

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



INJERTOS INTRAESPECIE E INTERESPECIE PARA PRODUCCIÓN DE  
PIMIENTO MORRÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON *Phytophthora*  
*capsici* Leonian.

**Tesis**

Que presenta NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO  
como requisito parcial para obtener el grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Saltillo, Coahuila

Julio 2018

INJERTOS INTRAESPECIE E INTERESPECIE PARA PRODUCCIÓN DE  
PIMIENTO MORRÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON *Phytophthora*  
*capsici* Leonian

**Tesis**

Elaborada por NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO como requisito parcial para  
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría




Dr. Valentín Robledo Torres  
Asesor principal



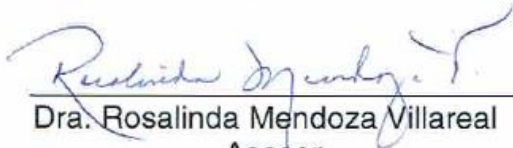
Dra. Francisca Ramírez Godina  
Asesor



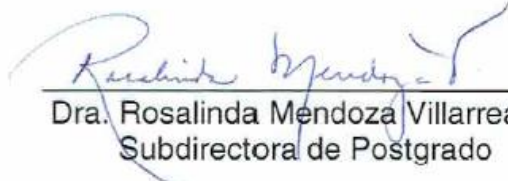
Dr. Miguel Ángel Pérez Rodríguez  
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente  
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villareal  
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villareal  
Subdirectora de Postgrado

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el personal que en ella labora, por brindarnos la facilidad de realizar mis estudios de postgrado en sus instalaciones y sus aulas.

Al CONACYT por brindarnos el apoyo de la beca a estudiantes de postgrado, con la cual fue posible la realización del Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida.

Al departamento de horticultura y al personal del laboratorio y de campo de horticultura, sobre todo a Martina y Juan Manuel, por siempre brindarnos apoyo y asesoría en las practicas de laboratorio y campo.

Al Dr. Valentin Robledo Torres por sus enseñanzas y asesorías brindadas y sobre todo por acompañarme en mi proceso de formación Doctoral además de aconsejarme siempre.

Al Dr. Marcelino Cabrera de La Fuente por guiarnos y asesorarnos en cualquier duda que tuviera y por siempre tener la disposición de ayudar.

A La Dra. Francisca Ramirez Godina, Dra. Rosalinda Mendoza Villareal y Dr. Miguel Angel Perez Rodriguez y Dr. Armando Rodriguez Perez por brindarme su asesoría en el trabajo de investigación y por los consejos sugeridos. Y en general a todos los Profesores Investigadores que ayudaron en mi formación profesional.

A todos mis compañeros y amigos del Voleybol, Cris, Whito, Yavin, Noe, Fermin, David, Edu y Poncho que siempre estuvieron apoyando y acompañando en la cancha como en mi formación profesional.

A todos mis compañeros y amigos del Doctorado sobre todo a los que siempre invitaban a jugar futbol.

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Maria del Pilar Marin Cortez, por siempre estar conmigo tanto en momentos felices como difíciles y por apoyarme siempre incondicionalmente en mi proceso de formación Doctoral.

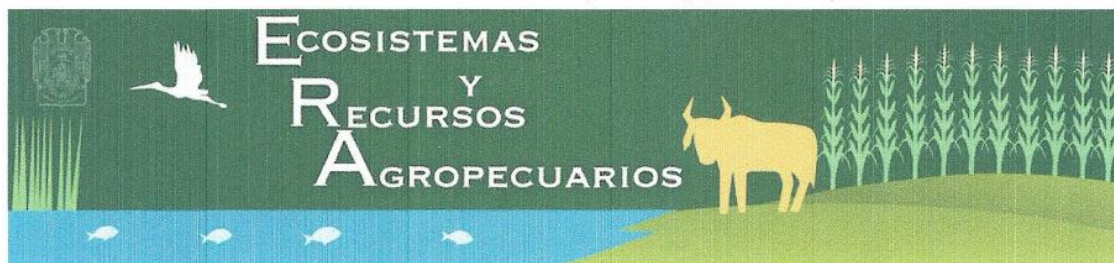
A mis padres Juan y Milida por siempre aconsejarme y brindarme su apoyo incondicional en todos los proyectos que realizo y este no fue la excepción.

A mis hermanos Rudy, Yesi y Uriel que con quien también cuento con su apoyo incondicional y siempre están cuando se necesita.

# CARTAS DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULOS

19/6/2018

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios



## Artículos Aceptados

Aplicación de la regresión cuantílica para predecir el volumen fustal: Estudio de caso/Application of quantile regression to predict stem volume: A case study (archivos/file39.pdf)

Adan Nava-Nava, Pablo Antúnez

Efecto del nivel de urea del sacchapulido sobre la degradación del forraje elefante (*Pennisetum purpureum*) / Effect of sacchapulides urea level on elephant forage degradation (*Pennisetum purpureum*) (archivos/file43.pdf)

Jesús Alfonso Ramos-Juarez, Luis Manuel Vargas-Villamil, Francisco Izquierdo-Reyes, Carlos Rubén Fernández-Cabrera, Germán David Mendoza-Martinez, Emilio Manuel Aranda-Ibañez, David Hernández-Sánchez, Arabel Elías-Iglesias

Efecto del portainjerto en el índice y densidad estomática de pimiento morrón *Capsicum annum* var. *annuum* / Effect of rootstock in the index and stomatal density of bell pepper *Capsicum annum* var. *annuum* (archivos/file44.pdf)

Neymar Camposeco-Montejo, Valentín Robledo-Torres, Francisca Ramírez-Godina, Luis Alonso Valdez-Aguilar, Marcelino Cabrera-de-la-Fuente, Rosalinda Mendoza-Villareal

Nitrogen balance of bullocks fed *Cratylia argentea* and *Brachiaria arrecta* Hay Balance de nitrógeno de toretes alimentados con *Cratylia argentea* y heno de *Brachiaria arrecta* (archivos/file52.pdf)

Melvin Noel González-Arcia, Miguel Ángel Alonso-Díaz, Braulio Valles-de la Mora, Epigmenio Castillo-Gallegos, Juan Carlos Ku-Vera

Tipología de estrategias campesinas en la ca cultura orgánica de la Sierra Madre de Chiapas/Typology of peasant strategies in organic coffee growing in the Sierra Madre de Chiapas (archivos/file46.pdf)

Yair Merlin-Uribe, Fabien Charbonnier, Armando Contreras-Hernández, Obeimar Balente Herrera Hernández, Lorena Soto-Pinto

Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote/Accumulation of forage of buffel grass and *Urochloa* hybrids at different age of regrowth (archivos/file49.pdf)

Jonathan R. Garay-Martínez, Santiago Joaquín-Cancino, Benigno Estrada-Drouaillet, Juan C. Martínez-González, Bertín M. Joaquín-Torres, Andrés G. Limas-Martínez, Javier Hernández-Meléndez

Análisis orístico de la selva tropical perennifolia del centro-norte de Veracruz, México / Floristic analysis of the tropical rainforest of the North-Central Veracruz, Mexico (archivos/file40.pdf)

Mireya Burgos-Hernández, Gonzalo Castillo-Campos

Análisis comparativo de las aves de dos zonas boscosas de Pueblo Viejo, Chiapas, México / Comparative analysis of birds in two forest zones of Pueblo Viejo, Chiapas, Mexico (archivos/file51.pdf)

Luis Enrique De los Santos-Vázquez, Marco Antonio Altamirano González-Ortega

Áreas voluntarias de conservación y la extracción de leña en núcleos agrarios de Oaxaca / Voluntary conservation areas and the extraction of rewood in Oaxaca's farming settlement (archivos/file45.pdf)

Marisa Silva-Aparicio, Adriana E. Castro-Ramírez, Hugo R. Perales-Rivera

Corn oil enhances progesterone and estradiol plasma levels in tropical hair sheep/El aceite de maíz incrementa los niveles séricos de progesterona y estradiol en ovejas de pelo (archivos/file41.pdf)

Victor Manuel Meza-Villalvazo, Hector Magaña-Sevilla, Crystelli Alicia Rojas-Marquez, Carlos Sandoval-Castro, Alfredo Trejo-Cordova

Estimación de la evapotranspiración mediante un balance de energía utilizando sensores remotos /Estimation of evapotranspiration through an energy balance using remote sensing (archivos/file47.pdf)

Carlos Raúl Castañeda-Ibáñez, Héctor Flores-Magdaleno, Mario Martínez-Menes, Salvador Esparza-Govea, Demetrio Fernández-Reynoso, Víctor Prado-Hernández, Fermín Pascual-Ramírez

## Correo de Outlook


 Nuevo |
  Responder |
  Eliminar
  Archivar
 Correo no deseado |
 



 R [Agronomy] Manuscript ID: agronomy-306896 - Article Processing Charge Confirmation

Er  
 ca  
 ✓ Tc  AT Amy Tai <amy.tai@mdpi.com>  R  
 dom 06/05, 10:36 p.m.  
 Tú: Valentin Robledo-Torres (robledo3031@gmail.com); +5 destinatarios ✕

Be Dear Dr. Robledo-Torres,

El Thank you very much for submitting your manuscript to Agronomy:

Cl  
 D Journal name: Agronomy  
 Manuscript ID: agronomy-306896  
 Type of manuscript: Article  
 Title: RESPONSE OF BELL PEPPER TO ROOTSTOCK GROWN IN SOIL OR FIBER OF COCONUT IN GREENHOUSE  
 Authors: Neymar Camposeco Montejo, Valentin Robledo-Torres \*, Francisca Ramírez-Godina, Rosalinda Mendoza-Villarreal, Miguel Angel Pérez-Rodríguez, Marcelino Cabrera-de la Fuente  
 Received: 6 May 2018  
 E-mails: NEYM\_33K@hotmail.com, robledo3031@gmail.com, godramf@gmail.com, rosalingdamendoza@hotmail.com, miguel\_cbg@hotmail.com, cafum7@yahoo.com  
 Adapting Crop Productivity to Climate Change  
 O [http://www.mdpi.com/journal/agronomy/special\\_issues/crop\\_productivity](http://www.mdpi.com/journal/agronomy/special_issues/crop_productivity)

Cl We confirm that, if accepted for publication, the following Article Processing Charges (APC) will apply to your article:

Fe  
 ● Journal APC: 550 CHF  
 Tc Total APC: 550 CHF

se Please note that you may be entitled to a discount if you have previously received a discount code or if your institute is participating in the MDPI Institutional Open Access Program (IOAP), for more information see <http://www.mdpi.com/about/ioap>.

Ú Please note that reviewer vouchers must be applied before acceptance for publication. Vouchers can no longer be applied once an APC invoice has been issued. If you have been granted any discounts that are not displayed here, please contact the Agronomy editorial office as soon as possible.

se Kind regards,  
 mi Amy Tai  
 Assistant Editor  
 Email: amy.tai@mdpi.com

Si If you are interested in reviewing articles for our journals, please fill in your information at the following link:

int [https://susy.mdpi.com/volunteer\\_reviewer/step/1](https://susy.mdpi.com/volunteer_reviewer/step/1)

--  
 Ms. Amy Tai  
 MDPI Branch Office, Beijing Room 201, Building No. 4, Zijin Digital Park, No. 18, Nansi Avenue, Zhongguancun, Haidian District, 100190 Beijing, China  
 Agronomy Editorial Office  
 Tel. +86 10 62800830; Fax +86 10 62800830  
 E-mail: agronomy@mdpi.com  
<http://www.mdpi.com/journal/agronomy/>

MDPI AG

## INDICE GENERAL

INTROODUCCIÓN.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	4
<b>ARTICULO # 1</b> EFECTO DEL PORTAINJERTO EN EL ÍNDICE Y DENSIDAD ESTOMÁTICA DE PIMIENTO MORRÓN <i>Capsicum annum</i> var. <i>annuum</i> .....	8
<b>ARTICULO # 1</b> RESPONSE OF BELL PEPPER TO ROOTSTOCK AND GREENHOUSE CULTIVATION IN COCONUT FIBER OR SOIL.....	16
OTROS RESULTADOS.....	33
Sincronizacion y prendimiento.....	33
Severidad de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian.....	34
CONCLUSIONES GENERALES.....	36
LITERATURA CITADA.....	37

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Prueba de sincronización de diferentes portainjertos para pimiento.....	33
Cuadro 2. Prendimiento de portainjertos y variedad de pimiento en diferentes escalas de tiempo.....	33
Cuadro 3. Severidad de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian en diferentes escalas de tiempo de pimiento cultivado en fibra de coco.....	34
Cuadro 4. Severidad de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian en diferentes escalas de tiempo de pimiento cultivado en suelo.....	35



## INTRODUCCIÓN

Actualmente la población humana crece a un ritmo exponencial y en consecuencia la demanda de alimentos se incrementa en la misma proporción, al mismo tiempo los espacios para la producción agrícola se reducen, por el crecimiento de los asentamientos urbanos. México no es la excepción y los retos de la actividad agrícola mundial se centran en el desarrollo nuevas tecnologías que permitan incrementar los rendimientos por unidad de superficie y mejorar la calidad de los productos, una de estas tecnologías es el injerto. Que es un medio de propagación, que consiste en unir una parte de una planta a otra que ya está asentada. El resultado es un individuo autónomo formado por dos plantas y variedades. La planta injertada está constituida por un portainjerto que es la planta que recibe a la porción de tejido llamada injerto. El portainjerto generalmente no tiene valor agronómico, pero genéticamente contiene genes de resistencia o tolerancia a estrés biótico (King *et al.*, 2010) o abiótico (Zhao *et al.*, 2011). La otra parte es el injerto o variedad comercial que es una porción de tallo o yema que se fija al portainjerto para que se desarrollen ramas, hojas, flores y frutos (Hartmann *et al.*, 1997).

El injerto tuvo sus inicios en Asia en la década de 1920 y se injerto de sandía, en países como Japón y Corea la utilización de este método ha ido en aumento (Sakata *et al.*, 2007). Actualmente cultivos como: sandia, melón, pepino, tomate entre otros son comúnmente injertados con patrones resistentes a patógenos del suelo principalmente para su venta comercial (Sakata *et al.*, 2008). Originalmente el propósito del injerto en hortalizas, era evadir las enfermedades causadas por parásitos y patógenos del suelo como *Verticillium*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Ralstonia*, *Nematodos* etc. (Louws *et al.*, 2010; Rouphael *et al.*, 2010), actualmente el injerto también se utiliza para evitar problemas de estrés abiótico (Penella *et al.*, 2017; Oztekin *et al.*, 2007), incrementar rendimientos, mejorar calidad del fruto, extender el tiempo de cosecha, así como reducir aplicaciones agroquímicas (Colla *et al.*, 2010; Schwarz *et al.*, 2010), además de mejorar la calidad comercial de los frutos (Bahar *et al.*, 2013; Báez *et al.*, 2010), ya que es una técnica eficaz para evitar enfermedades y en menor medida plagas de los cultivos (Álvarez., 2012), lo anterior favorece la tendencia de la actividad agrícola mundial que

es reducir la dependencia de los agroquímicos sintéticos (King *et al.*, 2010), por lo tanto el injerto en las hortalizas representa una alternativa viable para una producción amigable con el ambiente (Ezziyyani *et al.* 2005). Dado que la importancia del injerto ha sido reconocida en los ámbitos agrícolas a nivel mundial, resulta una técnica muy eficaz, limpia y cuyo uso implica nulo impacto ambiental, comparado con los desinfectantes del suelo comúnmente usados (King *et al.*, 2010), además se ha adoptado como forma segura para producción ecológica y respetuosa con el medio ambiente, ya que minimiza la absorción de residuos de agroquímicos indeseables (Myung *et al.*, 2010).

Actualmente no existen híbridos comerciales de chile resistentes a todas las enfermedades causadas por hongos y bacterias presentes en los suelos de los sistemas de producción protegidas; sin embargo esta resistencia pudiera encontrarse en parte de híbridos comerciales o especies de origen silvestre y criollos, que puede servir de patrones a los cultivares comerciales, a través de la técnica de injerto (Schwarz *et al.*, 2010). En México se ha reportado injerto de chile tipo ancho (García *et al.*, 2010), también en chiles jalapeños y chilacas (Osuna *et al.*, 2010).

Si la técnica de injerto se utiliza con las variedades comerciales de pimiento morrón, se podrían reducir de manera significativa las pérdidas cuantiosas, por enfermedades radiculares que alcanzan hasta 100% (Guijón *et al.*, 2001; Rico *et al.*, 2004). Además se han logrado incrementos en rendimiento de hasta 50% y se reduce la incidencia de *P. capsici* (Sánchez *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2011) también se aumentan los rendimientos comerciales (Penella *et al.*, 2017). En tomate injertado se han reportado incrementos de rendimiento de hasta 35% (Chew *et al.* 2012; Álvarez., 2012) y del 35% en la calidad del fruto de exportación (Báez *et al.*, 2010), López *et al.*, (2012), reportan incrementos superiores al 25% con el uso de portainjertos tolerantes. Y es una buena estrategia de adaptación para las condiciones de estrés abiótico (Lopez *et al.*, 2014), por lo que la selección de portainjertos es de suma importancia en la mejora de la calidad de las plantas y la calidad comercial de los frutos (Huang *et al.*, 2015), además debe existir una adecuada compatibilidad entre el portainjerto y la variedad (Ren *et al.*, 2018). Los beneficios del uso de portainjertos es contundente, sin embargo debido a la tendencia de mayor uso en la técnica, surge la necesidad de probar los distintos portainjertos que se encuentran en el mercado y los nuevos que se agregan cada año, a fin de encontrar la

combinación más adecuada entre portainjerto/variedad que satisfaga los volúmenes de producción que demandan los productores, con los parámetros de calidad que requiere el mercado, y la calidad nutricional a los consumidores, es por eso que el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres portainjertos comerciales sobre el rendimiento y calidad de la fruta en cuatro híbridos de pimiento morrón.

Es por eso que el objetivo del presente trabajo es obtener un portainjerto intraespecie o interespecie para pimiento morrón y su producción en suelos contaminados con *Phytophthora capsici* L.

## REVISIÓN DE LITERATURA

México y Centroamérica son considerados los lugares de origen y domesticación del chile *Capsicum annuum* L. Fue introducido a Europa por Cristóbal Colón en 1493 a través de España y de ahí se extiende a Asia, su cultivo en España comenzó en el siglo XVI, posteriormente se extendió a Italia y luego a Francia para distribuirse por toda Europa y el resto del mundo. En 2016 en México se sembraron 150,000 hectáreas de pimiento morrón con 2.9 millones de toneladas, de las cuales 1500 se producen en invernadero y una producción de 1.7 millones de toneladas, ocupando de esta manera el segundo lugar en volumen de producción solo por debajo de China, por lo que se ubica en el primer lugar en exportaciones, y crecimiento anual de 9%, cuyo consumo *per cápita* nacional es de 16 kg (SIAP-SAGARPA, 2016).

Aunque la importancia del pimiento en México es grande, los problemas a los que se enfrentan los productores día a día también lo son, sobre todo enfermedades radiculares, en las cuales se encuentra *Phytophthora capsici*. Las especies de *Phytophthora* causan varias enfermedades en muchos tipos de plantas, desde plántulas de hortalizas anuales o de ornato hasta árboles forestales y frutales completamente desarrollados. La mayoría de las especies del hongo producen pudriciones de la raíz, ahogamiento de plántulas y pudriciones de tubérculos, base del tallo y otros órganos. Otras especies ocasionan pudriciones de yemas o de frutos y algunas de ellas producen tizones que atacan al follaje, ramas inmaduras y frutos. Algunas especies son específicas al hospedante, es decir, sólo atacan a una o dos especies de plantas, pero otras tienen una amplia gama de hospedantes y pueden causar síntomas similares o distintos en muchos tipos de plantas hospedantes (Ezziyani *et al.*, 2004). La especie que mejor se conoce es *Phytophthora infestans*, causante del tizón tardío de la papa y del tomate, pero cabe mencionar que muchas otras especies producen enfermedades devastadoras en sus hospederos. El oomiceto *Phytophthora capsici* L., y los hongos *Rhizoctonia solani* Kühn y *Fusarium oxysporum* Schlechtend. Fr., causan pudrición de raíz y cuello en plantas, conociéndose como marchitez del chile, reportándose en cultivos como chile, jitomate, papa, entre otros, ocasionando pérdida severas que afectan la calidad y cantidad de la producción de los cultivos (Fernández *et al.*, 2007). *Phytophthora capsici* genera la

podrición de la raíz del pimiento, la zanahoria y la calabaza entre otras plantas. Los efectos de *Phytophthora capsici* en pimiento morrón son letales, pues al penetrar por las raíces impide la absorción de agua y nutrientes y cuando la planta presenta los primeros síntomas, ya está invadida y a la fecha no se conoce un mecanismo de curación efectivo (Ezziyyani *et al.*, 2005). El Oomicete *Phytophthora capsici* fue descrito por primera vez por Leonian, en 1922, ocasionando la marchitez de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) en Nuevo México, USA. En México se reportó en 1956 por el Dr. J. Galindo. La enfermedad se describe en España por primera vez en 1964. El cultivo de pimiento morrón es muy susceptible al ataque de enfermedades, entre ellas la que más destaca es la “tristeza del chile” ocasionada por un complejo de hongos y el principal es el hongo patógeno, *Phytophthora capsici*, causante de pérdidas tanto en los cultivos, como económicas que van desde 3, 30, 60 y hasta 100%. En la década de los 80's *Phytophthora capsici* fue el principal problema fitosanitario, responsable de pérdidas en rendimiento, originando el desplazamiento del cultivo a zonas libres de patógenos (González *et al.* 2002). Se han reportado pérdidas totales por *Phytophthora capsici* en las regiones como el Bajío y Puebla (Pérez *et al.*, 1990). En un estudio regional sobre enfermedades del chile en el sur de Chihuahua reportan pérdidas que oscilan entre 5.3 y 32%. (González *et al.* 2002), además reportaron cultivos con síntomas de marchitez en siete estados de la Republica Mexicana concluyendo que el 33% se asociaron a *Phytophthora capsici*.

Los métodos para contrarrestar los efectos nocivos de los fitopatógenos son diversos, aunque principalmente se utilizan mejoramiento genético, uso de sustratos orgánicos o inorgánicos, uso de agroquímicos y el uso de portainjertos tolerantes o resistente. Actualmente en el área hortícola, una de las técnicas que se utilizada tanto solanáceas como cucurbitáceas para contrarrestar los efectos de las enfermedades del suelo y que continua creciendo es la técnica de injerto, que se describe como un método de propagación que consiste en unir una parte de una planta a otra que ya está asentada. El resultado es un individuo autónomo formado por dos plantas y variedades. La planta injertada está constituida por un portainjerto que es la planta que recibe a la porción de tejido llamada injerto. El portainjerto generalmente no tiene valor agronómico, pero genéticamente contiene genes de resistencia o tolerancia a estrés biótico (King *et al.*,

2010) o abiótico (Zhao *et al.*, 2011). La otra parte es el injerto o variedad comercial que es una porción de tallo o yema que se fija al portainjerto para que se desarrollen ramas, hojas, flores y frutos (Hartmann *et al.*, 1997). Los tipos de injertos y el control de las condiciones ambientales son importantes para el éxito de esta técnica; el injerto por aproximación es más recomendado ya que ambos conservan sus raíces a lo largo del proceso de cicatrización; sin embargo, es una técnica laboriosa y costosa. Los injertos de empalme o de púa, son técnicas más rápidas donde el injerto se coloca directamente, en el patrón sin conservar sus raíces pero exigen condiciones controladas de temperatura (27 °C) y humedad relativa (80%) durante el periodo de soldadura (Oda, 1995).

El uso de portainjerto puede mejorar las respuestas de estrés bióticos de toda la planta, mejorando su vigor a través de la mayor absorción de los nutrientes del suelo, prevención de infecciones por patógenos y la tolerancia a las bajas temperaturas del suelo, salinidad, y las condiciones de suelo con exceso de humedad. El tipo de portainjerto influye considerablemente sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto (King *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2010). El uso de injertos para contrarrestar los efectos de la salinidad de los suelos también va en aumento en solanáceas y cucurbitáceas puesto que las plantas injertadas cultivadas bajo condiciones salinas a menudo exhiben un mejor crecimiento y rendimiento, mayor fotosíntesis y contenido de agua de las hojas, una mayor proporción de raíz para asimilación de nutrimentos, mayor acumulación de osmolitos, ácido abscísico y poliaminas y capacidad antioxidante en hojas, y una baja acumulación de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en brotes en comparación con plantas no injertadas (Colla *et al.*, 2010) El uso de la tecnología de injertos en los cultivos de hortalizas, representa un componente significativo y de gran valor para las industrias vegetales en todo el mundo (Aloni *et al.*, 2010), Además mencionan que el enorme progreso en la comprensión de los procesos de señalización y la participación de fitohormonas en todos los aspectos del desarrollo de la planta y la productividad de los cultivos se pueden utilizar para obtener información más profunda de lo que ocurre en comunicación injerto-portainjerto.

En México se han reportado estudios tendientes a contrarrestar los efectos de *Phytophthora capsici* en chile mediante la técnica de injerto, en el primero de ellos, se ha reportado un caso de injerto de chile del tipo ancho en Celaya, Guanajuato, se

evaluaron *in vitro e in vivo* la resistencia al patógeno *Phytophthora capsici* en el cultivar tipo serrano Criollo de Morelos 334 (CM 334) y de cuatro patrones comerciales. Concluyeron que el CM 334 como patrón mostró la más baja incidencia (1%) de la enfermedad, indicando que tiene potencial para producir chile aun en zonas con alta incidencia de *P. capsici*.(García *et al.*, 2010). En el segundo estudio se evaluó el portainjerto CM 334 para chiles tipo chilaca, jalapeño y cayenne, con prendimiento de 90% aceptable a nivel comercial y determinaron que el portainjerto CM 334 podría incluirse en el manejo integrado para el control de la marchitez en chiles comerciales, además mencionan que si ésta técnica se utiliza con las variedades comerciales de chile que crecen en el estado de Chihuahua (Cayene, chilaca y jalapeño) las cuales son susceptibles al patógeno *Phytophthora capsici*, se podrían reducir de manera significativa las pérdidas cuantiosas que llega a causar (Osuna *et a.*, 2012), además se han logran incrementos en rendimiento de hasta 50% con el uso de portainjertos comerciales y se reduce la incidencia de *P. capsici* (Sánchez *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2011). Po lo que si ésta técnica se utiliza con las variedades comerciales de pimiento morrón, se podrían reducir de manera significativa las pérdidas cuantiosas, que alcanzan hasta 100% (Guijón *et al.*, 2001; Rico *et al.*, 2004).

### **Artículo 1**

**EFFECTO DEL PORTAINJERTO EN EL ÍNDICE Y DENSIDAD ESTOMÁTICA  
DE PIMIENTO MORRÓN *Capsicum annum* var. *annuum***



## Efecto del portainjerto en el índice y densidad estomática de pimiento morrón *Capsicum annuum* var. *annuum*

### Effect of rootstock in the index and stomatal density of bell pepper *Capsicum annuum* var. *annuum*

Neymar Camposeco-Montejo<sup>1\*</sup>, Valentín Robledo-Torres<sup>1</sup>, Francisca Ramírez-Godina<sup>2</sup>, Luis Alonso Valdez-Aguilar<sup>1</sup>, Marcelino Cabrera-de-la-Fuente<sup>1</sup>, Rosalinda Mendoza-Villareal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: neym\_33k@hotmail.com

**Nota científica** recibido: 02 de julio de 2017 aceptado: 22 de febrero de 2018

**RESUMEN.** El objetivo fue determinar el efecto del portainjerto y del injerto en el índice y la densidad estomática del chile pimiento. Los tratamientos fueron, pimiento injertado y sin injertar, con cinco repeticiones. La densidad e índice estomático, largo y ancho de estomas se determinaron con un microscopio Carl Zeiss con cámara integrada y software de medición AxionVisionRel.4.8. Se encontraron diferencias significativas en densidad e índice estomático adaxial y abaxial, superando el pimiento injertado al sin injertar en 26.20, 21.07 y 8.74%, respectivamente. El pimiento sin injertar superó en 8.51% al injertado en densidad de células epidérmicas abaxiales, mientras que el largo y ancho de estomas del pimiento injertado superó en 8.64 y 11.22% al sin injertar. El portainjerto incrementó el índice y la densidad estomática del haz y del envés, tamaño de estomas y células epidérmicas del envés, modificando el comportamiento fisiológico de la planta.

**Palabras clave:** Injerto, estomas, transpiración, morfología foliar, dióxido de carbono

**ABSTRACT.** The objective was to determine the effect of rootstock and graft on the index and stomata density of pepper chili. The treatments were, grafted pepper and without grafting, with five repetitions. The density and stomata index, length and width of stomata were determined with a Carl Zeiss microscope with integrated camera and AxionVisionRel.4.8 measuring software. Significant differences were found in density and adaxial and abaxial stomata index, surpassing the pepper with rootstock, to the pepper without rootstock, in 26.20, 21.07 and 8.74% respectively. The pepper without grafting surpassed in 8.51% the grafted one in density of abaxial epidermal cells, while the length and width of stomas of the grafted pepper surpassed in 8.64 and 11.22% to the without grafting. Concluding that the use of rootstocks increased the adaxial and abaxial stomata index and density, size of stomata and abaxial epidermal cells, modifying the physiological behavior of the plant.

**Key words:** Graft, stomata, transpiration, foliar morphology, carbon dioxide

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las características anatómicas y morfológicas de las hojas de un cultivo es de gran importancia, debido a que realizan las funciones de intercambio gaseoso entre las hojas y la atmosfera. El intercambio de gases general-

mente se realiza en los estomas de la epidermis, cuya función principal es la asimilación de CO<sub>2</sub> y la pérdida de agua por transpiración, absorbiendo nutrimentos minerales por flujo de masas bajo condiciones ambientales cambiantes que ejercen presión sobre un determinado cultivo (Barrientos et al. 2003, Sánchez y Aguirreolea 2008). Las

36 condiciones ambientales como radiación solar, tem- 81  
 37 peratura, humedad relativa, humedad del suelo o 82  
 38 sustrato, velocidad del viento, concentración de 83  
 39 CO<sub>2</sub>, nutrientes minerales, no solo influyen sobre la 84  
 40 difusión y transpiración, sino también en la apertura 85  
 41 y cierre estomático de la superficie foliar a través de 86  
 42 los que pasa el CO<sub>2</sub> y el agua que puede ser de hasta 87  
 43 el 95% del total que utiliza la planta (Salisbury y 88  
 44 Ross 2000, Naizaque et al. 2014).

45 Por otra parte el injerto, consiste en unir 90  
 46 una parte de una planta a otra que ya está asen- 91  
 47 tada, resultando un individuo autónomo, formado 92  
 48 por dos plantas; el portainjerto que genéticamente 93  
 49 contiene genes de resistencia o tolerancia a estrés 94  
 50 biótico o abiótico (Aidoo et al. 2017, Zhao et al. 95  
 51 2011). Mientras que el injerto o variedad comercial 96  
 52 es una porción de tallo o yema que se fija al 97  
 53 portainjerto para que se desarrollen ramas, hojas, 98  
 54 flores y frutos (Hartmann et al. 1997). Cultivos 99  
 55 como sandía, melón, pepino, tomate entre otros 100  
 56 son comúnmente injertados (Sakata et al. 2008), 101  
 57 originalmente el propósito de la técnica de injerto en 102  
 58 cultivos hortícolas era evadir las enfermedades cau- 103  
 59 sadas por patógenos del suelo (Louws et al. 2010), 104  
 60 actualmente también se utiliza para evitar proble- 105  
 61 mas de estrés abiótico (Kumar et al. 2016), incre- 106  
 62 mentar rendimientos y extender tiempo de cosecha 107  
 63 (Martínez-Ballesta et al. 2010). Además permiten 108  
 64 reducir las aplicaciones de fertilizantes e incremen- 109  
 65 tar la calidad de los frutos (Schwarz et al. 2010). 110  
 66 El uso de portainjertos resistentes, en combinación 111  
 67 con prácticas de manejo integrado de plagas y en- 112  
 68 fermedades, representa una alternativa viable, que 113  
 69 permiten reducir el uso de agroquímicos (King et 114  
 70 al. 2010). En México, se reportan injertos en chile 115  
 71 tipo ancho (García et al. 2010), jalapeños, chilacas 116  
 72 y cayenne (Osuna et al. 2010), con incrementos del 117  
 73 rendimiento de hasta 50% (Sánchez et al. 2015, 118  
 74 Penella et al. 2017). En tomate injertado tam- 119  
 75 bién se han reportado incrementos de rendimiento 120  
 76 de hasta 35% (Álvarez 2012). 121

77 La tendencia del incremento en el uso de 122  
 78 los injertos, genera nuevas interrogantes a las que 123  
 79 hay que dar respuesta, con el fin de optimizar 124  
 80 las unidades de producción para obtener mayores 125

81 rendimientos y calidad (Huang et al. 2015). Aunque 82  
 83 el rendimiento agronómico de un cultivo está deter- 84  
 85 minado por el número de frutos cosechados por 86  
 87 unidad de área y su tamaño individual, estos a su 88  
 89 vez dependen de la arquitectura, anatomía, funci- 90  
 91 ones fisiológicas y metabólicas de la planta (Peil 92  
 93 y Galvez 2004). Al respecto, Ayala et al. (2010) 94  
 95 señalan que al incrementar la densidad estomática 96  
 97 de las hojas en los injertos, estos incrementan su 98  
 99 tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, la transpiración y con- 100  
 101 ductancia estomática; además de la eficiencia en el 102  
 103 uso del agua y la tolerancia de las plantas al estrés 104  
 105 por salinidad (Salas et al. 2001); lo que influye en 106  
 107 la eficiencia fisiológica de las hojas para asimilar 108  
 109 más CO<sub>2</sub> y transformarlo en asimilados (Ayala et al. 109  
 110 2013). Aunque se saben de los beneficios de injertar 111  
 112 las plantas, también es de gran importancia cono- 113  
 114 cer el ajuste y las modificaciones epidérmicas de las 114  
 115 hojas de los cultivos, dado que es donde se realiza el 115  
 116 intercambio de gases para el proceso fotosintético 116  
 117 que genera los fotoasimilados para traslocarlos a los 117  
 118 frutos y demás órganos de demanda de la planta. 118  
 119 Por lo anterior el objetivo fue determinar el efecto 119  
 120 del injerto y el portainjerto en el índice y la densidad 120  
 121 estomática del chile pimiento morrón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el genotipo Foundation RZ F1 como 122  
 portainjerto, y como injerto el híbrido Bambuca F1 123  
 de color amarillo tipo blocky. El establecimiento 124  
 del cultivo para la evaluación de índice estomático 125  
 (IE) y densidad estomática (DE) se realizó en las 126  
 instalaciones del invernadero de mediana tecnología 127  
 del Departamento de Horticultura de la Universi- 128  
 dad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, 129  
 Coahuila, México; ubicada a 25° 21' 24" LN y 130  
 101° 02' 05" LO, con altitud de 1 762 msnm, 131  
 precipitación media de 400 mm, temperatura media 132  
 anual entre 12 y 18 °C, y clima BS<sub>0</sub> k(x') (e). 133

### Establecimiento en campo y manejo del cultivo

Se utilizaron plantas de pimiento injertadas 134  
 y plantas sin injertar. Se estableció el cultivo en 135  
 macetas de 10 L con sustrato peat moos y perlita

126 en proporción 75:25%, en el ciclo Primavera-Verano 171  
 127 de 2016, la distancia entre plantas dentro de hileras 172  
 128 fue de 30 cm y de 1.80 m entre hileras, cada planta 173  
 129 se manejó a dos tallos, bajo un arreglo experi- 174  
 130 mental completamente al azar con dos tratamien- 175  
 131 tos y cinco repeticiones, cada repetición con cinco plantas 176  
 132 útiles, donde el tratamiento control fue el pimiento 177  
 133 sin injertar (Bambuca F1) comparado con pimiento 178  
 134 injertado (Foundation F1 + Bambuca F1). Se 179  
 135 utilizó la solución nutritiva propuesta por Steiner 180  
 136 (1966), que se aplicó por riego por espaguete a lo 181  
 137 largo del ciclo de cultivo, la cual fue del 50% al inicio 182  
 138 del cultivo, 75% a los 30 d después del trasplante 183  
 139 y de 100% al inicio de la floración. Para la pre- 184  
 140 vención y control de plagas (mosca blanca, trips, 185  
 141 paratíroza) se realizaron aplicaciones semanales de 186  
 142 Spirotetramat al 15.3%, Spiromesifen al 23.1%, 187  
 143 Imidacloprid 17% + clyfutrín 12% a razón de 1 ml 188  
 144 L<sup>-1</sup> y metomilo 90%, a razón de 1 g L<sup>-1</sup>. 189

#### 145 Toma de muestras epidérmicas 190

146 La toma de fotografías para contabilizar y 191  
 147 realizar el análisis estomático se realizó en el labora- 192  
 148 torio de Citogenética del Departamento de Fitome- 193  
 149 joramiento de la Universidad, las hojas se colectaron 194  
 150 60 d después del trasplante, al inicio de la floración, 195  
 151 por medio de impresiones epidérmicas en hojas 196  
 152 completamente maduras y con la misma orientación 197  
 153 de cada planta útil, por medio de la aplicación de 198  
 154 barniz transparente en un área de aproximadamente 199  
 155 2 cm<sup>-2</sup> en la parte media de las venas secundarias, 200  
 156 en el haz y el envés de las hojas, después de que 201  
 157 el barniz se secó, se removió la capa de barniz con 202  
 158 una cinta adhesiva transparente, que se colocó en 203  
 159 un portaobjetos de vidrio. Se tomaron 3 fotografías 204  
 160 al azar de cada impresión epidérmica, para un total 205  
 161 de 15 fotografías por repetición y tratamiento, 206  
 162 con un microscopio Carl Zeiss con cámara integrada 207  
 163 (Pixera Winder Pro), con el objetivo de 10X, en 208  
 164 las que se determinó la densidad estomática (DE) 209  
 165 del haz y envés, contabilizando los estomas exis- 210  
 166 tentes en el área de la fotografía (0.3965 mm<sup>-2</sup>) 211  
 167 de acuerdo a la siguiente fórmula DE = Número de 212  
 168 estomas/área de la fotografía (0.3965 mm<sup>-2</sup>), para 213  
 169 obtener el número de estomas por 1 mm<sup>-2</sup>. Mien- 214  
 170 215

tras que para el índice estomático las fotografías se  
 tomaron con el objetivo de 40X del haz y envés,  
 para luego calcular el índice estomático (IE) con la  
 siguiente expresión,  $IE = (DE / (DE + DCE)) * 100$  donde;  
 DE = densidad estomática y DCE = densidad de células  
 epidérmicas (Salisbury y Roos 2000), el un área de la  
 fotografía de 0.0240 mm<sup>-2</sup> para luego ajustar a 1 mm<sup>-2</sup>.  
 Con las fotografías tomadas con el objetivo de 40X se  
 midió el largo y ancho de estomas, expresado en micró-  
 metros, para lo cual se utilizó el software Axion Vision  
 Rel.4.8.

Para el análisis estadístico, se realizó una  
 prueba de T simple con una confiabilidad del 95%,  
 con el software estadístico Minitab16, donde los  
 tratamientos fueron el pimiento morrón injertado y  
 pimiento morrón sin injerto.

## 188 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 189

190 La prueba de *t* realizada para densidad es-  
 191 tomática del haz, índice estomático del haz e índice  
 192 estomático del envés, muestra diferencias significa-  
 193 tivas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos, mientras que  
 194 para la densidad de células epidérmicas del envés se  
 195 tuvieron diferencias significativas al  $p \leq 0.05$  (Tabla  
 196 1). Lo que coincide con lo reportado por Peralta *et al.*  
 197 (2016) quienes reportan diferencias estadísticas  
 198 significativas en el índice y densidad estomática  
 199 del haz y el envés en pepino injertado. Mientras  
 200 que Ayala *et al.* (2010) no encontraron diferencias  
 201 estadísticas en la densidad de células del envés en-  
 202 tre plantas injertadas y no injertadas de Aguacate  
 203 Hass. Para las variables de densidad estomática del  
 204 envés y densidad de células epidérmicas del haz, no  
 205 se encontraron diferencias significativas, lo que di-  
 206 fiere con González *et al.* (2017) quienes reportan  
 207 diferencias significativas en sandía injertada y sin  
 208 injertar en la densidad estomática.

209 Para las plantas de pimiento injertado y sin  
 210 injertar, la densidad estomática del haz, índice es-  
 211 tomático del haz y del envés, tuvo los mayores  
 212 valores el pimiento injertado, con valores de 26.20,  
 213 21.07 y 8.74% superiores a los valores obtenidos  
 214 en el tratamiento sin injertar, incrementos que son  
 215 similares a lo reportado por Cañizares *et al.* (2003)

**Tabla 1.** Prueba de *t* simple, de tres caracteres epidérmicos foliares evaluados en pimiento injertado y sin injertar.

Tratamientos	Haz			Envés		
	DE (Estomas mm <sup>-2</sup> )	IE (%)	DCE (Células mm <sup>-2</sup> )	DE (Estomas mm <sup>-2</sup> )	IE (%)	DCE (Células mm <sup>-2</sup> )
Bambuca	30.15±2.86	8.59±0.84	323.14±27.5	152.78±22.4	22.76±2.15	519.44±48.1
Foundation+Bambuca	38.05±5.63	10.4±1.31	328.70±23.9	157.6±27.4	24.75±3.22	478.7±42.6
Valor de P	0.000	0.000	0.560	0.602	0.059	0.021

p ≤ 0.05, DE = densidad estomática, IE = índice estomático, DCE = densidad de células epidérmicas.

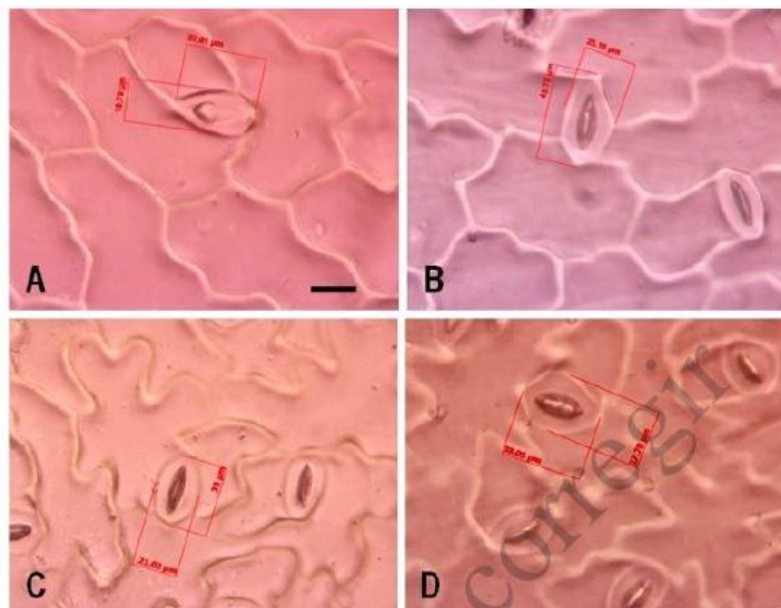
216 y Ayala *et al.* (2010), pero contrastan con lo reportado por González *et al.* (2017) para sandía y con Peralta *et al.* (2016) para pepino, quienes señalan que en las plantas injertadas se reduce la densidad estomática del haz y envés, y el índice estomático del haz. La densidad de células del envés del pimiento sin injertar superó en 8.51% al pimiento injertado, lo que indica que las células se hacen más grandes con el portainjerto, lo que difiere con lo reportado por Ayala *et al.* (2010) quienes indican que las plantas injertadas tienen mayores valores.

227 Los incrementos en densidad estomática, índice estomático y densidad de células epidérmicas se debió probablemente al vigor que le confieren el portainjerto a la variedad injertada, ya que se correlaciona de forma directa con la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub>, la tasa de respiración y la conductancia estomática al tiempo que se reduce la resistencia estomática como lo mencionan Ayala *et al.* (2010), lo que influye con la eficiencia fisiológica de las hojas para asimilar CO<sub>2</sub> y transformarlo en asimilados que se transportan a los sitios de demanda, lo que confiere mayor eficiencia productiva a las plantas. Además de la eficiencia en el uso del agua y la tolerancia de las plantas al estrés por salinidad (Salas *et al.* 2001). Al respecto Naizaque *et al.* (2014) señalan que a medida que aumenta el número de estomas y la temperatura en las hojas, se incrementa la tasa de transpiración, lo que impacta en la absorción y transporte nutrimental. Las plantas ajustan y actualizan su anatomía, fisiología y metabolismo de acuerdo a las modificaciones que sufren y las condiciones del medio ambiente, que ejerce presión en un momento determinado, cambiando sus ritmos de funcionamiento, afectando su crecimiento y desarrollo (Hernando *et al.* 2017). El pimiento morrón es una especie anfiestomática,

253 debido a que presenta estomas en las dos caras de las hojas, con mayor número de estomas en el envés que supera al haz en un 500%. Los resultados muestran los efectos que ejerce el portainjerto utilizado, que induce modificaciones de las características micromorfológicas foliares del pimiento morrón.

259 Para el largo y ancho de estomas del haz y del envés de las hojas de pimiento (Figura 1), se encontró que el largo y ancho de los estomas del envés fueron estadísticamente significativos (Tabla 2), siendo mayores en el pimiento injertado, que superó en 8.64 y 11.22% al pimiento sin injertar. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas para las mismas variables en el haz de las hojas, el pimiento injertado superó en 3.48 y 5.07% al pimiento sin injertar. Lo que difiere de lo reportado por González *et al.* (2017) para sandía y Peralta *et al.* (2016) para pepino, quienes indican que el largo y ancho de los estomas del haz y envés permanece sin modificaciones. Lo que indica que los estomas son más grandes con el uso del portainjerto, lo que se puede deber al vigor que le confiere el portainjerto a la variedad o la mayor hidratación celular por la mayor eficiencia del sistema radicular, lo que impacta en un mayor tamaño celular en el envés de las hojas, lugar donde se realiza el mayor intercambio gaseoso en las hojas y la atmósfera, lo que se correlaciona de forma positiva con el incremento de la tasa de transpiración y asimilación de nutrientes por flujo de masas e influye en la eficiencia fisiológica de las hojas para asimilar más CO<sub>2</sub> y transformarlos en asimilados (Salas *et al.* 2001, Naizaque *et al.* 2014).

286 El índice y densidad estomática del haz y del envés de las hojas se incrementó con el uso del portainjerto. Lo que impacta en el incremento de la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, la tasa de transpiración



**Figura 1.** Impresiones de la epidermis de hojas de pimiento. Largo y ancho de estomas del haz (A) sin injerto, (B) con injerto. Estomas del envés (C) sin injerto y (D) con injerto 40X, escala 20 $\mu$ m.

**Tabla 2.** Prueba de T simple, de dos caracteres estomáticos evaluados en pimiento injertado y sin injerto.

Tratamientos	Haz		Envés	
	Largo ( $\mu$ m)	Ancho ( $\mu$ m)	Largo ( $\mu$ m)	Ancho ( $\mu$ m)
Bambuca	38.98 $\pm$ 2.46	21.28 $\pm$ 2.97	34.81 $\pm$ 2.77	24.77 $\pm$ 1.92
Foundation+Bambuca	40.34 $\pm$ 2.23	22.36 $\pm$ 2.13	37.82 $\pm$ 3.37	27.55 $\pm$ 3.34
Valor de P	0.124	0.261	0.013	0.011

$p \leq 0.05$ ,  $\mu$ m = (micrómetros).

290 y asimilación de nutrientes, la conductancia es- 293 modificó la lámina foliar de pimiento, lo que modi-  
291 tomática y la reducción de la resistencia estomática 294 fica el intercambio gaseoso, la tasa de transpiración  
292 como lo describe Ayala *et al.* (2010). El portainjerto 295 y fotosintética.

## 296 LITERATURA CITADA

- 297 Aïdoo MK, Sherman T, Ephrath JE, Fait A, Rachmilevitch S, Lazarovitch N (2017) Grafting as a method to  
298 increase the tolerance response of bell pepper to extreme temperatures. *Vadose Zone Journal* 17. Doi:  
299 10.2136/vzj2017.01.0006.
- 300 Álvarez HJC (2012) Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate  
301 (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agronómica* 61: 117-125.
- 302 Ayala TF, Yañez JMG, Partida RL, Ruiz EFH, Campose GFH, Vásquez MO *et al.* (2013) Producción de  
303 pepino en ambientes diferenciado por mallas de sombreado fotoselectivo. *ITEA* (en prensa) vol. XX. 1-15.

- 304 Ayala AJ, Barrientos PAF, Colinas LMT, Sahagún CJ, Reyes AJC (2010) Relaciones injerto-interinjerto y  
305 características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. Revista Chapingo  
306 Serie Horticultura 16: 147-154.
- 307 **Bahar OG, Tuzel Y, Tuzel HI (2013) Does mycorrhiza improve salinity tolerance in grafted plants?**  
308 **Scientia Horticulturae 149: 55-60.**
- 309 **Báez VE P, Carrillo FJA, Báez SMA, García ERS, Valdez TJB, Contreras MR (2010) Uso de**  
310 **portainjertos resistentes para el control de la fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici***  
311 **Snyder & Hansen raza 3) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de Malla**  
312 **Sombra. Revista Mexicana de Fitopatología 28: 111-123.**
- 313 Barrientos PAF, Borys MW, Trejo C, López LL (2003) Índice y densidad estomática foliar en plántulas de  
314 tres razas de aguacatero. Revista Fitotecnia Mexicana 26: 285-290.
- 315 Cañizares A, Sanabria ME, Rodríguez DA, Perozo Y (2003) Características de los estomas, índice y densidad  
316 estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos.  
317 Revista UDO Agrícola 3: 59-64.
- 318 García RMA, Chiquito AE, Loeza LPD, Godoy HH, Villordo PE, Pons HJL, et al. (2010) Producción de chile  
319 ancho injertado sobre criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. Agrociencia 44:  
320 701-709.
- 321 González GH, Ramírez GF, Ortega OO, Benavides MA, Robledo TV, Cabrera de la FM (2017) Use of chitosan-  
322 PVA Hidrogels with copper nanoparticles to improve the growth of grafted watermelon. Molecules 22:  
323 1-9.
- 324 Hartmann HT, Kester DE, Davies FT, Geneve RL (1997) Plant propagation. Ed. Prentice Hall. USA. 873p.
- 325 Hernando CE, Romanowski A, Marcelo J, Yanovsky (2017) Transcriptional and post-transcriptional control  
326 of the plant circadian gene regulatory network. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Regulatory  
327 Mechanisms 1860: 84-94
- 328 Huang W, Liao S, Haiyan L, Khaldun ABM, Wang Y (2015) Characterization of the growth and fruit quality  
329 of tomato grafted on a woody medicinal plant, *Lycium chinense*. Scientia Horticulturae 197: 447-453.
- 330 King SR, Davis AR, Zhang X, Crosby K (2010) Genetics, breeding and selection of rootstock for solanaceae  
331 and cucurbitaceae. Scientia Horticulturae 127: 106-111.
- 332 Kumar P, Rana S, Sharma P, Singh A, Updhyay SK (2016) Evaluation of chilli and brinjal rootstocks for  
333 growth, yield and quality of bell pepper (*Capsicum annuum* L. Var. *grossum* Sendt.) under protected  
334 conditions. Agricultural Research Journal 53: 180-183.
- 335 **Lee JM, Kubota C, Bie Z, Hoyos EP, Morra L, Oda M (2010) Current status of vegetable grafting:**  
336 **Diffusion, grafting techniques, automation. Scientia Horticulturae 127: 93-105.**
- 337 Louws JF, Rivard LC, Kubota C (2010) Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar  
338 pathogens, arthropods and weeds. Scientia Horticulturae 127: 125-146.
- 339 Martínez-Ballesta C, Alcaraz LC, Muries B, Mota CC, Carvajal M (2010) Physiological aspects of rootstock-  
340 scion interaction. Scientia Horticulturae 127: 112-118.
- 341 Naizaque J, García G, Fischer G, Melgarejo LM (2014) Relación entre la densidad estomática, la transpiración  
342 y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Revista UDCA Actividad &  
343 Divulgación Científica 17: 115-121.

- 344 Oda M (1995) New grafting methods for fruit bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural*  
345 *Research Quarterly* 29: 187-194.
- 346 Osuna AP, Aguilar SP, Fernández PS, Godoy HH, Corral DB, Flores MJP, et al. (2012) Injertos en chiles  
347 tipo Cayene, jalapeño y chilaca en el noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias*  
348 *Agrícolas* 3: 739-750.
- 349 Penella C, Nebauer SG, Lopez GS, Quiñonez A, Calatayud A (2017) Grafting pepper onto tolerant rootstocks:  
350 An environmental-friendly technique overcome water and salt stress. *Sientia Horticulturae* 226: 33-41.
- 351 Peralta MRM, Cabrera de la FM, Morelos MA, Benavides MA, Ramírez GF, Gonzales FJA (2016) Micro-  
352 morfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización. *Revista*  
353 *Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17: 3453-3463.
- 354 Peil RMN, Galvez JL (2004) Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos  
355 en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira* 22: 265-270.
- 356 Sakata Y, Ohara T, Sugiyama M (2008) The history of melon and cucumber grafting in Japan. *Acta*  
357 *Horticulturae* 767: 217-228.
- 358 Salas JA, Sanabria ME, Reinaldo P (2001) Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate  
359 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro* 13: 99-104.
- 360 Sánchez CE, Torres GA, Flores CMA, Preciado RP, Marquez QC (2015) Uso de portainjerto sobre el  
361 rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Revista*  
362 *Electrónica Nova Scientia* 7: 227-244.
- 363 Sánchez DM, Aguirreolea J (2008) Transpiración y control estomático. En: Azcon BJ, Talon M (Eds).  
364 *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. pp: 41-56.
- 365 Salisbury F, Ross C (2000) *Fisiología de las plantas*. Volumen 1 Paraninfo-Thompson Learning. Madrid  
366 España. 305p.
- 367 Schwarz D, Rouphael Y, Colla G, Venema JH (2010) Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables  
368 to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Sientia Horticulturae* 127:  
369 162-171.
- 370 Steiner AA (1966) The influence of chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato  
371 plants. *Plant and Soil* 24: 454-466.
- 372 Zhao X, Guo Y, Huber DJ, Lee J (2011) Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-  
373 methylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Sientia Horticulturae* 130: 581-587.

**Artículo 2**

**RESPONSE OF BELL PEPPER TO ROOTSTOCK AND GREENHOUSE  
CULTIVATION IN COCONUT FIBER OR SOIL**





Article

## RESPONSE OF BELL PEPPER TO ROOTSTOCK AND GREENHOUSE CULTIVATION IN COCONUT FIBER OR SOIL

Neymar Camposeco-Montejo<sup>1</sup>, Valentín Robledo-Torres<sup>\*1</sup>, Francisca Ramírez-Godina<sup>2</sup>, Rosalinda Mendoza-Villarreal<sup>1</sup>, Miguel Ángel Pérez-Rodríguez<sup>3</sup>, Marcelino Cabrera-de la Fuente<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Horticulture, <sup>2</sup>Department of Plant Breeding, <sup>3</sup>Department of Botany, Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315 Saltillo, Coahuila, México

\* Corresponding Author: robledo3031@gmail.com

Received: date; Accepted: date; Published: date

**Abstract:** Vegetable production in greenhouses is preferred when soil quality is degraded by high salinity or incidence of pests and diseases. In these soils with abiotic and biotic issues, it is a challenge to increase the yield and quality of fruits. The use of rootstocks and organic substrates are effective and environmentally friendly techniques to solve that challenge. The objective was to study the effect of rootstocks on yields and quality in bell peppers (*Capsicum annuum*) grown on soil or on coconut fiber substrate in greenhouse. Using a randomized block design with three repetitions, the resulting treatment groups consisted of three rootstocks (Foundation-F1, Yaocali-F1, CLX-PTX991-F1, and non-grafted controls) with four hybrids as scions (Lamborghini, Bambuca, DiCaprio, and Ucumari). The yield of fruit per plant (YFP) and number of fruit per plant (NFP) obtained in coconut fiber were 85% and 55% greater, respectively, than in soil. The CLX-PTX991-F1 rootstock was superior to the hybrids without rootstock ( $P \leq 0.05$ ) in YFP and NFP (30% and 19.5%, respectively). The Lamborghini hybrid had significantly greater YFP and NFP than the Ucumari. We concluded that the use of coconut fiber significantly improves the yields of bell pepper and that the use of rootstock improves plant vigor and plant yield.

**Keywords:** *Capsicum annuum*, graft, organic substrates, fruit quality, yields.

### 1. Introduction

Currently, the human population is growing at an exponential rate and consequently, the demand for food grows proportionally while the usable space for agricultural production diminishes as urban settlements grow. Mexico is no exception to this and the challenges of the global agricultural industry focus on developing new technologies that increase yields per unit of area and improve the quality of the resulting products. One of those technologies is grafting, a propagation technique that consists of joining one plant to another that is already rooted. A grafted plant consists of a rootstock that generally has no intrinsic agronomic value, but carries valuable biotic [1] or abiotic [2] resistance and tolerance genes, and the scion, which is a piece of stem or bud that is joined to the rootstock so that branches, leaves, flowers, and fruits develop [3].

Plant grafting has its beginning in Asia, in the 1920s. Currently, in countries such as Japan and South Korea the use of grafting is increasing [4, 5]. The industry of greenhouse vegetables shows similar tendencies across the globe [6]. Watermelon, melon, cucumber, and tomato, among others, are grafted onto rootstocks with tolerance or resistance to soil pathogens [7, 8]. The

original purpose of plant grafting was to avoid diseases caused by soil parasites and pathogens, such as *Verticillium*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Ralstonia*, *Nematodos* [9, 10]. In actuality, grafting can also be used to mitigate abiotic stress [11, 12], increase yields, improve fruit quality, extend harvest times, as well as reduce agrochemical applications [13, 14] and improve the commercial quality of crops [15, 16], since it is effective at preventing soilborne diseases and pests [17]. In eggplant, the scions rootstock used induced notable vigor and better yield [18, 19], the latter of which favors the global reduction of dependency on synthetic agrochemicals [1]. As such, vegetable grafting represents a viable route [20] to ecologically friendly production. The importance of grafting is recognized in agricultural circles worldwide, as it is a very clean and effective technique whose use involves zero environmental impact compared to commonly used soil treatments [1]. It has also been adopted as a safe and ecologically friendly means of production as it minimizes the need for chemical treatments against soilborne pests and pathogens and consequently reduces the absorption of undesirable agrochemical residues [21]. In previous reports made in Mexico, where grafts were used in poblano pepper using CM-344 rootstock to counteract the effects of *Phytophthora capsici*, managing to reduce the incidence of the disease to 1%, allowing production even in areas of high incidence [22]. The same was seen with jalapeños, cayenne, and chilaca chilies [23]. The use of this technique with commercial varieties of bell pepper could significantly reduce the losses caused by *P. capsici* by up to 100% [24,25]. The use of grafting also increases yields by up to 50% [26, 27], resulting in increased commercial yields [11]. Yield increases of up to 35% [28, 17] and a 35% increase in the quality of exported tomatoes [16] have both been reported for grafted tomato. [29] reports increases of over 25% in fruit yield, with the use of abiotic stress tolerant rootstocks, making it a good adaptation strategy for abiotic stress conditions [30]. The selection of rootstock is incredibly important for improving the quality of the plants and the commercial quality of the fruit [31], as such there must exist sufficient compatibility between the rootstock and scion [6]. The benefits of using rootstocks in chili peppers is clear, however, and given the rise in popularity of the technique, it has become necessary to test all the different, commercially available rootstocks. This must be done in order to find the combination of rootstock-scion capable of both satisfying the production volumes demanded by cultivators and meeting market quality requirements. To that end, the objective of the present study was to determine the effect of using three commercial rootstocks on the yield and fruit quality of four bell pepper hybrids.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Plant Material and Growth Conditions**

Foundation F1 (Rijk Zwaan, De Lier, Holanda, has a powerful root system, size compact variety and high generative power), Yaocali F1 (Enza Zaden, Enghuizen, Holanda, it has abundant root system, tolerance to *Phytophthora* and salinity), and CLX-PTX991 F1 (HM Clause Valence, France, description not available) were the three bell pepper rootstocks selected while the four hybrid bell pepper scions, type blocky, were Lamborghini F1 (Rijk Zwaan), Bambuca F1 (Rijk Zwaan) yellow fruit, sizes L and XL, and thick walls, Dicaprio F1 (Enza Zaden) yellow fruit, sizes L and XL, and tolerant to cracking, and Ucumari F1 (Enza Zaden) orange fruit, sizes L and XL, thick walls and long shelf life. The experiment was conducted in a greenhouse with a wet wall and extractors for climate control and 30% shade belonging to the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Department of Horticulture, in Saltillo, Coahuila (latitude 25° 21' 24" N, longitude 101° 02' 05" W, 1762 m.a.s.l) with a BS0 k(x') (e) climate (climate card No. 14R-VII, 1970). Conditions within the greenhouse were controlled by means of

temperature sensors with minimum value of 16 ° C and maximum of 32 ° C, with registers of 60 to 90% relative humidity relative humidity, and a light intensity of 800 to 1300 w.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

## 2.2. Graft Technique and Sowing of Plant Material

Rootstock and hybrid F1 scion seeds were sown in 200 cell polystyrene propagation trays with a 70:30 peat moss:perlite mix for germination. The hybrid scions were sown on March 5th, 2017. The rootstock seeds were sown three days later in order to synchronize the stem diameters. Thirty-five days after sowing, when plants had reached a stem diameter of 2 to 2.4 mm, rootstocks and scions were joined by splice grafting [32]. The stems of rootstock and scion were cut at 45° with a new blade disinfected with 70% ethyl alcohol. Cut rootstock and scion stems were joined with 2.5 mm silicon clips to provide support. The workspace was kept at 22–28°C, 80 to 90% relative humidity and all grafting done on tables disinfected with 50-ppm bleach. Grafted plants were kept in a grafting chamber at 22 to 25°C, 80 to 90% relative humidity. For the first 48 hours, they were kept in total darkness to avoid cellular oxidation at the union site, and favor the process of cicatrization and graft joining. The following six days (24hr/day) were normal day-night cycles. Afterwards, the grafted plants were taken to the greenhouse (18 to 28°C, 79 to 90% relative humidity) for adaptation and acclimatization.

## 2.3. Greenhouse Rooting in Soil and Coconut Fiber

The plants were transplanted 20 days after grafting. The silicon clips were kept on to provide support. Both grafted hybrids and non-grafted hybrids were grown in coconut fiber grow bags, with 15 cm between plants. They were also grown in soil, with 2.78% organic matter, pH 8.06, 43.7 ppm of phosphorus, 312 ppm of potassium, Ca 3101 ppm, Mg 375 ppm, Na 137 ppm, Fe 22.5 ppm, Zn 6.3 ppm, Mn 3.04 ppm, Cu 0.41 ppm, B 1.68 ppm, S 22.4 ppm, N-NO<sub>3</sub> 70.5 ppm. In a microbiological analysis, it was found *Fusarium spp*, *Alternaria spp*, *Phytium spp* y *Phytophthora spp* y *Rizoctonia spp*. They seedlings were also grown in raised soil beds with black plastic padding, at 30 cm distance between plants and 25 cm between doubled rows. In both cases, the distance between furrows was 1.80 m, resulting in a calculated plant density of 36,000 plants per hectare. The spatial distribution of the plants in the two culture media was different, because in this way they are cultivated in Mexico, in soil or coconut fiber. In both cultivation systems, the first experimental factor is the growth substrate (coconut fiber or soil), the rootstocks (Foundation F1, Yaocali F1, CLX-PTX991 F1, and non-grafted hybrid controls) are the second factor, and the hybrid scions (Lamborghini F1, Bambuca F1, Dicaprio F1, and Ucumary F1) are the third factor, yielding a 2x4x4 experimental design matrix.

During the 2017 spring-summer cycle, the experiment was set up in a completely randomized block design with three replicates. Each experimental unit consisted of four completely competent plants with two viable stems per plant. Standard cultivation procedures were followed. Steiner nutrient solution [35] utilized in both cultivation systems for localized watering. In soil or coconut fiber, 1.5 l of water per day were applied in each adult plant. The watering schedule was as follows: 50% Steiner solution at the beginning of cultivation, 75% at 30 days after transplanting, and 100% upon initiation of flowering and fruiting until the end of the cycle. Salt drainage was promoted by overwatering 20%. Weekly applications of 15.3% spirotetramat, 23.1% spiromesifen, 17% imidacloprid plus 12% cyfluthrin (1 mL/L), and 90% methomyl (1 g/L) were used to control thrips and white flies.

## 2.4. Measurement of Fruit Yield Parameters

The yield of fruit per plant (FYP) was estimated by weighing all the fruit from the four plants in each replicate on a SARTORIUS TS 1352Q37 digital balance and dividing that measurement by the number of plants considered. There were 11 harvests made, the first 90 days after transplanting, where only fruit with greater than 60% coloration was collected. Following weighing, the collected fruits were counted in order to estimate number of fruits per plant (NFP) harvested from each experimental unit, taking into account the 11 harvests made throughout the cultivation cycle. The average fruit weight (AFW) was calculated by dividing the total fruit weight per repetition by the total number of fruits. The equatorial diameter (ED), fruit length (FL), and mesocarp thickness (MT) were estimated by measuring eight fruits per repetition at random from three harvests made 21 days apart after August 18th, with Autotec® digital Vernier calipers.

## 2.5. Morphological Variable Measurement

The plant height (PH) was measured in four plants per useful plot, leaf length (LL) and leaf width (LW) were measured in four fully developed leaves, from each plant of the useful plot, the leaves were chosen at random, 50 cm above the ground, with a measuring tape marked in centimeters. The main stem diameter (SD) was measured in four plants per useful plot, at 5 cm above the ground, was measured with Autotec® digital Vernier calipers.

## 2.6. Fruit Quality Measurement

Total soluble solid content was measured with an Atago N-1E® refractometer and expressed in °Brix. Fruit firmness was evaluated with a FT-327 Fruit Pressure Tester penetrometer (max. capacity 13kg) with a 3 mm point. The content of vitamin C was determined according to the official methodology of the AOAC [34] and expressed as milligrams of vitamin C per 100 grams of fresh weight fruit (mg 100g<sup>-1</sup>).

## 2.7. Statistical Analysis

In the present study, the variables chosen for study (substrate, rootstock, and scion) gave rise to a 2x4x4 ttrifactorial experimental design, with 32 treatments set up in a completely randomized block design with three repetitions. The data were statistically analyzed with SAS 9.1 software and the means compared with Tukey's test.

## 3. Results

### 3.1. Evaluation of Both Cultivation Systems (coconut fiber and soil)

#### 3.1.1. Yield Parameters

The NFP, and fruit yield per plant of bell pepper plants grown in coconut fiber were 85% greater (statistical significance,  $P \leq 0.05$ ) than those plants grown in soil (Table 1). The choice of cultivation system did not affect AFW but did affect other fruit parameters. When grown in soil, there were increases in FL (5.2%) and MT (5.4%) which were significantly different ( $P \leq 0.05$ ). Whereas fruit from plants grown in coconut fiber had significantly different ( $P \leq 0.05$ ) changes in ED (5.6% greater).

**Table 1.** Yield averages ( $P \leq 0.05$ ) and parameters evaluated for bell pepper grown in coconut fiber and soil.

Cultivation	FYP	NFP	AFW	FL	FED	MT
System	g		g	mm	mm	mm
Fibra de coco	3807.8 a <sup>&amp;</sup>	19.00 a	203.81 a	77.03 b	87.51 a	6.79 a
	±446.07	±1.53	±23.22	±4.58	±1.51	0.21
Soil	2052.2 b	10.24 b	200.42 a	81.01 a	82.87 b	6.44 b
	±214.34	±0.91	±11.62	±3.06	±1.93	±0.13
VC (%)	23.41	21.76	13.19	6.75	6.52	8.20

&, means with the same letter in the columns are statistically equal, VC = variation coefficients; FYP, = fruit yield per plant; NFP = number of fruits per plant; AFW = average fruit weight; FL = fruit length; FED = fruit equatorial diameter; MT = mesocarp thickness.

There was significant interaction between cultivation system \* rootstock in the fruit length. Figure 1 shows that the length of the fruit obtained from each rootstocks had a significantly different behavior in each culture system studied.

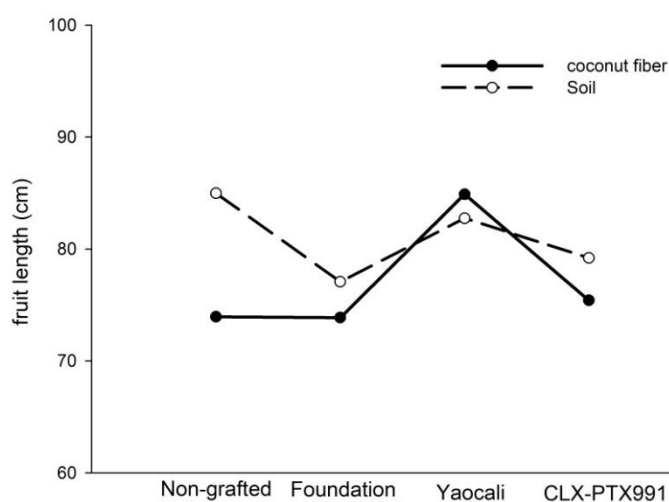


Figure 1. Interaction of cultivation system \* rootstock, in the length of pepper fruit.3.1.2. Morphological Variables

Significant differences were observed for all morphological variables measured in plants grown on coconut fiber substrate, as compared to those grown in soil. Plant height was 29% greater, leaf length and width were 23% and 7.8% greater, respectively, and main stem thickness was 23% greater in the coconut-fiber-grown plants (Table 2).

Among cultivation systems \* rootstock, a significant interaction ( $p \leq 0.05$ ) was observed in the stem thickness, the three rootstocks had similar stem thickness when they were developed in

coconut fiber, however, the thickness of the stems developed in soils was very contrasting, especially the Foundation F1 rootstock, which had a poor soil behavior (Figure 2).

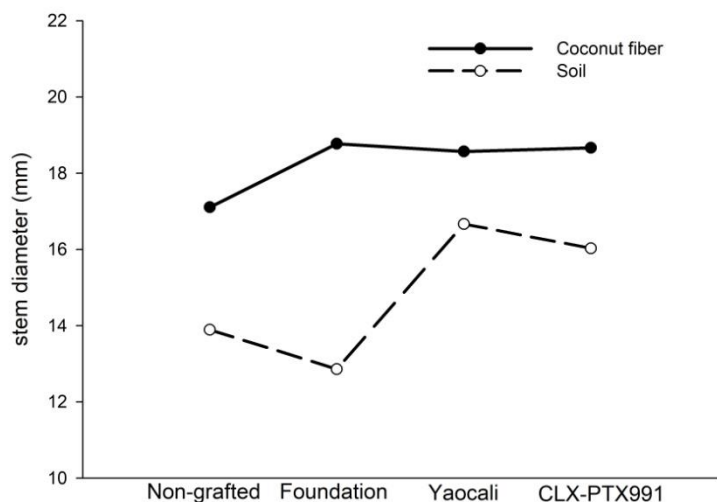


Figure 2. Interaction of cultivation system \* rootstock, in the stem thickness.

The interaction between the variety \* rootstock in the width of the leaf, shows that this characteristic was different in each variety and change significantly among the rootstocks studied (Figure 3).

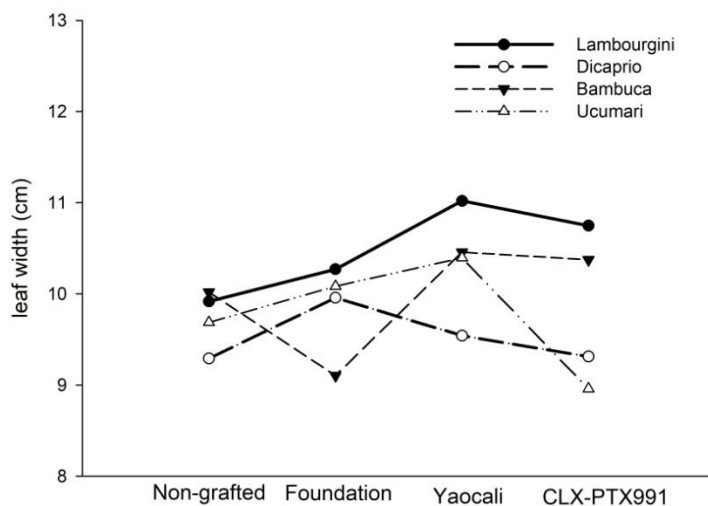


Figure 3. Interaction between rootstock \* variety, in the width of the pepper leaf.

### 3.1.3. Fruit Quality

With respect to the fruit quality parameters evaluated, neither vitamin C content, total soluble solids, nor fruit firmness were affected by choice of cultivation substrate (Table 2).

**Table 2.** Plant morphological variable averages (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) and fruit quality parameters evaluated in bell pepper grown in coconut fiber and soil.

Cultivation	pH	LL	LW	ST	Vit. C	TSS	FF
system	cm	cm	cm	mm	mg·100g <sup>-1</sup>	°Brix	kg·cm <sup>-2</sup>
Coconut fiber	134.33 a <sup>&amp;</sup>	20.58 a	10.32 a	18.27 a	137.19 a	5.72 a	15.98 a
	±6.00	±0.67	±0.23	±0.28	±8.34	±0.21	±0.12
Soil	103.87 b	16.68 b	9.57 b	14.86 b	133.08 a	5.73 a	16.21 a
	±6.31	±0.72	±0.33	±1.54	±5.32	±0.27	±0.12
VC (%)	14.35	7.17	7.96	12.58	15.46	11.14	4.67

&, means with the same letter in the columns are statistically equal; VC = variation coefficients; pH = plant height; LL = left length; LW = leaf width; ST = stem thickness; Vit. C = vitamin C content; TSS = total soluble solids; FF = fruit firmness.

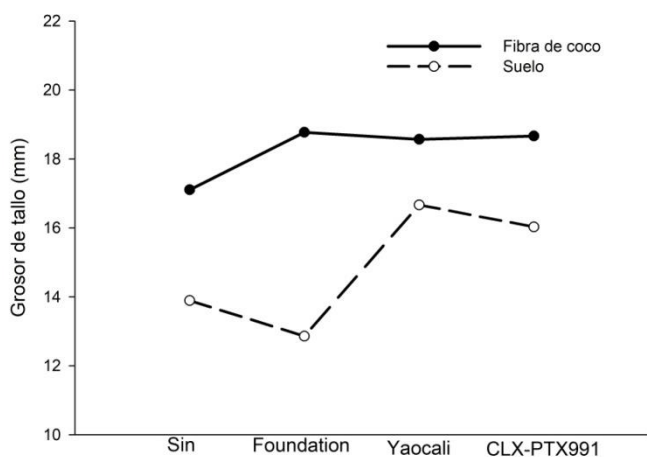


Figure 1.

### 3.2. Rootstock Evaluation

#### 3.2.1. Yield parameters for rootstocks and non-grafted hybrids

The use of rootstock resulted in a significant increase ( $P \leq 0.05$ ) in FYP. The CLX-PTX991 F<sub>1</sub> rootstock excelled, demonstrating a 30% average increase over the non-grafted hybrids, though its performance was statistically equivalent to the other rootstocks. The NFP also increased significantly (19.5%,  $P \leq 0.05$ ) with CLX-PTX991 rootstock, compared to non-grafted hybrids. AFW increased with the use of the Yaocali F<sub>1</sub> rootstocks by 21.6% and 19.9%, respectively, compared to the fruit from non-grafted hybrids, that also exceeded in 19.7% the PPF obtained with the rootstock Foundation F<sub>1</sub>

(Table 3). The use of the Yaocali rootstock also resulted in significant increases ( $P \leq 0.05$ ) in fruit length compared to non-grafted hybrids (5.5%) and the Foundation-grafted hybrids (11%)

and in 8.4% to the rootstock CLX-PTX991 F1. FED and MT parameters were not significantly affected by the use of rootstock.

**Table 3.** Yield averages and parameters evaluated for non-grafted bell pepper hybrids and Foundation F<sub>1</sub>-, Yaocali F<sub>1</sub>-, and CLX-PTX991 F<sub>1</sub>-grafted hybrids.

	FYP	NFP	AFW	FL	FED	MT
	(g)		(g)	(mm)	(mm)	(mm)
Non-grafted	2502.6 b <sup>&amp;</sup>	13.40 b	184.30 b	79.46 b	85.16 a	6.53 a
	±570.19	±3.49	±4.94	±5.52	±3.24	±0.14
Foundation	2817.6 ab	14.97 ab	186.95 b	75.47 b	83.04 a	6.54 a
	±1011.42	±5.56	±5.61	±1.60	±2.04	±0.08
Yaocali	3135.2 a	14.09 ab	224.19 a	83.82 a	85.77 a	6.72 a
	±1045.06	±4.10	±7.31	±1.07	±3.3	±0.44
CLX-PTX991	3264.6 a	16.02 a	213.02 a	77.31 b	86.79 a	6.67 a
	±884.65	±4.27	±9.00	±1.89	±0.68	±0.03
VC (%)	23.41	21.76	13.19	6.75	6.52	8.20

&, means with the same letter in the columns are statistically equivalent, Tukey, ( $P \leq 0.05$ ); VC = variation coefficients; FYP = fruit yield per plant in grams; NFP = number of fruits per plant;; AFW = average fruit weight; FL = fruit length; FED = fruit equatorial diameter; MT = mesocarp thickness.

### 3.2.2. Morphological variables in grafted and non-grafted plants

Only Yaocali was significantly different from non-grafted plants for PH, LL and LW (see table 4) so not all the rootstocks were superior as stated by authors. . The Yaocali rootstock stood out amongst the others, promoting increases in PH (12.2%), LL (8.8%), LW (6.4%), and ST (13.7%), as compared to non-grafted hybrids (Table 4).

### 3.2.3. Fruit quality in grafted and non-grafted plants

Vitamin C and FF of the fruit were not significantly affect by grafting or rootstock (Table 4). Non-grafted hybrids demonstrated a significant increase (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) in TSS content (11.6%) as compared to the quantity observed in CLX-PTX991 rootstock.

**Table 4.** Morphological variable and values fruit quality parameter averages (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) in non-grafted and with rootstock.



	PH	LL	LW	ST	Vit. C	TSS	FF
	cm	cm	cm	mm	mg·100g <sup>-1</sup>	°Brix	kg·cm <sup>-2</sup>
Non-grafted	114.60 b <sup>&amp;</sup>	18.03 b	9.72 b	15.49 c	141.69 a	5.95 a	16.06 a
	±12.76	±1.57	±0.35	±1.61	±8.29	±0.04	±0.14
Foundation	113.91 b	18.26 b	9.85 ab	15.81 bc	128.43 a	5.82 ab	15.93 a
	±16.64	±2.54	±0.65	±2.95	±0.50	±0.005	±0.11
Yaocali	128.63 a	19.60 a	10.35 a	17.61 a	130.01 a	5.81 ab	16.17 a
	±14.46	±1.87	±0.25	±0.95	±0.65	±0.14	±0.03
CLX-PTX991	119.25 ab	18.64 ab	9.84 ab	17.34 ab	140.40 a	5.33 b	16.22 a
	±16.77	±1.80	±0.28	±1.32	±1.22	±0.07	±0.17
VC (%)	14.35	7.17	7.96	12.58	15.46	11.14	4.67

&, means with the same letter in the columns are statistically equivalent, Tukey, ( $P \leq 0.05$ ); VC = variation coefficients; PH = plant height; LL = leaf length; LW = leaf width; ST = stem thickness; Vit. C = vitamin C; TSS = total soluble solids; FF = fruit firmness.

### 3.3. Hybrid scion evaluation

#### 3.3.1. Hybrid scions yield parameters

The Lamborghini F<sub>1</sub> and Dicaprio F<sub>1</sub> hybrids displayed statistically significant increases ( $P \leq 0.05$ ) in FYP (32.9%) and NFP (21.9%). Bambuca F<sub>1</sub> was also superior to Ucumari to FYP with 22%. With respect to the parameters of AFW, FL, and FED, the Dicaprio hybrid was significantly superior to the Ucumari F<sub>1</sub> and Lamborghini F<sub>1</sub>. The thickness of the mesocarp was statistically similar between all four chosen hybrids (Table 5).

**Table 5.** Yield averages (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) and parameters evaluated in four commercial bell pepper hybrids.

	FYP	NFP	AFW	FL	FED	MT
Hybrids	g		g	mm	mm	mm
Lamborghini	3197.0 a <sup>&amp;</sup>	15.79 a	194.91 b	75.58 b	85.61 ab	6.80 a
	±1293.77	±5.43	±24.79	±6.12	±4.09	±0.31
Dicaprio	3168.0 a	15.12 ab	218.98 a	81.95 a	88.46 a	6.68 a
	±772.90	±3.91	±22.12	±3.60	±4.32	±0.3932

Bambuca	2950.0 a	14.61 ab	206.33 ab	83.67 a	85.23 ab	6.48 a
	±986.43	±4.79	±21.77	±4.83	±2.48	±0.26
Ucumari	2404.9 b	12.95 b	188.31 b	74.87 b	81.46 b	6.50 a
	±940.11	±5.11	±21.02	±6.73	±4.74	±0.47
CV (%)	23.41	21.76	13.19	6.75	6.52	8.20

&, means with the same letter in the columns are statistically equivalent, Tukey, ( $P \leq 0.05$ ); VC = variation coefficients; FYP = fruit yield per plant in grams; NFP = number of fruits per plant; AFW = average fruit weight; FL=fruit length; FED, = fruit equatorial diameter; MT = mesocarp thickness.

### 3.3.2. Hybrid Scion Morphological Variables

In terms of plant height, the Dicaprio hybrid was significantly taller (>14%) than the Ucumari hybrid. Although, in leaf length and width, the Lamborghini hybrid presented with the highest differences (8.4% and 7.1%, respectively) over the Ucumari F<sub>1</sub> hybrid. (Table 6).

### 3.3.3. Hybrid scion fruit quality

The vitamin C content in the Ucumari F<sub>1</sub> hybrid—an orange-colored bell pepper—was greater than 17.3% ( $P \leq 0.05$ ), as compared to the Bambuca F<sub>1</sub> hybrid, which produces yellow fruit. The content of Vit. C of Lamborghini F<sub>1</sub> also exceeded the Bambuca F<sub>1</sub> hybrid by 16.2%. This tendency was seen again in the TSS content, as the Ucumari F<sub>1</sub> hybrid exceeded Bambuca F<sub>1</sub> by 34.2%. As for fruit firmness, Ucumari F<sub>1</sub> and Lamborghini F<sub>1</sub> were statistically equivalent to each other, both surpassing Bambuca F<sub>1</sub> by 4.7%, (Table 6).

**Table 6.** Morphological variable and fruit quality parameter averages (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) in four commercial bell pepper hybrids.

	PH	LL	LW	ST	Vit. C.	TSS	FF
<b>Hybrids</b>	(cm)	(cm)	(cm)	(mm)	(mg·100g)	(°Brix)	(kg·cm <sup>-2</sup> )
Lamborghini	116.2 ab <sup>&amp;</sup>	19.30 a	10.48 a	16.76 a	143.21 a	5.85 b	16.44 a
	±21.27	±2.06	±0.64	±2.50	±15.29	±0.32	±0.36
Dicaprio	126.29 a	18.45 ab	9.52 b	16.18 a	129.65 ab	5.12 c	15.80 ab
	±16.54	±1.71	±0.47	±1.61	±8.57	±0.33	±0.54
Bambuca	123.16 ab	18.95 a	9.98 ab	16.80 a	123.16 b	5.09 c	15.70 b
	±17.73	±1.99	±0.62	±2.60	±9.05	±0.39	±0.33

Ucumari	110.73 b	17.81 b	9.78 b	15.89 a	144.51 a	6.83 a	16.44 a
	±17.16	±2.85	±1.05	±2.12	±16.10	±0.47	±0.32
CV (%)	14.35	7.17	7.96	12.58	15.46	11.14	4.67

&, means with the same letter in the columns are statistically equivalent, Tukey ( $P \leq 0.05$ ); VC = variation coefficients; PH = plant height; LL = leaf length; LW = leaf width; ST = stem thickness; Vit. C = vitamin C; TSS = total soluble solids; FF = fruit firmness.

#### 4. Discussion

The 85% improvement in FYP, NFP, FED, and MT was a result of the increased plant vigor seen in the coconut-fiber-grown plants, which also demonstrated greater plant height, leaf length and width, and stem thickness. The overall better plant development can be attributed to the physicochemical characteristics of the substrate, such as the gas exchange rate, water retention capacity, porous space, pH, apparent density, cationic exchange capacity, and nutrient availability, which provide better growth conditions than those found in agricultural soils [35, 36]. It has been demonstrated that depending on the nature of the substrate, they can influence to greater or lesser extent the complex process of mineral nutrition in plants, and favor the development and final yield of plants [37,38]. The use of different growth substrates in protected cultivation also provides the potential to reduce supplied mineral nutrients by 25 to 50% without affecting the final yield [37]. Cultivation on 100% coconut fiber has the added benefit of significantly increasing the dry biomass of leaves, stems, and roots [39].

The significant differences between rootstocks demonstrate that although they all improve the hybrid scions' characteristics, each rootstock has variations in their genetics and the vigor they show in their environmental interactions, that they transmit to their grafted scions. The larger values in FYP, NFP, , and AFW are because the grafted plants were more vigorous than their non-grafted counterparts were. The 20% increase in NFP in CLX-PTX991-grafted plants was thanks to this increased vigor and the greater carrying capacity it confers. Their final yields also reflected this increase since the yield is determined by the number of harvested fruits per unit of area and their individual sizes [40]. The increases in average fruit weight and fruit length of up to 21.6% and 5.5%, respectively, from using the Yaocali F<sub>1</sub> or CLX-PTX991 F<sub>1</sub> rootstocks can be attributed to the overall greater plant growth and development that they promote [26], indicated by the 20% and 6.5% increases in each parameter. Given the vigor that rootstock cultivars generally possess, frequently characterized by more efficient water and nutrient absorption [30, 5], similar results are reported for grafted cucumber [41] and grafted tomato [17], as well as a 30% increase in dry biomass production and greater accumulation of mineral elements in the aerial parts of the plant [42]. Our recorded yield increases were only slightly higher than the 25% increase reported by Lopez et al. [29], and less than the up to 50% yield increases described by Muñoz et al. [43] and Sánchez et al. [26] for bell pepper. The latter result was achieved with the Facinato and Janette hybrids grafted onto the Terreno F<sub>1</sub> rootstock. Taken together, these results indicate that grafting onto rootstock could be a viable technique for sustainable horticulture in the future. Other reports of improving bell pepper yields through grafting [44-45] suggest that the robustness of the rootstock could be a result of greater salt tolerance, which allows an increase in commercial yields [11]. Previous studies with grafted tomato have reported a 30% [17], and up to 35% [28], yield increase, as well as a reduction in the incidence of disease. The combination of grafting and mycorrhizas has been used to grant greater salt tolerance [15].

Improved vigor due to rootstock grafting was also evident in the values observed for plant height, leaf length, leaf width, and stem thickness. All those morphological characteristics translate into a greater capacity for assimilation, absorption, and nutrient transport through the rootstock roots up to the sites of high demand when they are greater than normal [13, 46, 47]. The fruit quality parameters such as FED, MT, vitamin C content, and fruit firmness were not affected by the use of different rootstocks. As such, it can be inferred that the environment negligibly affects them or that the greenhouse environment did not exert sufficient pressure to induce significant changes in the grafted scions. Sánchez et al. [26], who affirm that neither fruit firmness nor total soluble solid content are affected by rootstock grafting, reported similar results. Regardless, the environmental pressure was sufficient to induce smaller fruit size and greater TSS content in non-grafted hybrid bell pepper plants. The increase in vitamin C content is consistent with the 33% increase in grafted tomatoes [49], who indicate that environmental root modifications favor its accumulation and subsequent expression in fruit quality. Conversely, it has been [13] reported that TSS content and titratable acid content are not affected by rootstock grafting, although this could be an indication that some fruit quality parameters are affected more by the foliar area, not the root system [50], even though these same parameters increase in the presence of osmotic stress [51] or mycorrhizas [15]. As it stands, finding the ideal combination of rootstock and scion that both increases yields and the commercial quality of the fruit is not an easy task, especially in the face of an ever-growing market demand and consumer demand for higher nutritive quality food products.

The significant interactions between cultivation system \* rootstock or cultivation system \* graft, it is inferred that it is due to genetic differences in the rootstocks or grafts, which provide differences in the ability to adapt to each of the farming systems. Leaf width was affected significantly by the rootstock\* variety interaction, due to genetic differences that can induce changes in root or stem characteristics, and mobilize different amounts of water and mineral salts, which are reflected in morphological or anatomical changes of the plant.

Among the bell pepper hybrids chosen as the scions, there are strong genetic differences that were fortified by the vigor of the used rootstocks. After comparison of the scion figures for FYP and NFP, the Lamborghini, Dicaprio, and Bambuca hybrids exhibited the greatest genetic potential for yield and yield parameters, compared to the Ucumari hybrid. The selection of the vegetative material for commercial production is vitally important, since that is what assures optimal production and success of the agricultural project. The lack of interaction between the hybrid scion and cultivation substrate or rootstock suggests that the genetics of the chosen hybrid have a greater effect on fruit quality parameters, as supported by investigators [50], who report the scion genotype as having greater influence than that of the rootstock.

## 5. Conclusions

The use of coconut fiber as the cultivation substrate allows for significant increases in bell pepper fruit yields when compared to soil-based production.

The vigor and tolerance to abiotic and biotic stresses conferred by the use of bell pepper rootstocks lead to yield increases of up to 30% when compared to cultivation of non-grafted bell pepper.

In order to achieve high yields of bell pepper fruits, the use of genetically superior rootstock varieties with proven vigor and tolerance to abiotic and biotic stresses as well as scions with strong genetic potential for high yields, is essential. In the present study, the CLX-PTX991 rootstock and the Lamborghini F<sub>1</sub>, Dicaprio F<sub>1</sub>, and Bambuca F<sub>1</sub> hybrid scions emerged as the best candidates.

Interactions between rootstocks and grafts, as well as culture systems, induce different responses, in morphological characteristics or performance components. Therefore, it is necessary to find compatible genotypes to achieve the best fruit yields

## References

1. King, S.R.; Davis, A.R.; Zhang, X.; Crosby, K. Genetics, breeding and selection of rootstock for solanaceae and cucurbitaceae. *Sci. Hort.* 2010, 127, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.001>
2. Zhao, X.; Ghuo, Y.; Huber, D.J.; Lee, J. Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-methylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Sci. Hort.* 2011, 130, 581-587. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.010>
3. Hartmann, H.T.; Kester, D.E.; Davies, F.T.; Geneve, R.L. *Plant propagation*. Ed. Prentice Hall. USA. 1997; pp 873-875, ISBN 13: 9780136792352.
4. Sakata, Y.; Ohara, T.; Sugiyama, M. The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetable in Japan. *Acta Hort.* 2007, 731, 159-170. [doi:10.17660/ActaHortic.2007.731.22](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.731.22)
5. Lee, J.M.; Kubota, C.; Bie, Z.; Hoyos, E.P.; Morra, L.; Oda M. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Sci. Hort.* 2010, 127, 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003>
6. Ren, Y.; Guo, S.; Shu, S.; Xu, Y.; Sun, Y. Isolation and expression pattern analysis of CmRNF5 and CmNPH3L potentially involved in graft compatibility in cucumber/pumpkin graft combinations. *Sci. Hort.* 2018, 227, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.022>
7. Lopes, C.A.; Mendonca, J.L. Reação de acessos de jurubeba à murcha bacteriana para uso como porta-enxerto em tomateiro. *Hortic. Bras.* 2016, 34, 356-360. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003008>.
8. Sakata, Y.; Ohara, T.; Sugiyama, M. The history of melon and cucumber grafting in Japan. *Acta Hort.* 2008, 767, 217-228. [Doi:10.17660/ActaHortic.2008.767.22](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.767.22)
9. Louws, J.F.; Rivard, L.C.; Kubota, C. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Sci. Hort.* 2010, 127, 125-146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.023>
10. Roupshael, J.; Schwarz, D.; Krumbein, A.; Colla, G. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Sci. Hort.* 2010, 127, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001>
11. Penella, C.; Nebauer, S.G.; López, G.S.; Quiñonez A.; Calatayud A. Grafting pepper onto tolerant rootstocks: An environmental-friendly technique overcome water and salt stress. *Sci. Hort.* 2017, 226, 33-41. [doi:10.1016/j.scienta.2017.08.020](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.020)
12. Oztekin, G.; Tüzel, Y.; Gül, A.; Tüzel, I. H. Effects of grafting in saline conditions. *Acta Hort.* 2007, 761, 349-355. [doi:10.17660/ActaHortic.2007.761.48](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.48)
13. Colla, G.; Roupshael, Y.; Cardarelli, M.; Salerno, A.; Rea, E. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environ. Exp. Bot.* 2010, 68, 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.12.005>
14. Schwarz, D.; Roupshael, Y.; Colla, G.; Venema, J.H. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Sci. Hort.* 2010, 127, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016>
15. Oztekin, G.B.; Tuzel, Y.; Tuzel, H.I. Does mycorrhiza improve salinity tolerance in grafted plants?. *Sci. Hort.* 2013, 149, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.033>

16. Báez, V.E.P.; Carrillo, F.J.A.; Báez, S.M.A.; García, E.R.S.; Valdez, T.J.B.; Contreras M. R. Uso de Portainjertos Resistentes para el Control de la Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen raza 3) del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en Condiciones de Malla Sombra. *Rev. Mex. Fitopatol.* 2010, 28, 111-123. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v28n2/v28n2a4.pdf>
17. Álvarez, H. J. C. Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agron.* 2012, 61, 117-125. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v61n2/v61n2a04.pdf>
18. Sabatino, L.; Iapichino, G.; Maggio, A.; D'Anna, E.; Bruno, M.; D'Anna, F. Grafting affects yield and phenolic profile of *Solanum melongena* L. landraces. *J. Integr. Agric.* 2016, 15, 1017-1024. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61323-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61323-5)
19. Mena, P.Y.M.; Mesa, C.N.C.; Estrada, S.E.I.; García, V.Y. Evaluación de la resistencia a *Prodiplosis longifila* Gagné (Diptera: Cecidomyiidae) en genotipos de tomate cultivados y silvestres. *Acta Agron.* 2014, 63, 181-190. doi:10.15446/acag.v63n2.30210
20. Ezziyyani, M.; Pérez, S.C.; Requena, M.E.; Sid, A.A.; Candela, M.E. Efecto del sustrato y la temperatura en el control biológico de *Phytophthora capsici* en pimiento (*Capsicum annuum* L.) *An. Biol.* 2005, 27, 119-126. <http://revistas.um.es/analesbio/article/view/28061/27171>
21. Myung, L.Y.; Kubota, C.; Tsao, S.J.; Bie, Z.; Hoyos, E.P.; Morra, L.; Oda, M. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Sci. Hort.* 2010, 127, 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003>
22. García, R.M.A.; Chiquito, A.E.; Loeza, L.P.D.; Godoy, H.H.; Villordo, P.E.; Pons, H.J.L.; González, C.M.M.; Anaya, L.J.L. Producción de chile ancho injertado sobre criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia.* 2010, 44, 701-709. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n6/v44n6a9.pdf>
23. Osuna, Á.P.; Aguilar, S.P.; Fernández, P.S.; Godoy, H.H.; Corral, D.B.; Flores, M.J.P.; Borrego, P.A.; Olivás, E. Injertos en chiles tipo Cayene, jalapeño y chilaca en el noroeste de Chihuahua, México. *Rev. Mex. Cieic. Agríc.* 2012, 3, 739-750. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n4/v3n4a9.pdf>
24. Guijón, L.C.; González, G.P.A. Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua. *Rev. Mex. Fitopatol.* 2001, 19, 49-56. [http://www.redalyc.org/pdf/612/Resumenes/Resumen\\_61219107\\_1.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/612/Resumenes/Resumen_61219107_1.pdf)
25. Rico, G.L.; Medina, R.S.; Muñoz, S.C.I.; Guevara, O.L.; Guevara, G.R.G.; Guerrero, A.B.Z.; Torres, P.I.; Rodríguez, G.R. Detección de *Phytophthora capsici* Leonian en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) mediante PCR. *Rev. Mex. Fitopatol.* 2004, 22, 1-6. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222101>
26. Sánchez, C.E.; Torres, G.A.; Flores, C.M.A.; Preciado, R.P.; Marquez, Q.C. Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Revista Electrónica Nova. Scientia.* 2015, 7, 227 - 244. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n15/2007-0705-ns-7-15-00227.pdf>
27. Marquez, P.A.; Sánchez, C.E. Influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez de pimiento morrón. *Nova Scientia.* 2017, 19, 1-23. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v9n19/2007-0705-ns-9-19-00001.pdf>
28. Chew, M.Y.L.L.; Gaytan, M.A.; Espinoza, A.J.J.; Reta, S.D.G.; Reyes, J.I.; Chew, M.R.G.; Ramírez, F.R. Planta de tomate injertada bajo condiciones de invernadero: rendimiento y calidad de fruto. *Producción Agrícola-Agrofaz.* 2012, 12, 31-38. [http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2012123III\\_3.pdf](http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2012123III_3.pdf)

29. López, M.J.; Galvez, L. A.; Porras, I.; Brotons, M.J.M. Injerto en pimiento (*Capsicum annuum*): Beneficios y rentabilidad de su uso. ITEA (en prensa). 2012, 20, 1-20. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.009>
30. Lopez, M.J.; Galvez, L.A.; Del Amor, F.; Albacete, A.; Pérez, A. F. Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet pepper. *Sci. Hort.* 2014, 214, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.012>
31. Huang, W.; Liao, S.; Haiyan, L.; Khaldun, A.B.M.; Wang Y. Characterization of the growth and fruit quality of tomato grafted on a woody medicinal plant, *Lycium chinense*. *Sci. Hort.* 2015, 197, 447-453. doi:10.1016/j.scienta.2015.10.005
32. Johnson, S.; Miles, C.; Kreider, P.; Roozen, J. Injerto de verduras; berenjena y tomate. Publicacion de la extension de la Universidad Estatal de Washington FS052E. 2011. de <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/FS052ES/FS052ES.pdf> (acceso,06 Febrero 2018)
33. Steiner, A.A. The influence of chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil.* 1966, 24, 454-466. <https://doi.org/10.1007/BF01374052>
34. AOAC. The official methods of analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists) International (17thed.). AOAC International, 200. Gaithersburg, MD.
35. López, B.J.; Méndez, M.A.; Pliego, M.L.; Aragón, R.E.; Lourdes, R.M. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annuum*) en invernadero. *Rev. Mex. Cieic Agríc.* 2013, 6, 1139-1150. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4nspe6/v4spe6a6.pdf>
36. Ortega, M.L.D.; Sánchez, O.J.; Ocampo, M.J.; Sandoval, C.E.; Salcido, R.B.A.; Manzo R. F. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *RaXimhai.* 2010, 6, 339-346. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46116015002>
37. Cruz, C.E.; Sandoval, V.M.; Volke, H.V.H.; Can, C.A.; Sánchez E. J. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Rev. Mex. Cieic. Agríc.* 2012, 3, 1361-1373. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263124457006>
38. De Grazia, J.; Tittonell, P.A.; Chiesa, A. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Cien. Inv. Agr.* 2006, 34, 195-204. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202007000300003>
39. Valles, R.G.J.; Lugo, G.J.G.; Rodríguez, G.Z.F.; Díaz, T.L.T. 2009. Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Rev. Fac. Agron.* 2009, 26, 159-178. [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182009000200002](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000200002)
40. Sánchez, del C.F.; Moreno, P.E del C.; Vásquez, R.J.C.; González, N.M.A. Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 2017, 23, 167-174. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.01.003>
41. González, G.H.; Ramirez, G.F.; Ortega, O.O.; Benavides, M.A.; Robledo, T.V.; Cabrera, de la F.M. Use of chitosan-PVA Hydrogels with copper nanoparticles to improve the growth of grafted watermelon. *Molecules.* 2017, 22, 1-9. doi:10.3390/molecules22071031
42. San Bautista, A.; Calatayud, A.; Nabuer, A.G.; Pascual, B.; Marto, J.V.; López, G.S. Effects of simple and double grafting melon plants on mineral absorption, photosynthesis, biomass and yield. *Sci. Hort.* 2011, 130, 575-580. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.009>
43. Muñoz, M.E.; Sánchez, C.E.; Flores, C.M.A.; Sida, A.J.P. ¿Puede el portainjerto incrementar la producción en variedades de pimiento morrón? *Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo "2015, Año internacional de los suelos: Crear conciencia en la sociedad para el manejo sostenible del suelo"* 2015, pp 210-214. [http://www.smcsmx.org/files/congresos/2015/4\\_DIVISION\\_2.pdf](http://www.smcsmx.org/files/congresos/2015/4_DIVISION_2.pdf)

44. Colla, G.; Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Temperini, O.; Rea, E.; Salerno, A., Pierandrei, F. Influence of grafting on yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under greenhouse conditions. *Acta Hort.* 2008, 782, 359-363. doi:0.17660/ActaHortic.2008.782.45
45. Del Amor, F.M.; López, M.J.; González, A. Effect of photoselective sheet and grafting technique on growth, yield, and mineral composition of sweet pepper plants. *J. Plant. Nutr.* 2008. 31, 6, 1108-1120. <https://doi.org/10.1080/01904160802115557>
46. Savvas, D.; Colla, G.; Rouphael, Y.; Schwarz, D. 2010. Amelioration of heavy metal and nutrient stress in fruit vegetables by grafting. *Sci. Hort.* 2010, 127, 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.011>
47. Khah, E.M. E.; Kakava, A.; Mavromatis, D.; Chachalis, G.; Goulas, G. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *Journal of Applied Horticulturæ.* 2006, 8, 3-7. : <https://www.researchgate.net/publication/228626460>
48. Revelo, E.V.H. Evaluación de la calidad de poscosecha en genotipos mejorados e injertados de tomate de árbol (*Solanum bataveum* Cav.) proyecto de tesis para obtención del título de ingeniero agroindustrial. Escuela Politecnica Nacional. Facultad de ingeniería química y agroindustria. Ecuador. 2011. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/842>
49. Chávez, M.C.; Sánchez, E.; Muñoz, M.E.; Sida, A.J.P.; Flores, C.M.A. Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants.* 2015, 4, 427-446. doi:10.3390/antiox4020427.
50. Martínez, R.M.M.; Estañ, M.T.; Moyano, E.; García, A.J.O.; Flores, F.B.; Campos, J.F.; Al, A.M.J.; Flowers, T.J.; Bolarín, M.C. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an “excluder” genotype is used as scion. *Environ. Exp. Bot.* 2008, 63, 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.007>
51. Flores, F.B.; Sánchez, B.P.; Estañ, M.T.; Martínez, R.M.M.; Moyano M.B.; Campos, J.F.; García, A.J.O.; Egea, M.I.; Fernández, G.N.; Romojaro, F.; Bolarin, M.C. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Sci. Hort.* 2010, 125, 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026>



© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## OTROS RESULTADOS

### Sincronización y prendimiento.

Se realizó la prueba de sincronización entre los portainjertos de tomate, berenjena y pimiento, y la variedad de pimiento utilizada como injerto, se encontró que la diferencia entre la Variedad a injertar (pimiento) y el portainjerto comercial es de 3 días, con berenjena fueron 12 días, y con portainjerto tomate fue de 20 días (Cuadro 1). La prueba de prendimiento y cicatrización de los injertos señala que a los 30 días después del Injerto, Berenjena/Pimiento tuvo 2% de prendimiento, Portainjerto comercial/Pimiento 85%, al contrario de Tomate/Pimiento con 0% de prendimiento (Cuadro 2), por lo que se descarto el uso de portainjertos de tomate y berenjena.

Cuadro 1. Prueba de sincronización de diferentes portainjertos para pimiento

Material genético	Plantas listas para injertarse DDS	Diferencia en días de siembra
Portainjerto de Tomate	25	20
Portainjerto de Berenjena	33	12
Portainjerto comercial	43	3
Pimiento variedad	45	1

Cuadro 2. Prendimiento de portainjertos y variedad de pimiento en diferentes escalas de tiempo.

Material Genético	% de prendimiento a los 8 días después del injerto	% de prendimiento a los 15 días después del injerto	% de prendimiento a los 30 días después del injerto
Berenjena/ Pimiento	87	10	2
Pimiento/ Pimiento	85	85	85
Tomate / Pimiento	10	0	0

### Severidad de *Phytophthora capsici* Leonian.

Para la prueba de severidad de *Phytophthora capsici* Lenian. Se aplicaron 5ml/planta de una solución que contenía una concentración de 200 zoosporas ml<sup>-1</sup>, fueron aplicados a la base de cada planta el día 27 de Noviembre de 2017, y se monitoreo por 42 días, para determinar los efectos de dicho patógeno. La escala de severidad fue la propuesta por Diner., (2005) donde:

0= *Planta muerta*

1= *Hojas viejas muertas y hojas jóvenes con crecimiento detenido*

2= *Hojas viejas cloróticas y jóvenes con crecimiento detenido*

3= *Hojas viejas con clorosis vascular y jóvenes con crecimiento detenido*

4= *Pecíolo de hojas con crecimiento detenido*

5= *Sin síntomas visibles*

Los resultados de la prueba de severidad del pimiento cultivado en fibra de coco señalan que los portainjertos toleraron el patógeno *Phytophthora capsici* manteniendo la planta sin síntomas visibles, a excepción de Yaocali/Ucumari que se encuentra en la escala 4 de Diner, mientras que los híbridos sin injertar sufrieron daños progresivos, hasta presentar hojas viejas cloróticas y jóvenes con crecimiento detenido a los 42 días después de la inoculación (Cuadro 3). Mientras que, en suelo, los daños fueron menos notorios, donde los portainjertos toleraron el patógeno manteniendo la planta sin síntomas visibles, en tanto que los híbridos sin injertar solo presentaron pecíolos de hojas con crecimiento detenido de acuerdo con la escala 4 de Diner a los 42 días después de la inoculación (Cuadro 4).

Cuadro 3. Severidad de *Phytophthora capsici* Leonian en diferentes escalas de tiempo de pimiento cultivado en fibra de coco.

	04-dic-17	11-dic-17	18-dic-17	25-dic-17	01-ene-18	08-ene-18
<b>F + L</b>	5	5	5	5	5	5
<b>F + D</b>	5	5	5	5	5	5
<b>F + B</b>	5	5	5	5	5	5
<b>F + U</b>	5	5	5	5	5	5

<b>Y + L</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + D</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + B</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + U</b>	4	4	4	4	4	4
<b>C + L</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + D</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + B</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + U</b>	4	4	4	4	4	4
<b>L</b>	4	4	4	4	3	2
<b>D</b>	4	4	4	4	3	2
<b>B</b>	5	4	4	4	3	2
<b>U</b>	5	4	3	3	3	2

Portainjertos: F=Foundation, Y= Yaocali, C= CLX-PTX991; Variedades: L= Lambourghini, D= Dicaprio, B= Bambuca, U= Ucumari.

Cuadro 4. Severidad de *Phytophthora capsici* Leonian en diferentes escalas de tiempo de pimiento cultivado en suelo.

	04-dic-17	11-dic-17	18-dic-17	25-dic-17	01-ene-18	08-ene-18
<b>F + L</b>	5	5	5	5	5	5
<b>F + D</b>	5	5	5	5	5	5
<b>F + B</b>	5	5	5	5	5	5
<b>F + U</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + L</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + D</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + B</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Y + U</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + L</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + D</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + B</b>	5	5	5	5	5	5
<b>C + U</b>	5	5	5	5	5	5
<b>L</b>	5	5	4	4	4	4
<b>D</b>	5	5	5	4	4	4
<b>B</b>	5	4	4	4	4	4
<b>U</b>	5	4	4	4	4	4

Portainjertos: F=Foundation, Y= Yaocali, C= CLX-PTX991; Variedades: L= Lambourghini, D= Dicaprio, B= Bambuca, U= Ucumari.

## CONCLUSIONES GENERALES

El portainjerto modifico la micromorfología de la lamina foliar de pimiento, lo que modifica el intercambio gaseoso, la tasa de tranpiracion y la tasa fotosintética.

El uso de la fibra de coco como medio de cultivo, aunque implica un mayor costo es una opción que permite lograr incrementos significativos en el rendimiento de fruto de pimiento, en comparación de la producción en suelo, por lo que es una opción para contrarrestar problemáticas del suelo.

El vigor y características de tolerancia del portainjertos de pimiento a factores bióticos a abióticos, son una alternativa para lograr incrementos del rendimiento que pueden ser superiores al 30% en comparación del cultivo de pimiento sin portainjertos.

Para lograr altos rendimientos de fruto en pimiento es necesario el uso de portainjertos genéticamente superiores en vigor y tolerancia a factores bióticos y abióticos, e injertos de alto potencial genético de rendimiento. En el presente trabajo el mejor portainjertos fue el CLX-PTX991 y los mejores injertos fueron con los híbridos Lambourgini, Dicaprio y Bambuca.

Los portainjertos fueron tolerantes al patógeno *Phytophthora capsici* tanto en suelo como en fibra de coco.

## LITERATURA CITADA

- Aloni B.; Cohen R.; Karni L.; Aktas H.; Edelstein M.; 2010. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae* 127(2):119-126.
- Álvarez H. J. C. 2012. Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agronómica*. 61(2): 117-125.
- Báez V. E. P.; Carrillo F. J. A.; Báez S. M. A.; García E. R. S.; Valdez T. J. B.; Contreras M. R. 2010. Uso de Portainjertos Resistentes para el Control de la Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen raza 3) del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en Condiciones de Malla Sombra. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 28(2):111-123.
- Bahar O. G.; Tuzel Y.; Tuzel H. I. 2013. Does mycorrhiza improve salinity tolerance in grafted plants?. *Scientia Horticulturae*. 149:55-60.
- Colla G.; Roupheal Y.; Cardarelli M.; Salerno A.; Rea E.; 2010. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environ. Exp. Bot.* 68:283-291.
- Chew M. Y. LL.; Gaytan M. A.; Espinoza A. J. J.; Reta S. D. G.; Reyes J. I.; Chew M. R. G.; Ramírez F. R. 2012. Planta de tomate injertada bajo condiciones de invernadero: rendimiento y calidad de fruto. *Producción Agrícola-Agrofaz*. 12(3):31-38.
- Ezziyyani M., Pérez S. C.; Requena M. E.; Sid A. A.; Candela M. E.; 2005.; Efecto del sustrato y la temperatura en el control biológico de *Phytophthora capsici* en pimiento (*Capsicum annum* L.) *Anales de Biología* 27:119-126.
- Ezziyyani M., Pérez S. C.; Requena M. E.; Sid A. A.; Candela M. E.; 2004a. “Evaluación de Biocontrol de *Phytophthora capsici* en pimiento (*Capsicum annum* L.) por tratamiento con *Burkholderia cepacia*”. *Anales de Biología* 26:61-68.
- Fernández H. E.; Acosta R. M.; Ponce G. F.; Pinto V. M.; 2007., “Manejo biológico de *Phytophthora capsici* Leo, *Fusarium Oxysporum* Schlechtend.:Fr y *Rhizoctonia solani* Kühn en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25(1):35-42.
- García R. M. A.; Chiquito A. E.; Loeza L. P. D.; Godoy H. H.; Villordo P. E.; Pons H. J. L.; González. C. M. M.; Anaya L. J. L.; 2010. Producción de chile ancho injertado sobre criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*. 44:701-709.

- Guijón L. C.; González G. P. A.; 2001 Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annum* L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua, México Revista Mexicana de Fitopatología 19(1): 49-56.
- Hartmann H. T.; Kester D. E.; Davies F. T.; Geneve R. L.; 1997. Plant propagation. Ed. Prentice Hall. USA. 873 pp.
- Huang W.; Liao S.; Haiyan L.; Khaldun A.B.M.; Wang Y. 2015 Characterization of the growth and fruit quality of tomato grafted on a woody medicinal plant, *Lycium chinense*. *Scientia Horticulturae*, 197: 447-453.
- King S. R.; Davis A. R.; Zhang X.; Crosby K.; 2010. Genetics, breeding and selection of rootstock for solanaceae and cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*. 127:106-111.
- Lopez M. J.; Galvez L. A.; Del Amor F.; Albacete A.; Pérez A. F. 2014. Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet pepper. *Scientia Horticulturae*. 214:9-17.
- López M. J.; Galvez L. A.; Porras I.; Brotons M. J. M. 2012. Injerto en pimiento (*Capsicum annum*): Beneficios y rentabilidad de su uso. ITEA (*en prensa*). 20:1-20.
- Louws J. F.; Rivard L. C.; Kubota C.; 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae* 127(2) 125-146.
- Martinez B. Ma. C.; Alcaraz L. C.; Muries B.; Mota C. C.; Carvajal M. 2010. Physiological aspects of rootstock-scion interaction. *Scientia Horticulturae*. 127(2):112-118.
- Muñoz M. E.; Sánchez C. E.; Guevara A. A.; García B. M. L. 2011. Impacto del uso de portainjerto sobre el rendimiento en chile pimiento morrón. Cartel Área/Tema: Horticultura/Fisiología y Nutrición vegetal.
- Myung L. Y.; Kubota C.; Tsao S.J.; Bie Z.; Hoyos E P.; Morra L.; Oda M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2):93-105.
- Oda, M. 1995. New grafting methods for fruit bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 29:187-194.
- Osuna Á. P.; Aguilar S. P.; Fernández P. S.; Godoy H. H.; Corral D. B.; Flores M. J. P.; Borrego P. A.; Olivas E.; 2012. Injertos en chiles tipo Cayene, jalapeño y chilaca en el noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:(4)739-750.

- Oztekin G.; Tüzel Y.; Gül A.; Tüzel I. H. 2007. Effects of grafting in saline conditions. *Acta Horticulturae*. 761, 349-355.
- Pérez M. L.; Medina L. J. O.; Salinas G. J. G.; 1990. Control genético y químico de la marchitez del chile (*Capsicum annuum* L.) causada por el hongo *Phytophthora capsici* Leonian. En la Región de Irapuato, Gto. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8(1): 71-76.
- Penella C.; Nebauer S. G.; Lopez G. S.; Quiñonez A.; Calatayud A. 2017. Grafting pepper onto tolerant rootstocks: An environmental-friendly technique overcome water and salt stress. *Scientia Horticulturae*. 226:33-41.
- Ren Y.; Guo S.; Shu S.; Xu Y.; Sun Y. 2018. Isolation and expression pattern analysis of CmRNF5 and CmNPH3L potentially involved in graft compatibility in cucumber/pumpkin graft combinations. *Scientia Horticulturae*. 227: 92-101.
- Rouphael J.; Schwarz D.; Krumbein A.; Colla G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*. 127(2):172-179.
- Rico G. L.; Medina R.S.; Muñoz S. C. I.; Guevara O. L.; Guevara G. R. G.; Guerrero A. B. Z.; Torres P. I.; Rodríguez G. R.; 2004. Detección de *Phytophthora capsici* Leonian en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) mediante PCR. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22(1):1-6.
- Sakata Y.; Ohara T.; Sugiyama M.; 2007. The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetable in Japan. *Acta Horticulturae*. 731:159-170.
- Sakata Y.; Ohara T.; Sugiyama M.; 2008. The history of melon and cucumber grafting in Japan. *Acta Horticulturae*. 767:217-228.
- Sánchez C. E.; Torres G. A.; Flores C. M. A.; Preciado R. P.; Marquez Q. C. 2015. Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 15. 7(3):227 – 244.
- Schwarz D.; Rouphael Y.; Colla G.; 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.
- SIAP-SAGARPA 2016. [www.sagarpa.gob.mx/siap](http://www.sagarpa.gob.mx/siap).
- Zhao X.; Guo Y.; Huber D. J.; Lee J.; 2011. Grafting effects on postharvest ripening and quality of 1-methylcyclopropene-treated muskmelon fruit. *Scientia Horticulturae*. 130-581-587.