 a	8530833 c	13256500 a	633367.92 c
DMS	0.08	0.23	11.56	1.24	3815.80	3731.20	174.65
Injerto x F							
NI x 0	0.33 a	1.26 a	43.47 a	2.36 a	3222000 h	5485500 h	281140.2 h
NI x 15	0.33 a	1.38 a	34.50 a	2.50 a	5403333 f	6706500 g	354899.42 g
NI x 30	0.34 a	1.21 a	36.64 a	2.13 a	9017000 b	12761000 b	610497.32 b
NI x 45	0.31 a	1.28 a	38.78 a	2.00 a	6727833 d	8585000 e	431761.88 e
I x 0	0.33 a	1.23 a	42.19 a	1.88 a	4609500 g	11381500 c	507732.34 c
I x 15	0.34 a	1.33 a	34.51 a	2.57 a	5487667 e	7189333 f	395361.69 f
I x 30	0.32 a	1.26 a	32.38 a	1.45 a	12636000 a	17142167 a	824863.31 a
I x 45	0.26 a	1.35 a	39.63 a	2.09 a	7267833 c	9162833 d	456778.64 d
DMS	0.08	0.23	11.56	1.24	3815.80	3731.20	174.65
C x F							
0 x 0	0.33 a	1.25 ab	42.83 a	2.12 abcd	3915750 j	8433500 g	394436.27 f
800 x 15	0.37 a	1.31 ab	34.51 a	1.47 d	5977750 f	7317750 h	375872.52 g
800 x 30	0.33 a	1.38 ab	35.79 a	1.99 abcd	16788000 a	17267500 b	956345.8 a
800 x 45	0.29 a	1.33 ab	38.99 a	1.58 cd	5902250 g	5887750 i	331588.53 i
1200 x 15	0.30 a	1.41 a	31.96 a	3.24 a	4268500 h	3776000 j	236582.14 j
1200 x 30	0.31 a	1.18 ab	33.24 a	1.65 bcd	6134750 d	10210500 d	448311.5 e
1200 x 45	0.28 a	1.28 ab	42.19 a	1.75 bcd	4232500 i	9129500 f	362135.04 h
1600 x 15	0.34 a	1.35 ab	37.07 a	2.91 ab	6090250 e	9750000 e	512937 d
1600 x 30	0.34 a	1.15 b	34.51 a	1.72 bcd	9556750 c	17376750 a	748383.66 b
1600 x 45	0.29 a	1.35 ab	36.43 a	2.81 abc	10858750 b	11604500 c	639087.2 c
DMS	0.09	0.24	12.1	1.3	3996.4	3907.8	182.92
CV	14.88	9.66	17.04	31.66	0.03	0.02	22.81

NI: No injertada, I: Injertada, C: concentración en ppm de AIB, F: frecuencia en días, AT: acidez titulable en %, SST: Sólidos solubles totales en °brix, VC: vitamina c en µg por 100 gramos de fruto, cc: contenido de carotenoides en µg por 100 gramos de fruto, C: capsaicina en SHU, D: dihidrocapsaicina en SHU, CT: capsaicinoides totales en SHU, C: concentración de AIB en ppm, F: frecuencia en días. ²Valores con la misma letra en la misma columna no presenta diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05), DMS: Diferencia mínima significativa honesta, CV: Coeficiente de variación.

4.4 CONCLUSIONES

La calidad morfológica y fisicoquímica de frutos de plantas del híbrido 'Dali' de chile manzano injertado en el CM-334 no disminuyó respecto de plantas sin injertar, ya que los parámetros volumen, grosor de pericarpio, número de lóculos, número de semillas, peso de semillas, firmeza, color, acidez, sólidos solubles totales, vitamina C, contenido de carotenoides y capsaicinoides totales no fueron afectados significativamente. Por el contrario, en algunos casos sus valores se incrementaron (grosor de pericarpio, firmeza y contenido de capsaicinoides), particularmente, el contenido de capsaicinoides se incrementó en 20 % en frutos de plantas injertadas respecto a las no injertadas, resultado que puede ser de importancia para la industria farmacéutica.

El uso de auxinas (AIB) en plantas injertadas incrementó el contenido de capsaicinoides con 800 ppm cada 30 días y en plantas no injertadas incrementó volumen de fruto con 1200 ppm cada 45 días y capsaicinoides con 1600 ppm.

Se concluye que el injerto del híbrido 'Dali' de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en el portainjerto serrano criollo de Morelos (CM-334) (*Capsicum annuum* L) es una alternativa viable y sustentable para producir frutos de calidad de este cultivo en suelos infestados con el oomiceto *P. capsici*, sin necesidad de aplicar auxinas.

4.5 LITERATURA CITADA

- Alcantara, C. J. S., Godoy, J. A., Alcántara, J. D. C. & Sánchez, R. M. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17, 109-129.
- American Spice Trade Association (ASTA) (1985). Official analytical methods of the American Spice Trade Association. 3rd ed. Amer. Spice Trade Assn., Englewood Cliffs, N.J.
- AOAC (1990). Official Methods of Analysis. 15 th Ed. AOAC International, MD, EE. UU. 770 pp.
- Arce-Rodriguez, M. L. & Ochoa-Alejo, N. (2019). Biochemistry and molecular biology of capsaicinoid biosynthesis: Recent advances and perspectives. *Plant Cell Reports*, 38, 1017-1030. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02406-0>
- Aristizábal, C. N. & Torres, G. C. (2015). Morphological and molecular characterization of *Phytophthora* in pepper (*Capsicum frutescens* var. Tabasco), Valle del Cauca. *Revista de Ciencias*, 19, 71-89.
- Ayala-Tafoya, F., López-Urquídez, G. A., Parra-Delgado, J. M., Retes-Manjarrez, J. E., López-Orona, C. A. & Yáñez-Juárez, M. G. (2020). Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38, 257-265. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620>
- Baenas, N., Beovic, M., Llic, N., Moreno, D. A. & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872-885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Báez-Pérez, A., González-Molina, L., Solís, E. M., Bautista-Cruz, A. & Bernal-Alarcón, M. A. (2015). Efecto de la aplicación del ácido indol-3-butírico en la producción y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 523-537.
- Barbero, G. F., De Aguilar, A. C., Carrera, C., Olachea, Á., Ferreira-González, M., Martínez, J. & Barroso, C. G. (2016). Evolution of capsaicinoids in piper pepper (*Capsicum annum* var. *annuum*) during fruit ripening. *Chemistry & Biodiversity*, 13, 1068-1075. doi: 10.1002/cbdv.201500503
- Barchenger, D. W., Lamour, K. H. & Bosland, W. P. (2018). Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>
- Birkás, Z., Balázs, G. & Kókai, Z. (2021). Effect of grafting and growing media on the chosen fruit quality compounds and sensory parameters of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Acta Alimentaria*, 50, 1-12. <https://doi.org/10.1556/066.2020.00016>
- Burgos-Valencia, E., Echevarría-Machado, I., Narváez-Zapata, J. A. & Martínez-Estévez, M. (2020). Gene expression related to the capsaicinoids biosynthesis in

the *Capsicum* genus: *Molecular and transcriptomic studies. Brazilian Journal of Botany*, 43, 201-212. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00575-6>

Calatayud, Á., Penella, C., Penella, V., Marsal, J. I., Bonet, L., Nebauer, S. G., San Bautista, A. & López-Galarza, S. (2015). Respuesta de las plantas injertadas de pimiento en condiciones de estrés hídrico. Influencia del injerto y del patrón. *Agrícola Vergel*, 381, 84-86.

Castro-Rocha, A., Shrestha, S., Lyon, B., Grimaldo-Pantoja, G. L., Flores-Marges, J. P., Valero-Galvan, J., Aguirre-Ramírez, M., Osuna-Ávila, P., Gómez-Dorantes, N., Ávila-Quezada, G., Luna-Ruiz, J. J., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S. P. & Lamour, K. (2016). An initial assessment of genetic diversity for *Phytophthora capsici* in Northern and Central Mexico. *Mycological Progress*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>

Chávez-Mendoza, C., Sánchez, E., Carvajal-Millán, E., Muñoz-Márquez, E. & Guevara-Aguilar, A. (2013). Characterization of the nutraceutical quality and antioxidant activity in bell pepper in response to grafting. *Molecules*, 18, 15689-15703. doi:10.3390/molecules181215689

Doñas, U. F., Jiménez, M. D. M. L., Góngora, A. J. C., Pérez, D. M., Verde, D. F. & Camacho, F. (2014). Influence of three rootstocks on yield and commercial quality of "italian sweet" pepper. *Science and Agrotechnology*, 38 538-554. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000600002>

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

Estrada-Johnson, E., Csukasi, F., Pizarro, C. M., Vallarino, J. G., Kiryakova, Y., Vioque, A., Brumos, J., Medina-Escobar, N., Botella, M. A., Alonso, J. M., Fernie, A. R., Sánchez-Sevilla, J. F., Osorio, S. & Valpuesta, V. (2017). Transcriptomic Analysis in Strawberry Fruits Reveals Active Auxin Biosynthesis and Signaling in the Ripe Receptacle. *Frontiers in Plant Science*, 8, 889. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00889>

Fattori, V., Hohmann, M., Rossaneis, A., Pinho-Ribeiro, F. & Verri, W. A. (2016). Capsaicin: Current understanding of its mechanisms and therapy of pain and other pre-clinical and clinical uses. *Molecules*, 21, 811-844. <https://doi.org/10.3390/molecules21070844>

Gisbert, C., Sanchez-Torres, P., Raigón, M. D. & Nuez, F. (2010). *Phytophthora capsici* resistance evaluation in pepper hybrids. Agronomic performance and fruit quality of pepper grafted plants. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8, 116-121. <https://doi.org/10.1234/4.2010.1465>

Goldschmidt, E. E. (2014). Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers in Plant Science*, 5, 727-732. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>

Greathouse, J., Henning, S. & Soendergaard, M. (2021). Effect of grafting rootstock on the antioxidant capacity and content of heirloom tomatoes (*Solanum*

lycopersicum L.) in hydroponic culture. *Plants*, 10, 965. <https://doi.org/10.3390/plants10050965>

Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1863-1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>

Kumar, P., Rouphael, Y., Cardarelli, M. & Colla, G. (2017). Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1130. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01130>

Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., Rouphael, Y., Siomos, A. S. & Gerasopoulos, D. (2016). Configuration of watermelon fruit quality in response to rootstock-mediated harvest maturity and postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 2400-2409. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7356>

Lichtenhaler, K. H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomenbranes. *Plant Cell Membranes*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

López-Elías, J., Salas, M. C. & Urrestarazu, M. (2005) Application of indole-3-butyric acid by fertigation on pepper plants in soilless culture grown in a greenhouse. *Acta Horticulturae*, 697, 475-479.

López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, C. & Fernández, J. A. (2013). Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 149, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.034>

Majid, M. U., Awan, M. F., Fatima, K., Tahir, M. S., Ali, Q., Rashind, B., Rao, A. Q., Nasir, I. A. & Husnain, T. (2016). *Phytophthora capsici* on chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) and its management through genetic and bio-control: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103, 419-430. DOI 10.13080/z-a.2016.103.054

Martinez-Rodriguez, M. M., Estañ, M. T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J. O., Flores, F. B., Campos, J. F., Al-Azzawi, M. J., Flowers, T. J. & Bolarín, M. C. (2008). The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an “excluder” genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany*, 63, 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.007>

Medina, H., González-Cruz, L., Olan-Villegas, R., Acosta-García, G., Flores-Martínez, N. & Bernardino-Nicanor, A. (2022). Modification of the nutraceutical characteristics of jalapeño chili peppers in response to hormones. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21, 2719. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2719>

Minolta, K. (2007). Precise Color Communication. Color control from perception to instrumentation. Japan, Konica Minolta Sensing, Inc.

Munguía, R. A. G. & Martínez, T. M. (2018). Las auxinas: síntesis, transporte y señalización. *Biológicas*, 20, 1-7.

Naves, E. R., De Ávila-Silva, L., Sulpice, R., Araújo, W. L., Nunes-Nesi, A., Peres, L. E. P. & Zsögön, A. (2019). Capsaicinoids: Pungency beyond Capsicum.

Trends in Plant Science, 24, 109-120.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.001>

Pattison, R. J., Csukasi, F. & Catalá, C. (2014). Mechanisms regulating auxin action during fruit development. *Physiologia Plantarum*, 151, 62-72.
<https://doi.org/10.1111/ppl.12142>

Patowary, P., Pathak, M. P., Zaman, K., Raju, P. S. & Chattopadhyay, P. (2017). Research progress of capsaicin responses to various pharmacological challenges. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 96, 1501-1512.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.11.124>

Penella, C., Nebauer, S. G., López-Galarza, S., Quiñones, A., San Bautista, A. & Calatayud, A. (2017). Grafting pepper onto tolerant rootstocks: An environmental-friendly technique overcome water and salt stress. *Scientia Horticulturae*, 226, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.020>

Pérez, G. M. & Castro, R. B. (2008). El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 128 p.

Pérez-Grajales, M., Martínez-Damián, M. T., Oscar, C. A., Potrero-Andrade, S. M., Peña-Lomelí, A., González-Hernández, V. A. & Villegas-Monter, A. (2019). Content of capsaicinoids and physicochemical characteristics of manzano hot pepper grown in greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47, 119-127. <https://doi.org/10.15835/nbha47111241>

Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117, 332-346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>

Pérez-Jiménez, M., Pazos-Navarro, M., López-Marín, J., Gálvez, A., Varó, P. & Amor, F. M. (2015). Foliar application of plant growth regulators changes the nutrient composition of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 194, 188-193. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.002>

Pérez-López, A. J., López-Nicolás, J. M., Nuñez-Delicado, E., Del Amor, F. M. & Carbonell-Barrachina, A. A. (2007). Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and mineral contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8158-8164. doi: 10.1021/jf071534n

Rasool, A., Mansoor, S., Bhat, K. M., Hassan, G. I., Baba, T. R., Alyemeni, M. N., Alsahli, A. A., El-Serehy, H. A., Paray, B. A. & Ahmad, P. (2020). Mechanisms underlying graft union formation and rootstock scion interaction in horticultural plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 590847. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.590847>

Ropokis, A., Ntatsi, G., Kittas, C., Katsoulas, N. & Savvas, D. (2019). Effects of temperature and grafting on yield, nutrient uptake, and water use efficiency of a

hydroponic sweet pepper crop. *Agronomy*, 9, 110-135. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020110>

Rouphael, Y., Kyriacou, M. C. & Colla, G. (2018). Vegetables grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2255. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02255>

Salas, M. C., Fernández, M. M. & Urrestarazu, M. (2009). Sweet pepper yield and fruit quality affected by different auxin application methods. *Acta Horticulturae*, 807, 401-406.

Sanam, R. K. & Topno, S. E. (2022). Effect of different plant growth regulators on growth and yield of chilli (*Capsicum annum*). *The Pharma Innovation Journal*, 11, 328-330.

Sánchez, C. E., González, A. T., Flores, M. A. C., Preciado, P. R. & Márquez, C. Q. (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova Scientia*, 7, 227-244.

Sánchez-Torres, P., Raigón, M. D., Gammoudi, N. & Gisbert, C. (2016). Effects of grafting combinations on the nutritional composition of pepper fruit. *Fruits*, 71, 249-256. doi: 10.1051/fruits/2016014

Soteriou, G. A., Kyriacou, M. C., Siomos, A. S. & Gerasopoulos, D. (2014). Evolution of water-melon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chemistry*, 165, 282-289. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.120

Vega-Alfaro, A., Bethke, P. C. & Nienhuis, J. (2021). Effects of interspecific grafting between *Capsicum* species on scion fruit quality characteristics. *HortScience*, 56, 1347-1353. <https://doi.org/10.21273/hortsci15948-21>

Yetisir, H., Sari, N. & Yucel, S. (2003). Rootstock resistance to *Fusarium* wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. *Phytoparasitica*, 31, 163-169. DOI:10.1007/BF02980786

Wang, D. C., Ding, C. Q., Feng, Z., Ji, S. Y. & Cui, D. (2021). Recent advances in portable devices for fruit firmness assessment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1960477>

CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL CHILE SERRANO CRIOLLO DE MORELOS CM-334, RESISTENTE A *Phytophthora capsici*

RESUMEN

El chile serrano criollo de Morelos 334 (CM-334) se considera el resistente universal a *Phytophthora capsici*, por lo que su uso como portainjerto de chiles comerciales es una alternativa sustentable de producción. Este genotipo es originario del estado de Morelos, México, pero no está registrado en el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), con los derechos de obtentor para alguna institución u organización privada o pública. Por lo que el objetivo fue realizar la primera, de dos, caracterizaciones morfológicas del chile serrano criollo de Morelos (CM-334) mediante la guía UPOV para *Capsicum annuum* L. (2006, 2015 y 2018) con la finalidad de iniciar el proceso de registro de un genotipo de alto valor para el mejoramiento genético del género *Capsicum* y como portainjerto (resistente a *P. capsici*) de híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens*). El experimento se desarrolló en dos fases: la primera consistió en verificar la resistencia del CM-334 (portainjerto) a *P. capsici* con relación al testigo susceptible híbrido 'Dali' de chile manzano (injerto), para ello se inocularon 300 000 oosporas del oomiceto en el tallo de las plántulas, y la segunda fase consistió en la caracterización morfológica de 49 caracteres (38 cualitativos y 11 cuantitativos) del CM-334 de acuerdo con la guía UPOV (2006, 2015 y 2018) para *Capsicum* L. Se comprobó la resistencia del CM-334 a *P. capsici* ya que el 100 % de las plantas inoculadas con el oomiceto no presentaron síntomas de la enfermedad y se realizó la caracterización morfológica de 47 caracteres (1 de plántula, 8 de hoja, 3 de flor, 2 de tallo, 7 de planta, 2 de pedúnculo, 24 de fruto y 3 adicionales de raíz) del chile serrano criollo de Morelos mediante la guía UPOV para *Capsicum annuum* L.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., *Capsicum pubescens* R y P, caracteres cualitativos, caracteres cuantitativos, portainjerto.

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

CHAPTER V. MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CREOLE SERRANO CHILI FROM MORELOS CM-334, RESISTANT TO *Phytophthora capsici*

ABSTRACT

The Serrano pepper criollo from Morelos 334 (CM-334) is considered universally resistant to *Phytophthora capsici*, so its use as a rootstock for commercial peppers is a sustainable production alternative. This genotype originates from the state of Morelos, Mexico, but is not registered in the National Seed Inspection and Certification System (SNICS), with breeder's rights for any private or public institution or organization. Therefore, the objective was to carry out the first, of two, morphological characterizations of the serrano pepper criollo from Morelos (CM-334) using the UPOV guide for *Capsicum annuum* L. (2006, 2015 and 2018) in order to start the process of registration of a genotype of high value for the genetic improvement of the genus *Capsicum* and as a rootstock (resistant to *P. capsici*) of manzano pepper hybrids (*Capsicum pubescens*). The experiment was carried out in two phases: the first consisted of verifying the resistance of CM-334 (rootstock) to *P. capsici* in relation to the susceptible control manzano pepper hybrid 'Dali' (graft), for which 300,000 Oomycete Oospores were inoculated in the stem of the seedlings, and the second phase consisted of the morphological characterization of 47 characters (17 qualitative and 30 quantitative) of CM-334 according to the UPOV guide (2006, 2015 and 2018) for *Capsicum* L. Resistance was verified of CM-334 to *P. capsici* since 100 % of the plants inoculated with the Oomycete did not present symptoms, of the disease and the morphological characterization of 47 characters was carried out (1 seedling, 8 leaf, 3 flower, 2 stem, 7 from the plant, 2 from the peduncle, 24 from the fruit and an additional 3 from the root) of the serrano pepper criollo from Morelos using the UPOV guide for *Capsicum annuum* L.

Key words: *Capsicum annuum* L., *Capsicum pubescens* R and P, qualitative characters, quantitative characters, rootstock.

Thesis of PhD of Sciences in Horticultural, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Tabita Queren Pérez Reyes.
Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

5.1 INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum* spp.) es una de las hortalizas más importantes en el mundo, y México es el segundo productor con 3,238,244.81 toneladas (FAOSTAT, 2020) que también destaca por la alta diversidad genética existente en el país (Aguilar et al., 2010).

El género *Capsicum* está compuesto por 30 especies (Agostini-Costa et al., 2017), de las que destacan: *C. annuum* L., *C. chinense* J., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L. y *C. pubescens* R y P (Tripodi & Kumar, 2019).

El género *Capsicum* presenta una amplia variabilidad en sus formas, colores, aromas, sabores y tamaños que constituyen una valiosa contribución de México a la cultura, alimentación y gastronomía del mundo (Hernández-Verdugo, 2014; Pérez et al., 2015). El chile es rico en vitaminas A y C, hierro, magnesio y potasio (Grubben & Mohamed 2004). El país también cuenta con una amplia variedad de usos de *Capsicum*, en fresco, en seco y en polvo; así como fuente de colorantes naturales, metabolitos con usos en la industria farmacéutica, y como planta ornamental.

Uno de los principales problemas fitopatógenos en el cultivo de chile es ocasionado por *Phytophthora capsici* L., patógeno que causa la pudrición del tallo, el cuello, la raíz y el tizón de la corona en las plantas (Richins et al., 2010). La infección por *P. capsici* se presenta principalmente durante los períodos de fuertes lluvias y riego excesivo, alta humedad y un sistema de drenaje deficiente (Granke et al., 2012) y provoca pérdidas de rendimiento del 25 hasta el 90% (Mongkolporn & Tylor, 2011). La línea Criollo de Morelos 334 (CM-334) de chile tipo serrano, es altamente resistente a *P. capsici* y que ha demostrado aun cuando es inoculado con cepas altamente virulentas (Kim & Kim, 2009), y se le considera como el resistente universal a dicho oomiceto (Glosier et al., 2008).

La resistencia del CM-334 es de carácter dominante pero su herencia es compleja debido a su naturaleza poligénica y a la probable existencia de efectos epistáticos (Minamiyama et al., 2007; Naresh et al., 2019). Por ello es que,

aunque se ha utilizado en programas de mejoramiento (Monroy-Barbosa et al., 2008) no se han generado cultivares comerciales de chile con resistencia al patógeno (Oelke et al., 2003). Por ser el resistente universal, CM-334 se ha usado como portainjerto de híbridos comerciales de pimiento, chile ancho y chile manzano, entre otros (García-Rodríguez et al., 2010; Leal-Fernández et al., 2013; Pintado-López et al., 2017; Pérez-Grajales et al., 2021) para así controlar *P. capsici* por lo que CM-334 constituye una alternativa de producción amigable con el ambiente.

A pesar de que CM-334 es originario de Morelos, México, no se tiene registro en el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), con los derechos de obtentor para alguna institución u organización privada o pública. Para los derechos de obtentor ante el SNICS es necesario describir el proceso genotécnico de obtención del genotipo a registrar y llevar a cabo una caracterización morfológica al menos durante dos ciclos de cultivo de acuerdo con la guía UPOV para *Capsicum annuum* L. (2006, 2015 y 2018) y con ello demostrar la distinción, homogeneidad y estabilidad (DHE) del genotipo.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue realizar la primera, de dos, caracterizaciones morfológicas del chile serrano criollo de Morelos (CM-334) mediante la guía UPOV para *Capsicum annuum* L. (2006, 2015 y 2018) con la finalidad de iniciar el proceso de registro de un genotipo de alto valor para el mejoramiento genético del género *Capsicum* y como portainjerto (resistente a *P. capsici*) de híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens*), bajo la hipótesis de que las plantas del CM-334 son resistentes a las inoculaciones de 300 000 oosporas de *P. capsici*, mientras que las plantas testigo del híbrido ‘Dali’ de chile manzano son susceptibles.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Sitio experimental

La investigación se desarrolló en invernadero de cristal del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, en las coordenadas 19° 29' 23" LN y 98° 53' 37" LO, a una altitud de 2262 m. El promedio de temperatura y humedad relativa fue de 16.1 °C y 61.5 %, respectivamente.

5.2.2 Material vegetal

Como genotipo susceptible a *P. capsici* se empleó al híbrido 'Dali' de chile manzano, generado por el programa de mejoramiento genético de este cultivo de la UACH, con registro SNICS 1299. Como genotipo resistente se usó al chile Serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334), resguardado en el mismo programa de mejoramiento genético.

5.2.3 Manejo de plantas en invernadero

El 15 de diciembre de 2021, se sembró el híbrido 'Dali' de chile manzano y el CM-334 en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con turba y vermiculita en una proporción 2:1. Y se regaron con solución nutritiva de Steiner al 25 %.

Dos meses después de la siembra, se realizó el trasplante en condiciones de invernadero en bolsas de plástico de 15 x 25 cm rellenas de sustrato inerte tezontle rojo y regadas con solución nutritiva de Steiner al 50 % de concentración. Las plantas establecidas fueron ocho del híbrido 'Dali' de chile manzano y 26 del CM-334.

5.2.4 Fases del experimento

El experimento se desarrolló en dos fases. La primera consistió en verificar la resistencia del CM-334 (portainjerto) a *P. capsici* con relación al testigo susceptible híbrido 'Dali' de chile manzano (injerto). La segunda fase consistió en

la caracterización morfológica del CM-334 de acuerdo con la guía UPOV (2006, 2015 y 2018) para *Capsicum* L.

5.2.4.1 Fase I: Resistencia a *P. capsici*

5.2.4.1.1 Preparación del inóculo

Para la formación de esporangios, el hongo puro de *P. capsici* obtenido de suelo infestado del campo experimental lote X-4 de la UACh, fue transferido a cajas petri que contenían jugo V8+agar como medio de cultivo, donde permaneció durante seis días a una temperatura de 26 °C y en completa oscuridad; para después ser sometido a estrés térmico que consistió de dos horas a 5 °C y una hora a 26 °C (Ortíz & Camargo, 2005) para provocar la liberación de oosporas, las cuales se contaron mediante un hematocitómetro de Neubauer y luego se preparó el inóculo a una de concentración de 300,000 oosporas mL⁻¹.

5.2.4.1.2 Inoculación en campo

Para corroborar la resistencia del CM-334 a *P. capsici*, de acuerdo con la guía UPOV 2006, 2015 y 2018 para *Capsicum* L., se inocularon 300,000 oosporas en el tallo de las plántulas en la fase del primer botón floral que ocurrió 40 días después del trasplante.

Se inocularon 22 plantas del CM-334 y cuatro del híbrido 'Dali' de chile manzano, para lo cual se realizó una herida en la corteza del tallo, debajo del punto de la primera ramificación y en la herida se colocó el inóculo con las oosporas de *P. capsici*.

5.2.4.1.3 Evaluación de síntomas

Para detectar síntomas asociados a la marchitez del chile causados por *P. capsici*, de acuerdo con la guía UPOV 2006, 2015 y 2018 para *Capsicum* L. se deben realizar evaluaciones visuales a los 7, 14 y 21 días después de la inoculación.

5.2.4.2 Fase II: Caracterización morfológica del CM-334

A las 22 plantas del CM-334 con resistencia a *P. capsici* se les evaluaron 49 caracteres morfológicos (38 cualitativos y 11 cuantitativos) de acuerdo con la guía UPOV (2006, 2015 y 2018) para *Capsicum* L. Las observaciones y mediciones de los caracteres de tallo y planta se efectuaron en cada una de las 22 plantas, en tanto que para los de hoja, pedúnculo y fruto, flor y cáliz se obtuvieron de 10 hojas, 10 frutos y 10 flores, respectivamente, de cada una de las 22 plantas evaluadas. El inicio de la floración se registró cuando al menos 50 % de las plantas presentaron la primera flor en el segundo nudo floral; y la madurez de fruto se consideró cuando se ocurrió el primer cambio de color en frutos de al menos el 50 % de las plantas estudiadas.

Los resultados de las características cualitativas se presentan con fotografías y de manera descriptiva de acuerdo con las escalas de la guía UPOV (2006, 2015 y 2018) para *Capsicum* L. En tanto que las cuantitativas fueron los valores promedio de las 22 plantas.

Adicional a la descripción de las 49 características morfológicas mencionadas por la guía UPOV para *Capsicum* L., en el presente estudio también se determinó el tamaño radical del CM-334 con el propósito de conocer sus datos del peso fresco, volumen y longitud de raíz en promedio de las 22 plantas estudiadas. Para ello, se extrajeron las raíces de las macetas y se lavaron con abundante agua, se pesaron en una balanza con sensibilidad de 0.1 g (Ohaus®, México), el volumen de raíz se midió por desplazamiento de agua en un recipiente de 10 L graduado en mL y la longitud se obtuvo con cinta métrica (graduada en mm) del cuello de la plántula al ápice de la raíz principal.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Fase I. Resistencia a *P. capsici*

A los de siete días de la inoculación con *P. capsici* todas las plántulas del híbrido 'Dali' de chile manzano inoculadas con el oomiceto murieron. Las plantas

presentaron pérdida de turgencia en el área foliar, lesiones color marrón en tejidos de hojas y cuello del tallo. Por el contrario, ninguna planta del chile serrano criollo de Morelos (CM-334) presentó síntomas ocasionados por *P. capsici* a los 7, 14 y 21 días después de la inoculación con el patógeno, y así demostró su resistencia al oomiceto como reportaron Sarath et al. (2011). Por ello es que este criollo es una alternativa viable y sustentable como portainjerto de híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P).

5.3.2 Fase II. Caracterización morfológica

En los Cuadros 11 y 12 se presentan las 49 características morfológicas descritas para el CM-334, de acuerdo con la guía UPOV 2006, 2015 y 2018 para *Capsicum* L. Los presentes resultados indican que las semillas de este chile emergieron a los 20 días y las plántulas presentaron pigmentación antocianica del hipocótilo, la cual se identifica por la coloración púrpura.

Este cultivo es una planta anual con altura promedio de 116 cm, de porte erecto y 25 cm de longitud de tallo. Los nudos del tallo presentan pigmentación antocianica fuerte con pilosidad en el 91 % de las plantas. Las hojas son de color verde claro con poco brillo, forma lanceolada con longitud corta (7.05 cm) y anchura de limbo estrecha (2.9 cm).

Las flores en su mayoría son de color blanco con líneas púrpuras, con cinco o seis pétalos, con 5 a 6 anteras y estilo color púrpura.

Los frutos son de color púrpura o verde antes de la madurez y de color rojo brillante a la madurez. Su forma es triangular con 4.4 cm de longitud y 1.5 cm de anchura. Los frutos en estado maduro pesan en promedio de 4.2 g, con dos lóculos y espesor de la pulpa muy delgado.

Las semillas son de color amarillo claro, de aproximadamente 3 mm de diámetro y con 38 semillas por fruto.

Cuadro 11. Características cualitativas del CM-334.

Plántula: **Presenta** pigmentación antociánica del hipocótilo



Planta: Porte **erecto**



Planta: **Ausencia** de entrenudos acortados (en la parte superior)

Planta: **Presenta** pigmentación antociánica los nudos



Tallo: Presenta intensidad **muy fuerte** de la pigmentación antociánica de los nudos

Tallo: Con pilosidad **muy fuerte** de los nudos



Hoja: Longitud **corta** del limbo

Hoja: Anchura **estrecha** del limbo



Hoja: Intensidad del color verde claro

Hoja: Brillo medio



Hoja: Forma **lanceolada**

Hoja: Con **débil** Ondulación del margen

Hoja: Con abullonado **muy débil**

Hoja: Perfil **plano** en sección transversal



Pedúnculo: Con porte **intermedio**



Flor: **Presenta** pigmentación antociánica de la antera



Fruto: Color **púrpura o verde** (antes de la madurez)

Fruto: La intensidad del color **es oscuro** (antes de la madurez)

Fruto: **Presencia** de pigmentación antociánica

Fruto: Porte **colgante**



Fruto: Forma **moderadamente triangular** en sección longitudinal



Fruto: Forma circular en sección transversal (a nivel de la placenta)



Fruto: Sinuosidad **ausente y muy débil** del pericarpio de la parte basal

Fruto: Sinuosidad **ausente o muy débil** del pericarpio excluida la parte basal

Fruto: La textura de la superficie es **lisa o muy ligeramente arrugada**

Fruto: Color **rojo** (a la madurez)

Fruto: Intensidad del color **medio** (a la madurez)

Fruto: Brillo **fuerte**



Fruto: **Ausencia** de cavidad peduncular

Fruto: **Muy poca profundidad** de la cavidad peduncular

Fruto: Forma **muy aguda** del ápice

Fruto: Profundidad **ausente o muy poco profunda** de los surcos interloculares

Fruto: **Predominantemente dos** lóculos

Fruto: Espesor **muy delgado** de la pulpa

Muy poca capsaicina en la placenta

Aspecto envolvente de Cáliz



Floración **tardía**

Madurez **tardía**

Cuadro 12. Características cuantitativas del CM-334

Carácter Cuantitativo	Promedio
Planta	
Longitud del tallo	25.26 cm
Longitud del entrenudo	8.85 cm
Altura	115.64 cm
Hoja	
Longitud	7.05 cm
Anchura	2.88 cm
Pedúnculo	
Longitud	2.21 cm
Espesor	0.38 cm
Fruto	
Longitud	4.39 cm
Diámetro	1.48 cm
Relación longitud/ diámetro	2.97
Peso	4.2 g

Tamaño radical

Dimensiones de las raíces del CM-334: 27.2 cm de longitud, 69.8 mL de volumen y 72.6 g de peso fresco.



5.4 DISCUSIÓN

Se confirmó que la var. Criollo de Morelos CM-334 es resistente a *P. capsici*, tal como antes reportaron Castro-Rocha et al. (2016) y Naegele & Hausbeck (2020), por lo que su empleo como portainjerto de chiles con valor comercial para producir sin esta enfermedad al crecer en suelo infestado con *P. capsici* es una opción viable. Sin embargo, la producción y calidad del fruto pueden modificarse de manera positiva o negativa como consecuencia del injerto (Greathouse et al.,

2021; Jang et al., 2012), lo que a su vez podría ser consecuencia de la incompatibilidad entre los genotipos (King et al., 2010).

En chile manzano Pérez-Grajales et al. (2021) comprobaron la compatibilidad entre híbridos de este tipo de chile y el portainjerto CM-334 a pesar de ser especies diferentes del género *Capsicum*. De acuerdo con la descripción de las 49 características morfológicas (38 cualitativos y 11 cuantitativos) del CM-334 (*Capsicum annuum*) es una planta erecta, anual, con flores totalmente blancas o con líneas púrpuras, hojas pequeñas, frutos pequeños (4.2 g) de color rojo brillante y semillas color amarillo claro, características que son similares a los resultados encontrados por López (2013). A pesar de ser una planta de crecimiento anual y de porte pequeño con relación al chile manzano, su uso como portainjerto es una alternativa viable porque es resistente a *P. capsici* y compatible con *C. pubescens* cuya planta es semierecta, perenne, muy alta, con flores color purpura, hojas grandes, frutos grandes (66 a 102 g) de color amarillo brillante y semillas color negro (Potrero-Andrade, 2016).

5.5 CONCLUSIÓN

Se comprobó la resistencia del CM-334 a *P. capsici* ya que todas las plantas inoculadas con el oomiceto carecieron de síntomas de la enfermedad. También se hizo la caracterización morfológica de 49 características del chile serrano criollo de Morelos mediante la guía UPOV para *Capsicum annuum* L.

5.6 LITERATURA CITADA

Agostini-Costa, T. S., Silva, I. G., Martins, L. A. P., Becke, F. J. R. & Costa, C. S. R. (2017). Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.020>.

Aguilar, R. V. H., Corona, T., López, L. P., Latournerie, M. L., Ramírez, M. M., Villalón, M. H. & Aguilar, J. A. C. (2010). Los Chiles de México y su Distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, ITConkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado De México. 114 p.

Castro-Rocha, A., Shrestha, S., Lyon, B., Grimaldo-Pantoja, G. L., Flores-Marges, J. P., Valero-Galvan, J., Aguirre-Ramírez, M., Osuna-Ávila, P., Gómez-

Dorantes, N., Ávila-Quezada, G., Luna-Ruíz, J. J., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S. P. & Lamour, K. (2016). An initial assessment of genetic diversity for *Phytophthora capsici* in Northern and Central Mexico. *Mycological Progress*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>

Food and Agriculture Data (FaoStat). (2020). Crops and livestock products Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 20 October 2022).

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

Glosier, B. R., Ogundiwin, E. A., Sidhu, G. S., Sischo, D. R. & Prince, J. P. (2008). A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 162, 23-30. doi: 10.1007/s10681-007-9532-1

Granke, L. L., Quesada-Ocampo, L., Lamour, K., & Hausbeck, M. K. (2012). Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Disease*, 96, 1588-1600. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0211-FE>

Greathouse, J., Henning, S. & Soendergaard, M. (2021). Effect of grafting rootstock on the antioxidant capacity and content of heirloom tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) in hydroponic culture. *Plants*, 10 (5), 965. <https://doi.org/10.3390/plants10050965>

Grubben, G. J. H. & Mohamed, E. I. T. I. (2004). “*Capsicum annuum* L.,” in PROTA 2: Vegetables/Legumes, eds Grubben GJH, Denton OA (Wageningen: PROTA) 2:154-163.

Hernández-Verdugo, S. (2014). Importancia del chile silvestre (*Capsicum annuum*) como recurso genético de México. *Mensaje Bioquímico*. 41(XLI):289-304.

Jang, Y., Yang, E., Cho, M., Um, Y., Ko, K. & Chum, C. (2012). Effect of graftin on growth and incidence of *Phytophthora blight* and bacterial wilt of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 53, 9-19. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0074-7>

Kim, S. G & Kim, Y. H. (2009). Histological and cytological changes associated with susceptible and resistant responses of chili pepper root and stem to *Phytophthora capsici* infection. *The Plant Pathology Journal*, 25, 113-120. DOI:10.5423/PPJ.2009.25.2.113

King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X. & Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*, 127, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.001>

- Leal-Fernández, C., Godoy-Hernández, H., Núñez-Colín, C. A., Anaya-López, J. L., Villalobos-Reyes, S. & Castellanos, J. Z. (2013). Morphological response and fruit yield of Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted onto different commercial rootstocks. *Biological Agriculture and Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 29, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2012.746063>
- 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 y P. Tesis de Doctorado. Fitopatología, Colegio de Posgraduados. 66 p.
- Minamiyama, Y., Tsuru, M., Kubo, T. & Hirai, M. (2007). QTL analysis for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper using a high density SSR-based Map. *Breeding Science*, 57, 129-134. DOI:10.1270/jsbbs.57.129
- Mongkolporn, O. & Taylor, P. W. J. (2011). *Capsicum* In: Kole C (ed) Wild crop relatives: genomic and breeding resources. Springer, Berlin/Heidelberg, pp 43–57, https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0_4
- Monroy-Barbosa, A. & Bosland, P. W. (2008). Genetic analysis of *Phytophthora* root rot race specific resistance in Chile pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133, 825-829. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.6.825>
- Naegele, R. P. & Hausbeck, M. K. (2020). *Phytophthora* root rot resistance and its correlation with fruit rot resistance in *Capsicum annuum*. *HortScience*, 55, 1931-1937. <https://doi.org/10.21273/hortsci15362-20>
- Naresh, P. K., Meenu, G. C., Acharya, A. C. & Reddy, L. D. C. (2019). Genetics and molecular markers for resistance to major soil borne pathogens in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Research Journal of Biotechnology*, 14, 101-105.
- Oelke, L. M., Bosland, P. W. & Steiner, R. (2003). Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 213-218. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0213>
- Ortíz, E. & Camargo, L. (2005). Doenças da Nogueira Pecan. En Kimati, H., Amorin, L., Bergamin, A., Camargo, L. & Rezende, J. Manual de Fitopatologia, pp 530-535. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda.
- Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117, 332-346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>
- Pérez, L., Castañon, G., Ramírez, M. & Mayek, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4), 117-128. <https://doi.org/10.19136/era.a2n4.721>

Pintado-López, L. M., Guzmán-Plazola, A. R., Ayala-Escobar, V. & Aguilar-Rincón, H. V. (2017). Grafting on CM-334 controls serrano chili wilting caused by *Phytophthora capsici* and changes phenology but does not affect fruit yield. *Journal of Phytopathology*, 165, 494-499. <https://doi.org/10.1111/jph.12585>

Potrero, A. S. M. (2016). Caracterización morfológica, poscosecha, aptitud combinatoria y heterosis en híbridos de chile manzano. Tesis de Doctorado. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 80 p.

Richins, R. D., Micheletto, S. & O'Connell, M. A. (2010). Gene expression profiles unique to chile (*Capsicum annuum* L.) resistant to *Phytophthora* root rot. *Plant Science*, 178, 192-201.

Sarath, B. B., Pandravada, S. R., Prasada-Rao, R. D. V. J., Anitha, S. K., Chakrabarty, S. K. & Varaprasad, K. S. (2011). Global sources of pepper genetic resources against arthropods, nematodes and pathogens. *Crop Protection*, 30, 389-400. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.12.011>

Tripodi, P. & Kumar, S. (2019). The *Capsicum* Crop: An Introduction. Biochemistry and Cell Biology of Ageing: Part I. *Biomedical Science*, 1, 1-8. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_1

CONCLUSIÓN GENERAL

El tamaño de raíz de los híbridos 'Maruca', 'Jhos' y 'Dali' de chile manzano injertados sobre el portainjerto CM-334 presentaron 50, 53 y 75 % menos de volumen radical, peso fresco y peso seco, respectivamente, con relación a los híbridos no injertados.

Las plantas no injertadas de chile manzano cultivadas en condiciones de suelo infestado presentaron 70 % de incidencia de *P. capsici*, vs. cero incidencia con el uso del portainjerto CM-334.

El rendimiento de fruto del híbrido 'Dali' de chile manzano disminuyó en promedio 2 % cuando se injertaron en el CM-334 e incluso tuvieron 8 % de mayor rendimiento cuando se aplicó *T. harzianum* solo o combinado con auxinas a 1200 ppm cada 20 días.

Las plantas injertadas del híbrido 'Dali' en el CM-334 presentaron 32 % de menor longitud de raíz, 50 % de menor volumen y peso fresco y 76 % de menor peso seco, respecto a las plantas no injertadas. Mientras que con aplicaciones de *T. harzianum* (0.18 g por planta) combinado con AIB (1200 ppm) cada 20 días las plantas presentaron 60 % de mayor volumen de raíz y 56 % de más peso fresco

respecto a las plantas testigo. Por lo que se sugiere aplicaciones dirigidas a la raíz de *T. harzianum* (1.25 kg ha⁻¹) mas AIB (1200 ppm) cada 20 días para incrementar el tamaño de raíces del portainjerto.

La calidad morfológica y fisicoquímica de frutos de plantas del híbrido 'Dali' de chile manzano injertado en el CM-334 no disminuyó respecto de plantas sin injertar, ya que los parámetros volumen, grosor de pericarpio, número de lóculos, número de semillas, peso de semillas, firmeza, color, acidez, sólidos solubles totales, vitamina C, contenido de carotenoides y capsaicinoides totales no fueron afectados significativamente. Y en algunos casos sus valores se incrementaron (grosor de pericarpio, firmeza y contenido de capsaicinoides). El contenido de capsaicinoides se incrementó en 20 % en frutos de plantas injertadas respecto a las no injertadas.

El uso de auxinas (AIB) en plantas injertadas incrementó el contenido de capsaicinoides con 800 ppm cada 30 días, aunque en plantas no injertadas incrementó volumen de fruto con 1200 ppm cada 45 días y capsaicinoides con 1600 ppm.

El injerto de híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens*) en el CM-334 (*Capsicum annuum*), es una alternativa viable y sustentable para los productores de este tipo de chile, ya que la mayoría de ellos cultivan en suelos infestados con *P. capsici*.

LITERATURA CITADA GENERAL

- Aguilar, R. V. H., Corona, T., López, L. P., Latournerie, M. L., Ramírez, M. M., Villalón, M. H. & Aguilar, J. A. C. (2010). Los Chiles de México y su Distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, ITConkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado De México. 114 p.
- Agostini-Costa, T. S., Silva, I. G., Martins, L. A. P., Becke, F. J. R. & Costa, C. S. R. (2017). Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.020>.
- Alcantara, C. J. S., Godoy, J. A., Alcántara, J. D. C. & Sánchez, R. M. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17, 109-129.
- American Spice Trade Association (ASTA) (1985). Official analytical methods of the American Spice Trade Association. 3rd ed. Amer. Spice Trade Assn., Englewood Cliffs, N.J.
- Aneani, F. & Ofori-Frimpong K. (2013). "An analysis of yield gap and some factors of cocoa (*Theobroma cacao*) yields in Ghana." *Sustainable Agriculture Research*, 2 (4), 117. <https://doi.org/10.5539/sar.v2n4p117>.
- AOAC (1990). Official Methods of Analysis. 15 th Ed. AOAC International, MD, EE. UU. 770 pp.
- Aparecido, L., Trevisan, L., & Falleiros, R. (2017). Grafting in Vegetable Crops: A Great Technique for Agriculture. *International Journal of Vegetable Science*, 24(5): 1-18. DOI:10.1080/19315260.2017.1357062
- Arce-Rodriguez, M. L. & Ochoa-Alejo, N. (2019). Biochemistry and molecular biology of capsaicinoid biosynthesis: Recent advances and perspectives. *Plant Cell Reports*, 38, 1017-1030. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02406-0>
- Aristizábal, C. N. & Torres, G. C. (2015). Morphological and molecular characterization of *Phytophthora* in pepper (*Capsicum frutescens* var. Tabasco), Valle del Cauca. *Revista de Ciencias*, 19, 71-89.
- Ayala-Tafoya, F., López-Urquídez, G. A., Parra-Delgado, J. M., Retes-Manjarrez, J. E., López-Orona, C. A. & Yáñez-Juárez, M. G. (2020). Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38, 257-265. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620>
- Babadoost, M., Pavon, C., Islam, S. Z. & Tian, D. (2015). Phytophthora blight (*Phytophthora capsici*) of pepper and its management. *Acta Horticulturae*, 1105, 61-66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1105.9>
- Baenas, N., Beović, M., Llic, N., Moreno, D. A. & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872-885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>

Báez-Pérez, A., González-Molina, L., Solís, E. M., Bautista-Cruz, A. & Bernal-Alarcón, M. A. (2015). Efecto de la aplicación del ácido indol-3-butírico en la producción y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 523-537.

Bal, U. & Altintas, S. (2006). Application of the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (TrichoFlow WP™) to root zone increases yield of bell peppers grown in soil. *Biological Agriculture and Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 24, 149-16. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2006.9755016>

Barbero, G. F., De Aguilar, A. C., Carrera, C., Olachea, Á., Ferreiro-González, M., Martínez, J. & Barroso, C. G. (2016). Evolution of capsaicinoids in piper pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) during fruit ripening. *Chemistry & Biodiversity*, 13, 1068-1075. doi: 10.1002/cbdv.201500503

Barchenger, D. W., Lamour, K. H. & Bosland, W. P. (2018). Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>

Ben-Chaim, A., Borovsky, Y., Falise, M., Mazourek, M., Byoung-Cheorl, K., Paran, I. & Jahn, M. (2006). QTL analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 113, 1481-1490. doi:10.1007/s00122-006-0395-y

Birkás, Z., Balázs, G. & Kókai, Z. (2021). Effect of grafting and growing media on the chosen fruit quality compounds and sensory parameters of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Alimentaria*, 50, 1-12. <https://doi.org/10.1556/066.2020.00016>

Burgos-Valencia, E., Echevarría-Machado, I., Narváez-Zapata, J. A. & Martínez-Estévez, M. (2020). Gene expression related to the capsaicinoids biosynthesis in the *Capsicum* genus: *Molecular and transcriptomic studies*. *Brazilian Journal of Botany*, 43, 201-212. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00575-6>

Calatayud, Á., Penella, C., Penella, V., Marsal, J. I., Bonet, L., Nebauer, S. G., San Bautista, A. & López-Galarza, S. (2015). Respuesta de las plantas injertadas de pimiento en condiciones de estrés hídrico. Influencia del injerto y del patrón. *Agrícola Vergel*, 381, 84-86.

Callaghan, S. E., Williams, A. P., Burgess, T., White, D., Keovorlaja, T., Phitsanoukane, P., Phantavong, S., Vilavong, S., Ireland, K. B., Duckitt, G. S. & Burgess, L. W. (2016). First report of *Phytophthora capsici* in the Lao PDR. *Australasian Plant Pathology Society*, 11, 22. <https://doi.org/10.1007/s13314-016-0210-9>

Castro-Rocha, A., Shrestha, S., Lyon, B., Grimaldo-Pantoja, G. L., Flores-Marges, J. P., Valero-Galvan, J., Aguirre-Ramírez, M., Osuna-Ávila, P., Gómez-Dorantes, N., Ávila-Quezada, G., Luna-Ruiz, J. J., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S. P. & Lamour, K. (2016). An initial assessment of genetic

diversity for *Phytophthora capsici* in Northern and Central Mexico. *Mycological Progress*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>

Chávez-Díaz, I. F. & Zavaleta-Mejía, E. (2019). Molecular communication in the pathosystem *Capsicum* species-*Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37, 251-278. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1901-3>

Chávez-Mendoza, C., Sánchez, E., Carvajal-Millán, E., Muñoz-Márquez, E. & Guevara-Aguilar, A. (2013). Characterization of the nutraceutical quality and antioxidant activity in bell pepper in response to grafting. *Molecules*, 18, 15689-15703. doi:10.3390/molecules181215689

Chirino, V. I., Kandula, D., Littejohn, C., Hill, R., Wlaker, M., Shields, M., Cummings, N., Heittiarachchi, D. & Wratten, S. (2016). Potential of the beneficial fungus *Trichoderma* to enhance ecosystem-services provision in the biofuel grass *Miscanthus x giganteus* in agriculture. *Scientific Reports*, 6, 1-7. doi: 10.1038/srep25109

Colla, G., Roupael, Y., Cardarelli, M., Temperini, O., Rea, E., Salerno, A. & Pierandrei, F. (2008). Influencia del injerto en el rendimiento y calidad de frutos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en condiciones de invernadero. *Acta Horticulturae*, 782, 359-363.

Colla, G., Roupael, Y., Leonardi, C. & Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.004>

Colla, G., Roupael, Y., Rea, E., & Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae*, 135, 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.023>

Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortes-Penagos, C. & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 149, 1579-1592. www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.108.130369

Devi, P., Tymon, L., Keinath, A. & Miles, C. (2021). Progress in grafting watermelon to manage *Verticillium* wilt. *Plant Pathology*, 70, 767-777. <https://doi.org/10.1111/ppa.13344>

Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Leyva-Mir, S. G., Ayvar-Serna, S., Michel-Aceves, A. C. & Alvarado-Gómez, O. G. (2015). Morphological and molecular identification of *Phytophthora capsici* L. in pipiana pumpkin and its greenhouse management. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21, 157-168. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.02.007>

Doñas, U. F., Jiménez, M. D. M. L., Góngora, A. J. C., Pérez, D. M., Verde, D. F. & Camacho, F. (2014). Influence of three rootstocks on yield and commercial quality of “italian sweet” pepper. *Science and Agrotechnology*, 38 538-554. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000600002>

- Du, M., Spalding, E. P. & Gray, W. M. (2020). Rapid auxin-mediated cell expansion. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 379-402. doi:10.1146/annurev-arplant-073019-025907
- Eldeen, I., Effendy, M. & Tengku-Muhammad, T. (2016). Ethnobotany: challenges and future perspectives. *Research Journal of Medicinal Plants*, 10, 382-387. <https://doi.org/10.3923/rjmp.2016.450.456>
- Espinosa-Torres, L. E. & Ramírez-Abarca, O. (2016). Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (2), 325-335. doi: 20.500.11799/54950
- Espinosa-Torres, L. E. & Villa-Galindo, A. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Revista Extensión Campo*, 7, 8-12.
- Estrada-Johnson, E., Csukasi, F., Pizarro, C. M., Vallarino, J. G., Kiryakova, Y., Vioque, A., Brumos, J., Medina-Escobar, N., Botella, M. A., Alonso, J. M., Fernie, A. R., Sánchez-Sevilla, J. F., Osorio, S. & Valpuesta, V. (2017). Transcriptomic Analysis in Strawberry Fruits Reveals Active Auxin Biosynthesis and Signaling in the Ripe Receptacle. *Frontiers in Plant Science*, 8, 889. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00889>
- Fattori, V., Hohmann, M., Rossaneis, A., Pinho-Ribeiro, F. & Verri, W. A. (2016). Capsaicin: Current understanding of its mechanisms and therapy of pain and other pre-clinical and clinical uses. *Molecules*, 21, 811-844. <https://doi.org/10.3390/molecules21070844>
- Flores, F. B., Sánchez-Bel, P., Estañ, M. T., Martínez-Rodríguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, F. J., García-Abellán, J. O., Egea, I. M., Fernández-García, N., Romojaro, F. & Bolarín, C. M. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125, 211-217. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026>
- Food and Agriculture Data (FaoStat). (2020). Crops and livestock products Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 20 October 2022).
- Gallegos-Morales, G., Espinoza-Ahumada, C. A., Figueroa-Reyes, J., Méndez-Aguilar, R., Rodríguez-Guerra, R., Salas-Gómez, A. L. & Peña-Ramos, F. M. (2022). Compatibilidad de especies de *Trichoderma* en la producción y biocontrol de marchitez del chile. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9, 1-7. <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3066>
- Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M. & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra latinoamericana*, 38, 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- García-Rodríguez, M. R., Chiquito-Almanza, E., Loeza-Lara, P. D., Godoy-Hernández, H., Villordo-Pineda, E., Pons-Hernández, J. L., González-Chavira, M.

- M. & Anaya-López, J. L. (2010). Producción de chile ancho injertado sobre Criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*, 44, 701-709.
- Gisbert, C., Sanchez-Torres, P., Raigón, M. D. & Nuez, F. (2010). *Phytophthora capsici* resistance evaluation in pepper hybrids. Agronomic performance and fruit quality of pepper grafted plants. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8, 116-121. <https://doi.org/10.1234/4.2010.1465>.
- Glosier, B. R., Ogundiwin, E. A., Sidhu, G. S., Sischo, D. R. & Prince, J. P. (2008). A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 162, 23-30. doi: 10.1007/s10681-007-9532-1
- Goldschmidt, E. E. (2014). Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers in Plant Science*, 5, 727-732. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>
- Govindaraj, M., Vetriventhan, M., & Srinivasan M. (2015). Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genetics Research International*, 2015, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/431487>
- Granke, L. L., Quesada-Ocampo, L., Lamour, K., & Hausbeck, M. K. (2012). Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Disease*, 96, 1588-1600. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0211-FE>
- Greathouse, J., Henning, S. & Soendergaard, M. (2021). Effect of grafting rootstock on the antioxidant capacity and content of heirloom tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) in hydroponic culture. *Plants*, 10 (5), 965. <https://doi.org/10.3390/plants10050965>
- Grubben, G. J. H. & Mohamed, E. I. T. I. (2004). "*Capsicum annuum* L.," in PROTA 2: Vegetables/Legumes, eds Grubben GJH, Denton OA (Wageningen: PROTA) 2:154-163.
- Guillén-Cruz, R., Hernández-Castillo, F. D., Gallegos-Morales, G., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar-González, C. N., Padrón-Corral, E. & Reyes-Valdés, M. H. (2006). *Bacillus* spp. como biocontrol en un suelo infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24, 105-114.
- Hernández-Verdugo, S. (2014). Importancia del chile silvestre (*Capsicum annuum*) como recurso genético de México. *Mensaje Bioquímico*. 41(XLI):289-304.
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R. G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S. & Osuna-Enciso, T. (2012). Caracterización y variación ecográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *Glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, 33, 175-191.

- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87, 4-10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>
- Ita, V. M. A., Fátima, H. J., Lezama, P. C., Simón, B. A., Cortés, L. G. & Romero-Arenas, O. (2021). Bio-controller effect of four native strains of *Trichoderma* spp., on *Phytophthora capsici* in manzano chili (*Capsicum pubescens*) in Puebla-Mexico. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15, 998-1005. <https://doi.org/10.22207/jpam.15.2.58>
- Jang, Y., Yang, E., Cho, M., Um, Y., Ko, K. & Chum, C. (2012). Effect of graftin on growth and incidence of *Phytophthora blight* and bacterial wilt of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 53, 9-19. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0074-7>
- Jiang, H., Zhang, L., Zhang, J. Z., Ojaghian, M. R., & Hyde, K. D. (2016). Antagonistic interaction between *Trichoderma asperellum* and *Phytophthora capsici* in vitro. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)*, 17, 271-281. <http://dx.doi.org/10.1631/jzus.B1500243>
- Jiménez-Camargo, A., Valadez-Moctezuma, E. & Lozoya-Saldaña, H. (2018). Antagonismo de *penicillium* sp. contra *Phytophthora capsici* (Leonian). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41, 137-148. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.137-148>
- Jordán, M. & Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. *Fisiología vegetal* (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile Pp:15:1-28.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1863-1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>
- Khan, M.Y., Haque, M. M., Molla, A. H., Rahman, M. M. & Alam, M. Z. (2017). Antioxidant compounds and minerals in tomatoes by *Trichoderma*-enriched biofertilizer and their relationship with the soil environments. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 691-703. [https://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61350-3](https://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61350-3)
- Kim, S. G & Kim, Y. H. (2009). Histological and cytological changes associated with susceptible and resistant responses of chili pepper root and stem to *Phytophthora capsici* infection. *The Plant Pathology Journal*, 25, 113-120. DOI:10.5423/PPJ.2009.25.2.113
- King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X. & Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*, 127, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.001>
- Kumar, P., Rouphael, Y., Cardarelli, M. & Colla, G. (2017). Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1130. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01130>
- Kumari, S., Bharat, N. K. & Chauhan, D. S. (2019). Efficacy of PGPR and *Trichoderma* on growth and yield parameters of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Development Sciences*, 11, 493-499.

- Kurt, H. L., Stam, R., Jupe, J. & Huitema, E. (2012). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13, 329-337. DOI: 10.1111/J.1364-3703.2011.00754.X
- Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Colla, G., Zrenner, R. & Schwarz, D. (2017). Injerto de hortalizas: las implicaciones de un imperativo agronómico creciente para la calidad de la fruta vegetal y el valor nutritivo. *Ciencia de las Plantas*, 8, 741.
- Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., Roupael, Y., Siomos, A. S. & Gerasopoulos, D. (2016). Configuration of watermelon fruit quality in response to rootstock-mediated harvest maturity and postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 2400-2409. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7356>
- Lamour, K. H. & Kamoun, S. (2009). Oomycete genetics and genomics: Diversity, interactions, and research tools. *Hoboken, Nueva Jersey: Wiley-Blackwell Publishing*. doi: 10.1002/9780470475898
- Lamour, K. H., Stam, R., Jupe, J. & Huitema, E. (2012). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13, 329-337. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00754.x>
- Larios, L. E. J., Valdovinos, N. J. J. W., Chan, C.W., García, L. F. A., Manzo, S. G. & Buenrostro, N. M. T. (2019). Biocontrol de Damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de *Capsicum chinense* (Jacq) con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 471-483. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.332>
- La Spada, F., Stracquadanio, C., Riolo, M., Pane, A. & Cacciola, S. O. (2020). *Trichoderma* counteracts the challenge of *Phytophthora nicotianae* infections on tomato by modulating plant defense mechanisms and the expression of crinkler, necrosis-inducing *Phytophthora* Protein 1, and cellulose-binding elicitor lectin pathogenic effectors. *Frontiers in Plant Science*, 11 (583539), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.583539>
- Leal-Fernandez, C., Godoy-Hernandez, H., Nortetúñez-colln, C. A., Anaya-Lopez, J. L., Villalobos-Reyes, S. & Castellanos, J. Z. (2013). Respuesta morfológica y rendimiento de fruto de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) injertadas sobre diferentes portainjertos comerciales. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 29, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2012.746063>
- Leonian, L. H. (1922). Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici*. *Phytopathology*, 12, 401-408.
- Lichtenhaler, K. H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomenbranes. *Plant Cell Membranes*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- López-Elías, J., Salas, M. C. & Urrestarazu, M. (2005) Application of indole-3-butyric acid by fertigation on pepper plants in soilless culture grown in a greenhouse. *Acta Horticulturae*, 697, 475-479.

- López-López, Á., Espinoza-Santana, S., Ceceña-Duran, C., Ruiz-Alvarado, C., Núñez-Ramírez, F. & Araiza-Zúñiga, D. (2015). Biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre compuestos antioxidantes del fruto del cultivo del chile (*Capsicum* spp.). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 17, 50-57.
- López, L. P., Rodríguez, H. R. & Bravo, M. E. (2016). Impacto económico del chile huacle (*Capsicum annuum* L) en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios* 38,317-328.
- 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 y P. Tesis de Doctorado. Fitopatología, Colegio de Posgraduados. 66 p.
- López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, C. & Fernández, J. A. (2013). Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 149, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.034>
- Louws, F. J., Rivard, C. L. & Kubota, C. (2010). Injerto de vegetación fructíferables para manejar patógenos del suelo, patógenos foliares, artrópodos y malezas. *Ciencia Horticultura*, 127, 127-146.
- Majid, M. U., Awan, M. F., Fatima, K., Tahir, M. S., Ali, Q., Rashind, B., Rao, A. Q., Nasir, I. A. & Husnain, T. (2016). *Phytophthora capsici* on chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) and its management through genetic and bio-control: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103, 419-430. DOI 10.13080/z-a.2016.103.054
- Majid, M. U., Awan, M. F., Fatima, K., Tahir, M. S., Ali, Q., Rashind, B., Rao, A. Q., Nasir, I. A. & Husnain, T. (2017). Genetic resources of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) against *Phytophthora capsici* and their induction through various biotic and abiotic factors. *Cytology and Genetics*, 51, 296-304. <https://doi.org/10.3103/S009545271704003X>
- Mallard, S., Cantet, M., Massire, A., Bachellez, A., Ewert, S. & Lefebvre, V. (2013). A key QTL cluster is conserved among accessions and exhibits broad-spectrum resistance to *Phytophthora capsici*: a valuable locus for pepper breeding. *Molecular Breeding*, 32, 349-364. doi: 10.1007/s11032-013-9875-3
- Mansfeld, B. N., Colle, M., Kang, Y., Jones, A. D. & Grumet, R. (2017). Los análisis transcriptómicos y metabolómicos de la cáscara de la fruta del pepino revelan un aumento en el desarrollo de los glucósidos terpenoides asociado con la resistencia relacionada con la edad a *Phytophthora capsici*. *Horticultor*, 4, 17022. doi: 10.1038/hortres. 2017.22
- Martin, F. N., Abad, Z. G., Balci, Y. & Ivors, K. (2012). Identification and detection of *Phytophthora*: reviewing our progress, identifying our needs. *Plant Disease*, 96, 1080-1103. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-12-11-1036-fe>
- Martínez-Rodríguez, M. M., Estañ, M. T., Moyano, E., García-Abellán, J. O., Flores, F. B., Campos, J. F., Al-Azzawi, M. J., Flowers, T. J. & Bolarín, M. C. (2008). The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an

“excluder” genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany*, 63, 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.007>

Medina, H., González-Cruz, L., Olan-Villegas, R., Acosta-García, G., Flores-Martínez, N. & Bernardino-Nicanor, A. (2022). Modification of the nutraceutical characteristics of jalapeño chili peppers in response to hormones. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21, 2719. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2719>

Miguel, A. & Cebolla, V. (2005). Unión del injerto. *Terralia*, 11 (53), 50-60.

Minamiyama, Y., Tsuro, M., Kubo, T. & Hirai, M. (2007). QTL analysis for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper using a high density SSR-based Map. *Breeding Science*, 57, 129-134. DOI:10.1270/jsbbs.57.129

Minolta, K. (2007). Precise Color Communication. Color control from perception to instrumentation. Japan, Konica Minolta Sensing, Inc.

Moreira-Morrillo, A. A., Monteros-Altamirano, A., Reis, A. & Garcés-Fiallos, F. R. (2022). *Phytophthora capsici* on *Capsicum* Plants: A Destructive pathogen in chili and pepper Crops. *Capsicum - New Perspectives*, 1-16 pp. Doi.10.5772/intechopen.104726.

Mongkolporn, O. & Taylor, P. W. J. (2011). *Capsicum* In: Kole C (ed) Wild crop relatives: genomic and breeding resources. Springer, Berlin/Heidelberg, pp 43–57, https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0_4

Monroy-Barbosa, A. & Bosland, P. W. (2008). Genetic analysis of *Phytophthora* root rot race specific resistance in Chile pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133, 825-829. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.6.825>

Mousumi, D. M., Haridas, M. & Sabu, A. (2018). Biological control of black pepper and ginger pathogens, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici*, using *Trichoderma* spp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.021>

Munguía, R. A. G. & Martínez, T. M. (2018). Las auxinas: síntesis, transporte y señalización. *Biológicas*, 20, 1-7.

Naegele, R. P. & Hausbeck, M. K. (2020). *Phytophthora* root rot resistance and its correlation with fruit rot resistance in *Capsicum annuum*. *HortScience*, 55, 1931-1937. <https://doi.org/10.21273/hortsci15362-20>

Naegele, R. P., Mitchell, J. & Hausbeck, M. K. (2016). Genetic diversity, population structure, and heritability of fruit traits in *Capsicum annuum*. *PLOS ONE* 11(7), e0156969. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0156969>

Naresh, P. K., Meenu, G. C., Acharya, A. C. & Reddy, L. D. C. (2019). Genetics and molecular markers for resistance to major soil borne pathogens in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Research Journal of Biotechnology*, 14, 101-105.

Naves, E. R., De Ávila-Silva, L., Sulpice, R., Araújo, W. L., Nunes-Nesi, A., Peres, L. E. P. & Zsögön, A. (2019). Capsaicinoids: Pungency beyond *Capsicum*.

Trends in Plant Science, 24, 109-120.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.001>

Oelke, L. M., Bosland, P. W. & Steiner, R. (2003). Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 213-218.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0213>

Ortíz, E. & Camargo, L. (2005). Doenças da Nogueira Pecan. En Kimati, H., Amorin, L., Bergamin, A., Camargo, L. & Rezende, J. Manual de Fitopatologia, pp 530-535. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda.

Patowary, P., Pathak, M. P., Zaman, K., Raju, P. S. & Chattopadhyay, P. (2017). Research progress of capsaicin responses to various pharmacological challenges. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 96, 1501-1512.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.11.124>

Pattison, R. J., Csukasi, F. & Catalá, C. (2014). Mechanisms regulating auxin action during fruit development. *Physiologia Plantarum*, 151, 62-72.
<https://doi.org/10.1111/ppl.12142>

Penella, C., Nebauer, S. G., López-Galarza, S., Quiñones, A., San Bautista, A. & Calatayud, A. (2017). Grafting pepper onto tolerant rootstocks: An environmental-friendly technique overcome water and salt stress. *Scientia Horticulturae*, 226, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.020>

Pérez-Jiménez, M., Pazos-Navarro, M., López-Marín, J., Gálvez, A., Varó, P. & Amor, F. M. (2015). Foliar application of plant growth regulators changes the nutrient composition of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 194, 188-193. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.002>

Pérez, L., Castañon, G., Ramírez, M. & Mayek, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4), 117-128.
<https://doi.org/10.19136/era.a2n4.721>

Pérez-Grajales, M., Martínez-Damián, M. T., Oscar, C. A., Potrero-Andrade, S. M., Peña-Lomelí, A., González-Hernández, V. A. & Villegas-Monter, A. (2019). Content of capsaicinoids and physicochemical characteristics of Manzano hot pepper grown in greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47, 119-127, doi:10.15835/nbha47111241.

Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117, 332-346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>

Pérez, G. M. & Castro, R. B. (2008). El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 128 p.

Pérez-Grajales, M., González-Hernández, V. A., Peña-Lomelí, A. & Sahagún-Castellanos, J. (2009). Combining ability and heterosis for fruit yield and quality

in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15, 103-109.

Pérez, L., Castañón, G., Ramírez, M. & Mayek, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4), 117-128. <https://doi.org/10.19136/era.a2n4.721>

Pérez-López, A. J., López-Nicolás, J. M., Nuñez-Delicado, E., Del Amor, F. M., Carbonell-Barrachina, A. A. (2007). Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and mineral contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of agricultural and food Chemistry*, 55, 8158-8164, doi: 10.1021/jf071534n

Pintado-López, L. M., Guzmán-Plazola, A. R., Ayala-Escobar, V. & Aguilar-Rincón, H. V. (2017). Grafting on CM-334 controls serrano chili wilting caused by *Phytophthora capsici* and changes phenology but does not affect fruit yield. *Journal of Phytopathology*, 165, 494-499. <https://doi.org/10.1111/jph.12585>

Rasool, A., Mansoor, S., Bhat, K. M., Hassan, G. I., Baba, T. R., Alyemeni, M. N., Alsahli, A. A., El-Serehy, H. A., Paray, B. A. & Ahmad, P. (2020). Mechanisms underlying graft union formation and rootstock scion interaction in horticultural plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 590847. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.590847>

Potrero, A. S. M. (2016). Caracterización morfológica, poscosecha, aptitud combinatoria y heterosis en híbridos de chile manzano. Tesis de Doctorado. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México.80 p.

Richins, R. D., Micheletto, S. & O'Connell, M. A. (2010). Gene expression profiles unique to chile (*Capsicum annum* L.) resistant to *Phytophthora* root rot. *Plant Science*, 178, 192-201.

Rincón, V. H. A., Torres, T. C., López, P. L., Moreno, L. L., Meraz, M. R., Mendoza, H. V., & Castillo, J. A. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI. 114 p.

Romero-Arenas, O., Rivera, A., Amaro, J. L., Damián, M. A., Valencia de Ita, M. A. & Huerta, M. (2017). Biopreparados de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Phytophthora capsici* en el cultivo de tomate de Puebla, México. *Información Técnica Económica Agraria*, 113, 313-324. <http://doi.org/10.12706/itea.2017.019>

Ropokis, A., Ntatsi, G., Kittas, C., Katsoulas, N. & Savvas, D. (2019). Effects of temperature and grafting on yield, nutrient uptake, and water use efficiency of a hydroponic sweet pepper crop. *Agronomy*, 9, 110-135. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020110>

Rouphael, Y, Kyriacou, M. C. & Colla, G. (2018). Vegetables grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2255. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02255>

Salas, M. C., Fernández, M. M. & Urrestarazu, M. (2009). Sweet pepper yield and fruit quality affected by different auxin application methods. *Acta Horticulturae*, 807, 401-406.

Salazar-Badillo, F. B., Sánchez-Rangel, D., Becerra-Flores, A., López-Gómez, M., Nieto, J. F., Mendoza-Mendoza, A. & Jiménez-Bremont, J. F. (2015). *Arabidopsis thaliana* polyamine content is modified by the interaction with different *Trichoderma* species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 95, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.07.003>

Sanam, R. K. & Topno, S. E. (2022). Effect of different plant growth regulators on growth and yield of chilli (*Capsicum annum*). *The Pharma Innovation Journal*, 11, 328-330.

Sánchez, C. E., González, A. T., Flores, M. A. C., Preciado, P. R. & Márquez, C. Q. (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova Scientia*, 7, 227-244.

Sánchez-Sánchez, H., González-Hernández, V. A., Cruz-Pérez, A. B., Pérez-Grajales, M., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Gardeja-Bejar, A. A. & Gómez-Lim, M. A. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*C. pubescens* R. y P.). *Agrociencia*, 44, 655-665.

Sánchez-Torres, P., Raigón, M. D., Gammoudi, N. & Gisbert, C. (2016). Effects of grafting combinations on the nutritional composition of pepper fruit. *Fruits*, 71, 249-256. doi: 10.1051/fruits/2016014

Sanogo, S. & Ji, P. (2012). Integrated management of *Phytophthora capsici* on Solanaceous and Cucurbitaceous crops: Current status, gaps in knowledge, and research needs. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34, 479-492. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.732117>

Sarath, B. B., Pandravada, S. R., Prasada-Rao, R. D. V. J., Anitha, S. K., Chakrabarty, S. K. & Varaprasad, K. S. (2011). Global sources of pepper genetic resources against arthropods, nematodes and pathogens. *Crop Protection*, 30, 389-400. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.12.011>

Shaner, G. & Finney, R. E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67, 1051-1056. <https://doi.org/10.1094/ph yto-67-1051>

Sharma, P. K. & Gothalwal, R. (2017). *Trichoderma*: A potent fungus as biological control agent. Pp:113-125. In: Singh J., Seneviratne G. (eds) agro-environmental sustainability. Springer, Cham. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2_6

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2014). Anuario Estadístico en la Producción Agrícola. Disponible online: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2021). Anuario Estadístico en la Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

- Silva-Rojas, H. V., Fernández-Pavía, S. P., Góngora-Canul, C., Macías-López, B. C. & Ávila-Quezada, G. D. (2009). Distribución espacio temporal de la marchitez del chile (*Capsicum annuum* L.) en Chihuahua e identificación del agente causal *Phytophthora capsici* Leo. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27, 134-147. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61212195006>
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York.
- Soteriou, G. A., Kyriacou, M. C., Siomos, A. S. & Gerasopoulos, D. (2014). Evolution of water-melon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chemistry*, 165, 282-289. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.120
- Soto-Plancarte, A., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, Y. L., Pedraza-Santos, M. E., López-Pérez, L., Díaz-Celaya, M. & Fernández-Pavía, S. P. (2017). Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* spp. enfoque aplicado a la investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1867-1880. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.708>
- Sy, O., Steiner, R. & Bosland, P. W. (2008). Recombinant inbred line differential identifies race-specific resistance to *Phytophthora* root rot in *Capsicum annuum*. *Phytopathology*, 98, 867-870. <https://doi.org/10.1094/phyto-98-8-0867>
- Tomah, A. A., Alamer, I. S., Li, B. & Zhang, J. Z. (2020). A new species of *Trichoderma* and gliotoxin role: A new observation in enhancing biocontrol potential of *T. virens* against *Phytophthora capsici* on chili pepper. *Biological Control*, 145, 104261. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104261>
- Tripodi, P. & Kumar, S. (2019). The *Capsicum* Crop: An Introduction. Biochemistry and Cell Biology of Ageing: Part I. *Biomedical Science*, 1, 1-8. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_1
- Tucci, M., Ruocco, M., Masi, L., Palma, M. & Lorito, M. (2011). The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology*, 12, 341-354. <https://dx.doi.org/10.1111/j.13643703.2010.00674.x>
- Unión internacional para la protección de las obtenciones vegetales (UPOV). (2006, 2015 y 2018). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad: ají, chile, pimienta. Ginebra Suiza. 47 p.
- Vallejo, F. A. & Estrada, E. I. (2002). Mejoramiento genético de plantas. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 401 p.
- Vargas-Hoyos, H. A. & Gilchrist-Ramelli, E. (2015). Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de *Fusarium* aisladas de cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista Mexicana de Micología*, 42, 9-16.
- Vega-Alfaro, A., Bethke, P. C. & Nienhuis, J. (2021). Effects of interspecific grafting between *Capsicum* species on scion fruit quality

- characteristics. *HortScience*, 56, 1347-1353.
<https://doi.org/10.21273/hortsci15948-21>
- Yetisir, H., Sari, N. & Yucel, S. (2003). Rootstock resistance to *Fusarium* wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. *Phytoparasitica*, 31, 163-169. DOI:10.1007/BF02980786
- Walsh, B. M. & Hott, S. B. (2001). Phylogenetic relationships of *Capsicum* (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: The chloroplast atpB-rbcL spacer region and nuclear waxy introns. *International Journal of Plant Sciences*, 162, 1409-1418. DOI:10.1086/323273
- Wang, D. C., Ding, C. Q., Feng, Z., Ji, S. Y. & Cui, D. (2021). Recent advances in portable devices for fruit firmness assessment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1960477>
- Woodward, A. W. & Bartel, B. (2005) Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany*, 95, 707-735. DOI: 10.1093/aob/mci083
- Zhao, X., Guo, Y., Huber, D. J. & Lee, J. (2011). Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-ethylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Scientia Horticulturae*, 130, 581-587. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.010>