



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

LÍNEA DE CHILE 35-3 (*Capsicum annuum* L.)  
RESISTENTE A PATÓGENOS DE LA RAÍZ  
UTILIZADA COMO PORTA-INJERTO DE  
VARIETADES COMERCIALES

ANA LUCIA GARCÍA MARTÍNEZ

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “**LÍNEA DE CHILE 35-3 (*Capsicum annuum* L.) RESISTENTE A PATÓGENOS DE LA RAÍZ UTILIZADA COMO PORTA-INJERTO DE VARIEDADES COMERCIALES**” realizada por la estudiante: “**Ana Lucía García Martínez**” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. VÍCTOR HEBER AGUILAR RINCÓN

ASESOR

DR. TARSICIO CORONA TORRES

ASESOR

DR. NICACIO CRUZ HUERTA

ASESOR

M.C. MOISÉS RAMÍREZ MERAZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, julio de 2022

# LÍNEA DE CHILE 35-3 (*Capsicum annuum* L.) RESISTENTE A PATÓGENOS DE LA RAÍZ UTILIZADA COMO PORTA-INJERTO DE VARIEDADES COMERCIALES

Ana Lucía García Martínez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es de importancia económica a nivel mundial, sin embargo, su producción se ve afectada principalmente por fitopatógenos de la raíz. Una alternativa de manejo sostenible es la resistencia genética que se puede encontrar, entre otros, en los materiales de chile nativos, y que, además de poder aprovecharse en un programa de mejoramiento, también puede ser utilizada mediante porta-injertos de variedades susceptibles. El objetivo de esta investigación fue, determinar el potencial de la línea del chile tipo Huacle 35-3 resistente a *Phytophthora capsici* y a nematodos agalladores como porta-injerto de las variedades AM-VR, Don Luis, California Wonder y el híbrido Coloso. Se injertó cada variedad sobre la línea 35-3 y se determinó, el efecto del porta-injerto en la compatibilidad, desarrollo vegetativo, rendimiento, características de frutos, índice estomático, densidad estomática, características de los estomas y parámetros fotosintéticos (fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración) en cada tipo de chile. Los resultados de compatibilidad mostraron un 76%, 50%, 9% y 19% de amarre para AM-VR, Don Luis, Coloso y California Wonder respectivamente. En el caso del desarrollo vegetal y el rendimiento no hubo diferencias significativas entre plantas injertadas y no injertadas, sin embargo, en las características “ancho de fruto” y “grosor de pericarpio” de plantas injertadas, únicamente en la variedad California Wonder tuvo valores significativamente menores. Por otro lado, el porta-injerto no provocó ningún efecto negativo sobre el índice estomático, la densidad estomática y características de los estomas, lo cual explica que en los parámetros fotosintéticos tampoco presentaron cambios significativos. Se concluye que la línea de chile tipo Huacle 35-3, a excepción de California Wonder, no causó ningún efecto negativo en los chiles injertados AM-VR, Don Luis y Coloso. Por esta razón podemos señalar que la línea 35-3 tiene potencial para ser usada como porta-injertos para el manejo de los fitopatógenos de la raíz en el cultivo de chile.

**Palabras clave:** resistencia genética, *Phytophthora capsici*, injertos, nematodos agalladores, fotosíntesis.

# TÍT THE CHILI PEPPER LINE 35-3 (*Capsicum annuum* L.) RESISTANT TO ROOT PATHOGENS USED AS ROOTSTOCK COMMERCIAL VARIETIES

Ana Lucía García Martínez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

## ABSTRACT

The cultivation of chili (*Capsicum annuum* L.) is of economic importance worldwide, however, its production is affected mainly by root phytopathogens. An alternative for sustainable management is the genetic resistance that can be found, among others, in native pepper materials, and that, in addition to being used in a breeding program, can also be used through rootstocks of susceptible varieties. The objective of this research was to determine the potential of the Huacle 35-3 chili line resistant to *Phytophthora capsici* and root-knot nematodes as a rootstock of the varieties AM-VR, Don Luis, California Wonder and the Coloso hybrid. Each variety was grafted on line 35-3 and the effect of the rootstock on compatibility, vegetative development, yield, fruit characteristics, stomatal index, stomatal density, stomatal characteristics and photosynthetic parameters (photosynthesis, conductance stomata and transpiration) in each type of chili. Compatibility results showed 76%, 50%, 9% and 19% tie-off for AM-VR, Don Luis, Coloso and California Wonder respectively. In the case of plant development and yield, there were no significant differences between grafted and non-grafted plants, however, in the characteristics "fruit width" and "pericarp thickness" of grafted plants, only the California Wonder variety had significantly higher values. minors. On the other hand, the rootstock did not cause any negative effect on the stomatal index, stomatal density and stomatal characteristics, which explains that the photosynthetic parameters did not show significant changes either. It is concluded that the Huacle 35-3 type pepper line, with the exception of California Wonder, did not cause any negative effect on AM-VR, Don Luis and Coloso grafted peppers. For this reason we can point out that the 35-3 line has the potential to be used as rootstocks for the management of root phytopathogens in pepper crops.

**Keywords:** genetic resistance, *Phytophthora capsici*, grafts, root-knot nematodes, photosynthesis

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, al programa de Genética, Recursos Genéticos y Productividad y en especial al consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACyT) por brindarme los recursos económicos para realizar mis estudios y finalizar el trabajo de investigación.

Al Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón por la paciencia, apoyo y orientación, para la realización de una buena investigación y por ser siempre muy optimista.

Al Dr. Hernán Villar Luna por tenerme paciencia, apoyo y por su disposición en todo momento para concluir satisfactoriamente la presente investigación.

Al Dr. Nicasio cruz Huerta por el apoyo y participación en el desarrollo de esta investigación.

Al M.C. Moisés Ramírez Meraz por su disposición de apoyarme en todo momento y participación para la realización de esta investigación.

Al Dr. Tarsicio Corona Torres por sus comentarios y sugerencias en el desarrollo de la investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Juan y Florencia por ser las mejores personas que he tenido, apoyarme, guiarnos a mis hermanos y a mí, y por el esfuerzo que hicieron para sacarnos adelante.

A mis hermanos Florencia, José Juan y Yolanda por tener siempre su apoyo y ayuda.

A mi novio por ser un gran hombre y apoyarme en todo momento en las buenas y en las malas.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. EFECTO DE LA LÍNEA DE CHILE 35-3, (<i>Capsicum annuum</i> L.) RESISTENTE A PATÓGENOS DE LA RAÍZ UTILIZADA COMO PORTA- INJERTO EN VARIEDADES COMERCIALES.....</b>	<b>4</b>
1.1 RESUMEN.....	4
1.2 ABSTRACT.....	5
1.3 INTRODUCCIÓN.....	6
1.4 OBJETIVO.....	7
1.5 HIPÓTESIS.....	7
1.6 MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
1.6.1 Material vegetal.....	7
1.6.2 Injertado, aclimatación y trasplante.....	7
1.6.3 Variables evaluadas.....	8
1.6.4 Análisis estadístico.....	9
1.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
1.7.1 Compatibilidad.....	9
1.7.2 Días a floración.....	10
1.7.3 Efecto del injerto en el desarrollo vegetal.....	11
1.7.4 Características de frutos y rendimiento.....	13
1.8 CONCLUSIÓN.....	18
<b>CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE ESTOMAS Y PARÁMETROS FOTOSINTÉTICOS DE VARIEDADES DE CHILES COMERCIALES INJERTADAS CON LA LÍNEA 35-3 (<i>Capsicum annuum</i> L.).....</b>	<b>19</b>
2.1 RESUMEN.....	19
2.2 ABSTRACT.....	20
2.3 INTRODUCCIÓN.....	21

2.4 OBJETIVO.....	22
2.5 HIPÓTESIS .....	22
2.6 MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
2.6.1 Material vegetal y procedimiento de injertado .....	22
2.6.2 Trasplante y mantenimiento .....	23
2.6.3 Índice, densidad y características de los estomas .....	23
2.6.4 Parámetros fotosintéticos.....	24
2.6.5 Análisis estadístico .....	24
2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
2.7.1 Índice, densidad y características de los estomas .....	25
2.7.2 Parámetros fotosintéticos.....	28
3.8 CONCLUSIÓN .....	32
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>33</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.1.</b> Plantas sobrevivientes y porcentaje de amarre de las variedades injertadas con la línea 35-3.....	9
<b>Cuadro 1.2.</b> Días a floración de plantas injertadas y no injertadas de cuatro variedades.....	11
<b>Cuadro 2.1.</b> Índice y densidad estomática del haz y el envés de las hojas.....	26
<b>Cuadro 2.2.</b> Tamaño de los estomas en el haz y el envés de las hojas.....	27

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Diámetro de tallo (DT) de la línea 35-3 original, de plantas de cada variedad, injertos y porta-injertos. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).....12
- Figura 1.2.** Altura de plantas injertadas y no injertadas. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). .....13
- Figura 1.3.** Longitud y ancho de fruto y longitud de pedúnculo en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).....14
- Figura 1.4.** Grosor de pericarpio en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) .....15
- Figura 1.5.** Numero de frutos en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).....16
- Figura 1.6.** Rendimiento en fresco y seco en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) .....17
- Figura 2.1** Características anatómicas de los estomas (LDE y ADE) del haz y el envés de las hojas de plantas injertadas y no injertadas, los valores se presentan en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Variedad ancho: **A**<sub>1</sub>= haz del injerto, **A**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **A**<sub>3</sub>= envés del injerto, **A**<sub>4</sub>= envés del no injerto; variedad guajillo: **B**<sub>1</sub>= haz del injerto, **B**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **B**<sub>3</sub>= envés del injerto, **B**<sub>4</sub>= envés del no injerto; variedad serrano: **C**<sub>1</sub>= haz del injerto, **C**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **C**<sub>3</sub>= envés del injerto, **C**<sub>4</sub>= envés del no injerto; variedad pimiento morrón: **D**<sub>1</sub>= haz del injerto, **D**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **D**<sub>3</sub>= envés del injerto, **D**<sub>4</sub>= envés del no injerto. ....28
- Figura 2.2.** Fotosíntesis neta (Fn) en plantas injertadas y no injertadas. Cada barra representa el promedio de cada tratamiento de las cuatro variedades utilizadas, barras de error representan la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).....29

**Figura 2.3.** Conductancia estomática ( $C_e$ ) en plantas injertadas y no injertadas. Cada barra representa el promedio de cada tratamiento de las cuatro variedades utilizadas, barras de error representan la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). .....30

**Figura 2.4.** Efecto de la Transpiración ( $T_r$ ) en plantas injertadas y no injertadas. Cada barra representa el promedio de cada tratamiento de las cuatro variedades utilizadas, barras de error representan la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). .....31

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El chile *Capsicum annuum*, con origen en las montañas de los andes de América del sur, específicamente en las regiones de lo que hoy es Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia (Carrizo-García *et al.*, 2016; Barchenger y Bosland, 2019), es la especie del género *Capsicum* más distribuida en el mundo (Bosland y Votava, 2012; Barchenger y Bosland, 2019). Es uno de los condimentos de mayor importancia económica a nivel mundial, el consumo de sus frutos puede ser en fresco, deshidratado o procesado (Acosta y Chávez, 2003; Aguilar, 2012; FAO, 2021). Además, posee importancia nutraceútica por su alto contenido de vitaminas (A, B, C y E), farmacéutica por los usos terapéuticos que se le dan a los capsaicinoides y en la industria de los alimentos procesados por los carotenos presentes en los frutos (Reyes-Escogido *et al.*, 2011; Bosland y Votava, 2012). La producción mundial de esta hortaliza es de aproximadamente 40.5 millones de toneladas de chiles verdes y secos al año (Tripodi y Kumar, 2019), la cual se centra en países como China, México, Turquía, Indonesia y España. México se sitúa como el segundo productor y el principal exportador de chile verde (Caro-Encalada *et al.*, 2014; FAO, 2021). Este cultivo se ha convertido en una fuente importante de ingresos para los productores de diversos países, con un valor económico de 30,208 millones de dólares para chiles verdes y para chiles secos de 3,800 millones de dólares (Tripodi y Kumar, 2019). En México, los estados con mayor producción son: Sinaloa, Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Sonora; para el año 2020, se alcanzó una producción de chile verde de 3.3 millones de toneladas y 126 mil toneladas de chiles secos (SIAP, 2020). Por el nivel de su producción, los tipos de chile de mayor importancia son: jalapeño, pimienta morrón, poblano, serrano, chilaca y guajillo (SIAP, 2020). No obstante, su importancia, la producción de esta hortaliza se ve afectada por factores abióticos, como los cambios de temperatura, luz, humedad y desbalance de nutrientes; y bióticos que involucran plagas y enfermedades, estas últimas causadas por virus, bacterias, nematodos, hongos y oomicetos (Barchenger y Bosland, 2019; Velázquez-Valle *et al.*, 2007; Chew *et al.*, 2008). El principal problema que afecta al cultivo de chile es la enfermedad conocida como “marchitez del chile” causada por el oomiceto *Phytophthora capsici* Leo., capaz de generar pérdidas de la producción de hasta el 100% (Fernández-Pavía *et al.*, 2013; Jeon *et al.*, 2016; Barchenger *et al.*, 2018), también los nematodos agalladores representan un serio problema ya que estos pueden producir pérdidas de hasta 60% de la producción (Moens *et al.*, 2009). Para el manejo de estas enfermedades se utilizan diferentes estrategias, tales como el control biológico, basado en microorganismos

antagónicos (Rajkumar *et al.*, 2005; Lozano-Alejo *et al.*, 2015); prácticas culturales, basadas en la rotación de cultivos, buen drenaje del agua e incremento de materia orgánica (Rajkumar *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2008; González *et al.*, 2009); control químico, ampliamente utilizado, es el más controversial, por ser de alto riesgo para el medio ambiente, la salud humana y además de generar resistencia en los fitopatógenos (Rajkumar *et al.*, 2005; Louws *et al.*, 2010); también se ha puesto interés en el uso de genotipos resistentes, método que puede resultar en una alternativa amigable con el ambiente y la salud humana (Louws *et al.*, 2010; Guigón y González, 2001). La resistencia genética está presente en variedades nativas, parientes silvestres y especies relacionadas (Khan *et al.*, 2020). Para el caso particular del Chile se han detectado diferentes fuentes de resistencia a *P. capsici* y *Meloidogyne spp.*, de las cuales destaca la variedad resistente “Criollo de Morelos 334” (CM334), catalogada como la fuente de resistencia a *P. capsici* más importante a nivel mundial, (Oelke *et al.*, 2003; Sy *et al.*, 2008; Thabuis *et al.*, 2004; Bonnet *et al.*, 2007). Una nueva fuente de resistencia a *P. capsici*, *M. incognita* y *Nacobbus abberans*, es la línea nativa de Chile tipo Huacle 35-3 (Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017; Chavarro-Carrero *et al.*, 2017). La resistencia genética a enfermedades se puede utilizar en programas de mejoramiento genético, sin embargo, introducir la resistencia a variedades comerciales susceptibles, puede resultar en un proceso que requiere varios años de selección y evaluación, en el caso de la variedad CM334 ha sido difícil por ser una resistencia compleja y de carácter poligénico (Sy *et al.*, 2008; Barchenger *et al.*, 2018). Una alternativa para utilizar la resistencia genética de una forma rápida y eficaz a estas enfermedades del suelo, es mediante el uso de la fuente de resistencia como porta-injertos (Santos y Goto, 2004; Jang *et al.*, 2013), que además de protegerlos de los patógenos, en algunos casos puede proporcionar otras cualidades como tolerancia al estrés abiótico (cambios drásticos de temperatura, deficiencia de nutrientes, suelos salinos, sequía e inundaciones) (Kyriacou *et al.*, 2017; Gaion *et al.*, 2018; Colla *et al.*, 2010). Los porta-injertos con sistemas radiculares fuertes y vigorosos ayudan a mejorar la absorción del agua y los nutrientes (Ozbahce *et al.*, 2021), por tanto, se incrementa la actividad fotosintética y existe una mayor disponibilidad de recursos energéticos (Fullana-Pericàs *et al.*, 2020; Davis *et al.*, 2008, He *et al.*, 2009). Al respecto, se ha demostrado que el injerto puede incrementar la densidad estomática de las hojas, la tasa de asimilación de CO<sup>2</sup>, la transpiración y la conductancia estomática en plantas injertadas, lo que influye en la eficiencia de la fotosíntesis, que favorece al desarrollo de la planta, calidad de los frutos y el rendimiento (Ayala-Arreola *et al.*, 2010; Ayala-Tafoya *et al.*, 2015). Para el manejo de enfermedades de la raíz

del chile, se han realizado injertos utilizando la fuente de resistencia CM334, donde en algunos casos han resultado exitosos, como por ejemplo con variedades de los tipos cayenne, jalapeño y serrano (García-Rodríguez *et al.*, 2010; Osuna-Ávila *et al.*, 2012; Pintado-López *et al.*, 2017), para otros tipos de chiles como ancho y pimiento morrón, se han presentado problemas en compatibilidad, desarrollo de la planta y rendimiento (García-Rodríguez *et al.*, 2010; Martínez-Vera, 2013). En otros estudios realizados por Penella *et al.*, (2014) para identificar plantas tolerantes al estrés hídrico, los resultados indicaron que en la variedad de chile pimiento injertada en CM334 no afectó parámetros de fotosíntesis y conductancia estomática. Por lo anterior y debido que en investigaciones previas la línea de chile tipo Huacle 35-3 mostró resistencia a los fitopatógenos *P. capsici*, *M. incognita* y *N. aberrans* (Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017; Palma-Martínez *et al.*, 2017; Chavarro-Carrero *et al.*, 2017), surgió el interés por conocer el potencial de esta línea como porta-injerto de variedades comerciales de chile, como una alternativa para el manejo de estos fitopatógenos.

**CAPÍTULO I. EFECTO DE LA LÍNEA DE CHILE 35-3 (*Capsicum annuum* L.)  
RESISTENTE A PATÓGENOS DE LA RAÍZ UTILIZADA COMO PORTA-INJERTO  
EN VARIEDADES COMERCIALES.**

**1.1 RESUMEN**

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza de importancia económica a nivel mundial. Este cultivo es afectado por los fitopatógenos *Phytophthora capsici* y nematodos agalladores. Una alternativa de manejo ecológico es la resistencia genética, que se puede aprovechar generando variedades resistentes o también como porta-injerto de variedades comerciales. La línea 35-3, de reciente exploración, es una fuente de resistencia a estos fitopatógenos. El objetivo del presente trabajo fue, evaluar el efecto en compatibilidad, desarrollo vegetativo, rendimiento y características de frutos de la línea de chile 35-3 como porta-injerto en variedades de chiles de importancia comercial. Se realizaron injertos de las variedades comerciales, AM-VR (tipo ancho mulato), Don Luis (tipo guajillo), híbrido Coloso (tipo serrano) y California Wonder (tipo pimiento morrón) sobre la línea 35-3 (tipo huacle). Los resultados de compatibilidad mostraron 76%, 50%, 9% y 19% de amarre para las variedades AM-VR, Don Luis, Coloso y California Wonder respectivamente. En el caso del desarrollo vegetal y el rendimiento no hubo diferencias significativas entre plantas injertadas y no injertadas de las cuatro variedades, sin embargo, en las características “ancho de fruto” y “grosor de pericarpio”, únicamente la variedad California Wonder tuvo significativamente menores valores en plantas injertadas que en no injertadas. Estos resultados demuestran que la línea 35-3 puede ser utilizada como porta-injerto de al menos tres de las variedades utilizadas, como una alternativa viable para el manejo de *P. capsici* y nematodos agalladores.

**Palabras clave:** hortalizas, resistencia genética, *P. capsici*, injertos, nematodos agalladores.

## 1.2 ABSTRACT

Chili (*Capsicum annuum* L.) is a vegetable of economic importance worldwide. This crop is affected by the phytopathogens *Phytophthora capsici* and root-knot nematodes. An ecological management alternative is genetic resistance, which can be used by generating resistant varieties or also as a rootstock for commercial varieties. Line 35-3, recently explored, is a source of resistance to these phytopathogens. The objective of this study was to evaluate the effect on compatibility, vegetative development, yield and fruit characteristics of the 35-3 chili line as a rootstock in commercially important chili varieties. Grafts of the commercial varieties AM-VR (mulato wide type), Don Luis (guajillo type), California Wonder (bell pepper type) and the hybrid Coloso (serrano type) were made on line 35-3 (huacle type). The compatibility results showed 76%, 50%, 9% and 19% set for the AM-VR, Don Luis, Coloso and California Wonder varieties, respectively. In the case of plant development and yield, there were no significant differences between grafted and non-grafted plants of the four varieties, however, in the characteristics "fruit width" and "pericarp thickness", only the California Wonder variety had significantly lower values in grafted plants than in non-grafted ones. These results show that the 35-3 line can be used as a rootstock for at least three of the varieties used, as a viable alternative for the management of *P. capsici* and root-knot nematodes.

**Keywords:** vegetables, genetic resistance, *P. capsici*, grafts, root-knot nematodes.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia, y uno de los principales condimentos a nivel mundial (Aguilar-Rincón *et al.* 2010; Castro *et al.* 2012). Además de ser una fuente importante de vitaminas y colorantes naturales, se ha utilizado en la elaboración de productos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos (Reyes-Escogido *et al.* 2011; Bosland y Votava 2012). Sin embargo, este cultivo es vulnerable a diversos factores abióticos y bióticos que afectan severamente su producción (Barchenger y Bosland 2019). Dentro de estos últimos se encuentran las enfermedades, donde la más importante es la “marchitez del chile”, causada por el oomiceto *Phytophthora capsici* Leo., capaz de generar pérdidas de la producción de hasta el 100% (Sanogo y Ji *et al.*, 2013; Barchenger *et al.*, 2018). Por otra parte, también los nematodos agalladores representan un serio problema ya que estos pueden generar pérdidas de hasta el 60% (Moens *et al.* 2009). En la actualidad se utilizan diversos métodos para el manejo, como son: el control biológico (Rajkumar *et al.* 2005; Lozano-Alejo *et al.* 2015); las prácticas culturales (Lee *et al.* 2008; González *et al.* 2009) y el control químico, este último, aunque es ampliamente utilizado, es el más controversial, por ser de alto riesgo para el medio ambiente, la salud humana y generar resistencia en los fitopatógenos (Rajkumar *et al.* 2005; Louws *et al.* 2010). En la actualidad, para el control de *P. capsici* L., no se cuenta con algún método efectivo, por esta razón, es de gran importancia recurrir a otras alternativas como la resistencia genética (Majid *et al.* 2016; Barchenger *et al.* 2018). Para el caso particular del chile se han detectado diferentes fuentes de resistencia a *P. capsici* y *Meloidogyne spp.*, de las cuales destaca la variedad “Criollo de Morelos 334” (CM334) (Bonnet *et al.* 2007; Sy *et al.* 2008). Una nueva fuente de resistencia a *P. capsici*, *Meloidogyne incognita* y *Nacobbus abberans* que se ha detectado es la línea nativa de chile tipo Huacle 35-3, (Gómez-Rodríguez *et al.* 2017; Chavarro-Carrero *et al.* 2017). Las fuentes de resistencias detectadas pueden ser usadas en un programa de mejoramiento, Sy *et al.* (2008) sin embargo, otra alternativa de aprovechamiento, sobre todo cuando la resistencia es compleja, es como porta-injerto de variedades comerciales susceptibles, García-Rodríguez *et al.* (2010). En el caso de injertos en chile, se han obtenido resultados exitosos, por ejemplo: los chiles tipo chilaca, jalapeño y serrano injertados en CM334 presentaron buena compatibilidad, sin alterar el desarrollo de la planta (Osuna-Ávila *et al.* 2012; Pintado-López *et al.* 2017); en tanto que, otros casos han sido no exitosos, como las variedades tipo ancho y pimiento morrón injertadas en CM334 mostraron incompatibilidad, además de disminuir la altura de planta y el rendimiento (García-

Rodríguez *et al.* 2010; Martínez-Vera 2013), por lo que es importante evaluar las nuevas fuentes de resistencia a patógenos del suelo como porta-injertos de variedades comerciales. Por lo antes mencionado y debido a que los estudios de injertos en Chile son escasos, se plantea el siguiente objetivo.

#### **1.4 OBJETIVO**

Evaluar el efecto en compatibilidad, desarrollo vegetativo, rendimiento y características de frutos de la línea de Chile 35-3 como porta-injerto en variedades de chiles de importancia comercial.

#### **1.5 HIPÓTESIS**

El porta-injerto Línea 35-3, es compatible con las variedades AM-VR, Don Luis, híbrido Coloso y California Wonder y no afecta negativamente el desarrollo de las plantas, calidad de los frutos y el rendimiento.

#### **1.6 MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **1.6.1 Material vegetal**

Se utilizó la línea de Chile 35-3 como porta-injerto. Las variedades comerciales utilizadas como injertos fueron: AM-VR, Don Luis, híbrido Coloso y California Wonder, de los tipos de Chile ancho mulato, guajillo, serrano y pimiento morrón, respectivamente. De cada variedad se sembraron 200 semillas y 900 de la línea resistente 35-3 en charolas de poliuretano, se utilizó turba estéril como sustrato, y se mantuvieron bajo condiciones de invernadero.

##### **1.6.2 Injertado, aclimatación y trasplante**

Cuando la mayoría de las plántulas presentaron un grosor de tallo de 1.8 a 2 mm fueron defoliadas dejando dos hojas verdaderas apicales, inmediatamente después, se realizaron 100 injertos de cada variedad empleando la técnica de empalme (Lee y Oda 2003). Las plántulas del porta-injerto y de las variedades fueron cortadas por encima de las hojas cotiledonales en un ángulo de 45°C con una navaja, y para unirlos se utilizaron clips de silicón de 1.8 a 2 mm. Posteriormente, los injertos se mantuvieron en una cámara de curado que se montó en el interior de un invernadero. La cámara estuvo compuesta de una estructura metálica cubierta con plástico negro en las paredes y en la

parte superior. Las plántulas se mantuvieron en la cámara de curado durante los primeros cinco días después del injerto (ddi) en total oscuridad y una HR del 90 a 100%, para lo cual se colocaron dos humidificadores (Vitallys plus®). Por otro lado, no obstante que se recomiendan temperaturas de 25 a 27 °C (Acosta 2005), las temperaturas en el invernadero fluctuaron entre 20 y 35°C. A partir del sexto día se fue incrementando gradualmente el tiempo de exposición a la luz y disminuyendo el porcentaje de HR. Los injertos fueron colocados a exposición total de luz y se retiraron los humidificadores de la cámara 15 ddi. A los 22 ddi, las plantas sobrevivientes de cada variedad se trasplantaron a bolsas de plástico de 10 kg que contenían suelo estéril. Las plantas se distribuyeron en el invernadero de acuerdo a un diseño completamente al azar con arreglo factorial desbalanceado de dos factores, factor A: cuatro variedades y factor B: plantas no injertadas e injertadas. Cada planta se consideró como una repetición, para las variedades AM-VR y Don Luis, cada tratamiento del factor B consistió de 50 plantas, para el híbrido Coloso el número fue de 9 plantas y para el caso de la variedad California Wonder de 19. Además, se colocaron 50 plantas de la Línea 35-3.

### **1.6.3 Variables evaluadas**

La compatibilidad se determinó de acuerdo al porcentaje de plántulas injertadas que sobrevivieron a los 22 ddi; días a floración (DF), determinado como el número de días desde el trasplante (ddt) a la fecha donde el 50% de las plantas se encontraban en antesis. Para determinar el rendimiento en fresco por planta (RF), en cada variedad se realizaron tres cortes de frutos, y se pesaron utilizando una balanza Scout pro Ohaus®. A excepción del híbrido Coloso, en la cual se cosecharon los frutos cuando presentaron coloración verde esmeralda, en las otras variedades se efectuó cuando presentaron el cambio de color de verde a rojo o marrón. El rendimiento en seco (RS) sólo se midió en las variedades AM-VR y Don Luis ya que sus frutos en seco también son de importancia comercial, para ello, los frutos de los tres cortes se mantuvieron en invernadero por un periodo de 40 días y se pesaron con una balanza Scout pro Ohaus®. Con la suma de frutos de los tres cortes por variedad se determinó el número total de frutos (NF). En cuanto a las variables de fruto: la longitud de fruto (LF) se midió desde la base del cáliz hasta la parte del ápice del fruto, el ancho de fruto (AF) se midió tomando el diámetro de la parte más amplia del fruto, la longitud de pedúnculo (LP) desde la base del cáliz hasta la punta del pedúnculo y para el grosor de pericarpio (GP), se realizó un corte transversal en la parte central del fruto. Las variables de fruto

se midieron en tres frutos seleccionados al azar del segundo corte, para lo cual se utilizó un vernier digital y un flexómetro Truper®. Finalmente, después del último corte de frutos (166 ddi), se midió con un flexómetro la altura de planta (AP) desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, y se midió el diámetro del tallo (DT) tanto de la línea original 35-3 como de plantas no injertadas e injertadas, en este último caso la medición se realizó 1.0 cm por arriba y por abajo del punto de unión con un vernier digital Truper®.

#### 1.6.4 Análisis estadístico

Con el software estadístico R project 4.0.3. (R Core Team, 2020), se analizaron los datos a través de un Análisis de Varianza (anova) y una comparación de medias de Tukey para determinar las diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

### 1.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 1.7.1 Compatibilidad

El porcentaje de amarre del injerto ha sido usado en la determinación de la compatibilidad (Osuna-Ávila et al. 2012). En el Cuadro 1 se puede observar que ninguna de las cuatro variedades injertadas obtuvo el 100% de amarre. Las variedades de los chiles AM-VR y Don Luis presentaron 76% y 50% respectivamente, en tanto que el híbrido Coloso y la variedad California Wonder tuvieron un amarre de 9% y 19%.

**Cuadro 1.1** Plantas sobrevivientes y porcentaje de amarre de las variedades injertadas con la línea 35-3.

Variedad	Total de plantas injertadas	Plantas sobrevivientes 22 ddi	Porcentaje de amarre
AM-VR	100	76	76 %
Don Luis	100	50	50 %
Coloso	100	9	9 %
C. Wonder	100	19	19 %

Estos porcentajes de amarre son más bajos a los obtenidos en otros estudios (Santos y Goto 2004; García-Rodríguez *et al.* 2010; Osuna-Ávila *et al.* 2012), lo cual puede ser resultado de factores tales como las temperaturas que se registraron en la cámara de curado, debido a que las temperaturas recomendadas son de 24 a 27°C (Acosta 2005) y en el presente trabajo fue de 20 a 35°C. Por otro lado, además del efecto de la temperatura en el amarre de los injertos, los más bajos porcentajes que tuvieron Coloso y California Wonder (9 y 19% respectivamente), se debieron también a que, con respecto a las otras variedades, hubo un mayor número de plántulas injertadas de California Wonder que presentaron un mayor grosor de tallo que los tallos del porta-injerto, y en el caso de Coloso, hubo un mayor número de plántulas de diámetro menor, lo que pudo haber provocado una menor coincidencia entre los haces vasculares de los injertos de estas variedades con los del porta-injerto, tal como lo mencionan Shirai y Harimori (2004) y Johkan *et al.* (2008).

### **1.7.2 Días a floración**

En el Cuadro 2 se pueden observar los DF de los materiales injertados y no injertados, que fueron menores a los DF citados en la literatura para estas variedades, a excepción del híbrido Coloso, el cual coincidió con lo reportado por (Ramiro 2008; Ramiro 2001; Ramírez-Meraz *et al.* 2007; Barrantes 2010). Lo anterior se debe a que, el manejo de estas variedades es principalmente en condiciones de campo, donde las floraciones pueden presentarse más tardíamente, además que, en el presente trabajo fue necesario esperar la coincidencia en los diámetros de tallos entre plántulas de las variedades injertadas y el porta-injerto y, de aquí que los injertos se realizaron en plántulas de mayor desarrollo y, por tanto, los DF en este caso fueron menores.

Los DF entre plantas injertadas y no injertadas de cada variedad presentaron pequeñas diferencias, siendo las plantas injertadas las que tuvieron retrasos. En las variedades AM-VR y Coloso, el retraso fue de un día, seguido de California Wonder con cuatro días y finalmente Don Luis con cinco días (Cuadro 2). Estos retrasos en los DF en las plantas injertadas pueden deberse a que se someten a un periodo de estrés que genera cambios en la señalización hormonal alargando el tiempo de cosecha, (Davis *et al.* 2008; Kumar y Kumar 2017). Casos similares reportaron, Pintado-López *et al.* (2017) en chile serrano injertados sobre la variedad CM334. En otras especies de hortalizas también han observado resultados similares, como es el caso en sandía y pepino (Yamasaki *et al.* 1994; Sakata *et al.* 2007).

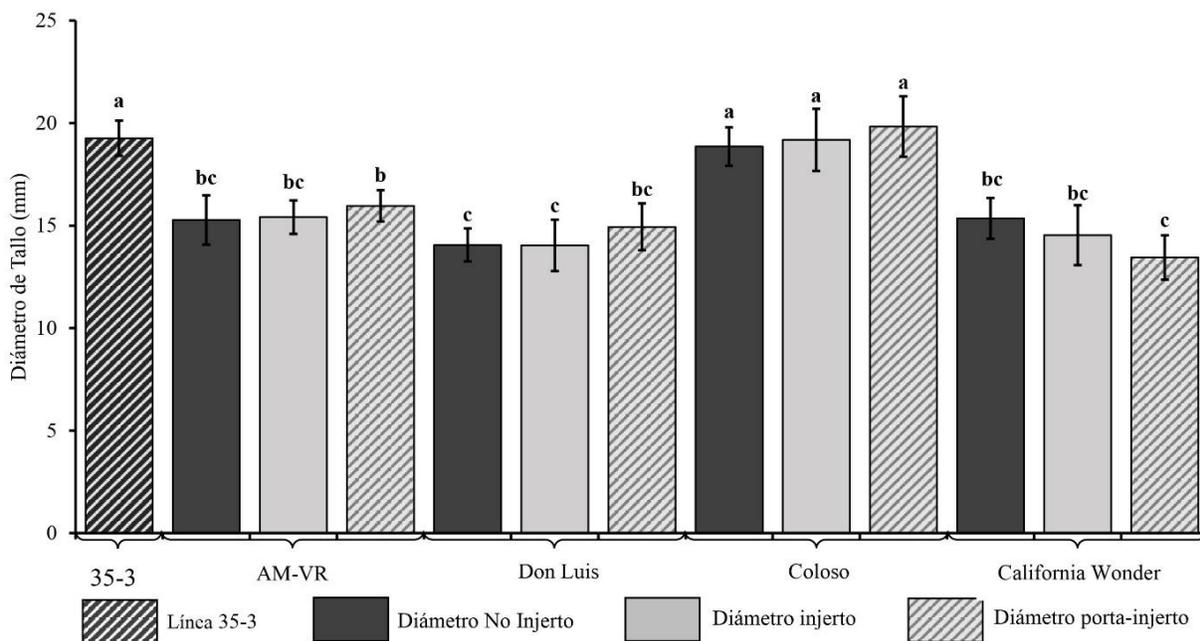
**Cuadro 1.2** Días a floración de plantas injertadas y no injertadas de cuatro variedades

Variedad/Tratamiento	Días a floración (ddt)
AM-VR- No Injerto	29
AM-VR- Injerto	30
Don Luis- No Injerto	24
Don Luis- Injerto	29
Coloso- No Injerto	38
Coloso- Injerto	39
C. Wonder- No Injerto	35
C. wonder- Injerto	39

Días a floración: días transcurridos del trasplante al día en que el 50% de las plantas en cada variedad estuvieron en antesis.

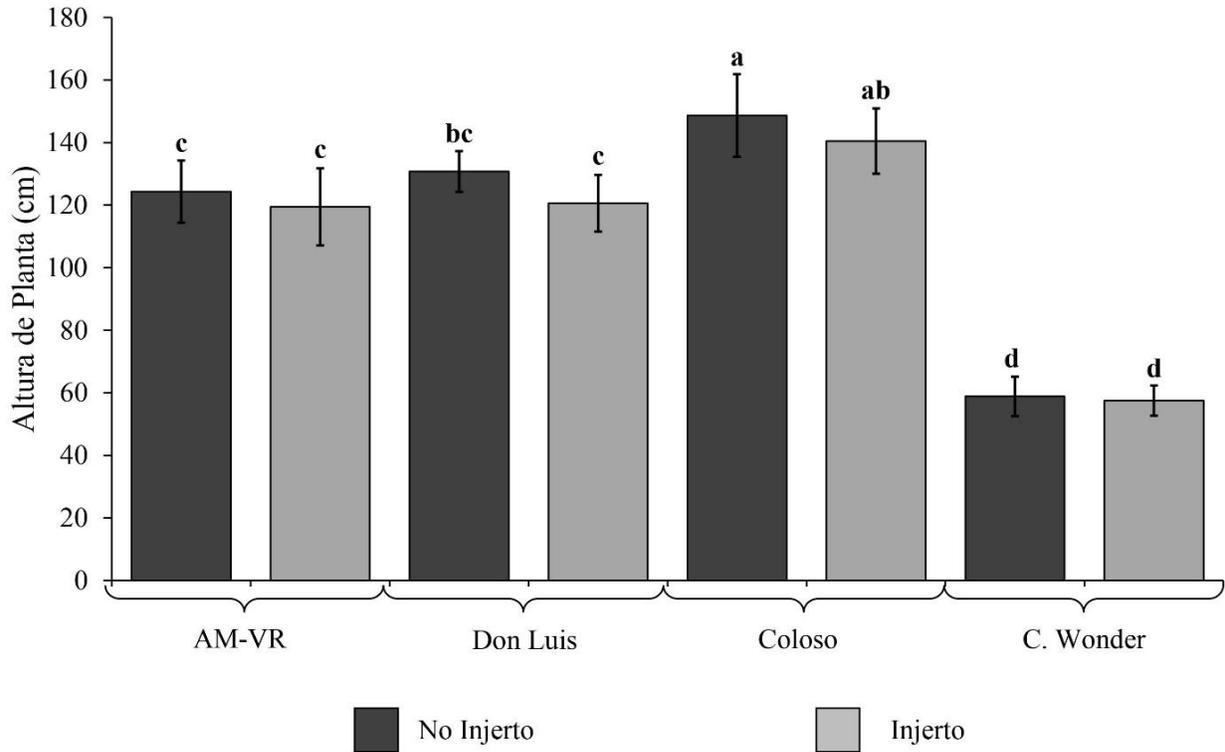
### **1.7.3 Efecto del injerto en el desarrollo vegetal**

Con respecto al DT, en la Figura 1 se puede observar que la magnitud de esta variable en los injertos no varió con respecto a los valores observados en sus correspondientes variedades no injertadas, y el diámetro del porta-injerto se ajustó al diámetro de la variedad injertada, por lo tanto, esta variable no tuvo un efecto en el porcentaje de amarre. Los cambios en el desarrollo del DT de los injertos, pueden deberse a las interacciones celulares entre los genotipos (Kokalis-Burelle *et al.*, 2009), en este caso los resultados obtenidos para DT en las cuatro variedades, coinciden con los resultados de Osuna-Ávila *et al.*, (2012) donde el diámetro de la variedad no injertada y el diámetro del tallo del injerto fueron iguales, a su vez, son diferentes a los resultados de Kokalis-Burelle *et al.*, (2009) y García-Rodríguez *et al.*, (2010) ya que en el primero encontraron que el diámetro del injerto fue menor al de la variedad original, y en el segundo caso fue mayor.



**Figura 1.1** Diámetro de tallo (DT) de la línea 35-3 original, de plantas de cada variedad, injertos y porta-injertos. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

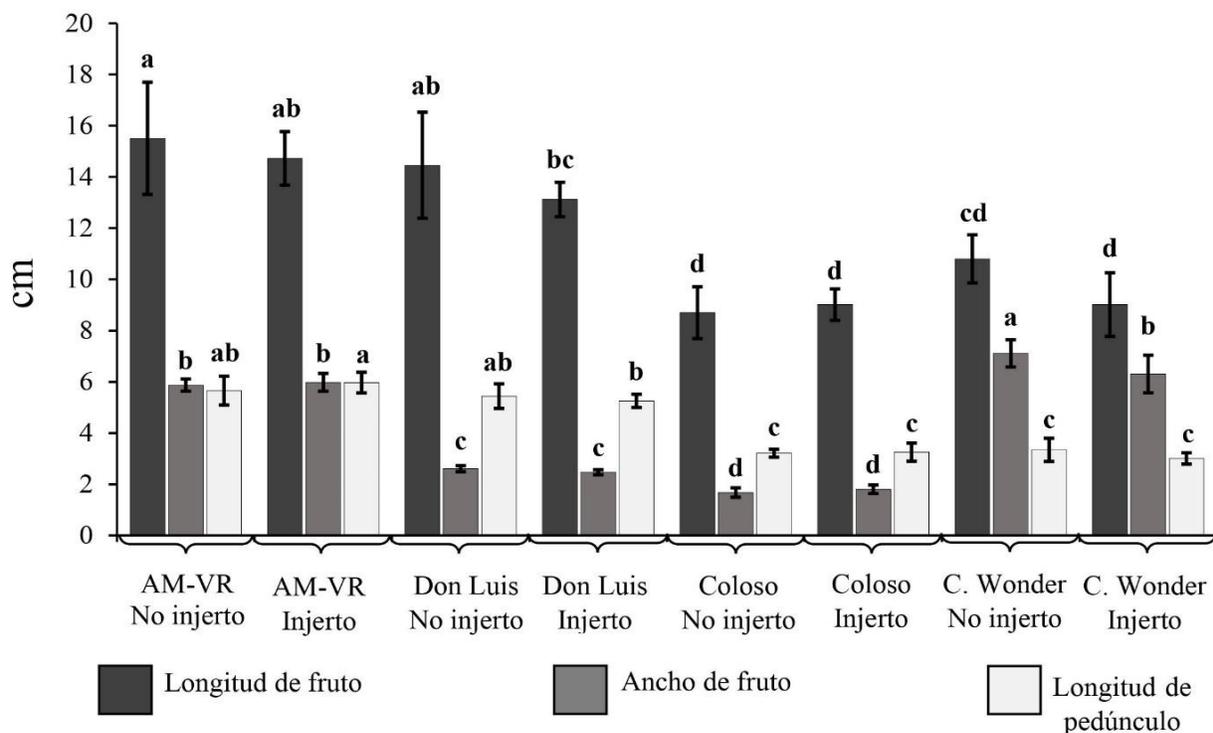
En la Figura 2 podemos observar que la AP de cada una de las variedades injertadas y no injertadas, fueron similares a lo descrito por (Ramiro 2001; Ramírez-Meraz *et al.* 2007; Ramiro 2008; Casilimas *et al.* 2012). Además, en ninguna de las cuatro variedades hubo diferencias significativas en AP entre injertadas y no injertadas, aunque la tendencia fue a disminuir ligeramente en las plantas injertadas de las variedades AM-VR, Don Luis y Coloso; para California Wonder la AP entre injertadas y no injertadas se mantuvo igual. Resultado similar lo obtuvo González (2016) para la variedad “Zidenka” de pimiento morrón injertado sobre CM334, sin embargo, este comportamiento dependerá de la variedad utilizada como injerto, puesto que, en los injertos de la variedad “Cannon” de chile pimiento morrón sobre el mismo porta-injerto, hubo una disminución significativa en la AP (Martínez-Vera, 2013). Situación similar lo obtuvo García-Rodríguez *et al.* (2010) cuando injertó la variedad “Rebelde” de chile ancho sobre CM334. El efecto en el desarrollo de las plantas puede estar influenciado por el estrés que sufren durante el proceso de injertado, donde momentáneamente se detiene el crecimiento, así como la absorción y transporte de nutrientes, lo cual puede durar de 6 a 7 días (Melink *et al.*, 2015).



**Figura 1.2** Altura de plantas injertadas y no injertadas. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

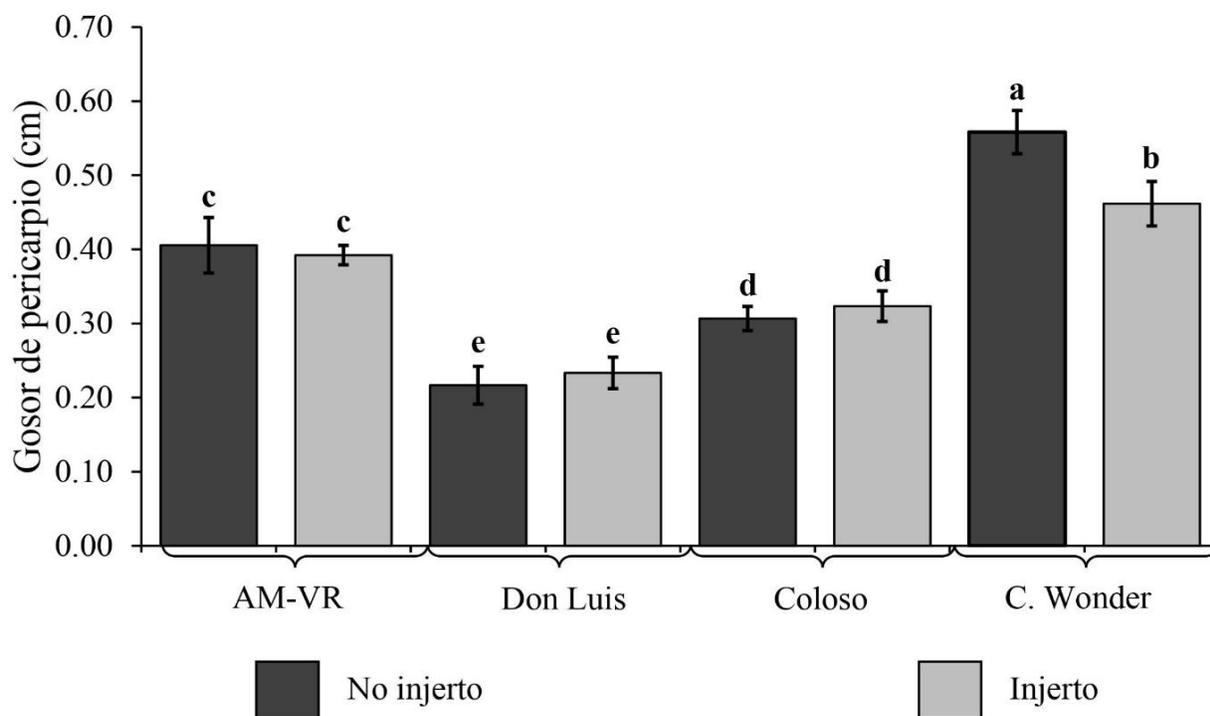
#### 1.7.4 Características de frutos y rendimiento

La LF y LP entre plantas no injertadas e injertadas de cada variedad no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, hubo una tendencia a ser más largos los frutos de plantas no injertadas en las variedades AM-VR, Don Luis y California Wonder, (Figura 3). Resultados similares para LF fueron encontrados por Sánchez *et al.* (2015) en las variedades de pimiento morrón “Fascinato y Janette” injertadas sobre el porta-injerto “Terrano”, y por Pintado-López (2017) en chile serrano injertado sobre la variedad CM334.



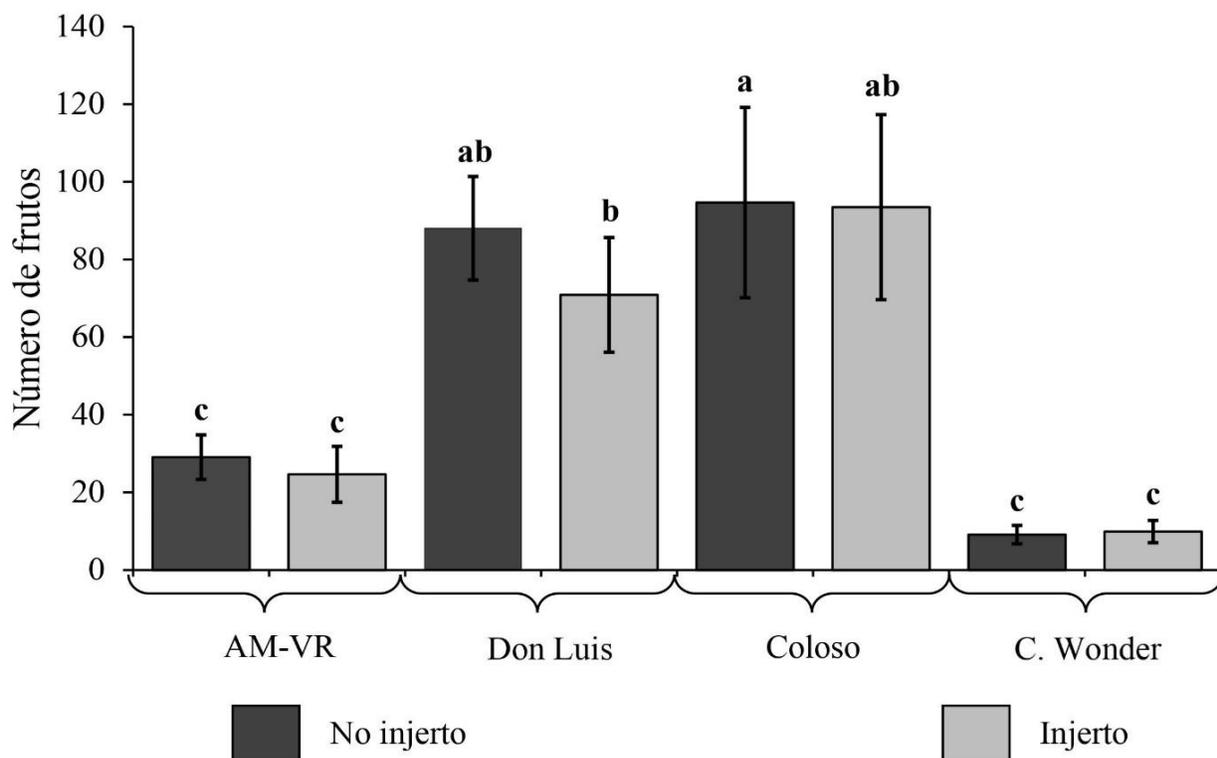
**Figura 1.3** Longitud y ancho de fruto y longitud de pedúnculo en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Por otra parte, únicamente en California Wonder el AF y GP de frutos de plantas no injertadas fueron significativamente mayores que en plantas injertadas, (Figuras 3 y 4), tal como lo obtuvieron Martínez-Vera (2013) para AF y Pérez-Grajales *et al.* (2021) en GP, el primero en pimiento morrón y el segundo en un híbrido de chile manzano, ambos injertados sobre la variedad CM334. Resultados opuestos a los del presente trabajo son los obtenidos por González (2016) y Sánchez *et al.* (2015), quienes injertaron chile pimiento morrón, sobre CM334 y sobre pimiento morrón respectivamente.



**Figura 1.4** Grosor de pericarpio en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

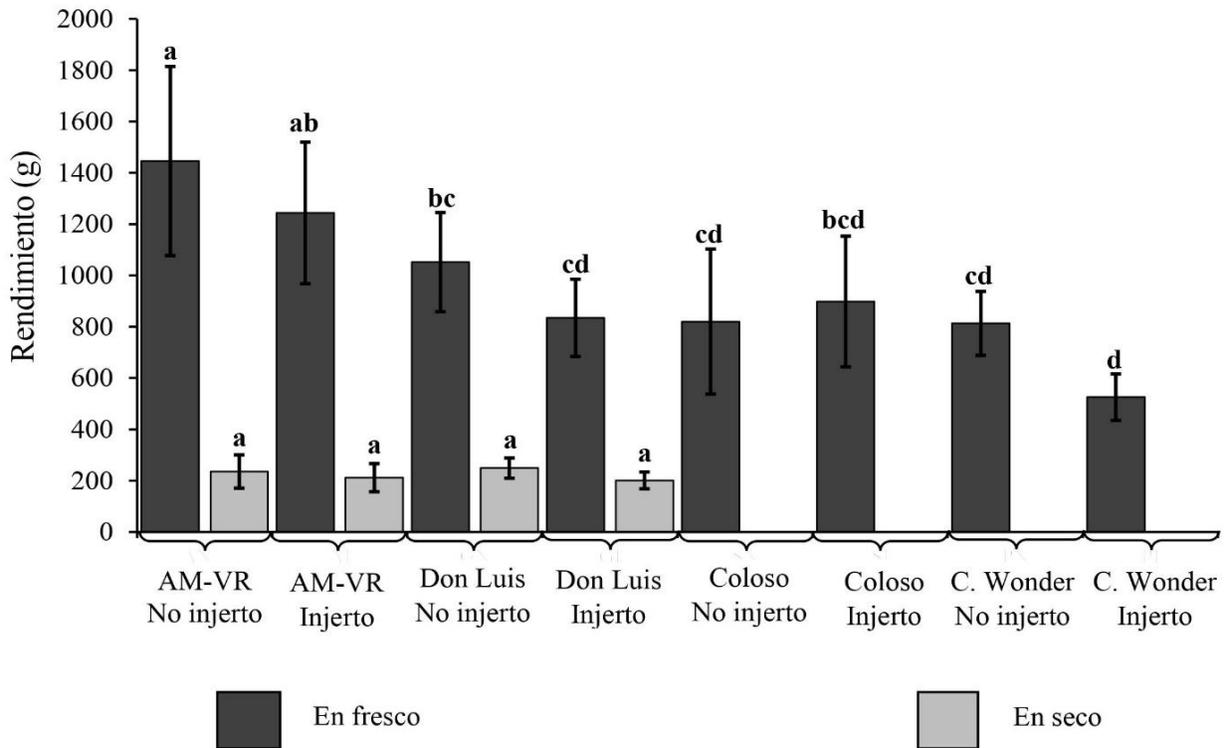
Por otra parte, para la variable NF, no se presentaron diferencias significativas entre plantas injertadas y no injertadas en ninguna de las cuatro variedades (Figura 5), sin embargo, se puede observar que existieron tendencias claras entre plantas no injertadas e injertadas, es decir, las plantas injertadas tendieron a presentar menor NF en las variedades AM-VR y Don Luis, tendencias similares lo obtuvieron Santos y Goto (2004) en injertos de pimiento morrón, Pintado-López *et al.* (2017) en chile serrano injertado sobre CM334 y Pérez-Grajales *et al.* (2021) en injertos de híbridos de chile manzano sobre la variedad CM334. En el caso de García-Rodríguez *et al.* (2010) el NF de plantas de chile ancho injertadas sobre la variedad CM334, fue menor significativamente al NF de las plantas no injertadas.



**Figura 1.5** Numero de frutos en plantas injertadas y no injertadas de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

En la Figura 6 observamos que el RF y el RS entre plantas no injertadas e injertadas no presentaron diferencias estadísticas, no obstante, el RF en las variedades AM-VR, Don Luis y California Wonder, la tendencia fue de menor rendimiento en las plantas injertadas, esto se relaciona con la LF y NF en las dos primeras variedades (Figuras 3 y 5), ya que, en estas variedades dichas variables tendieron a ser menores en plantas injertadas. Para el caso de California Wonder la explicación es que esta variedad presentó valores significativamente menores de AF y GP en plantas injertadas (Figuras 3 y 4). Resultados similares lo reportan Pintado-López *et al.* (2017) en injertos de chile serrano y Pérez-Grajales *et al.* (2021) en chile manzano, los dos casos injertados sobre la variedad CM334. Resultados diferentes los obtuvieron García-Rodríguez *et al.* (2010) y Sánchez *et al.* (2015) que trabajaron en injertos de chile ancho sobre CM334 y pimiento morrón sobre un portainjerto comercial, en la primera donde el RF de plantas injertadas fue significativamente menor y mayor a las de plantas no injertadas respectivamente. Los resultados en RS coinciden con los obtenidos por Pintado-López *et al.* (2017) en injertos de chile serrano, sin embargo, en los

resultados de García-Rodríguez *et al.* (2010) en injertos de chile ancho sobre CM334, el RS de plantas no injertadas tuvieron significativamente valores mayores.



**Figura 1.6** Rendimiento por planta en fresco y seco de injertos y no injertos de cada variedad. Barras de error representa la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

El injerto puede representar una buena alternativa para el manejo sostenible de enfermedades de la raíz en Chile, siempre y cuando exista buena compatibilidad entre el porta-injerto e injerto (Acosta 2005). El bajo porcentaje de amarre del injerto que se presentó con las cuatro variedades, particularmente con California Wonder y Coloso, no se debe precisamente a una incompatibilidad, ya que las temperaturas en la cámara de curado fueron de una amplitud mayor a la recomendada, además, en el caso de California Wonder y Coloso, al momento de realizar los injertos presentaron un mayor número de plantas con diámetros de tallos mayores y menores al del porta-injerto. Estos dos factores pueden ser solventados si se utiliza una cámara con control de temperatura y si se realizan siembras de la variedad y el porta-injerto en fechas diferentes, de tal forma que, al momento de realizar los injertos se tengan diámetros de tallos similares entre ellos. La línea 35-3 de Chile tipo Huacle, se puede utilizar como porta-injerto en las variedades AM-VR, Don Luis y

el híbrido Coloso ya que, no tuvo un efecto negativo en las características de fruto, RF ni RS, en tanto que, para California Wonder, debido a que los injertos de esta variedad presentaron un AF y GP significativamente menores, y dado que estas características son importantes en su comercialización, el uso de la línea 35-3 sería menos recomendable. Una ventaja que tiene la línea 35-3 con respecto a otros materiales que han sido probados como porta-injertos, tal como la variedad CM334, es que, además de presentar resistencia contra *P. capsici* y *M. incógnita* (Gómez-Rodríguez *et al.* 2017), también presenta moderada resistencia a *Nacobbus aberrans* (Chavarro-Carrero *et al.* 2017), para el cual, hasta la fecha no se ha detectado alguna fuente de resistencia, por lo tanto, la línea 35-3 puede ser recomendada como porta-injerto de al menos tres de las variedades comerciales.

## **1.8 CONCLUSIONES**

La línea 35-3 como porta-injerto mostró tener buena compatibilidad con los cuatro materiales (AM-VR, Don Luis, Coloso y California Wonder), sin impactar drásticamente en el desarrollo vegetal de las plantas, las características de los frutos y el rendimiento, a excepción de la variedad California Wonder donde hubo un efecto negativo en ancho de fruto y grosor de pericarpio. Por esta razón podemos señalar que la línea 35-3 tiene potencial para ser usada como porta-injertos.

## **CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE ESTOMAS Y PARÁMETROS FOTOSINTÉTICOS DE VARIEDADES DE CHILES COMERCIALES INJERTADAS EN LA LÍNEA 35-3 (*Capsicum annuum* L.)**

### **2.1 RESUMEN**

La línea de chile 35-3 resistente a patógenos de la raíz, puede ser una alternativa como porta-injerto para el manejo de enfermedades del suelo en el cultivo del chile. El objetivo del presente estudio fue, evaluar los efectos del porta-injerto en el índice estomático, densidad estomática, características de los estomas y parámetros fotosintéticos. Se injertaron, sobre la línea 35-3 las variedades comerciales AM-VR (tipo ancho), Don Luis (tipo guajillo), el híbrido Coloso (tipo serrano) y California Wonder (tipo pimiento morrón); para el índice estomático, densidad estomática, y caracterización de estomas, se tomaron muestras de hojas de plantas injertadas y no injertadas y se realizaron impresiones epidérmicas con pegamento instantáneo las cuales se observaron a través de un microscopio óptico. Para los parámetros fotosintéticos se utilizaron hojas maduras de la parte media de las plantas y se tomaron datos de fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración con un sistema portátil LI-6400 (Licor, Inc. USA). Los análisis de los resultados de este estudio demuestran que el injerto no tuvo ningún efecto negativo sobre la densidad e índice estomático, así como en las características del tamaño de los estomas; estos resultados se correlacionan con los obtenidos para los parámetros fotosintéticos en donde tampoco se observaron cambios significativos en las diferentes evaluaciones realizadas. Por esta razón se concluye que, la línea 35-3 como porta-injerto no causa ningún efecto en la anatomía de las estomas ni en los parámetros fotosintéticos, lo que sugiere que es una buena alternativa para el manejo sustentable de los principales fitopatógenos de la raíz que afectan al cultivo del chile.

**Palabras clave:** injerto, porta-injerto, hortalizas, enfermedades de la raíz, fotosíntesis.

## 2.2 ABSTRACT

The 35-3 chili line resistant to root pathogens can be an alternative as a rootstock for the management of soil diseases in chili cultivation. The objective of the present study was to evaluate the effects of the rootstock on the stomatal index, stomatal density, stomatal characteristics and photosynthetic parameters. The commercial varieties AM-VR (Ancho type), Don Luis (Guajillo type), and the hybrid Coloso (Serrano type) and California Wonder (Bell pepper type) were grafted on line 35-3; For the stomatal index, stomatal density, and characterization of stomata, samples of leaves of grafted and non-grafted plants were taken and epidermal impressions were made with instant glue, which were observed through an optical microscope. For the physiological parameters, mature leaves from the middle part of the plants were used and data on net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration were taken with a LI-6400 portable system (Licor, Inc. USA). The analysis of the results of this study show that the graft had no negative effect on the density and stomatal index, as well as on the characteristic of the size of the stomata; These results correlate with those obtained for the physiological parameters, where no significant changes were observed in the different evaluations carried out. For this reason, it is concluded that line 35-3 as a rootstock does not cause any effect on the anatomy of the stomata or on the physiological parameters, which suggests that it is a good alternative for the sustainable management of the main phytopathogens of the root that affect chili cultivation.

**Keywords:** graft, rootstock, vegetables, root diseases, photosynthetic parameters.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

Una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial es el chile (*Capsicum annuum* L.) (Barchenger y Bosland, 2019), el cual destaca económicamente en diferentes sectores de la sociedad como: en la industria farmacéutica, nutracéutica, cosmética y en alimentos procesados (Bosland y Votava, 2012; Barchenger y Bosland, 2019; Reyes-Escogido *et al.*, 2011). No obstante, la producción de esta hortaliza se ve afectada por diversos problemas, donde destacan las enfermedades como “la marchitez del chile” causada por el oomiceto *Phytophthora capsici* y las inducidas por nematodos agalladores (*Meloidogyne spp.*) (Moens *et al.*, 2009; Barchenger *et al.*, 2018). Dado que, el manejo de estos fitopatógenos se centra en productos químicos, altamente perjudiciales para el ambiente y la salud humana (Castro *et al.*, 2012); es de importancia optar por nuevas alternativas de manejo, como la resistencia genética, la cual resulta ser competitiva, redituable y amigable con el ambiente (Castro *et al.*, 2012; Majid *et al.*, 2016; Barchenger *et al.*, 2018). El aprovechamiento de la resistencia genética de una forma rápida y eficaz, cuando se trata de enfermedades del suelo, mediante el método de injerto, utilizando materiales resistentes como porta-injertos de variedades comerciales (Jang *et al.*, 2013; Louws *et al.*, 2010; Schwarz *et al.*, 2010). Este método se ha implementado en diferentes cultivos de hortalizas, tales como el pimiento (Penella *et al.*, 2013), tomate (Goto *et al.*, 2013), sandía (Muneer *et al.*, 2015) y melón (Colla *et al.*, 2006), con el objetivo de controlar el estrés biótico, pero también para proveer otras cualidades como tolerancia al estrés abiótico (cambios drásticos de temperatura, deficiencia de nutrientes, suelos salinos, sequía e inundaciones) (Kyriacou *et al.*, 2017; Gaion *et al.*, 2018; Martínez-Ballesta *et al.*, 2010). Los porta-injertos con sistemas radiculares fuertes y vigorosos ayudan a mejorar la absorción del agua y los nutrientes (Ozbahce *et al.*, 2021) e incrementan la actividad fotosintética, que beneficia al desarrollo de la planta, el rendimiento y calidad de los frutos (Fullana-Pericàs *et al.*, 2020; Davis *et al.*, 2008, He *et al.*, 2009). La capacidad fotosintética depende del control de la apertura de los estomas, compuestos por dos células guardianas que modulan su apertura en respuesta al ambiente entre el interior de la hoja y la atmósfera, durante el intercambio de gases, principalmente el CO<sub>2</sub> y vapor de agua (Hetherington y Woodward, 2003). Está demostrado que en plantas injertadas se puede incrementar la densidad estomática de las hojas, la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, la transpiración y la conductancia estomática, que influyen en la eficiencia de la fotosíntesis (Ayala-Arreola *et al.*, 2010; Ayala-Tafoya *et al.*, 2015). Por lo anterior, la línea de chile tipo Huacle 35-3, es una nueva fuente de resistencia a *P. capsici*, *Meloidogyne incognita* y

*Nacobbus abberans* (Gómez-Rodríguez *et al.* 2017; Chavarro-Carrero *et al.* 2017), la cual puede ser utilizada como porta-injerto de variedades comerciales. Por tanto, es de interés conocer el efecto que pueda tener en las características de los estomas y los parámetros fotosintéticos, relacionados con el rendimiento y calidad de los frutos, por este motivo se plantea el siguiente objetivo.

## **2.4 OBJETIVO**

Evaluar los efectos del porta-injerto sobre las características de los estomas y parámetros fotosintéticos (fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración).

## **2.5 HIPÓTESIS**

La línea 35-3 como porta-injerto no provoca cambios en el índice estomático, densidad estomática, características de los estomas y parámetros fotosintéticos (fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración) injertados en las variedades comerciales de Chile.

## **2.6 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.6.1 Material vegetal y procedimiento de injertado**

El trabajo de investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero en el periodo primavera-verano del 2020, en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Se utilizó como portainjerto la línea de Chile tipo Huacle 35-3, los materiales comerciales como injertos fueron: AM-VR, Don Luis, híbrido Coloso y California Wonder de los tipos de Chile ancho, guajillo, serrano y pimiento morrón respectivamente. De cada variedad se sembraron 200 semillas y 800 de la línea resistente 35-3 en charolas de poliuretano, se utilizó turba estéril como sustrato. Cuando las plántulas presentaron de seis a ocho hojas verdaderas y un diámetro de tallo de 1.8 a 2 mm, fueron defoliadas dejando dos hojas verdaderas apicales y se procedió a injertarlas mediante la técnica de empalme, que consiste en realizar un corte por encima de los cotiledones en un ángulo de 45°C con una navaja de afeitar (Lee y Oda, 2003). De cada variedad se injertaron 100 plántulas, se utilizaron clips de silicón de 1.8 a 2 mm como soporte. Posteriormente, se mantuvieron dentro de una cámara de curado que se montó en el interior de un invernadero, la cual estaba compuesta de una estructura metálica cubierta con plástico negro. El proceso de aclimatación consistió en mantener las plántulas durante los primeros 5 días después del injerto

(ddi) en total oscuridad con una humedad relativa (HR) del 90 a 100%, con ayuda de dos humidificadores (Vitallys plus®), y no obstante que se recomiendan temperaturas de 25 a 27 °C (Acosta, 2005), la temperatura en el invernadero fluctuó de 20 a 35°C. A partir del 6 ddi se aumentó gradualmente la exposición a la luz y se redujo el porcentaje de HR, trascurridos 15 ddi fueron colocadas a exposición total de la luz y se retiraron los humidificadores de la cámara.

### **2.6.2 Trasplante y mantenimiento**

A los 22 ddi las plántulas sobrevivientes de las variedades AM-VR, Don Luis, híbrido Coloso y California Wonder, se trasplantaron en bolsas de plástico de 10kg que contenían suelo estéril, estas se ordenaron en hileras a una distancia de 30 cm entre bolsas. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial desbalanceado de dos factores, factor A cuatro variedades y factor B plantas no injertadas e injertadas, cada planta se consideró como una repetición, para las variedades AM-VR y Don Luis, cada tratamiento del factor B consistió de 50 plantas, para el híbrido Coloso fue de 9 plantas y para el caso de la variedad California Wonder de 19.

### **2.6.3 Índice, densidad y características de los estomas**

A los 60 días después del trasplante (ddt) se muestrearon 5 plantas de cada tratamiento en cada variedad, se colectaron dos hojas maduras de la parte media de cada planta, se llevaron al laboratorio para realizar impresiones epidérmicas del haz y el envés de cada hoja, en un área de aproximadamente de 2 cm<sup>2</sup> en la parte media de las venas secundarias. Esta técnica consistió en la aplicación con una brocha de pegamento instantáneo (Kola-Loka®) sobre un portaobjetos de vidrio, en seguida se colocó el área de la hoja a imprimir presionando durante 30 segundos. De cada impresión epidérmica se tomaron tres fotografías al azar a través de un microscopio óptico con cámara digital integrada, con los objetivos de 10X y 40X. De las fotografías tomadas a 10X se cuantificaron los estomas y células epidérmicas para determinar el índice estomático (IE) y la densidad estomática (DE), para esto se utilizó las fórmulas propuestas por Wilkinson (1979):

$$IE = \frac{(NE \times 100)}{(CE + NE)}$$

$$DE = \frac{(NE)}{(\text{mm})^2}$$

En las fórmulas, IE= Índice estomático, NE= Número de estomas por campo de observación, CE= Número de células epidérmicas en el campo de observación; DE= densidad estomática, mm<sup>2</sup>= área de la fotografía.

Con las fotografías tomadas a 40X se midió el largo (LE) y el ancho (AE) de los estomas, las mediciones se realizaron en micrómetros (µm) para estas variables. Todas las imágenes se analizaron utilizando el software ImageJ.

#### **2.6.4 Parámetros fotosintéticos**

La determinación de la fotosíntesis neta (Fn), conductancia estomática (Ce) y transpiración (Tr), se determinaron 60 ddt. Se muestrearon 6 plantas de cada tratamiento por variedad. Se utilizó el sistema para medir fotosíntesis LI-6400 (Licor, Inc. USA), basado en un analizador de gases infrarrojo. Las mediciones se realizaron en hojas maduras de la parte media de la planta, expuestas a más de 600 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de radiación fotosintéticamente activa (RFA) entre las 11:30 y las 14:00 horas. El proceso consistió en colocar la hoja completamente extendida dentro de la cámara del equipo de medición de fotosíntesis por aproximadamente un minuto, esto se realizó bajo una concentración externa de CO<sub>2</sub> de 400 µmol×mol. Los muestreos se repitieron cada quince días durante dos meses.

#### **2.6.5 Análisis estadístico**

El análisis de los datos de todas las variables evaluadas, se realizó mediante un Análisis de Varianza (anova) y la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar las diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamiento. Se utilizó el software estadístico R project 4.0.3. (R Core Team, 2020).

## 2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.7.1 Índice estomático, densidad estomática y características de los estomas

Injertar una planta puede tener un efecto en el Índice estomático (IE) y Densidad estomática (DE) con respecto a los valores que presenta una planta no injertada, por ejemplo, Camposeco-Montejo *et al.* (2018) encontraron que plantas de pimiento morrón injertadas con un híbrido de pimiento presentaron un mayor número de estomas. Esta respuesta está comprobada que, si la DE incrementa, se mejora la capacidad fotosintética al modular la entrada de CO<sub>2</sub>, mejora la transpiración y conductancia estomática, lo cual favorece la eficiencia fisiológica, que concluye en una mayor concentración de asimilados (Ayala-Arreola *et al.*, 2010; Camposeco-Montejo *et al.*, 2018; Tanaka *et al.*, 2013).

Sin embargo, un injerto también puede tener un efecto contrario, ya que, algunos autores han reportado que el injerto puede provocar disminuciones y cambios significativos en el IE y DE de plantas injertadas, tal como ha ocurrido en hortalizas como sandía y pepino (González *et al.*, 2017; Peralta-Manjarrez *et al.*, 2016). Con respecto a los resultados del presente trabajo, en el Cuadro 2.1 se pueden observar los valores de IE y DE y la comparación de medias en el haz y el envés entre hojas de plantas injertadas y no injertadas. En las cuatro variedades no hubo diferencias significativas en IE ni DE entre injertos y no injertos de cada variedad. Sin embargo, la tendencia en las variedades injertadas en AM-VR, Don Luis y California Wonder, fue de un ligero incremento en el IE de ambas superficies, mientras que en el híbrido Coloso disminuyó ligeramente.

Para el caso de la DE, las variedades AM-VR y Don Luis tuvieron pequeñas reducciones en ambas superficies de las hojas de las plantas injertadas; en tanto que, en Coloso, se observó un ligero aumento en el haz de las plantas injertadas, mientras que en el envés ocurrió lo contrario; las plantas injertadas de California Wonder presentaron un ligero incremento en ambas superficies. De acuerdo a lo anterior, no se esperaría que en las cuatro variedades injertadas en este estudio hubiera una diferencia en la acumulación de asimilados, dado que no hubo diferencias significativas en el IE y DE entre plantas injertadas y no injertadas.

**Cuadro 2.1** Índice y densidad estomática del haz y el envés de las hojas.

Tratamientos	Haz de la Hoja		Envés de la Hoja	
	IE	DE /mm <sup>2</sup>	IE	DE /mm <sup>2</sup>
AM-VR-injerto	11.28±2.05 <b>a</b>	34.90±11.13 <b>c</b>	27.26±3.54 <b>b</b>	103.24±16.16 <b>b</b>
AM-VR-no injerto	9.66±1.41 <b>a</b>	35.02±3.88 <b>c</b>	25.81±2.68 <b>b</b>	114.46±20.64 <b>b</b>
Don Luis-injerto	11.68±0.91 <b>a</b>	39.54±4.52 <b>bc</b>	27.23±1.56 <b>b</b>	123.62±16.61 <b>b</b>
Don Luis-no injerto	10.72±2.26 <b>a</b>	41.42±11.22 <b>bc</b>	26.33±3.71 <b>b</b>	125.68±26.84 <b>b</b>
Coloso-injerto	11.11±2.10 <b>a</b>	34.96±5.32 <b>c</b>	22.91±1.05 <b>c</b>	120.98±15.06 <b>b</b>
Coloso-no injerto	11.31±1.88 <b>a</b>	32.90±4.74 <b>c</b>	24.37±2.21 <b>c</b>	122.74±16.14 <b>b</b>
C. Wonder-injerto	12.00±1.18 <b>a</b>	55.00±12.50 <b>a</b>	29.73±2.62 <b>a</b>	188.31±36.98 <b>a</b>
C. Wonder -no injerto	10.80±1.98 <b>a</b>	49.06±14.64 <b>ab</b>	27.00±2.21 <b>a</b>	179.15±30.64 <b>a</b>

Los datos son presentados con medias ± desviación estándar, valores con la misma letra no son significativamente diferentes, de acuerdo a la comparación de medias de Tukey ( $p > 0.05$ ). IE = índice estomático; DE = densidad estomática.

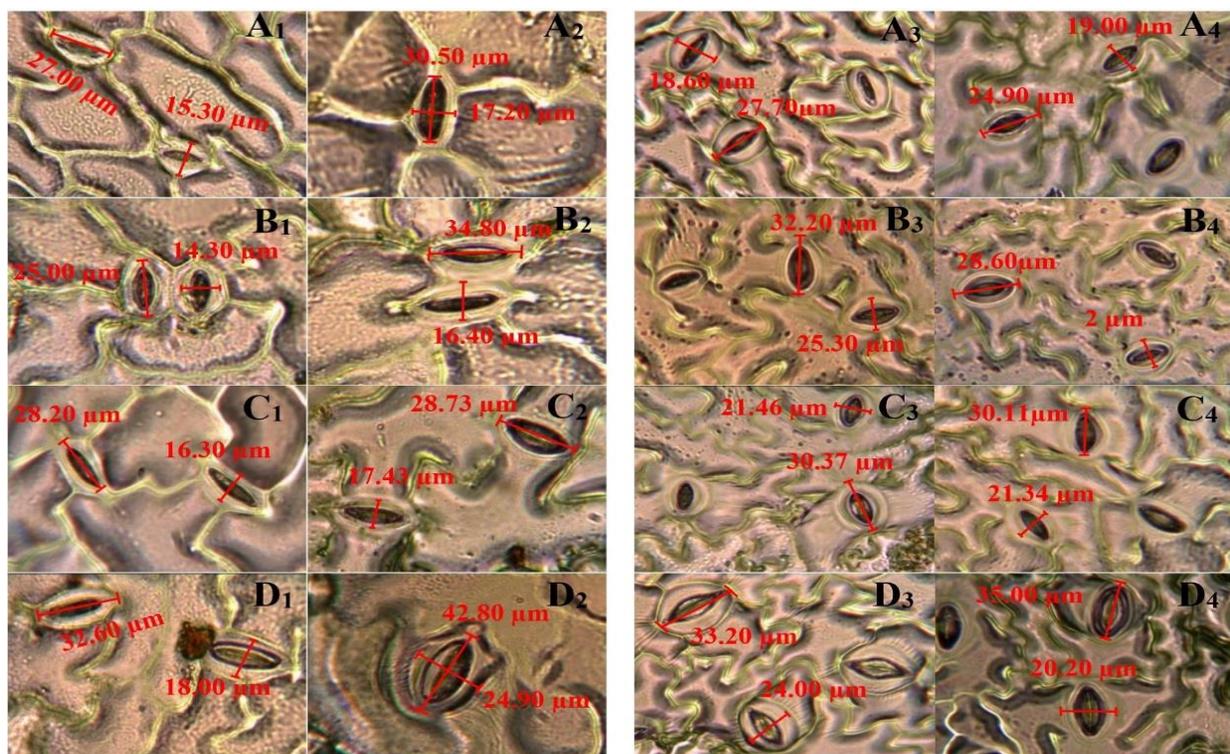
Un porta-injerto puede conferir a una planta injertada, vigor, mayor sistema radicular y cambios en el tamaño de los estomas, lo que se relaciona con incrementos en la transpiración, conductancia estomática y una mejor asimilación de CO<sub>2</sub> (Salas *et al.* 2001; Naizaque *et al.* 2014). Un ejemplo de lo anterior es el resultado en pimiento morrón injertado sobre un porta-injerto comercial (Camposeco-Montejo *et al.*, 2018). No obstante, en este caso, la Longitud de estomas (LDE) y Ancho de estomas (ADE) observado en las cuatro variedades injertadas (Figura 2.1), no presentaron diferencias significativas con respecto a lo observado en sus respectivas plantas no injertadas (Cuadro 2.2). Resultados similares fueron observados en injertos de sandía y pepino (González *et al.*, 2017; Peralta-Manjarrez *et al.*, 2016). Sin embargo, se pueden observar que hubo tendencias ligeras en el tamaño de los estomas de las variedades AM-VR, híbrido Coloso y California Wonder, mientras que en la variedad Don Luis tendió a disminuir, estos pequeños cambios no fueron significativos. Por otro lado, existen reportes donde el injerto puede mejorar significativamente el tamaño de los estomas, como se ha reportado para pimiento morrón injertado sobre un porta-injerto comercial (Camposeco-Montejo *et al.*, 2018).

**Cuadro 2.2** Tamaño de los estomas en el haz y el envés de las hojas.

<b>Tratamientos</b>	<b>Haz de la Hoja</b>		<b>Envés de la Hoja</b>	
	<b>LDE (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>ADE (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>LDE (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>ADE (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
AM-VR-injerto	26.87 $\pm$ 2.24 <b>d</b>	16.88 $\pm$ 1.61 <b>a</b>	28.30 $\pm$ 2.18 <b>d</b>	20.10 $\pm$ 1.19 <b>b</b>
AM-VR-no injerto	26.38 $\pm$ 0.89 <b>d</b>	16.63 $\pm$ 0.99 <b>a</b>	27.19 $\pm$ 1.15 <b>d</b>	19.90 $\pm$ 1.12 <b>b</b>
Don Luis-injerto	27.50 $\pm$ 1.81 <b>c</b>	17.46 $\pm$ 1.41 <b>a</b>	29.63 $\pm$ 2.40 <b>c</b>	20.34 $\pm$ 1.42 <b>b</b>
Don Luis-no injerto	27.54 $\pm$ 1.92 <b>c</b>	18.19 $\pm$ 0.68 <b>a</b>	29.41 $\pm$ 2.01 <b>c</b>	21.53 $\pm$ 1.29 <b>b</b>
Coloso-injerto	30.20 $\pm$ 1.60 <b>b</b>	17.58 $\pm$ 1.83 <b>a</b>	30.37 $\pm$ 1.49 <b>b</b>	21.46 $\pm$ 0.98 <b>b</b>
Coloso-no injerto	28.73 $\pm$ 2.18 <b>b</b>	17.43 $\pm$ 1.49 <b>a</b>	30.11 $\pm$ 1.68 <b>b</b>	21.34 $\pm$ 1.44 <b>b</b>
C. Wonder-injerto	31.12 $\pm$ 1.34 <b>a</b>	17.53 $\pm$ 0.75 <b>a</b>	33.38 $\pm$ 1.88 <b>a</b>	23.37 $\pm$ 1.25 <b>a</b>
C. Wonder-no injerto	31.99 $\pm$ 6.03 <b>a</b>	16.97 $\pm$ 2.60 <b>a</b>	32.49 $\pm$ 3.93 <b>a</b>	22.59 $\pm$ 2.82 <b>a</b>

Se presentan las medias  $\pm$  desviación estándar. Valores con la misma letra no presentan diferencias significativas, de acuerdo a la comparación de medias de Tukey ( $p > 0.05$ ). LDE = longitud de estomas; ADE = ancho de estomas.

Los estomas están fuertemente relacionados con la eficiencia de la fotosíntesis al modular el intercambio de gases, principalmente el CO<sub>2</sub> y vapor de agua, por tanto, las alteraciones que se puedan presentar en LDE, ADE, IE y DE tendrá repercusiones en la acumulación de la biomasa y el rendimiento de las plantas (Hetherington y Woodward, 2003), esto probablemente explique el ligero incremento del rendimiento obtenido en las plantas injertadas del híbrido Coloso (Figura 1.6), debido a que se observó un incremento en el tamaño de los estomas para este material.

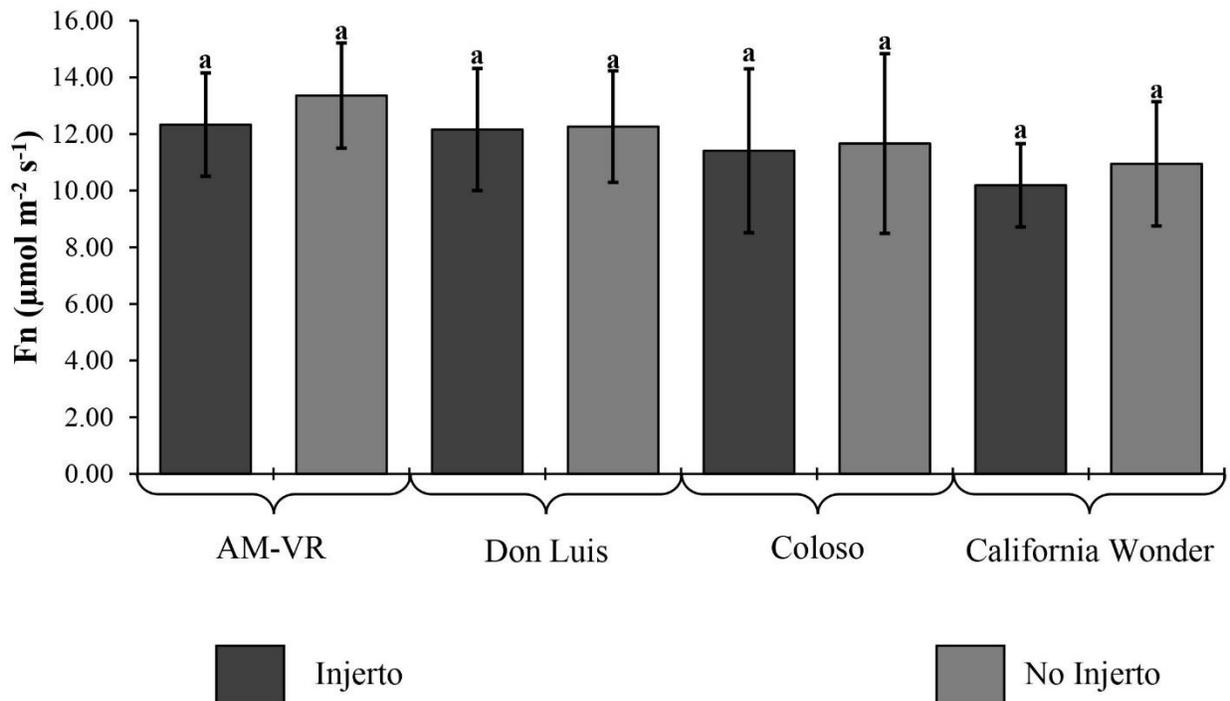


**Figura 2.1.** Características anatómicas de los estomas (LDE y ADE) del haz y el envés de las hojas de plantas injertadas y no injertadas, los valores se presentan en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Variedad AM-VR: **A**<sub>1</sub>= haz del injerto, **A**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **A**<sub>3</sub>= envés del injerto, **A**<sub>4</sub>= envés del no injerto; variedad Don Luis: **B**<sub>1</sub>= haz del injerto, **B**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **B**<sub>3</sub>= envés del injerto, **B**<sub>4</sub>= envés del no injerto; híbrido Coloso: **C**<sub>1</sub>= haz del injerto, **C**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **C**<sub>3</sub>= envés del injerto, **C**<sub>4</sub>= envés del no injerto; variedad California Wonder: **D**<sub>1</sub>= haz del injerto, **D**<sub>2</sub>= haz del no injerto, **D**<sub>3</sub>= envés del injerto, **D**<sub>4</sub>= envés del no injerto.

### 2.7.2 Parámetros fotosintéticos

La actividad fotosintética de las plantas injertadas no se vio afectado significativamente en ninguno de los materiales y se observaron solo algunas tendencias. En la Figura 2.2, podemos observar que la fotosíntesis neta (Fn) en plantas injertadas de las variedades AM-VR y California Wonder, mostraron una ligera reducción con respecto a las no injertadas, y para la variedad Don Luis y el híbrido Coloso, la Fn se mantuvo prácticamente similar a las plantas no injertadas. La nula alteración de la actividad fotosintética en Coloso, pudo favorecer al rendimiento en las plantas injertadas (figura 1.6). La ausencia de efectos significativos en la Fn provocados por el porta-injerto, se han reportado en pimiento morrón por Gálvez *et al.* (2019) y López-Marín *et al.* (2017) en condiciones similares a las de este trabajo; en otras hortalizas como el tomate, el injerto no

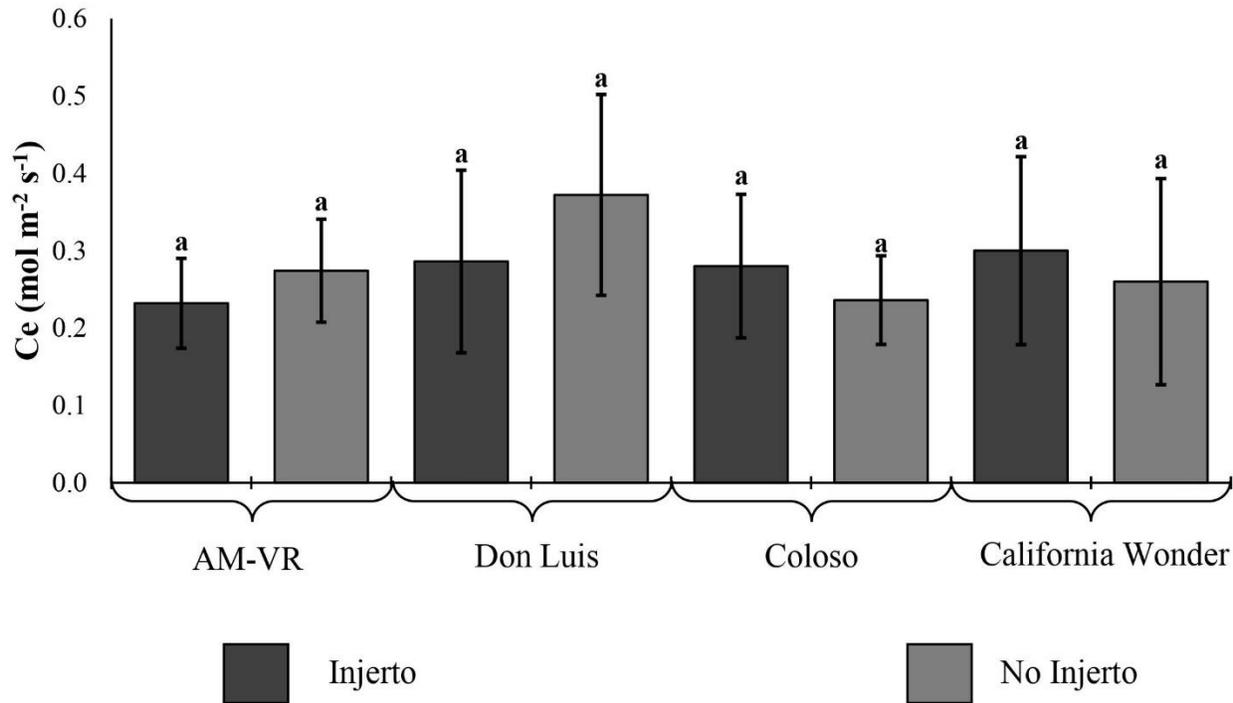
afectó significativamente al rendimiento de la Fn (Zhang y Guo, 2018). Sin embargo, resultados diversos se han encontrado en otras especies, por ejemplo, en pepino (Amaro *et al.*, 2014) y melón (Liu *et al.*, 2011), donde los injertos perjudicaron y favorecieron a la Fn respectivamente.



**Figura 2.2** Fotosíntesis neta (Fn) en plantas injertadas y no injertadas. Cada barra representa el promedio de cada tratamiento de las cuatro variedades utilizadas, barras de error representan la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

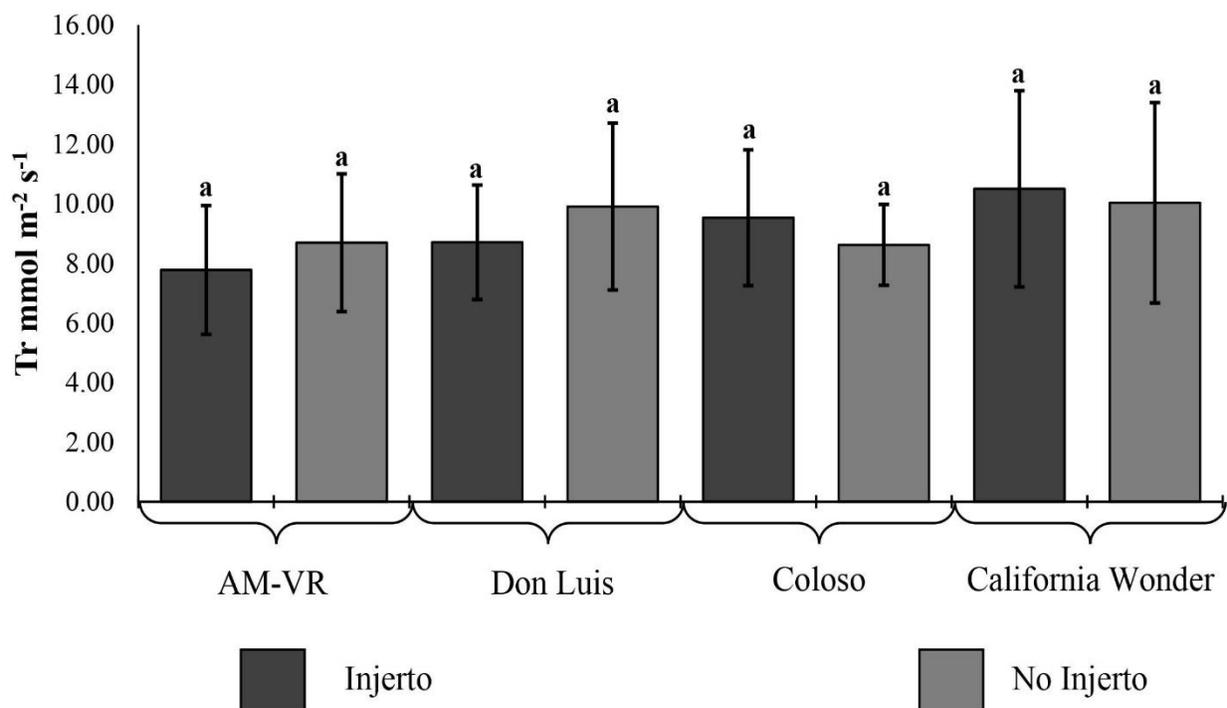
En los datos que corresponden a la Ce (Figura 2.3), se puede observar que los injertos de las variedades AM-VR y Don Luis, presentaron bajas actividades de Ce con respecto a las plantas no injertadas, en el caso del híbrido Coloso y la variedad California Wonder se observa una tendencia a mayor Ce, sin embargo, todas estas pequeñas diferencias no fueron estadísticamente significativas, estos resultados son similares a lo reportado en pimiento morrón por Gálvez *et al.* (2019) y López-Marín *et al.* (2017); también en plantas de tomate el injerto no afecta significativamente a la Ce (Liu *et al.*, 2011). La Ce está estrechamente relacionada con Fn, cuando se presenta una baja Ce se está restringiendo la absorción de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, existe una menor tasa de Fn (McAusland *et al.* 2016). En el presente caso los injertos con Coloso y California Wonder fueron los que tendieron a superar a los no injertados, tanto en Ce como Fn, lo cual se

refleja en la tendencia también de un mayor rendimiento en las plantas injertadas de estas variedades con respecto a las no injertadas.



**Figura 2.3** Conductancia estomática (Ce) en plantas injertadas y no injertadas. Cada barra representa el promedio de cada tratamiento de las cuatro variedades utilizadas, barras de error representan la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Al igual que en  $F_n$  y  $C_e$ , las plantas de las variedades AM-VR y Don Luis tuvieron valores menores de  $T_r$  que las no injertadas (Figura 2.3). en el caso de Coloso y California Wonder los resultados fueron inversos, es decir las plantas injertadas tuvieron mayores valores de  $T_r$  que las no injertadas, aunque en ninguno de los cuatro casos las diferencias fueron significativas. De forma similar lo reportan López-Marín *et al.* (2017) en pimiento morrón injertado sobre algunos porta-injertos de pimiento, en otros casos se han presentado incrementos significativos de la  $T_r$ , como lo reportan Amaro *et al.*, (2014) en injertos de pepino, donde la tasa alta de transpiración compensó una mayor actividad de la  $F_n$ . La  $C_e$  y la  $T_r$  influyen directamente sobre la  $F_n$ , en nuestro caso se observa una clara relación entre estos tres parámetros para AM-VR, Don Luis, y Coloso, a excepción de California Wonder donde los pequeños incrementos en  $C_e$  y  $T_r$  no favorecieron a la  $F_n$ .



**Figura 2.4** Efecto de la Transpiración (Tr) en plantas injertadas y no injertadas. Cada barra representa el promedio de cada tratamiento de las cuatro variedades utilizadas, barras de error representan la desviación estándar, barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Los cambios provocados en los parámetros fotosintéticos debido al injertado dependerán en gran medida de la buena compatibilidad que exista con el porta-injerto, ya que, la buena regeneración de los haces vasculares no obstruiría el flujo del agua y nutrientes desde la raíz a las partes áreas de la planta (Johkan *et al.*, 2009; Oda *et al.*, 2005).

En general, cuando se cuenta con alguna línea con resistencia a enfermedades de suelo, esta se puede usar como porta-injerto de variedades comerciales y evitar los daños causados por los patógenos siempre que, este porta-injerto no tenga un efecto negativo, en parámetros fotosintéticos como F<sub>n</sub>, C<sub>e</sub> y Tr, ya que, estas variables tienen una relación directa con el rendimiento, el detrimento de las mismas tendría un efecto igual en la producción. En este caso, la línea de Chile 35-3 no afectó estas variables fotosintéticas con ninguna de las variedades utilizadas, e incluso, tuvo la tendencia de mejorar los valores de los parámetros en el caso del híbrido Coloso. El injerto no alteró significativamente el índice estomático, la densidad estomática, las características de los estomas y los parámetros fotosintéticos. Por tanto, este puede representar una alternativa viable para contrarrestar los efectos de los factores bióticos y abióticos, como se ha demostrado en

estudios para tolerancia o resistencia a enfermedades, salinidad, inundaciones y sequía (Gálvez *et al.*, 2019; Maršić *et al.*, 2021; Bhatt *et al.*, 2015; López-Serrano *et al.*, 2019).

## **2.8 CONCLUSIÓN**

La línea 35-3 como porta-injerto no causó ningún efecto en el índice estomático, densidad estomática y características de los estomas en las plantas injertadas de las variedades AM-VR, Don Luis, híbrido Coloso y California Wonder. Por otro lado, la fotosíntesis neta (Fn), conductancia estomática (Ce) y la transpiración (Tr) se mantuvieron muy similares entre las plantas injertadas y no injertadas. Estos resultados sugieren que la línea 35-3 con resistencia genética a patógenos de la raíz, es una buena alternativa para utilizarla como porta-injerto de variedades de Chile y contribuir así en un manejo sustentable de este cultivo.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

Las variedades de chile AM-VR, Don Luis, híbrido Coloso y California Wonder mostraron tener una buena compatibilidad con el porta-injerto 35-3.

A excepción de la variedad California Wonder que tuvo una reducción en el ancho de fruto y grosor de pericarpio en frutos de plantas injertadas, la línea 35-3 como porta-injerto no tuvo ningún efecto en el desarrollo de las plantas, características de los frutos ni en el rendimiento en ninguna variedad.

El porta-injerto no tuvo ningún efecto en número y tamaño de los estomas, al igual que en la fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración en las plantas injertadas. La línea 35-3 con resistencia genética a patógenos de la raíz, es una buena alternativa para el manejo sustentable en el cultivo del chile.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, M. A. (2005). La técnica del injerto en plantas hortícolas. *Horticultura internacional*. 62-65.
- Aguilar, R. V.H., Corona, T., López, P., Latournerie, L., Ramírez, M., Villalón, H., Aguilar, J. A., López, H., Aguilar, A. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, COLPOS, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México 114 p.
- Aguilar-Rincón, V. H. 2012. Cultivo del chile en México. *Revista fitotecnia mexicana*. 35: 264-264.
- Amaro, A. C. E., Macedo, A. C., Ramos, A. R. P., Goto, R., Ono, E. O. and Rodrigues, J. D. 2014. The use of grafting to improve the net photosynthesis of cucumber. *Theoretical and Experimental Plant Physiolog*. 26:241-249. <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0023-1>
- Apaza Machacal, D. A., Mestas Valdivia, B. R., Romero Vargas, F. F., y Navarro Oviedo, R. D. 2019. Toxicidad del cobre sobre la morfología de estomas de *Gochnatia arequipensis Sandwith* (Asteraceae) de dos localidades de Arequipa, Perú. *Idesia Arica*. 37:81-87. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300081>
- Ayala-Arreola, J., Barrientos-Priego, A. F., Colinas-León, M. T., Sahagún-Castellanos J. y Reyes-Alemán, J. C. 2010. Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 16:47-154.
- Ayala-Tafoya, F., Yáñez-Juárez, M. G., Partida-Ruvalcaba, L., Ruiz-Espinosa, F. H., Campos-García, H., Vásquez-Martínez, O. y Díaz-Valdés, T. 2015. Producción de pepino en ambientes diferenciados por mallas de sombreado fotoselectivo. *Información Técnica Económica Agraria*. 111:3-17.
- Barchenger, D. W. and Bosland, P. W. 2019. Wild chile pepper (*Capsicum L.*) of North America. In: S. Greene, K. Williams, C. Khoury, M. Kantar, L. Marek (eds). *North American Crop Wild Relatives*. Springer, Cham pp:225-242. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97121-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97121-6_7)
- Barchenger, D. W., Lamour, K. H. and Bosland, P. W. 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>
- Baron, D., Amaro, A. C. E., Pina, A. and Ferreira, G. 2019. An overview of grafting re-establishment in woody fruit species. *Scientia Horticulturae* 243:84-91 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.012>
- Barrantes, J. L. F. 2010. Manual de recomendaciones en el cultivo de chile, pimentón o ají (*Capsicum sp.*). MAG/INTA. 28p.
- Bhatt, R. M., Upreti, K. K., Divya, M. H., Bhat, S., Pavithra, C. B. and Sadashiva, A. T. 2015. Interspecific grafting to enhance physiological resilience to flooding stress in tomato

- (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 182:8-17.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.043>
- Bonnet, J., Danan, S., Boudet, C., Barchi, L., Sage-Palloix, A. M., Caromel, B. and Lefebvre, V. 2007. Are the polygenic architectures of resistance to *Phytophthora capsici* and *P. parasitica* independent in pepper. *Theoretical and Applied Genetics*, 115:253-264,  
<https://doi.org/10.1007/s00122-007-0561-x>
- Bosland, P.W. and Votava, E.J. 2012. Peppers: Vegetable and Spice *Capsicums*. 2nd edition., CABI, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom. 230 p.  
<https://doi.org/10.1079/9781845938253.0000>
- Camposeco-Montejo, N., Robledo-Torres, V., Ramírez-Godina, F., Valdez-Aguilar, L. A., Cabrera-de-la-Fuente M. y Mendoza-Villareal, R. 2018. Efecto del portainjerto en el índice y densidad estomática de pimiento morrón *Capsicum annuum* var. *annuum*. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 5:555-561.
- Caro-Encalada, M., Leyva-Morales, C. y Ríos-Santana, J. 2014. Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Revista de Economía*. 31:95-128.  
<https://doi.org/10.33937/reveco.2014.50>
- Castro, R. A., Fernández, P. S. P. y Osuna, A. P. 2012. Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum* - *Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30:49-65.
- Chavarro-Carrero, E. A., Valdovinos-Ponce, G., Gómez-Rodríguez, O., Nava-Díaz, C., Aguilar-Rincón V. H. y Valadez-Moctezuma, E. 2017. Respuesta de la línea 35-3 de chile tipo huacle (*Capsicum annuum*) a dos poblaciones de *Nacobbus aberrans*, *Nematropica*. 47: 74-85.
- Chew, M. Y. I., Vega, A., Palomo, M. y Jiménez, F. 2008. Principales enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.). Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental la Laguna. 42 p.
- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno, A. and Rea, E. 2006. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81:146-152.  
<https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512041>
- Colla, G., Roupshael, Y., Leonardi, C. and 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>
- Davis, A. R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., Levi, A., King, S. R. and Zhang, X. 2008. Grafting effects on vegetable quality. *Hortscience*. 43:1670-1672.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.6.1670>
- Evans, J. R. 2013. Improving photosynthesis. *Plant physiology*. 162:1780-1793.  
<https://doi.org/10.1104/pp.113.219006>

- FAO. 2021. Crop statistics reports for the world. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado el 13 de Agosto de 2021.
- Farajimanesh, A. and Haghghi, M. 2020. The effect of salinity and different rootstock on fruit and physiological parameters in Grafted-Cucumber. *Journal of Plant Process and Function* 9:68.
- Fernández-García, N., Carvajal, M. and Olmos, E. 2004. Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. *Annals of Botany*. 93:53-60. <https://doi.org/10.1093/aob/mch014>
- Fernández-Pavía, S. P., Díaz-Celaya, M. and Rodríguez-Alvarado, G. 2013. *Phytophthora* in México. *Phytophthora A Global Perspective*. 215-221.
- Fullana-Pericàs, M., Conesa, M. À., Pérez-Alfocea, F. and Galmés, J. 2020. The influence of grafting on crops' photosynthetic performance. *Plant Science*. 295:110250. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110250>
- Fullana-Pericàs, M., Ponce, J. M. Conesa, À., Juan, A., Ribas-Carbó, M. and Galmés, J. 2018. Changes in yield, growth and photosynthesis in a drought-adapted Mediterranean tomato landrace (*Solanum lycopersicum* 'Ramellet') when grafted onto commercial rootstocks and *Solanum pimpinellifolium*. *Scientia Horticulturae* 233:70-77. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.045>
- Gaion, L. A., Braz, L. T. and Carvalho, R. F. 2018. Grafting in vegetable crops: A great technique for agriculture. *International Journal of Vegetable Science*. 24:85-102. <https://doi.org/10.1080 / 19315260.2017.1357062>
- Gálvez, A., del Amor, F. M. Ros, C. and López-Marín, J. 2019 New traits to identify physiological responses induced by different rootstocks after root-knot nematode inoculation (*Meloidogyne incognita*) in sweet pepper. *Crop Protection*. 119:126-133. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.026>
- García-Rodríguez, M. A., Chiquito-Almanza, E. P., Loeza-Lara, D., Godoy-Hernández, H., Villordo, E., Pons-Hernández, J. L., González-Chavira, M. y Anaya-López, J. L. 2010. Producción de chile ancho injertado sobre criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia* 44:701-709.
- Gómez-Rodríguez, O., Corona-Torres, T. and Aguilar-Rincón, V. H. 2017. Differential response of pepper (*Capsicum annuum* L.) lines to *Phytophthora capsici* and root-knot nematodes. *Crop protection*, 92: 148-152. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.023>
- González, G. H., Ramírez Godina, F., Ortega Ortiz, H., Benavides Mendoza, A., Robledo Torres, V. and Cabrera De la Fuente, M. 2017. Use of chitosan-PVA hydrogels with copper nanoparticles to improve the growth of grafted watermelon. *Molecules* 22:1031. <https://doi.org/10.3390/molecules22071031>

- González, M. M., Villordo, P. E., Pons, H. J., Delgadillo, S. F., Paredes, M. R., Godoy, H. H. and Guerrero, A. B. Z. 2009. Guía para el manejo de la marchitez del chile en Guanajuato. Prometeo Editores, SA de CV CEPROCH-Guanajuato. México, DF 12-29.
- González, V. B. 2016. Caracterización agronómica y fisiológica de plantas de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) y chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P) injertadas sobre CM-334 (*Capsicum annuum* L.). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México 157 p.
- Goto, R., de Miguel, A., Marsal, J. I., Gorbe, E. and Calatayud, A. 2013. Effect of different rootstocks on growth, chlorophyll a fluorescence and mineral composition of two grafted scions of tomato. *Journal of plant nutrition*. 36: 825–835. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.757321>
- He, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X. and Zhu, B. 2009. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*. 66: 270-278. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.02.007>
- Hetherington, A. M. and Woodward, F. I. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*. 424: 901-908. <https://doi.org/10.1038/nature01843>
- Jang, Y., Moon, J. H., Lee, J. W., Lee, S. G., Kim, S. Y. and Chun, C. 2013. Effects of different rootstocks on fruit quality of grafted pepper (*Capsicum annuum* L.). *Hort. Sci. and Technology*. 31: 687-699. <http://dx.doi.org/10.7235/hort.2013.13047>
- Jeon, S., Krasnow, C. S., Kirby, C. K., Granke, L. L., Hausbeck, M. K. and Zhang, W. 2016. Transport and retention of *Phytophthora capsici* zoospores in saturated porous media. *Environmental Science and Technology*. 50:9270-9278. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01784>
- Johkan, M., Mitukuri, K., Yamasaki, S., Mori, G. and Oda, M. 2009. Causes of defoliation and low survival rate of grafted sweet pepper plants. *Scientia Horticulturae*. 119:103-107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.015>
- Johkan, M., Oda, M. and Mori, G. 2008. Ascorbic acid promotes graft-take in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 116: 343-347. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.004>
- Kacjan, M. N., P., Štolfa, D., Vodnik, K., Košmelj, M., Mikulič-Petkovšek, B., Kump, R., Vidrih, D., Kokalj, S., Piskernik, B., Ferjančič, M., Dragutinovič, R., Veberič, M., Hudina. and Šircelj, H. 2021. Physiological and Biochemical Responses of Ungrafted and Grafted Bell Pepper Plants (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* (L.) Sendtn.) Grown under Moderate Salt Stress. *Plants* 10: 314, <https://doi.org/10.3390/plants10020314>
- Khan, A. H., Hassan, M. and Khan, M. N. 2020. Conventional Plant Breeding Program for Disease Resistance. *In: Ul Haq, I., and Ijaz, S. Plant Disease Management Strategies for Sustainable Agriculture through Traditional and Modern Approaches*. Springer, Faisalabad, Pakistan pp. 27-51. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_3)

- Kokalis-Burelle, N., Bausher, M. G. and Roskopf, E. N. 2009. Greenhouse evaluation of *Capsicum* rootstocks for management of *Meloidogyne incognita* on grafted bell pepper. *Nematropica*. 39: 121.
- Kumar, B. A. and Kumar, S. 2017. Grafting of Vegetable Crops as a Tool to Improve Yield and Tolerance against Diseases- A Review. *International Journal of Agriculture Sciences*. 9: 4050-4056.
- Kumar, G. N. M. 2011. Propagation of Plants by Grafting and Budding. Washington State University. A Pacific Northwest Extension Publication 19 p.
- Kyriacou, M. C., Roupahel, Y., Colla, G., Zrenner, R. and Schwarz, D. 2017. Vegetable grafting: The implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value. *Frontiers in Plant Science* 8:741, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00741>
- Lee, J. M. and Oda, M. 2003. Grafting of herbaceous vegetables and ornamental crops. *Horticulturae Review*. 28: 61-124.
- Lee, J. M. and Oda, M. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*. 28:61-124.
- Lee, K. J., Kamala-Kannan, S. H., Sub, S. Seong, C. K. and Lee, G. W. 2008. Biological control of *Phytophthora blight* in red pepper (*Capsicum annuum* L.) using *Bacillus subtilis*. *World journal of microbiology and biotechnology*, 24: 139-1145 <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9585-2>
- Lee, K. J., Kamala-Kannan, S., Sub, H. S., Seong, C. K. and Lee, G. W. 2008. Biological control of *Phytophthora blight* in red pepper (*Capsicum annuum* L.) using *Bacillus subtilis*. *World journal of microbiology and biotechnology*. 24: 139-1145. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9585-2>
- Liu, Y. F., Qi, H. Y., Bai, C. M. Qi, M. F., Xu, C. Q., Hao, J. H., Li, Y., Li, T. L. 2011. Grafting Helps Improve Photosynthesis and Carbohydrate Metabolism in Leaves of Muskmelon. *Int J Biol Sci*. 7:1161-1170. <https://doi.org/10.7150/ijbs.7.1161>
- López-Marín, J., Gálvez, A., del Amor, F. M., Albacete, A., Fernández, J. A., Egea-Gilabert, C. and Pérez-Alfocea, F. 2017. Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. *Scientia Horticulturae*, 214: 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.012>
- López-Serrano, L., Canet-Sanchis, G., Vuletin Selak, G., Penella, C., San Bautista, A., López-Galarza, S. and Calatayud, Á. 2019. Pepper rootstock and scion physiological responses under drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 10: 38. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00038>
- Louws, F. J., Rivard, C. L. and Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae*. 127: 127-146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.023>

- Lozano-Alejo, N., Guzmán-Plazola, R. A., Zavaleta-Mejía, E., Aguilar-Rincón, V. H. y Ayala-Escobar, V. 2015. Etiología y evaluación de alternativas de control de la Marchitez del chile de árbol (*Capsicum annuum* L.) en La Vega de Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 33: 31-53.
- Majid, M. U., Awan, M. F., Fatima, K., Tahir, M. S., Ali, Q., Rashid, B. and 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. <https://doi/10.13080/z-a.2016.103.054>
- Maršić, N. K., Štolfa, P., Vodnik, D., Košmelj, K., Mikulič-Petkovšek, M., Kump, B., Vidrih, R., Kokalj, D., Piskernik, S., Ferjančič, B., Dragutinović, M., Veberič, R., Hudina, M. and Šircelj, H. 2021. Physiological and Biochemical Responses of Ungrafted and Grafted Bell Pepper Plants (*Capsicum annuum* L. var. *Grossum* (L.) Sendtn.) Grown under Moderate Salt Stress. *Plants*. 10: 314. <https://doi.org/10.3390/plants10020314>
- Martínez-Ballesta, M. C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C. and Carvajal, M. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae*. 127:112-118. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.002>
- Martínez-Vera, A. 2013. CM-334 como portainjerto de pimiento morrón: compatibilidad, resistencia a *Phytophthora capsici* L. y desempeño agronómico. Tesis de Maestría. Universidad Agraria Autónoma de Chapingo, México 70 p.
- Maurya, D., Pandey, A. K., Kumar, V., Dubey, S. and Prakash, V. 2019. Grafting techniques in vegetable crops: A review. *International Journal of Chemical Studie*. 7: 1664-1672.
- McAusland, L., Vialet-Chabrand, S., Davey, P., Baker, N. R., Brendel, O. and Lawson, T. 2016. Effects of kinetics of light-induced stomatal responses on photosynthesis and water-use efficiency. *New Phytologist*, 211: 1209-1220. <https://doi.org/10.1111/nph.14000>
- Melnyk, C. W., Schuster, C., Leyser, O., Meyerowitz, E. M. 2015. A developmental framework for graft formation and vascular reconnection in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biology* 25: 1306-1318. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.03.032>
- Misson, L., Limousin, J. M., Rodríguez, R. and Letts, M. G. 2010. Leaf physiological responses to extreme droughts in Mediterranean *Quercus ilex* forest. *Plant, Cell and Environment* 33: 1898-1910.
- Moens, M., Perry, R.N. and Starr, J. L. 2009. *Meloidogyne* species- a Diverse Group of Novel and Important plant parasites. *In: Root-Knot Nematodes*. Perry, R. N., M. Moens, and J. L. Starr. (eds.) CABI International, Wallingford, UK. pp. 8-9.
- Muneer, S., Ko, C. H., Soundararajan, P., Manivnnan, A., Park, Y. G. and Jeong, B. R. 2015. Proteomic study related to vascular connections in watermelon scions grafted onto bottle-gourd rootstock under different light intensities. *Plos On.*, 10: 0120899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120899>

- Naizaque, J., García, G., Fischer, G. y Melgarejo, L. M. 2014 Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en Feijoa (*Acca sellowiana* [o. Berg] Burret). Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica. 17:115-121.
- Oda, M., Maruyama, M. and Mori, G. 2005. Water transfer at graft union of tomato plants grafted onto *Solanum* rootstocks. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 74: 458-463 <https://doi.org/10.2503/jjshs.74.458>
- Oelke, L. M., Bosland, P. W. and 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 jashs. 128: 213-218. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0213>
- Osuna-Ávila, P., Aguilar-Solís, J., Fernández-Pavía, S., Godoy-Hernández, H., Corral-Díaz, B. Flores-Margez, J. P. Borrego, A. y Olivas, E. 2012. Injertos en chiles tipo cayene, jalapeño y chilaca en el noroeste de Chihuahua, México. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 3: 739-750.
- Ozbahce, A., Kosker, Y., Gultekin, R., Gorgisen, C., Avag, K., Demir, Y. and Yucel, S. 2021. Impact of different rootstocks and limited water on yield and fruit quality of melon grown in a field naturally infested with *Fusarium* wilt. Scientia Horticulturae. 289: 110482. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110482>
- Palma-Martínez, E., Aguilar-Rincón, V. H., Corona-Torres, T., y Gómez-Rodríguez, O. 2017 Resistencia a *Phytophthora capsici* L. En líneas de chile huacle. *Capsicum annuum* L. Revista Fitotecnia Mexicana. 40: 359-363.
- Penella, C., González, N. S., López-Galarza, S. V., San Bautista, A., Gorbe, E. and Calatayud, A. 2013. Evaluation for salt stress tolerance of pepper genotypes to be used as rootstocks. Journal of Food Agriculture and Environment, 11: 1101-1107.
- Penella, C., Landi, M., Guidi, L., Nebauer, S. G., Pellegrini, E., San Bautista, A. and Calatayud, A. 2016. Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity through maintenance of photosynthetic performance and sinks strength. Journal of Plant Physiology. 193:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.02.007>
- Peralta-Manjarrez, R. M., Cabrera-De la Fuente, M., Morelos-Moreno, A., Mendoza, A. B., Ramírez-Godina F. and Fuentes, J. A. G. 2016. Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3453-3463.
- 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*. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. 1:15. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>
- Pintado-López, L. M., Guzmán-Plazola, R. A., Ayala-Escobar, V. and Aguilar-Rincón, V. H. 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>
- Rajkumar, M., Lee, W. H. and Lee, K. J. 2005. Screening of bacterial antagonists for biological control of *Phytophthora blight* of pepper. *Journal of Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms*. 45: 55-63, <https://doi.org/10.1002/jobm.200410445>
- Ramírez, M. M., Arcos Cavazos, G., Mata Vázquez H. y Vázquez García, E. 2007. Coloso, híbrido de chile serrano para las regiones productoras de México. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Folleto Técnico. 21 p.
- Ramiro, C. A. 2001. Guajillo San Luis y Guajillo INIFAP, nuevas variedades de chile mirasol para el norte-centro de México. Folleto Técnico. 14 p.
- Ramiro, C. A. 2008. AM-VR nueva variedad de chile ancho mulato para el altiplano de México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental San Luis. S.L.P. México. Folleto Técnico. No. 34. 10 p.
- Reyes-Escogido, M. D. L., González-Mondragón, E. G. and Vázquez-Tzompantzi, E. 2011. Chemical and pharmacological aspects of capsaicin. *Molecules* 16: 1253-1270. <https://doi.org/10.3390/molecules16021253>
- Rodríguez, G. F. A. and Sánchez, N. C. 2003. Arreglo topológico y su efecto en rendimiento y calidad de semilla de chile jalapeño. *Agricultura Técnica en México*, 29: 49-60.
- Sakata, Y., Ohara, T. and Sugiyama, M. 2007. The history and present state of grafting of cucurbitaceous vegetables in Japan. *Acta Horticulturae*. 731: 159–170. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.731.22>
- Salas, J. A., Sanabria, M. E., y Pire, R. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en las plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro*, 13: 99-104.
- Sánchez, E., Torres, A. Flores, M. A., Preciado, P. y Márquez, C. 2015. Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* L. en pimiento morrón. *Nova Scientia*. 7: 227-244.
- Sanogo, S. and Ji, P. 2013. Water management in relation to control of *Phytophthora capsici* in vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 129: 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.018>
- Santos, H. and Goto, R. 2004. Enxertia em plantas de pimentao no controle da murcha de fitoftora en ambiente protegido. *Hort. Bras.* 22: 45-49. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000100009>
- Schwarz, D., Roupael, Y., Colla, G. and Venema, J. H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127: 162-171 <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2010.09.016>

- Shirai, T. and Hagimori, M. 2004. Studies in establishment of transplant production methods of sweetpepper (*Capsicum annuum* L.) by grafting shoots harvested from mother plants: effects of healing conditions of graft on the rate and quality of successful union. Journal Japanese Society Horticultural Science. 73: 380-385. <https://doi.org/10.2503/jjshs.73.380>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Septiembre 2021).
- Silva-Rojas, H. V., Fernández-Pavia, S. P., Góngora-Canul, C., Macías-López, B. C., y 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.
- Srivastava, A. and Mangal, M. 2019. The Capsicum Genome *In*: N. Ramchiary and C. Kole (eds.). The Capsicum Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer, Cham. pp:25-45. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_3)
- Steuernagel, B., Periyannan, S. K., Hernández-Pinzón, I., Witek, K., Rouse, M. N., Yu, G. and Wulff, B. B. 2016. Rapid cloning of disease-resistance genes in plants using mutagenesis and sequence capture. Nature biotechnology. 34: 652-655. <https://doi.org/10.1038/nbt.3543>
- Sy, O., Steiner, R. and Bosland, P. 2008. Recombinant inbred approaches to management of *Phytophthora blight* of bell pepper. Plant Disease. 83:1080-1089.
- Tanaka, Y., Sugano, S. S., Shimada T., Hara-Nishimura, I. 2013. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in Arabidopsis. New Phytol. 198 :757–64. <https://doi.org/10.1111/nph.12186>
- Thabuis, A., Lefebvre, V., Bernard, G., Daube`ze, A. M., Phaly, T., Pochard, E. and Palloix, A. 2004. Phenotypic and molecular evaluation of a recurrent selection program for a polygenic resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. Theor Appl Genet. 109: 342-351. <https://doi/10.1007/s00122.004.1633.9>
- Tripodi, P., Kumar, S. 2019. The Capsicum Crop: An Introduction. *In*: N. Ramchiary and C. Kole (eds.). The Capsicum Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer, Cham. pp:1-8. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_1)
- Velázquez-Valle, R., Amador-Ramírez, M. D., Medina-Aguilar, M. M. y Lara-Victoriano, F. 2007. Presencia de patógenos en almácigos y semilla de chile (*Capsicum annuum* L.) en Aguascalientes y Zacatecas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25: 75-79.
- Wilkinson, H. 1979. The plant superface (mainly leaf) *In*: Anatomy of Dicotyledons. C. R. Metcalfe, L. Chalk (eds). Clarendon Press. Oxford, UK. pp. 97-165.
- Wu, A., Hammer, G. L., Doherty, A., von Caemmerer, S. and Farquhar, G. D. 2019. Quantifying impacts of enhancing photosynthesis on crop yield. Nature Plants. 5: 380-388. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0398-8>

- Yamasaki, A., Yamashita, M. and Furuya, S. 1994. Mineral concentrations and cytokinin activity in the xylem exudates of grafted watermelons as affected by rootstock and crop. *Sci Hort.* 62: 817-826. <https://doi.org/10.2503/jjshs.62.817>
- Yang, Y., Yu, L. Wang, L. and Guo, S. 2015. Bottle gourd rootstock-grafting promotes photosynthesis by regulating the stomata and non-stomata performances in leaves of watermelon seedlings under NaCl stress. *Journal of Plant Physiology.* 186: 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.07.013>
- Zárate-Martínez, W., Arellano-García, M. A., Ramírez-Godina, F., Moreno-León, K., González-Sandoval, D. C. 2021. Evaluación de diferentes niveles de radiación sobre la densidad estomática de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* 8: e3009. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3009>
- Zhang, G., and Guo, H. 2018. Effects of tomato and potato heterografting on photosynthesis, quality and yield of grafted parents. *Horticulturae. Environ. Biotechnol.* 60: 9-18. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0096-x>