

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DEL INJERTO SOBRE EL DESARROLLO Y CALIDAD  
NUTRACEUTICA DE DOS VARIEDADES DE PEPINO BAJO DOS AMBIENTES  
DE FERTILIZACIÓN

**Tesis**

Que presenta ROCÍO MARICELA PERALTA MANJARREZ  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2017

EFFECTO DEL INJERTO SOBRE EL DESARROLLO Y CALIDAD  
NUTRACEUTICA DE DOS VARIEDADES DE PEPINO BAJO DOS AMBIENTES  
DE FERTILIZACIÓN

Tesis

Elaborada por ROCÍO MARICELA PERALTA MANJARREZ como requisito parcial para  
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida con la supervisión y  
aprobación del Comité de Asesoría



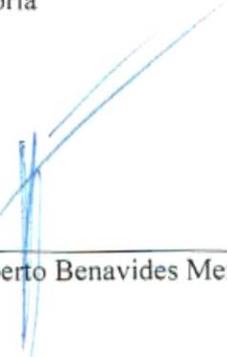
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Director de Tesis



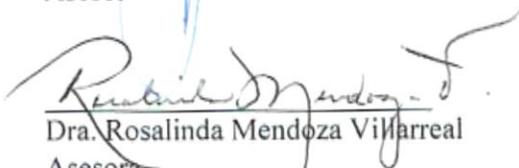
Dra. Francisca Ramírez Godina  
Asesora



Dr. Valentín Robledo Torres  
Asesor



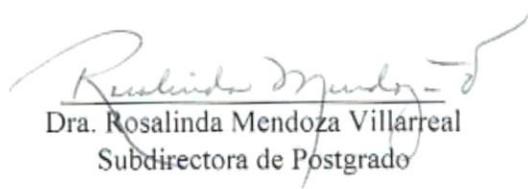
Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Asesora



Dra. Alma Delia Hernández Fuentes  
Asesora



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Subdirectora de Postgrado

U.A.A.A.N.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado mediante su programa de becas de posgrado.

Al programa de la Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, institución que me dio la oportunidad por segunda ocasión para continuar mi formación profesional.

A cada uno de los miembros del comité de asesoría por los conocimientos transmitidos, que gracias a su apoyo, consejos y contribuciones se pudo lograr la culminación de este proyecto de investigación.

Al equipo de trabajo del Laboratorio de Postcosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Autónoma de Hidalgo por las facilidades brindadas para la realización del trabajo de laboratorio.

A la Dra. Julia Medrano Macías, por los conocimientos transmitidos, por todo el apoyo y sus valiosas observaciones en el trabajo de laboratorio. Pero sobretodo su valiosa amistad.

A la T.A. Ing. Martina De la Cruz Casillas, laboratorista del departamento de Horticultura, por todo el apoyo y facilidades brindadas para la realización del trabajo de laboratorio.

A la T.A. Mariela Villela Orejón, laboratorista del departamento de Fitomejoramiento, por todo el apoyo y facilidades brindadas para la realización del trabajo de laboratorio.

A mis compañeros de postgrado de los programas de MCH, DCAP y REFISA que me brindaron su amistad y apoyo durante mi estancia en el programa.

A Cony Tello Quintero y Erika Berlanga Solís, por su paciencia y valioso apoyo brindado durante mi estancia en el programa.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

## DEDICATORIAS

*A toda mi familia, por su apoyo incondicional...*

*Especialmente a mi compañero de vida Marcelino por caminar siempre a mi lado y a mis angelitos Marian y Pablo por ser mi fuerza, mi razón para no claudicar y la luz que siempre iluminó mi sendero...*

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
Producción de cultivos bajo agricultura protegida .....	3
Producción de pepino.....	4
El uso de injerto .....	4
Antecedentes del uso de injertos en pepino.....	5
Características y ventajas del uso de la técnica del injerto .....	6
Tendencias del uso del injerto.....	7
Impacto del injerto en los compuestos bioactivos .....	7
Perspectivas del uso de injerto en pepino.....	7
Eficiencia en el Uso del Agua.....	8
Eficiencia en el Uso de Nutrientes.....	8
<b>MICROMORFOLOGÍA DEL PEPINO OBTENIDO MEDIANTE INJERTO Y DESARROLLADO EN DOS SISTEMAS DE FERTILIZACIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>ANATOMIA DEL XILEMA Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DEL PEPINO INJERTADO Y CULTIVADO CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA .....</b>	<b>21</b>
CONCLUSIÓN GENERAL.....	50
REFERENCIAS .....	51

## CARTAS DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULOS

**inifap**

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS



Texcoco, Estado de México, 26 de Septiembre de 2016  
Ref.: 184-16

**Dr. José Antonio González Fuentes**  
**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**  
**Presente:**

Por medio de la presente se hace constar que el manuscrito titulado: "Variación micromorfológica en hojas de pepino injertado bajo dos sistemas de fertilización" del cual son autores (as) Roció Maricela Peralta Manjarrez, Marcelino Cabrera de la Fuente, Álvaro Morelos Moreno, Adalberto Benavides Mendoza, Francisca Ramírez Godina y José Antonio González Fuentes, fue aceptado para ser publicado en el Vol. Esp Núm. 17 en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

**Atentamente**

**DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN**  
**EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA**  
**MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

c.c.p. \* Archivo  
KYRP/dvi

3/12/2017

Correo - rperaltam@hotmail.com

## [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

Dr. Francisco Rodríguez Félix <biotecnia@ciencias.uson.mx>

dom 03/12/2017 12:51 a.m.

Para:rperaltam@hotmail.com <rperaltam@hotmail.com>;

Rocio Maricela Peralta Manjarrez:

Gracias por enviar el manuscrito, "ANATOMIA DEL XILEMA Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DEL PEPINO INJERTADO Y CULTIVADO CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA" a Biotecnia. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/author/submission/472>

Nombre de usuario/a: rperalta

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Francisco Rodríguez Félix  
Biotecnia

## INTRODUCCIÓN

El pepino es una de las cucurbitáceas de mayor importancia que se cultiva y consume en muchas regiones del mundo, tiene alto impacto económico, por ser un producto de exportación, posee cualidades refrescantes, ya que no tiene mucho valor alimenticio debido a que el mayor porcentaje de composición es agua (SIAP,2016).

Además del constante déficit de agua para riego que padece el campo, el cultivo intensivo de las hortalizas ha favorecido la presencia de enfermedades que afectan el sistema radicular de las plantas, agravando la situación para la producción de los cultivos (Aktar et al, 2009, Fan *et al.*, 2011). Aunado a lo anterior, las restricciones en el uso de pesticidas como el bromuro de metilo incentivan el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que permitan al agricultor afrontar el problema de patógenos habitantes del suelo (López-Elías *et al.*, 2008).

En un modelo alternativo de agricultura protegida, los fertilizantes químicos se consideran un complemento para el mantenimiento de la fertilidad del suelo y de los equilibrios entre los nutrientes e intensificar las interrelaciones suelo-planta-microorganismos, para ayudar a que alcancen su máximo rendimiento y calidad. Sin embargo, el uso excesivo de productos químicos en la agricultura preocupa a los consumidores por el nivel de contaminación que los frutos pudieran tener, así como provocar, serios daños al medio ambiente y el agua que consumimos (Ju *et al.*, 2007, Good *et al.*, 2011, Fan *et al.*, 2011; Mujeri *et al.*, 2012). De tal manera que, los problemas causados por los agroquímicos en la salud humana son cada vez más evidentes, por lo cual los abonos orgánicos cobran más importancia como una alternativa en los sistemas de producción para obtener alimentos más sanos y amigables con el ambiente (Márquez-Hernández *et al.*, 2010, Popp *et al.*, 2013). Por ello es prioritario encontrar técnicas eficientes de producción.

Toda esta serie de acontecimientos nos conducen a adoptar técnicas alternativas para mejorar los sistemas de producción de los cultivos. Entre éstas técnicas encontramos el uso del injerto, cuyas ventajas agronómicas son: mayor vigor radical y foliar, mayor aprovechamiento de agua y nutrientes por tener un sistema radical más eficiente conferido por el patrón, resistencia a diferentes tipos de estrés biótico y abiótico con el uso de patrones tolerantes, esto de la mano con la aplicación de una fertilización ya sea química

u orgánica de manera racional, con un contenido nutricional conocido, siguiere una minimización del impacto ambiental originado por los elevados índices de nutrientes empleados en los cultivos, favoreciendo los procesos de producción (Porras, 2005; Mujeri *et al.*, 2012; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2014; Yassin and Hussen, 2015).

En injertos, la unión y continuidad de los vasos del xilema es una de las formas más confiables para estimar compatibilidad entre injerto-portainjerto, y conocer así los posibles problemas que pudieran ocurrir en el desarrollo de plantas injertadas (Nieto-Ángel y Borys, 1999). De los tejidos de conducción en los tallos para cualquier tipo de planta, el tamaño de los vasos del xilema, el porcentaje del xilema y del floema, y la relación entre ambos, son caracteres anatómicos que definen la capacidad de transporte de agua en las plantas (Vasconcellos y Castle, 1994; Reyes Santamaría *et al.*, 2002).

Las ventajas del uso del injerto que también se enfocan en la mejora de la calidad comercial y el contenido de nutrientes favorables para la salud humana, ya que dentro de las características generales del pepino esta su elevado contenido de compuestos reconocidos como antioxidantes (López, 2003; Wehner *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2013; Moreiras *et al.*, 2013). Existen investigaciones actuales centradas específicamente en identificar compuestos biológicamente activos presentes en los frutos de hortalizas que actúan como antioxidantes y su relación con la protección celular en condiciones de estrés oxidativo, que puedan ayudar a mejorar las condiciones de salud y disminuir el riesgo de contraer enfermedades en el consumidor (Hassimotto *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2005; Denev *et al.*, 2010; Cabrera-De la Fuente *et al.*, 2014). Aunque estas ventajas se han ido documentando, aún hay espacios en que se requiere ampliar más el conocimiento, en particular, es importante generar información científica referente a la calidad nutracéutica, ya que, en relación a esto se dispone de muy poca información que describa modificaciones en las características del fruto de pepino que realiza una planta injertada, además es necesario conocer el comportamiento de la anatomía y fisiología de las plantas establecidas bajo ambientes protegidos y diferentes tipos de fertilización con la intención de tener un estudio más amplio respecto a la correlación del sistema productivo de manera integral.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Producción de cultivos bajo agricultura protegida**

La Agricultura en México hoy en día es más compleja, debido a los cambios climáticos que se han vivido a lo largo de los últimos años. Esta tendencia ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas, materiales y estructuras en la protección de cultivos con la finalidad de obtener productos de mejor calidad. A esta actividad se le conoce como agricultura protegida y en gran medida ha sido propiciada por el desarrollo de materiales plásticos para uso agrícola. Las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son los invernaderos, malla sombra, túneles altos y bajos, dando la posibilidad de producir todo el año ciertos cultivos, es una de las más grandes ventajas que tiene la producción bajo algún tipo de agricultura protegida, obteniendo productos fuera de temporada adquiriendo ventajas de mercado y precio (Gómez, y Vásquez, 2011).

Con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el estado que más superficie reporta bajo algún tipo de agricultura protegida es Sinaloa con 9 mil hectáreas, siendo su cultivo principal el tomate rojo saladette bajo malla sombra. Le sigue Jalisco con 7 mil 713 hectáreas, de las cuales 4 mil 448 son de frambuesa bajo macro túnel. La superficie de agricultura protegida en el 2016, aumentó 15 mil hectáreas respecto de 2015. De las especies hortícolas más cultivadas en el mundo bajo condiciones de invernaderos y que poseen alta rentabilidad se encuentran el tomate, melón, sandía, chile pimiento y pepino (SIAP, 2017).

En México, las principales especies cultivadas en este sistema de producción son: hortalizas como tomate rojo o jitomate, pimiento morrón, pepino, melón, lechuga; plantas ornamentales y flores de corte tales como rosa, gerbera y crisantemo. Adicionalmente, en agricultura protegida también se producen plántulas de hortalizas para trasplante a campo abierto (Sánchez *et al.*, 2006; Sánchez-Guerrero *et al.*, 2010).

### **Producción de Pepino**

El uso de invernaderos representa una opción para incrementar la producción de pepino, al propiciar un ambiente poco restrictivo para el crecimiento y desarrollo de las plantas que el que ocurre a cielo abierto (Ortiz *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2012).

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo de gran importancia debido a que cuenta con un elevado índice de consumo, pues sirve de alimento tanto en fresco como industrializado, es rico en fibra, vitamina E y aceites naturales, además de poseer el 95% de agua y un contenido menor o igual a 20 calorías (SIAP, 2016). El cultivo de esta hortaliza tiene un aumento de producción y exportación, lo que indica una estabilidad de la superficie sembrada (Maroto, 2002).

Una de las grades problemáticas en la producción de esta hortaliza es la presencia de patógenos del suelo, como nematodos y hongos vasculares, y debido a esto se han creado métodos alternativos en los sistemas de producción, como lo es el uso del injerto en cultivares susceptibles (Maršić y Jakše, 2010). El agua para el riego de los cultivos es cada vez más escasa, esto demerita los procesos fisiológicos y bioquímicos que tienen que ver directamente sobre la producción y rendimiento del cultivo.

### **El uso de injerto**

El uso del injerto se ha convertido en una alternativa para mejorar la producción de algunas hortalizas (Maršić y Jakše, 2010) que, en condiciones de crecimiento adecuadas, mejora la calidad de estas, además de superar problemas de salinidad y aumentar el tamaño del fruto (Flores *et al.*, 2010), promoviendo mayor vigor en las plantas, incrementando la acumulación de materia seca.

Se ha comprobado que injerto representa una herramienta prometedora, que puede mejorar el rendimiento en las cucurbitáceas, con el uso del portainjerto adecuado (Schwarz, *et al.*, 2010).

### **Antecedentes del uso de injertos en pepino**

Una de las principales razones por la cual se ha implementado la técnica del injerto en el cultivo de pepino es para mitigar el ataque de agentes patógenos que atacan a la raíz, principalmente *Fusarium* y nematodos. *Fusarium oxysporum* sp. *Cucumerinum* es considerada una de las principales enfermedades fungosas que afectan al cultivo del pepino, la cual se encuentra en la rizósfera de las plantas, que son capaces de crecer y sobrevivir durante mucho tiempo en la materia orgánica del suelo (Gordon *et al.*, 1992),

que ingresan por la raíz de la planta causando la putrefacciones o bien invade al sistema vascular de la misma causando marchitez y necrosis en las planta (Swarupa *et al.*, 2014). El control o prevención de la marchitez de *Fusarium* se realiza principalmente con la fumigación química del suelo. Los biocidas de amplio espectro utilizados para fumigar el suelo antes de la siembra, en particular el bromuro de metilo, son perjudiciales para el medio ambiente (Yates and Papiernik, 2003), lo que propicia la restricción de su uso. Derivado de esto, se dice que el método de control más rentable y ambientalmente seguro es el uso de cultivares resistentes a este tipo de patógenos, sin embargo hay que considerar que la infección por nematodos formadores de agallas provocan cambios fisiológicos en la raíz (Piedrahita *et al.*, 2012), trayendo como consecuencia que variedades de pepino resistentes a *Fusarium* se vuelvan susceptibles al hongo, esto aunado a los factores ambientales como las altas temperaturas que favorecen el desarrollo de la enfermedad (Anaya y Romero, 1990).

Con base a lo antes mencionado, y debido a los buenos resultados que se han ido obtenido utilizando el injerto en otras hortalizas de importancia económica (Bie *et al.*, 2017), se fue considerando la implementación de esta técnica en el cultivo de pepino en nuestro país, como una alternativa en el sistema de producción, cuyo uso contribuye principalmente como un importante complemento en el manejo integrado de plagas en el cultivo, además de beneficios secundarios en forma de tolerancia mejorada al estrés abiótico como temperatura, salinidad, hídrico, entre otros. (González, *et al.*, 2008).

### **Características y ventajas del uso de la técnica del injerto**

Esta técnica básicamente consiste en el reemplazo de un sistema de raíces por otro que contiene rasgos más deseables, conocido como portainjerto, cuya característica principal es su sistema radicular abundante y rustico, lo que lo hace eficiente y trae ventajas en la absorción del agua (el cual es un aspecto favorable ante el creciente déficit de agua disponible para el riego de los cultivos), así como para un mejor aprovechamiento de los nutrientes que la planta necesita (Angela *et al.*, 2007), para poder realizar las funciones metabólicas necesarias para el óptimo crecimiento y desarrollo de la planta, pues a mayor captación de agua y de nutrientes por la raíz se incrementa el vigor de la planta, Este incremento en el vigor, generalmente es proporcionado por el portainjerto sobre la

variedad, permitiendo utilizar un menor número de plantas por unidad de superficie y a su vez se genera mayor área foliar, incrementando la tasa fotosintética promoviendo la producción de fotoasimilados necesarios para iniciar a la etapa de floración y favorecer la fructificación (Hernández-González *et al.*, 2014), que va desde el cuajado de fruto, llenado previo de frutos e incremento la calidad y cantidad de frutos y por consiguiente el aumento temprano de la producción del cultivo con incrementos de hasta 57% en el rendimiento de fruto por hectárea en comparación con plantas no injertadas (Rouphael *et al.*, 2008; Colla *et al.*, 2012; Farhadi and Malek, 2015; Gao *et al.*, 2015). Para el productor, el principal objetivo del uso del injerto sigue siendo un aumento en el rendimiento del cultivo. Cabe mencionar también, con el uso del injerto hay un incremento en la calidad comercial del fruto de pepino, los cuales cumplen con los estándares de calidad para la comercialización nacional e internacional. Estas normas son características de calidad que dictan el valor de mercado de las verduras; toman en consideración los atributos externos de calidad, como el tamaño, la forma y el color, así como la frescura y la ausencia de defectos y decaimiento (Schnitzler y Gruda, 2002).

### **Tendencias del uso del injerto**

Actualmente el interés del consumidor por obtener productos que contengan compuestos bioactivos que aporten beneficios a la salud va en aumento, por tanto, la importancia del injerto se centra en el estudio de su efecto sobre las características de calidad nutracéutica, para determinar si con su uso además de obtener grandes rendimientos, aumenta la posibilidad de producir frutos con potencial antioxidante, pues se sabe que el pepino es un fruto que dentro de sus características, es rico en fibra, vitaminas y compuestos antioxidantes, de los cuales no se cuenta con información suficiente acerca del efecto del injerto sobre estas características en esta especie hortícola específicamente (Schnitzler y Gruda, 2002; Gruda, 2005).

### **Impacto del injerto en los compuestos bioactivos**

Existen investigaciones en otras especies hortícolas injertadas que han reportado que en diferentes condiciones de estrés aumenta la síntesis de estos compuestos antioxidantes (Huang *et al.*, 2009), en base a esto y a los resultados preliminares que se han obtenido en

investigaciones recientes o en curso, se ha observado un efecto positivo en la modificación de la calidad nutracéutica en frutos de pepino, por lo que, se tienen grandes expectativas de que el contenido de esos compuestos bioactivos en esta especie hortícola se incrementen por influencia del injerto con o sin condiciones de estrés inducido. Lo cual, le daría un valor agregado a los productos además de obtener alimentos con calidad nutricional en la cantidad adecuada, directamente al consumidor que lo consume en fresco.

### **Perspectivas del uso de injerto en pepino**

Ante la creciente demanda del consumidor por obtener productos que contengan compuestos bioactivos que aporten beneficios a la salud y el interés por cumplir con la exigencia del consumidor en el mercado, la importancia del injerto se centra en el estudio de su efecto sobre las características de calidad nutracéutica, para determinar si con su uso además de obtener grandes rendimientos, aumenta la posibilidad de producir frutos con potencial antioxidante. Dicha técnica en este cultivo, le daría un valor agregado a los productos, además de obtener alimentos funcionales con calidad nutricional en la cantidad adecuada, directamente al consumidor en fresco.

En este sentido, hay campos del conocimiento en los que no se tienen datos específicos acerca de los procesos metabólicos en los que influye la aplicación de la técnica del injerto, que requieren estudio para poder explicar el comportamiento y respuesta de las plantas injertadas desde el punto de vista bioquímico y fisiológico, y en un determinado momento dar solución a problemas de manejo que se pudieran presentar en los cultivos injertados (González *et al.*, 2008).

### **Eficiencia en el Uso del Agua**

En estudios enfocados a las características de los tejidos de plantas, mencionan que las plantas se enfrentan a nuevas dificultades, como lo es la obtención y retención de agua necesaria para su óptimo desarrollo (Mencuccini, 2003). En ese sentido el injerto en hortalizas no solo contribuye a la resistencia de enfermedades, sino también a la tolerancia a ambientes de estrés, al favorecer la absorción de agua y la mejora en asimilación de nutrientes y dando como resultado plantas más vigorosas y aumento en el rendimiento (Godoy-Hernández *et al.*, 2009; Colla *et al.*, 2014; Hernández-González *et al.*, 2014).

### **Eficiencia en el Uso de Nutrientes**

Para poder lograr una eficiente absorción de nutrientes minerales, es necesario lograr buena unión del injerto para que la planta pueda tener una comunicación entre injerto y patrón, teniendo en cuenta que las discontinuidades vasculares en la unión del injerto, pueden provocar problemas como la inhibición del crecimiento (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010). Además, un mal suministro nutrimental puede provocar la disminución de materia seca (Godoy *et al.*, 2009). Por otro lado, se debe tener en cuenta que el uso irracional de fertilizantes provoca contaminación de los mantos freáticos, dañando el ambiente (Hernández-González *et al.*, 2014).

## **ARTICULOS**

## Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización\*

### Micromorphology of cucumber obtained by grafting and developed into two fertilization systems

Rocio Maricela Peralta-Manjarrez<sup>1</sup>, Marcelino Cabrera-De la Fuente<sup>1</sup>, Alvaro Morelos-Moreno<sup>1</sup>, Adalberto Benavides Mendoza<sup>1</sup>, Francisca Ramírez-Godina<sup>2</sup> y José Antonio González Fuentes<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Posgrado en Agricultura Protegida y Departamento en Fitomejoramiento. Calzada Antonio Narro. Núm. 1923, Colonia Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. Tel: 8444110303. (rperaltam@hotmail.com; cafum7@yahoo.com; abenmen@gmail.com; jagf252001@gmail.com; alvarinbo001@gmail.com). <sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro. Núm. 1923, Colonia Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. (godramf@gmail.com). <sup>†</sup>Autor para correspondencia: jagf252001@gmail.com.

#### Resumen

El uso del injerto es una técnica alternativa en la producción de algunas hortalizas, ejerce influencia sobre la resistencia estomática (Parés-Martínez *et al.*, 2004; Gil-Marín, 2006), aprovechando las propiedades del sistema radical del patrón para absorber agua y nutrientes. Por tal motivo, se evaluó el efecto del injerto sobre las características micromorfológicas y fisiológicas de la hoja de pepino “Esparón” y “Modan”. El experimento se desarrolló en condiciones de invernadero, las variedades fueron injertadas sobre el patrón de calabaza criolla, utilizando el método de púa en hendidura, posteriormente trasplantadas en turba de musgo-perlita (2:1). El modelo estadístico fue un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2\*2\*2 (variedades, con y sin injerto, y fertilización química y orgánica). Las variables evaluadas fueron área foliar específica, densidad estomática, índice estomático, largo y ancho del estoma y conductancia estomática. Los resultados indicaron que los tratamientos con injerto produjeron mayor área foliar específica respecto a las no injertadas, presentando el valor más alto en la variedad Modan injertada y con fertilización orgánica con 108.35 g cm<sup>-2</sup>, además, disminuyó el índice y densidad estomática en el lado adaxial y abaxial con valores de hasta 114.3 y 224.3 estomas mm<sup>-2</sup>

#### Abstract

The use of the graft is an alternative technique in the production of some vegetables, influences stomatal resistance (Parés-Martínez *et al.*, 2004; Gil-Marín, 2006), taking advantage of the properties of the pattern root system to absorb water and nutrients. Therefore, was evaluated the effect of grafting on micromorphological and physiological characteristics of cucumber leaf “Esparón” and “Modan”. The experiment was conducted under greenhouse conditions, varieties were grafted on the pattern of creole pumpkin, using the method of plectrum slit, then transplanted into peat moss-perlite (2:1). The statistical model was a completely randomized design with factorial arrangement 2\*2\*2 (varieties, with and without grafting, and chemical and organic fertilization). The variables evaluated were specific leaf area, stomatal density, stomatal index, length and width of the stoma and stomatal conductance. The results indicated that treatments with graft produced higher specific leaf area compared to ungrafted, presenting the highest value in Modan variety grafted and organic fertilization with 108.35 g cm<sup>-2</sup> also decreased the rate and stomatal density in the adaxial side and abaxial with values up to 114.3 and 224.3 stomata mm<sup>-2</sup> in “Esparón” and 141.2 and 188.2 stomata mm<sup>-2</sup> in “Modan” ( $p < 0.01$ ). The

\* Recibido: julio de 2016  
Aceptado: octubre de 2016

en “Espirón”, y 141.2 y 188.2 estomas  $\text{mm}^{-2}$  en “Modan” ( $p < 0.01$ ). La conductancia estomática en las plantas sin injerto con fertilización química fue superior hasta 21% en relación a las injertadas, esto indica que el estado hídrico presentó un efecto directo en las plantas injertadas.

**Palabras clave:** : *Cucumis sativus*, conductancia, densidad estomática, índice estomático.

## Introducción

El cultivo de pepino ha ido en aumento en las últimas décadas dado que es un producto que es consumido en muchas regiones del mundo. Se desarrolla en el periodo primavera-verano cuando la demanda evaporativa es alta, por lo que una de las exigencias básicas para la producción de pepino es la disponibilidad de agua en cantidades adecuadas (FAO, 2006). Estudios centrados en las características de los tejidos de plantas, coinciden en que hay que considerar que las plantas tienen que solventar nuevas dificultades, casi todas relacionadas con la obtención y retención de agua para crecer y desarrollarse de manera óptima (Mencuccini, 2003). Por otro lado del uso excesivo de fertilizantes químicos que genera preocupación en los consumidores por el nivel de contaminación que los frutos pudieran tener, así como por los problemas ambientales, incentivan el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que permitan reducir el impacto de los agroquímicos sobre el ambiente y satisfacer mejor las necesidades de los agricultores y consumidores (Hernández-González *et al.*, 2014).

El uso del injerto representa una técnica alternativa en la producción de algunas hortalizas (Maršić y Jakše, 2010) que poco a poco ha ido sobresaliendo en la agricultura, utilizada comúnmente en solanáceas y cucurbitáceas principalmente, disminuyendo problemas por estrés de tipo biótico y abiótico (Schwarz, 2010). De igual manera la utilización de fertilizantes o elementos esenciales para la nutrición de los cultivos son considerados como parte importante en el ciclo de cultivo, así como el rendimiento que puedan tener los mismos (Porras, 2005). Al utilizar la selección de elementos nutritivos de una solución nutritiva química universal, se puede explicar desde un punto de vista fisiológico su absorción por la planta, al no variar el equilibrio único de la solución nutritiva durante el ciclo del cultivo (Steiner, 1961).

stomatal conductance in plants without chemical fertilizers graft was superior to 21% compared to the grafted, this indicates that the water status presented a direct effect on grafted plants.

**Keywords:** *Cucumis sativus*, conductance, stomatal density, stomatal index.

## Introduction

The cucumber cultivation has been increasing in recent decades as it is a product that is consumed in many regions of the world. It takes place in the spring-summer period when the evaporative demand is high, so that one of the basic requirements for cucumber production is the availability of water in adequate quantities (FAO, 2006). Centered studies on the characteristics of plant tissues, agree to consider that plants have to solve new problems, almost all related to obtaining and retaining water to grow and develop optimally (Mencuccini, 2003). On the other hand the excessive use of chemical fertilizers causing concern among consumers about the level of pollution that the fruits may have, as well as environmental problems, encourage the development and implementation of new technologies to reduce the impact of agrochemicals on the environment and better meet the needs of farmers and consumers (Hernández-González *et al.*, 2014).

The use of the graft is an alternative technique in the production of some vegetables (Maršić and Jakše, 2010) that gradually has been excelling in agriculture, commonly used in solanaceous and cucurbits mainly decreasing problems stress of biotic and abiotic (Schwarz, 2010). Similarly, the use of fertilizers or essential for crop nutrition elements are considered as an important part in the crop cycle and performance that can have the same (Porras, 2005). By using the selection of nutritious elements of a universal chemical nutrient solution, it can be explained from the point of view physiological uptake by the plant, not change the unique balance of the nutrient solution during the crop cycle (Steiner, 1961). The greenhouse production with organic agriculture is nonpolluting, produced very good quality vegetables, avoid environmental mishaps and increases profits due to increased productivity in relation to production field (Márquez *et al.*, 2006).

La producción en invernadero con agricultura orgánica no es contaminante, se producen vegetales de muy buena calidad, evita contratiempos ambientales y aumenta las ganancias debido a la mayor productividad con relación a la producción en campo (Márquez *et al.*, 2006).

El injerto de púa en hendidura se utiliza principalmente en frutales (Cruz, 1990), por lo que no se tiene gran información sobre este tipo de injerto para incrementar la producción en hortalizas, esto va de la mano con los beneficios que brinda el uso racional de la fertilización contra condiciones de estrés hídrico o salino (Schwarz, *et al.*, 2010).

En el caso del pepino, no todos los cultivares son igualmente resistentes a la sequía, ni reaccionan de la misma manera frente a un déficit hídrico, lo cual resultan de gran importancia dado a que la productividad está relacionada con el consumo de agua y su disponibilidad más que cualquier factor del ambiente (Mencuccini, 2003; Yasutake *et al.*, 2001). Yassin (2015) y Liu *et al.* (2016) mencionaron que el injerto podría influir en gran medida en el comportamiento de las plantas; sin embargo, en relación a esto se dispone de muy poca información que describa los ajustes morfológicos y fisiológicos que realiza una planta después de ser injertada, por lo que el objetivo de este estudio es revisar como el injerto bajo dos sistemas de fertilización impacta sobre la micromorfología y fisiología foliar de dos variedades de pepino desarrollado en dos sistemas de fertilización.

## Materiales y métodos

El experimento fue desarrollado en condiciones de invernadero en el campo agrícola experimental del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, ubicado en las coordenadas 25° 22' latitud norte y 101° 00' longitud oeste, a una altitud de 1 742 msnm, durante el ciclo primavera-verano 2015.

### Realización del injerto

Para obtener el patrón se sembró calabaza criolla (*Cucurbita maxima*) en invernadero, transcurridos ocho días se sembraron las variedades de pepino Esparón y Modan, los cuales son materiales del tipo americano, en charolas de 60 cavidades, con sustrato de turba de musgo mezclado con

The graft barb slit is mainly used in fruit (Cruz, 1990), so you do not have much information about this type of graft to increase production in vegetables, this goes hand in hand with the benefits provided by the rational use fertilization against conditions of water or salt stress (Schwarz, *et al.*, 2010).

In the case of cucumber, not all cultivars are also resistant to drought, or react the same way to a water shortage, which are of great importance given that productivity is related to water consumption and availability more than any environmental factor (Yasutake *et al.*, 2001; Mencuccini, 2003). Yassin (2015) and Liu, *et al.* (2016) mentioned that the graft could greatly influence the behavior of plants; however, in this connection provides little information describing the morphological and physiological adjustments that makes a plant after being grafted, so the aim of this study is to check as the graft under two fertilization systems impinges on micromorphology and foliar physiology two cucumber varieties developed in two fertilization systems.

## Materials and methods

The experiment was developed under greenhouse conditions in the experimental agricultural field of the department of Horticulture of the University Autonomous Agrarian Antonio Narro, in Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico, located at coordinates 25° 22' north latitude and 101° 00' length west, at an altitude of 1 742 meters above sea level, during the spring-summer cycle in 2015.

### Making graft

For the pattern criolla pumpkin seeded (*Cucurbita maxima*) in the greenhouse, after eight days, the cucumber varieties Esparón and Modan, which are materials of american type, in trays of 60 cavities, with substrate peat moss mixed with seeded "perlite" (ratio 1:2 v/v). When the pattern and variety presented two well developed leaves and stem diameter at least 4 mm, grafting seedlings was performed using the grafting method barb slit (Cruz, 1990). The grafted seedlings were kept for six days in a chamber with engraftment absence of light, relative humidity above 80% and a temperature of 28 °C. Then they placed for four days in a chamber covered with transparent plastic acclimation maintaining the same conditions of temperature and relative humidity. Once achieved acclimation seedlings grafted were they taken from

“perlita” (relación 1:2 v/v). Cuando el patrón y la variedad presentaron dos hojas bien desarrolladas y un diámetro de tallo de al menos 4 mm, se realizó el injerto de las plántulas utilizando el método de injerto de púa en hendidura (Cruz, 1990). Las plántulas injertadas se mantuvieron durante seis días en una cámara de prendimiento con ausencia de luz, humedad relativa arriba de 80% y una temperatura de 28 °C. Después se colocaron durante cuatro días en una cámara de aclimatación cubierta con plástico transparente manteniendo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura. Una vez lograda la aclimatación las plántulas injertadas fueron sacadas de la cámara y trasplantadas en condiciones de invernadero utilizando bolsas de 12 kilogramos con sustrato de turba de musgo, las condiciones ambientales del invernadero fueron: temperatura máxima de 36.5 °C y mínima de 16.5 °C y humedad relativa de 30 a 70%.

### Manejo del cultivo

Establecido el cultivo, su manejo agronómico fue de acuerdo a las buenas prácticas agrícolas para el cultivo (FAO, 2006), incluyendo podas, tutoro, aplicaciones preventivas y de control fitosanitario orgánico. El sistema de riego utilizado fue por cintilla calibre 4 000, colocando un gotero por maceta, teniendo un gasto de agua de 1 L por día durante la etapa vegetativa y 3.4 L por día desde la fructificación hasta la cosecha. La aplicación de la fertilización química (solución nutritiva Steiner, 1984) y orgánica (productos comerciales, equiparando la concentración de nutrientes de la solución Steiner) se realizó a través del sistema de riego, utilizando diferente concentración de nutrimentos durante el periodo de crecimiento: 25% en etapa vegetativa, 50% en floración, 75% en amarre y cuajado de fruto, y 100% en llenado de fruto. La conductividad eléctrica de la solución nutritiva Steiner al 100% fue de 2.8 mS cm y de la solución nutritiva orgánica al 100% fue de 1.3 mS cm<sup>-1</sup>.

### Variables evaluadas

Se realizó el cálculo del área foliar específica, estudio de la epidermis foliar y conductancia estomática en dos variedades de pepino, con y sin injerto, y dos tipos de fertilización (química y orgánica).

Área foliar específica (AFE). Se realizaron muestreos destructivos de cuatro plantas de cada tratamiento a los 30 y 90 días después del trasplante (ddt); en cada uno de los muestreos se midió el área foliar en cm<sup>2</sup> (sin incluir pecíolo) con un medidor portátil de área foliar modelo LI-500 y el

the camera and transplanted under greenhouse conditions using bags of 12 kg with substrate peat moss, greenhouse environmental conditions were: maximum temperature of 36.5 °C and minimum 16.5 °C and relative humidity of 30 to 70%.

### Crop management

Established cultivation, agronomic management was according to good agricultural practices for cultivation (FAO, 2006), including pruning, trellising, preventive applications and organic phytosanitary control. The irrigation system used was by drip caliber 4 000, placing a dropper per pot, having a water consumption of 1 L per day during the vegetative stage and 3.4 L per day from fruit set to harvest. The application of chemical fertilization (nutrient solution Steiner, 1984) and organic (commercial products, equating nutrient concentration of the Steiner solution) was made through the irrigation system using different concentrations of nutrients during the growth period: 25% in vegetative stage, flowering 50%, 75% in mooring and fruit set, and 100% in fruit filling. The electrical conductivity of the nutritive solution Steiner 100% was 2.8 mS cm and organic nutrient solution 100% was 1.3 mS cm<sup>-1</sup>.

### Variables evaluated

It was made calculating the specific leaf area, study of leaf epidermis and stomatal conductance in two varieties of cucumber, with and without grafting, and two types of fertilization (chemical and organic).

Specific leaf area (AFE). The destructive sampling were performed of four plants of each treatment at 30 and 90 days after transplanting (ddt); in each sampling leaf area it was measured in cm<sup>2</sup> (excluding petiole) with a portable leaf area meter Model LI-500 and the value of dried accumulated biomass was obtained by extracting and quantitating all sheets present in each treatment end of the crop cycle. The leaves were dried at temperature 60 °C in an oven drying MAPSA model HDP334 and specific leaf area was calculated as follows: leaf area total (cm<sup>2</sup>) by total dry mass of leaf area of the plant (g) (Carranza *et al.*, 2009).

Study of leaf epidermis. The samples 30 and 60 ddt were taken using four plants per treatment, of which two adult leaves were taken of the main guide who were fully expanded and with the same orientation. On each sheet, its middle, a skin impression of the adaxial surface was taken and another

valor de biomasa seca acumulada se obtuvo extrayendo y cuantificando la totalidad de hojas presentes en cada tratamiento al finalizar el ciclo del cultivo. Las hojas fueron secadas a temperatura 60 °C en una estufa de secado MAPSA modelo HDP334 y el área foliar específica se calculó de la siguiente forma: área foliar total (cm<sup>2</sup>) por masa seca total del área foliar de la planta (g) (Carranza *et al.*, 2009).

**Estudio de la epidermis foliar.** Se tomaron muestras a los 30 y 60 ddt utilizando cuatro plantas por tratamiento, de las que se tomaron dos hojas adultas de la guía principal que se encontraban totalmente expandidas y con la misma orientación. En cada hoja, de su parte media, se tomó una impresión epidérmica de la superficie adaxial y otra de la abaxial, utilizando pegamento para PVC transparente, el que se aplicó sobre la superficie foliar con un pincel. Después de que se secó la película, se extrajo con un trozo de cinta adhesiva transparente y se colocó sobre un portaobjetos de vidrio. En cada impresión se analizaron estomas y células epidérmicas en tres campos microscópicos a 40 x elegidos al azar, de la superficie adaxial y abaxial, tomando una microfotografía de cada campo, en donde se contó el total de estomas y células epidérmicas por área de la fotografía.

Además se midió el ancho y largo (µm) de las células oclusivas de tres estomas en cada uno de los campos del microscopio, dando un total de 12 estomas de la superficie adaxial y 12 de la superficie abaxial por tratamiento. La densidad estomática se obtuvo de la siguiente forma: DE= número de estomas/0.02479 mm<sup>2</sup> (área de la imagen fotografiada)= estomas por mm<sup>2</sup>, para determinar el índice estomático se utilizó la fórmula sugerida por Wilkinson (1979): índice estomático= número de estomas/células epidérmicas + número de estomas x 100. Se utilizó un microscopio compuesto (Carl Zeiss) con cámara digital (PixeraWinder Pro) y un software de medición (AxionVision Rel. 4.8).

**Conductancia estomática.** Se determinó mediante un porómetro modelo SC-1 marca Decagon Devices, el cual mide la presión de vapor sobre las hojas usando la técnica del estado estacionario, se midieron cuatro plantas por tratamiento, tomando tres lecturas por planta en hojas adultas de la guía principal que se encontraban totalmente expandidas y con la misma orientación, en un horario de 12:00 a 14:00 h, cuando la radiación directa era máxima, los datos obtenidos se reportaron en mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

abaxial using transparent PVC glue, which is applied on the leaf surface with a brush. After the film was dried, he extracted with a piece of transparent tape and placed on a glass slide. In each print stomata and epidermal cells they were analyzed in three microscopic fields 40 x chosen at random from the adaxial surface and abaxial, taking a photomicrograph of each field, where the total of stomata and epidermal cells was counted by area of photography.

Also the width and length (µm) of the guard cells three stomata in each microscope fields was measured, giving a total of 12 stomata and adaxial surface 12 by treatment abaxial surface. The stomatal density was obtained as follows: DE= number of stomata/0.02479 mm<sup>2</sup> (area of the photographed image)= stomata per mm<sup>2</sup>, to determine the stomatal index formula suggested by Wilkinson (1979) was used: stomatal index= number stomata/epidermal cells + number of stomata x 100. A compound microscope (Carl Zeiss) with (PixeraWinder Pro) digital camera and measuring software (AxionVision Rel. 4.8) was used.

**Stomatal conductance.** It was determined by a porometer SC-1 marks Decagon Devices, which measures the vapor pressure on the sheets using the technique of the stationary state, four plants were measured per treatment, taking three readings per plant in mature leaves of the main guide were fully expanded and with the same orientation, on a schedule from 12:00 to 14:00 h, when direct radiation was high, the data were reported in mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### Statistical analysis

The experimental design was completely randomized factorial arrangement (2\*2\*2) the factors were the varieties, with and without grafting, and chemical and organic fertilization, resulting in eight treatments and 4 repetitions. The data were processed by analysis of variance and mean comparison test by Duncan methodology with  $p \leq 0.05$ , using SAS program 9.4 version.

## Results

In the specific leaf area (AFE) difference between treatments was found ( $p \leq 0.05$ ), the highest value was that of the grafted variety Modan and organic fertilization 108.35 cm<sup>2</sup> g, and

### Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (2\*2\*2), los factores fueron las variedades, con y sin injerto, y fertilización química y orgánica, resultando en ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias mediante la metodología de Duncan con  $p \leq 0.05$ , utilizando el programa SAS versión 9.4.

### Resultados

En el área foliar específica (AFE) se encontró diferencia entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), el valor más alto fue el de la variedad Modan injertada y con fertilización orgánica con 108.35 cm<sup>2</sup> g, y la tendencia que se observa es que su valor aumento 27% con el injerto y fertilización orgánica que las que fueron manejadas con fertilización química, al respecto Borges *et al.* (2012) menciona que en plantas suplementadas con productos inorgánicos obtienen una mayor masa seca que con fertilizantes orgánicos. Los resultados (Figura 1) concuerdan con lo reportado por Hernández-González *et al.* (2014) donde se observó que se produce mayor AFE en plantas injertadas sobre calabaza que las no injertadas. Amaro *et al.* (2012) mencionan que la hoja y las características de ésta, juegan un papel particular y muy importante en la asimilación de carbono, las relaciones hídricas y el equilibrio energético de la planta, esto permite atribuir a que con el uso del injerto se puede obtener un área foliar específica óptima, que permite a la planta tener una mayor eficiencia fotosintética, utilización de nutrimentos y un mayor rendimiento.

Las diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0.01$ ) encontradas, indican que las dos variedades con injerto presentaron menor índice y densidad estomática en relación a las no injertadas y con una tendencia a ser mucho menor con fertilización orgánica (Cuadro 1 y 2)

A los 30 ddt el índice estomático para la variedad Esparón sin injertar con fertilización química y orgánica se incrementó 12.5% y 28.1% respectivamente en la superficie adaxial, y 11.4% y 22.1% en la superficie abaxial en comparación con las plantas injertadas, de igual manera, el índice estomático para la variedad Modan sin injertar con fertilización química y orgánica aumentó 7.3% y 6% en la superficie adaxial, y 5% y 24% respectivamente en la superficie abaxial que las plantas injertadas.

the trend observed is that its increased value 27% with the graft and organic fertilization which were handled with chemical fertilization, about Borges *et al.* (2012) mentions that in plants supplemented with inorganic products help obtain dry mass greater than those supplemented with organic fertilizers. The results found in this study (Figure 1) are consistent with those reported by Hernández-González *et al.* (2014) where it was observed that greater AFE occurs grafted onto the ungrafted pumpkin plants. Amaro *et al.* (2012), mention that the blade and its characteristics, play a particular role and very important in the assimilation of carbon, water relations and energy balance of the plant, this can be attributed to the use of graft possibly you can obtain optimal specific leaf area, allowing the plant to have greater photosynthetic efficiency, use of nutrients and therefore higher performance.

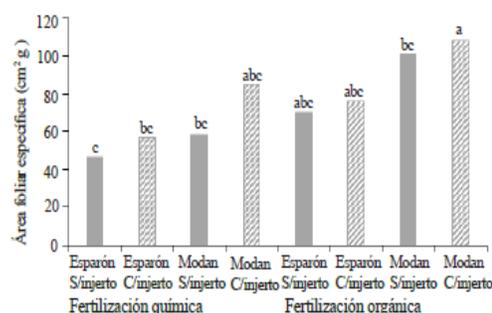


Figura 1. Área foliar específica de plantas de pepino obtenidas mediante injerto y desarrolladas en dos sistemas de fertilización.

Figure 1. Leaf area specified cucumber plants obtained by grafting and developed into two fertilization systems.

The highly significant statistical difference ( $p < 0.01$ ) found, indicate that the two varieties had lower graft index and stomatal density in relation to non-grafted and tend to be much less with organic fertilization (Table 1 and 2).

At 30 ddt stomatal index for Esparon variety ungrafted with chemical and organic fertilizer 12.5% and 28.1% respectively in the adaxial surface, and 11.4% and 22.1% it increased abaxial surface compared with grafted plants, just thus, the stomatal index for Modan variety ungrafted with chemical and organic fertilization increased 7.3% and 6% on the adaxial surface, and 5% and 24% respectively in the abaxial surface of the grafted plants.

**Cuadro 1. Índice y densidad estomática a los 30 días del trasplante.****Table 1. Index and density stomatal at 30 days after transplanting.**

Variedad	Trat	IEAD	DEAD	IEAB	DEAB
Esparón	SI-FQ	14.4abc	178.2b	20.5ab	309.2ab
	CI-FQ	12.8dc	157.7bc	18.4abc	295.8abc
Modan	SI-FQ	17.5a	238.3a	20.7ab	339.5a
	CI-FQ	16.3ab	188.2ab	19.7abc	258.8bcd
Esparón	SI-FO	13.2bcd	151.3bc	20.4ab	246bcd
	CI-FO	10.3d	114.3c	16.7c	224.3cd
Modan	SI-FO	14.2bcd	171.4bc	22.2a	255.5bcd
	CI-FO	13.4bcd	141.2bc	17.9bc	188.2d
Anova		$p \leq 0.001$	$p \leq 0.001$	$p \leq 0.04$	$p < 0.01$
CV		26.3	29.1	18.3	27

SI= sin injerto; CI= con injerto; FQ= fertilización química; FO= fertilización orgánica; IE= índice estomático (%); DE= densidad estomática (estomas mm<sup>-2</sup>); AD= adaxial; AB= abaxial. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan  $p \leq 0.05$ ).

De igual manera la densidad estomática en la variedad Esparón sin injerto con fertilización química y orgánica fue superior con valores de 12.9% y 32.3% en la superficie adaxial y 4.5% y 9.6% respectivamente en la superficie abaxial que las de las plantas injertadas; y en la variedad Modan sin injertar con fertilización química y orgánica aumentó 26.6% y 21.3% en la superficie adaxial y, 31.1% y 35.7% respectivamente en la superficie abaxial que las plantas injertadas.

A los 60 ddt el índice estomático para la variedad Esparón sin injertar con fertilización química y orgánica aumentó 22.6% y 23.3% en la superficie adaxial, y 8% y 6.4% respectivamente en la superficie abaxial que la de las plantas injertadas, del manera similar, el índice estomático para la variedad Modan sin injertar con fertilización química y orgánica también fue superior con 14.1% y 25.5% en la superficie adaxial, y 8.2% y 32% respectivamente en la superficie abaxial que las plantas injertadas.

La densidad estomática en la variedad Esparón sin injerto con fertilización química y orgánica incrementó 1.6% y 15.6% en la superficie adaxial y, 2.1% y 16.6% respectivamente en la superficie abaxial que las de las plantas injertadas; y en la variedad Modan sin injertar con fertilización química y orgánica también se dio un aumento de 28.8% y 49.7% en la superficie adaxial y, 6.9% y 28.3% respectivamente en la superficie abaxial que las plantas injertadas.

Similarly stomatal density in the variety Esparon without grafting with chemical and organic fertilization was higher with values 12.9% and 32.3% in the adaxial surface and 4.5% and 9.6% respectively in the abaxial the surface of the grafted plants; and the Modan variety ungrafted with chemical and organic fertilization increased 26.6% and 21.3% in the adaxial surface, and 31.1% and 35.7% respectively in the abaxial surface of the grafted plants.

At 60 ddt stomatal index for Esparon variety ungrafted with chemical and organic fertilization it increased 22.6% and 23.3% in the adaxial surface, and 8% and 6.4% respectively in the abaxial surface of grafted plants, the similarly, stomatal index for Modan variety ungrafted with chemical and organic fertilization was also higher with 14.1% and 25.5% in the adaxial surface, and 8.2% and 32% respectively in the abaxial surface of the grafted plants.

Stomatal density in the range Esparon without grafting with chemical and organic fertilization increased 1.6% and 15.6% on the adaxial surface, 2.1% and 16.6% respectively in the abaxial surface of the grafted plants; and the Modan variety ungrafted with chemical and organic fertilization increased 28.8% and 49.7% on the adaxial surface, 6.9% and 28.3% respectively was also given in the abaxial that the surface grafted plants.

**Cuadro 2. Índice y densidad estomática a los 60 días del trasplante.****Table 2. Index and density stomatal at 60 days after transplanting.**

Variedad	Trat	IEAD	DEAD	IEAB	DEAB
Esparón	SI-FQ	16.8a	237ab	23.9ab	391.3a
	CI-FQ	13.7c	233.1ab	22.1b	33.2ab
Modan	SI-FQ	18.5a	259.9a	25a	345.1abc
	CI-FQ	16.2ab	201.7bc	23.1ab	322.6bc
Esparón	SI-FO	17.7a	186.6bc	24.7ab	282.4cd
	CI-FO	16.9	161.3c	23.2ab	242d
Modan	SI-FO	17.7a	234ab	24.3ab	310.6c
	CI-FO	14.1bc	156.3c	18.4c	242d
Anova		$p \leq 0.01$	$p \leq 0.01$	$p \leq 0.01$	$p < 0.01$
CV		14.2	23.3	10.8	19.8

SI= sin injerto; CI= con injerto; FQ= fertilización química; FO= fertilización orgánica; IE= índice estomático (%); DE= densidad estomática (estomas mm<sup>-2</sup>); AD= adaxial; AB= abaxial. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan  $p \leq 0.05$ ).

En este estudio se encontró variación en el número estomático observándose de manera general más estomas en la parte abaxial que en la adaxial de la lámina foliar de las dos variedades a los 60 ddt ( $p < 0.01$ ), coincidiendo con Voleniková y Tichá (2001); Tari (2003) que mencionan que en hojas anfistomáticas (presencia de estomas en ambos lados de la hoja), la frecuencia estomática es usualmente más grande en la parte abaxial que en la superficie adaxial.

En este estudio se encontraron los valores de tamaño más bajos en la variedad Esparón injertada con fertilización química, este resultado se debió a que la concentración de sales provoca variación en la frecuencia y desarrollo de los estomas en algunas hortaliza (Salas *et al.*, 2001).

En general los estomas fueron más largos que anchos, tanto en la parte abaxial como adaxial de la hoja. A los 30 ddt (Cuadro 3) el tamaño de los estomas en la superficie adaxial, no presentó diferencias estadísticas, sin embargo en la superficie abaxial si se encontraron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) donde se observó que el tamaño de los estomas es mayor en las plantas injertadas en un rango de 2 al 7%.

En el estudio de los 60 ddt, (Cuadro 4) cuando la planta ya alcanzó su máximo desarrollo y se encontraba en plena producción, se observó que el tamaño de las estomas de las plantas injertadas fue menor en relación a las no injertadas. Los resultados obtenidos se atribuyen al efecto del injerto en plantas desarrolladas con fertilización orgánica, coincidiendo parcialmente con lo reportado por Parés-Martínez *et al.* (2004) en anonas.

La variación en el tamaño de los estomas es importante y benéfica con tendencias a su disminución como en el caso de éste estudio en el que la lámina foliar madura de las dos variedades injertadas presentaron menor número de estomas y más pequeños en relación a las variedades sin injertar (Figura 2), con valores de hasta 21.7  $\mu\text{m}$  de largo y 13.6  $\mu\text{m}$  de ancho en el lado adaxial y 20.9  $\mu\text{m}$  de largo y 13.7  $\mu\text{m}$  de ancho en el lado abaxial en "Esparón", en el caso de "Modan" con valores de hasta 22.2  $\mu\text{m}$  de largo y 14  $\mu\text{m}$  de ancho en el lado adaxial y 24  $\mu\text{m}$  de largo y 15.2  $\mu\text{m}$  de ancho en el lado abaxial. Por otra parte, según Hetherington y Woodward (2003), mencionan que bajo un ambiente de alta irradiación, los estomas pequeños confieren una ventaja adaptativa a las plantas, porque pueden abrir y cerrar más rápidamente, y por lo tanto ser más eficientes en el uso del agua, en la fotosíntesis y en la transpiración.

In this study variation we were found in stomatal number observed more stomata generally in part abaxial than in the adaxial of the leaf of the two varieties at 60 ddt ( $p < 0.01$ ), coinciding with Voleniková and Ticha (2001); Tari (2003) which mention that in amphistomatic leaves (stomata present on both sides of the sheet), stomatal frequency is usually larger in the abaxial portion adaxial surface.

In this study the values of lower size were found in the Esparón variety grafted with chemical fertilization, this result was due to the concentration of salts causes variation in the frequency and development of stomata in some vegetable (Salas *et al.*, 2001).

The stomata were generally longer than wide, both as adaxial side abaxial leaf. At 30 ddt (Table 3) the size of the stomata on the adaxial surface, did not present statistical differences, however in the abaxial surface if statistical differences ( $p < 0.01$ ) where it was observed that the size of the stomata is greater found grafted plants in a range of 2 to 7%.

**Cuadro 3. Tamaño de estomas a los 30 días del trasplante.**  
**Table 3. Size stomata at 30 days of transplantation.**

Variedad	Trat	LAD	AAD	LAB	AAB
Esparón	SI-FQ	24.9a	14.9b	26.3bc	17bc
	CI-FQ	25.2a	15.2b	26.2bc	17.4abc
Modan	SI-FQ	26.1a	16.2b	25.4a	16.2c
	CI-FQ	27.3a	18.2a	26.4bc	17.4abc
Esparón	SI-FO	26.2a	15.2b	27.1abc	17.4abc
	CI-FO	27.1a	16.4b	28.2ab	19a
Modan	SI-FO	24.7a	15.4b	27.7abc	18.3ab
	CI-FO	25.7a	15.7b	29a	19.1a
Anova		$p \leq 0.25$	$p \leq 0.01$	$p \leq 0.03$	$p < 0.01$
CV		11.3	12.6	9.5	10.6

SI= sin injerto; CI= con injerto; FQ= fertilización química; FO= fertilización orgánica; IE= índice estomático (%); DE= densidad estomática (estomas  $\text{mm}^{-2}$ ); AD= adaxial; AB= abaxial. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan  $p \leq 0.05$ ).

In the study of 60 ddt, (Table 4) when the plant has already reached its peak and was in full production, it was observed that the size of the stomata of the grafted plants was lower in relation to non-grafted. The results are attributed to the effect of grafting in plants grown with organic fertilizer, partially coinciding with those reported by Pares-Martínez *et al.* (2004) in anonas.

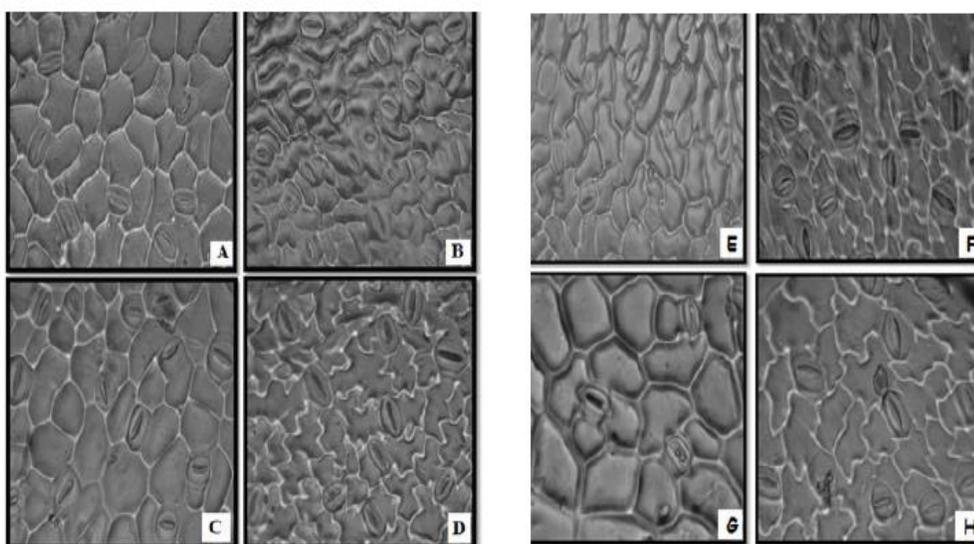
**Cuadro 4. Tamaño de estomas a los 60 días del trasplante.**  
**Table 4. Size stomata at 60 days of transplantation.**

Variiedad	Trat	LAD	AAD	LAB	AAB
Esparón	SI-FQ	24.8ab	16.1a	22.5dc	15.3bc
	CI-FQ	21.7c	13.6c	20.9d	13.7c
Modan	SI-FQ	24.7ab	14.6bc	25.7ab	16.5ab
	CI-FQ	24.3ab	14c	24bc	15.6bc
Esparón	SI-FO	25ab	16.4a	27.3a	17.7a
	CI-FO	26a	16.3a	26.1ab	17.1ab
Modan	SI-FO	23.4bc	15.8ab	24.7abc	16.5ab
	CI-FO	22.2c	14.2c	24.7abc	15.2bc
Anova		$p \leq 0.01$	$p \leq 0.001$	$p \leq 0.01$	$p < 0.01$
CV		8.7	9.7	12.8	12.6

SI= sin injerto; CI= con injerto; FQ= fertilización química; FO= fertilización orgánica; IE= índice estomático (%); DE= densidad estomática (estomas  $\text{mm}^{-2}$ ); AD= adaxial; AB= abaxial. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan  $p \leq 0.05$ ).

The variation in the size of the stomata is important and beneficial to trends to their decline as in the case of this study in which the mature leaf blade of the two varieties grafted showed fewer stomata and smaller in relation to varieties without graft (Figure 2), with values up to 21.7  $\mu\text{m}$  of lengthly and 13.6  $\mu\text{m}$  of wide on the adaxial side and 20.9  $\mu\text{m}$  of long and 13.7  $\mu\text{m}$  in width at the abaxial side in “Esparón”, in the case of “Modan” with values up to 22.2  $\mu\text{m}$  of lengthly and 14  $\mu\text{m}$  of wide at the adaxial side and 24  $\mu\text{m}$  of long and 15.2  $\mu\text{m}$  of wide on the abaxial side.

On the other hand, according to Hetherington and Woodward (2003), mention that in an environment of high irradiation, small stomata confer an adaptive advantage to plants, because they can open and close faster, and therefore be more efficient water use in photosynthesis and transpiration.



**Figura 2. Variación de número y tamaño de estomas.** A) estomas en la superficie adaxial de variedad Esparón sin injerto; B) estomas en la superficie abaxial de variedad Esparón sin injerto; C) estomas en la superficie adaxial de variedad Esparón con injerto; D) estomas en la superficie adaxial de variedad Esparón con injerto; E) estomas en la superficie adaxial de variedad Modan sin injerto; F) estomas en la superficie abaxial de variedad Modan sin injerto; G) estomas en la superficie adaxial de variedad Modan con injerto; y F) estomas en la superficie adaxial de variedad Modan con injerto.

**Figure 2. Variation in the number and size of stomata.** A) stomata on the adaxial surface without grafting Esparon variety; B) stomata on the abaxial surface without grafting Esparon variety; C) stomata on the adaxial surface graft Esparon variety; D) stomata on the adaxial surface graft Esparon variety; E) stomata on the adaxial surface without grafting Modan variety; F) stomata on the abaxial surface without grafting Modan variety; G) stomata on the adaxial surface graft Modan variety; and F) stomata on the adaxial surface graft variety Modan.

Para la conductancia estomática en el presente estudio los resultados del análisis de varianza indicaron que ambas variedades sin injerto registraron los valores que superan hasta 21% en relación a las injertadas ( $p < 0.01$ ) (Figura 3), esta variable fisiológica se relaciona directamente con los resultados del estudio estomático donde el tamaño más bajo de estomas se obtuvieron en plantas injertadas con fertilización química.

Respecto a esto Taylor *et al.* (2012), mencionan que se ha demostrado que la máxima conductancia estomática de vapor de agua, está determinada por el tamaño y densidad de estomas. Esto es debido a que la conductancia estomática es proporcional al tamaño (relación: largo/ancho) del poro, por lo tanto, al aumentar el tamaño del poro estomático por unidad de área foliar, se incrementa la conductancia estomática. Además la conductancia estomática de las hojas puede ser considerada como un buen indicador fisiológico del estado hídrico de la planta, esta medición es mucho más sensible a cambios en las condiciones medioambientales (luz, temperatura, humedad y viento) que las mediciones de potencial hídrico (Gil-Marín *et al.*, 2006; Toral *et al.*, 2010). Por lo tanto, es muy benéfico que las plantas tengan la capacidad de mantenerse turgentes bajo condiciones de escasez de agua en el suelo para evitar disminución en la producción, que se refleja en bajos rendimientos.

## Conclusiones

El injerto influyó en el aspecto fisiológico relacionado con la transpiración, así como en la producción de superficie foliar favoreciendo así el intercambio de gases y la tasa fotosintética, de igual manera, las variedades utilizadas, mostraron cambios en la anatomía de la epidermis de las hojas por efecto del injerto, promoviendo la disminución del índice y densidad estomática e influyendo en la disminución del tamaño del estoma, de las cuales Esparón mostró los valores más bajos.

## Literatura citada

Amaro, J. A. P.; Moya, E. G.; Quiroz, J. F. E.; Carrillo, A. R. Q.; Pérez, J. P. y Garay, A. H. 2012. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 42(3): 447-458.

For stomatal conductance in this study the results of analysis of variance indicated that both varieties without grafting recorded values over up to 21% compared to the grafted ( $p < 0.01$ ) (Figure 3), this physiological variable is directly related the results of the study stomatal where the lowest size of stomata were obtained grafted with chemical fertilizer plants.

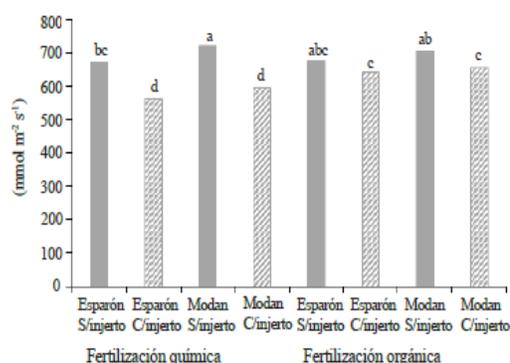


Figura 3. Conductancia estomática de plantas de pepino obtenidas mediante injerto y desarrolladas en dos sistemas de fertilización.

Figure 3. Stomatal conductance of cucumber plants obtained by grafting and developed into two fertilization systems.

Regarding this Taylor *et al.* (2012) mention that it has been shown that the maximum stomatal conductance of water vapor is determined by the size and density of stomata. This is because the stomatal conductance is proportional to the size (ratio: lengthy/width) of the pore, thus increasing the size of the stomatal pore per unit leaf area, stomatal conductance increases. In addition stomatal conductance of leaves can be considered a good physiological indicator of water status of the plant, this measurement is much more sensitive to changes in environmental conditions (light, temperature, humidity and wind) that measurements of water potential (Gil-Marín *et al.*, 2006; Toral *et al.*, 2010). Therefore, it is very beneficial that plants have the ability to stay turgid under conditions of scarcity of water in the ground to avoid decreased production, it reflected in low yields.

## Conclusions

The grafting influenced physiological aspect perspiration and production of leaf surface thereby promoting gas exchange and the photosynthetic rate, likewise, the

- Bergmann, D. C. 2004. Integrating signals in stomatal development. *Current opinion in plant biology*. 7(1):26-32.
- Borges, J. A.; Barrios, M. y Escalona, O. 2012. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre variables agroproductivas y composición química del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Zoot. Trop.* 30(1): 495-501.
- Carranza, C.; Lanchero, O.; Miranda, D. y Chaves, B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agron. Colomb.* 27(1):41-48.
- Croxdale, J. L. 2000. Stomatal patterning in angiosperms. *Am. J. Bot.* 87(8):1069-1080.
- Cruz, F. G. 1990. Injerto en cuña. Un nuevo método de injerto para cucurbitáceas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros.* (56): 81-90.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. ISSN 0254-5293.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2006. Buenas prácticas agrícolas. Santiago, Chile. ISBN 92-5-305576-6.
- Franks, P. J. and Farquhar, G. D. 2007. The mechanical diversity of stomata and its significance in gas exchange control. *Plant Physiol.* 143:78-87.
- Gil-Marín, J. A.; Rodríguez, R.; Jasso-Cantú, D. y Zermeño, A. 2006. Resistencia estomática, transpiración y potencial hídrico en sábila con diferentes condiciones ambientales. *Terra Latinoam.* 24(3):355-365.
- Hernández-González, Z.; Sahagún-Castellanos, J.; Espinosa-Robles, P.; Colinas-León, M. T. y Rodríguez-Pérez, J. E. 2014. Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(1):41-47.
- Hetherington, A. M. and Woodward, F. I. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature.* 424(6951):901-908.
- Liu, S.; Li, H.; Lv, X.; Ahammed, G. J.; Xia, X.; Zhou, J.; Shi, K.; Asami, T.; Yu, J. and Zhou Y. 2016. Grafting cucumber onto luffa improves drought tolerance by increasing ABA biosynthesis and sensitivity. *Sci Rep.* 6:20212.
- Márquez-Hernández, C.; Cano-Ríos, P.; Chew-Madinaveitia, Y. I.; Moreno-Reséndez, A. and Rodríguez-Dimas, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 12(2):183-189.
- Maršić, N. K. and Jakše, M. 2010. Growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) on different soilless substrates. *J. Food Agric. Environ.* 8(2):654-658.
- Mencuccini, M. 2003. The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long-term acclimation and the hydraulic costs of stature across plant life forms. *Plant Cell Environ.* 26:163-182.
- Molist, P.; Pombal, M. A. y Megias, M. 2014. Atlas de histología vegetal y animal. Tejidos vegetales. Tejidos de protección. Departamento de Biología. Universidad de Vigo, España. 432 p.
- varieties used, showed changes in the anatomy of the leaf epidermis effect of graft promoting a reduction index and stomatal density and influencing the decreased size of the stoma, which Esparon showed lower values.

End of the English version



- Parés-Martínez, J.; Arizaleta, M.; Sanabria, M. y Brito, L. 2004. Características de los estomas, densidad e índice estomático y su variación en función a la injertación en *Ammona muricata* L. y *A. montana* MADFAC. *Bioagro*, 16(3), 213-218.
- Porras, P. 2005. Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos. In: fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Cevipapa, Bogotá. 99 p.
- Salas, J.; M. Sanabria, y R. Pire. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro*. 13:99-104.
- Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G. and Venema, J. H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Sci. Hort.* 127:162-171.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15:134.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands. 633-649 pp.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume I. 10:57-69.
- Tari, I. 2003. Abaxial and adaxial stomatal density, stomatal conductances and water status of bean primary leaves as affected by paclobutrazol. *Biol. Plantarum.* 47(2):215-220.
- Taylor, S. H.; Franks, P. J.; Hulme, S. P.; Spriggs, E.; Christin, P. A.; Edwards, E. J.; Woodward, F. and Osborne, C. P. 2012. Photosynthetic pathway and ecological adaptation explain stomatal trait diversity amongst grasses. *New Phytol.* 193(2):387-396.
- Toral, M.; Manríquez, A.; Navarro-Cerrillo, R.; Tersi, D. y Naulín, P. 2010. Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque (Valdivia).* 31(2):157-164.
- Voleniková, M. and Tichá, I. 2001. Insertion profiles in stomatal density and sizes in *Nicotiana tabacum* L. plantlets. *Biol. Plantarum.* 44(2):161-165.
- Yassin, S. H. 2015. Review on role of grafting on yield and quality of selected fruit vegetables. *Global J. Sci. Frontier Res.* 15(1):65-78.
- Yasutake, D.; Kitano, M.; Araki, T.; Nagasuga, K.; Kawano, T. and Hamakoga, M. 2001. Stomatal response to wind on abaxial and adaxial surfaces of cucumber leaf under different humidity conditions. *Biotronics: reports of Biotron Institute, Kyushu University.* 30:103-114.
- Wilkinson, H. P. 1979. The plant surface (mainly leaf). *Anatomy of the Dicotyledons*, Oxford, Clarendon Press. London. 1(2):97-165.

1       **ANATOMIA DEL XILEMA Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DEL PEPINO**  
2               **INJERTADO Y CULTIVADO CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y**  
3                               **ORGÁNICA**  
4       **XYLEM ANATOMY AND NUTRACEUTICAL QUALITY OF GRAFTED**  
5               **CUCUMBERS CULTIVATED WITH CHEMICAL AND ORGANIC**  
6                               **FERTILIZATION**

7       Rocio Maricela Peralta-Manjarrez<sup>1,1</sup>, Marcelino Cabrera-De la Fuente<sup>1,1</sup>, Alma Delia  
8       Hernández-Fuentes<sup>2</sup>, Valentín Robledo-Torres<sup>1,1</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>1,1</sup>,  
9                               Rosalinda Mendoza-Villarreal<sup>1,1\*</sup>

10       <sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, <sup>1</sup> Doctorado en Ciencias en  
11       Agricultura Protegida, Coahuila, México. Calzada Antonio Narro. Núm. 1923, Colonia  
12       Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado  
13       de Hidalgo, Av. Universidad Km.1, Ex-Hacienda de Aquetzalpa AP 32. C.P. 43600.  
14       Tulancingo, Hidalgo, México. \*autor corresponsal (rosalindamendoza@hotmail.com)

15

16       **RESUMEN**

17       La producción de cucurbitáceas injertadas ha ido en aumento, sin embargo, la  
18       información acerca de las características anatómica en las plantas y calidad nutraceutica  
19       en frutos es escasa. Por tal motivo, se evaluó el efecto del injerto sobre estas características  
20       en dos sistemas de fertilización, utilizando calabaza criolla como portainjerto y la variedad  
21       de pepino Modan, con el método de injerto púa en hendidura. El trasplante se realizó en  
22       sustrato peat moss-perlita (2:1), bajo condiciones de invernadero. Empleando un diseño

23 completamente al azar con arreglo factorial 2X2. Evaluando longitud y diámetro del tallo  
24 principal, número y área de vasos del xilema en peciolo de las plantas y en frutos acidez,  
25 dulzor, vitamina C, capacidad antioxidante total, fenoles totales y flavonoides. Los  
26 resultados indicaron que el uso del injerto en los dos tipos de fertilización aumenta la  
27 cantidad de vasos del xilema en los haces vasculares (11.4%) y menor área de los vasos  
28 en relación a las no injertadas, favoreciendo el uso eficiente de agua y sales minerales por  
29 parte de la planta, contribuyendo a la promoción de crecimiento del tallo principal y al  
30 incremento de la síntesis de metabolitos secundarios ( $P<0.01$ ), principalmente vitamina  
31 C, capacidad antioxidante total y compuestos fenólicos.

32 *Palabras clave*— cucurbitáceas, injerto, haces vasculares, antioxidantes.

33

#### 34 **ABSTRACT**

35 The production of grafted cucurbits has been increasing, though information about  
36 the anatomical characteristics in the plants and nutraceutical quality in fruits is scarce. For  
37 this reason, the effect of the graft on these characteristics were evaluated in two  
38 fertilization systems. The experiment involved cleft grafting Modan cucumber scions to  
39 creole pumpkin rootstocks, grown under greenhouse conditions. A completely  
40 randomised, 2X2 factorial array experimental design was used for the statistical analyses.  
41 The main stem length and diameter were measured, number and area of the vascular  
42 bundles in the petioles of the cucumber plants and fruits acidity, sweetness, vitamin C  
43 content, total antioxidant capacity, total phenols, and flavonoids. The results indicated that  
44 the use of grafting, along with either type of fertilization, increases the number of xylem  
45 vessels in the vascular bundles (11.4%), permitting greater transport of water, though they

46 present less xylem vessel area than non-grafted plants. By satisfying the water and  
47 nutritional demands of the plant efficiently, main stem growth is promoted along with an  
48 increase in secondary metabolite synthesis ( $P < 0.01$ ), mainly vitamin C and phenolic  
49 compounds, and total antioxidant capacity.

50 **Keywords**-Cucurbitaceae, graft, vascular bundles, antioxidants

51

## 52 **INTRODUCCIÓN**

53 El pepino es un producto hortícola de gran consumo en el mundo (SIAP, 2016).  
54 Su demanda se debe a que el pepino, además de ser una fuente importante de fibra dietética  
55 con bajo aporte calórico, posee compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes  
56 (Mukherjee *et al.*, 2013), mostrando efectos benéficos relacionados con la disminución de  
57 incidencia de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer, enfermedades que  
58 están relacionadas con el daño oxidativo que se generan por la presencia de radicales libres  
59 (Wargovich, 2000; El Gharras, 2009). En la actualidad la producción de ésta hortaliza se  
60 enfrenta a diversos problemas como la disponibilidad de agua para el riego y el uso  
61 desmedido de agroquímicos para incrementar la producción, lo que puede provocar serios  
62 daños al medio ambiente (Ju *et al.*, 2007; Fan *et al.*, 2011; Good and Beatty, 2011; Mujeri  
63 *et al.*, 2012) y a la salud humana. Ante esto, se ha optado por adoptar técnicas de  
64 producción alternativas, tal es el caso del uso de injertos que ofrece ventajas para obtener  
65 mayor aprovechamiento de agua y nutrientes, por tener las plantas injertadas un sistema  
66 radical más eficiente conferido por el portainjerto así como resistencia a diferentes tipos  
67 de estrés biótico; el uso de injertos, combinado con la aplicación de una fertilización

68 racional, pudiera aportar hacia un sistema de producción más sustentable (Mujeri *et al.*,  
69 2012; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2014; Yassin and Hussien, 2015; González-Gómez *et al.*,  
70 20017), favoreciendo la obtención de frutos con mayor potencial antioxidante y amigables  
71 con el ambiente (Márquez-Hernández *et al.*, 2010, Popp *et al.*, 2013).

72           En relación a lo anterior, es importante considerar el estudio del sistema vascular,  
73 el cual controla las propiedades hidráulicas de las plantas. El xilema se considera un  
74 sistema de conductos a través del cual se mueve el agua y sales disueltas (savia bruta)  
75 desde la raíz hasta las hojas (Azcon-Bieto y Talón, 2013; Basantes, 2016). Entonces, la  
76 compatibilidad entre especies es esencial para el prendimiento exitoso de los injertos  
77 (Ogata *et al.*, 2005; Martínez-Ballesta *et al.*, 2010), ya que una conexión insuficiente de  
78 los haces vasculares y una menor tasa de vasos de xilema entre el portainjerto y el injerto,  
79 disminuye la cantidad del flujo de agua y elementos minerales para el abastecimiento a  
80 los diferentes órganos de la planta (Torii *et al.*, 1992; Solla, 2000; Azcon-Bieto y Talón,  
81 2013). Existen algunos estudios de la anatomía vascular en diversos cultivos hortícolas  
82 injertados relacionados con la compatibilidad interespecie, porcentajes de prendimiento y  
83 efecto en la concentración de reguladores de crecimiento (AIA, AIB) destacando un efecto  
84 positivo con el uso del injerto, sin embargo, en relación al pepino se dispone de muy poca  
85 información (Solla, 2000; Sory-Toure *et al.*, 2010; Velazco-Alvarado, 2013; Martínez-  
86 Vera, 2013). Por otra parte, hay reportes en donde también se indica que el uso del injerto  
87 incrementa la actividad antioxidante en los frutos (Denev *et al.*, 2010; Rouphael *et al.*,  
88 2010; Kyriacou *et al.*, 2017), sin embargo, la modificaciones en el contenido  
89 de compuestos bioactivos específicamente en los frutos obtenidos de plantas injertadas es  
90 escasa, por lo que con el presente trabajo se contribuirá a la caracterización y conocimiento

91 de estructuras anatómicas como los haces vasculares en plantas de pepino injertadas y  
92 cultivadas con dos sistemas de fertilización y su relación con el contenido de compuestos  
93 bioactivos en sus frutos.

94

## 95 **MATERIALES Y MÉTODOS**

96 El experimento se desarrolló bajo un invernadero de tipo túnel, en el campo  
97 agrícola experimental del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma  
98 Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, ubicado en las  
99 coordenadas 25°22” latitud Norte y 101°00” longitud Oeste, a una altitud de 1742 msnm,  
100 durante el ciclo primavera-verano 2016. El estudio de la anatomía vascular se llevó a cabo  
101 en el Laboratorio de Citogenética, del Departamento de Fitomejoramiento de la misma  
102 Universidad. Posteriormente el estudio de las características nutraceuticas de los frutos se  
103 realizó en el laboratorio de Postcosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la  
104 Universidad de Hidalgo, en Tulancingo, Hidalgo, México.

### 105 **Material vegetal y manejo agronómico**

106 Para obtener las plantas injertadas se utilizaron plántulas de calabaza criolla  
107 (*Cucurbita máxima x Cucurbita moschata*) y de pepino variedad “Modan” del tipo  
108 americano, ambos materiales sembrados en charolas de 60 cavidades con una diferencia  
109 de ocho días en la siembra, iniciando con la variedad, en sustrato de peat-moss mezclado  
110 con “perlita” (1:2 v/v). El injerto se realizó cuando los tallos de las plántulas alcanzaron 4  
111 mm de diámetro, utilizando el método de injerto de hendidura (Lee *et al.*, 2010). Las  
112 plántulas injertadas se colocaron en una cámara de prendimiento durante 6 días con

113 ausencia de luz, humedad relativa superior al 80% y temperatura promedio de 28° C.  
114 Posteriormente se mantuvieron en una cámara de aclimatación cubierta con plástico  
115 transparente por cuatro días manteniendo las mismas condiciones de humedad relativa y  
116 temperatura con el objetivo de aclimatarlas a la radiación directa. Una vez logrado el  
117 prendimiento, las plántulas injertadas fueron sacadas de la cámara y trasplantadas en  
118 invernadero en bolsas de 12 kilogramos utilizando como sustrato la misma mezcla de la  
119 siembra. Las condiciones ambientales del invernadero durante la duración del  
120 experimento fueron: temperatura máxima de 38 °C y mínima de 16.5 °C y humedad  
121 relativa de 30 a 70%.

122 El cultivo fue conducido a un tallo con el manejo agronómico propio de la especie,  
123 incluyendo poda de brotes, tutoreo, aplicaciones fitosanitarias de manera preventiva y de  
124 control, las cuales se llevaron a cabo con productos de origen orgánico. El suministro de  
125 agua y fertilización química (solución nutritiva Steiner, 1984) y orgánica (productos  
126 comerciales de alta solubilidad en concentración similar a la de la solución Steiner), se  
127 realizó a través de un sistema de riego por goteo, utilizando diferente concentración de las  
128 soluciones nutritivas durante el periodo de crecimiento: 25% en etapa vegetativa, 50% en  
129 floración, 75% en amarre y cuajado de fruto, y 100% en llenado de fruto. El gasto de agua  
130 fue de 1.0 L por maceta por día durante la etapa vegetativa y 3.4 L por día desde la  
131 fructificación hasta la cosecha. La conductividad eléctrica de la solución química al 100%  
132 fue de 2.0 mS·cm y de la solución orgánica al 100% fue de 1.8 mS·cm y pH de 6.8.

### 133 **Medición del crecimiento de las plantas**

134 Se evaluó la longitud y el diámetro del tallo principal como indicadores del  
135 crecimiento. La longitud del tallo y el diámetro se midieron al inicio y al final del ciclo

136 del cultivo, seleccionando cuatro plantas por tratamiento de forma aleatoria y comenzando  
137 ocho días después del trasplante y después de un período de crecimiento de 60 días.

### 138 **Medición de anatomía vascular del tallo**

139 En el estudio de vasos de los haces vasculares y del xilema se tomaron 3 plantas  
140 al azar por tratamiento, de las cuales se tomó el pecíolo del entrenudo de la parte media  
141 de la planta con orientación hacia el oriente, esta actividad se realizó en plena producción  
142 del ciclo de cultivo, y se obtuvieron 3 segmentos de pecíolo de aproximadamente 1 cm de  
143 longitud, para así tener un total de 3 segmentos por repetición de cada tratamiento, los  
144 cuales se colocaron en un frasco con fijador (FAA) (Formaldehído 3640 % 5 cc Alcohol  
145 al 70 % 90 cc y Ácido acético glacial 5 cc) por 24 horas, se deshidrataron a través de una  
146 serie graduada de alcohol-etanol (70%, 85%, 96% + eosina, 96 %; continuando con  
147 alcohol etílico absoluto I, alcohol etílico absoluto II, alcohol etílico absoluto más xilol  
148 en proporciones de 3:1, alcohol etílico absoluto más xilol en proporciones de 1:1, alcohol  
149 etílico absoluto más xilol en proporciones de 1:3 por ultimo los tejidos pasaron a xilol  
150 puro, por espacio de 2 horas en cada uno. La inclusión de los tejidos fue en parafina  
151 granulada (Paraplast®) en estufa a temperatura de 30°C hasta 55° C, permaneciendo en la  
152 estufa por 24 hrs y posteriormente ser colocados en moldes. Las muestras fijas se  
153 seccionaron longitudinalmente con un micrótomo rotatorio (Leica RM2125 RTS) a un  
154 espesor de 18 micras. Las secciones se tiñeron con safranina O acuoso al 1% (Sigma®)  
155 durante 1 hora, y con verde rápido al 0,5% (Sigma®) en etanol al 96% por 5 a 30 segundos,  
156 y se enjuagaron por diferentes soluciones de alcohol y xilol, Seguido de esto se sacaron  
157 las preparación del último xilol y finalmente se les colocó un cubreobjetos abarcando los  
158 tejidos sellado con una gota de bálsamo de Canadá. Las preparaciones se dejaron secar

159 por espacio de una semana. La observación de las muestras a analizar se llevó a cabo con  
160 un microscopio compuesto (Carl Zeiss) con cámara digital (PixeraWinder Pro) y un  
161 software de medición (AxionVision Rel. 4.8).

### 162 **Número de vasos del xilema**

163 Mediante el uso de un microscópico compuesto se contaron los vasos del xilema  
164 del todos los haces de cada una de las unidades experimentales de las 3 repeticiones, las  
165 cuales se promediaron para obtener un dato por repetición de los diferentes tratamientos,  
166 los resultados se reportaron como número total de vasos del xilema por tallo.

### 167 **Área del haz vascular y de los vasos del xilema.**

168 Para esta evaluación se realizaron 3 tomas de las imágenes con el objetivo 10x, de  
169 3 haces vasculares por cada una de las unidades experimentales de los 3 tallos evaluados  
170 y se tomaron medidas del área del haz vascular; de los 3 haces vasculares y se consideraron  
171 3 vasos de xilema por haz vascular que posteriormente se promediaron reportando los  
172 resultados en  $\mu\text{m}^2$ .

### 173 **Análisis de compuestos bioactivos en frutos**

174 De los frutos obtenidos del corte número 5, se seleccionaron 4 frutos al azar de  
175 cada tratamiento (con y sin injerto, y con fertilización química y orgánica), los cuales se  
176 seccionaron tomando 25 g de cada fruto para analizar Vitamina C, Acidez Titulable (AT)  
177 y Solidos Solubles Totales (SST), la otra parte se sometió a un proceso de secado por  
178 liofilización y macerado para el análisis de compuestos bioactivos. La Vitamina C (mg  
179 de Ácido Ascórbico por 100 g de peso fresco) y la AT (% Ácido Cítrico) se analizaron  
180 mediante los métodos volumétricos según la AOAC (1990). El contenido de

181 SST (grados brix) se midió con un refractómetro digital de la marca Hanna modelo HI  
182 96801, con una gota del extracto en el sensor donde proporciona la lectura  
183 automáticamente. Para la determinación de la Capacidad Antioxidante Total (CAoxT) se  
184 utilizó el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), por el método descrito  
185 por Ying, (2011); se analizó la actividad inhibidora en extractos metanólicos de cada  
186 tratamiento, en la que la reacción vira el color azul-violeta al amarillo pálido por la  
187 presencia de una sustancia antioxidante que absorbe a una longitud de onda de 517 nm.  
188 Los resultados se expresaron en  $\mu\text{M}$  equivalentes de Trolox por g de peso seco (PS). El  
189 contenido de Fenoles Totales (FT) se determinó a través del método espectrofotométrico  
190 de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1996), el cual se basa en la oxidación de los  
191 compuestos fenólicos por la presencia del reactivo de Folin-Ciocalteu, originando una  
192 coloración azul que absorbe a una longitud de onda de 725 nm. Se utilizó una curva de  
193 calibración entre 10-100  $\mu\text{g}$  por mL de ácido gálico. La cuantificación de fenoles se  
194 expresó en mg equivalentes de Acido gálico por g de PS. El contenido de Flavonides se  
195 midió en extractos metanólicos, mediante el estudio espectrofotométrico (Zhuang and Yu,  
196 1992), donde el compuesto 2-aminoetildifenil borato reacciona en metanol con el grupo  
197 hidroxilo de los flavonoides, presentando una coloración amarilla, este compuesto se mide  
198 por espectrometría a una longitud de onda de 415 nm, se utilizó rutina como estándar de  
199 esta técnica, los resultados se expresaron en mg equivalentes de rutina por g de PS.

## 200 **Análisis Estadístico**

201 El experimento se realizó con un diseño completamente al azar, con arreglo  
202 factorial 2X2. Los factores fueron los estados de injerto (con y sin injertar), y dos sistemas  
203 de fertilización (química y orgánica), resultando en cuatro tratamientos y cuatro

204 repeticiones, en el estudio de anatomía vascular se tomaron tres repeticiones por  
205 tratamiento. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), seguido de  
206 pruebas de Diferencias Mínimas Significativas (LSD,  $P \leq 0.05$ ) entre los factores  
207 evaluados.

208

## 209 **RESULTADOS**

### 210 **Crecimiento de plantas**

211 El uso del injerto presentó un efecto altamente significativo ( $P < 0.01$ ) sobre el  
212 incremento de la longitud del tallo de las plantas de pepino en un 18.97% en relación a las  
213 plantas no injertadas (Cuadro 1), y se observó que el efecto de la fertilización orgánica fue  
214 altamente significativa ( $P < 0.01$ ) sobre la longitud del tallo, incrementándolo un 16.28%  
215 en relación a la fertilización química. Por lo tanto, en la interacción de los dos factores  
216 encontramos que con los dos tipos de fertilización se obtuvieron diferencias significativas  
217 ( $P < 0.016$ ) sobre la longitud del tallo principal de plantas injertadas. En el análisis de  
218 varianza del diámetro de tallo, no se encontró diferencia significativa en los tratamientos  
219 evaluados (Cuadro 1), dónde el valor más alto fue el tratamiento con injerto y fertilización  
220 orgánica. [Cuadro 1. Va aquí]

### 221 **Anatomía vascular del tallo**

222 En la comparación de las medias de los tratamientos, el número de vasos del  
223 xilema (Cuadro 2), se encontró que el uso del injerto influyo significativamente ( $P \leq 0.01$ )  
224 sobre el número total de vasos del xilema en peciolo de plantas de pepino presentando  
225 un incremento del 11.4% en relación a los de las plantas no injertadas. En el efecto de la

226 fertilización no se observaron diferencias significativas sobre esta variable. Por lo que, en  
227 la interacción de los dos factores se encontró que con el uso del injerto en ambos tipos de  
228 fertilización hay un aumento del número total de vasos del xilema. [Cuadro 2. Va aquí]

229       En el área del haz vascular (Cuadro 2), se encontró diferencia altamente  
230 significativa ( $P \leq 0.01$ ) en los tratamientos de plantas no injertadas con un área del haz  
231 10.43% mayor al área de los haces de las injertadas; dónde la fertilización orgánica tuvo  
232 un efecto altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) la cual fue superior a la química en un 22.5%.  
233 En la interacción de los factores, tenemos que los valores más altos se obtuvieron en el  
234 tratamiento sin injerto con fertilización orgánica. En el área del haz, se obtuvo que el  
235 promedio de los vasos del xilema fue no influenciada por el efecto del injerto y si presentó  
236 un efecto positivo con el uso de la fertilización orgánica ( $P < 0.01$ ), mostrando incrementos  
237 del 9% y 11% respectivamente en los factores sobre el área de los vasos del xilema. Por  
238 lo que al igual que el área del haz, en la interacción de ambos factores, se encontró que el  
239 área de vasos del xilema de las plantas no injertadas con uso de fertilización orgánica es  
240 mayor a los de las plantas injertadas.

241

#### 242 **Análisis de compuestos bioactivos en frutos**

243       Los resultados obtenidos en este estudio (Cuadro 3), mostraron que la  
244 concentración de SST y AT no fueron influenciados significativamente por el uso del  
245 injerto y tampoco por la fertilización, sin embargo los valores más altos se dan con la  
246 fertilización química, presentando una concentración de solutos de  $3 \pm 0.5$  °Brix. El  
247 contenido de vitamina C es influenciado significativamente por el uso del injerto ( $P < 0.01$ )

248 incrementando su contenido un 43.4% en relación al no injertado (Cuadro 3). En tanto la  
249 fertilización orgánica como inorgánica presentaron respuestas similares estadísticamente.  
250 En el efecto del injerto sobre la actividad antioxidante (Cuadro 3), se observó un  
251 incremento ( $P<0.01$ ) del 34.1% en el contenido de capacidad antioxidante total en frutos  
252 de plantas injertadas, así como un incremento del contenido de compuestos fenólicos  
253 ( $P<0.01$ ), un 12% en fenoles totales y 21.1% en flavonoides. El efecto de la fertilización  
254 química fue significativo ( $P<0.01$ ) sobre la capacidad antioxidante total con un  
255 incremento del 11.3% en relación a la orgánica como se puede observar en el Cuadro 3,  
256 sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos no fue significativo, aún que las  
257 concentraciones más altas se obtuvieron en los tratamientos con fertilización química  
258 tanto en el contenido de fenoles totales como en el de flavonoides. [Cuadro 3. Va aquí]

259       En el cuadro 3 se observa que en la interacción del injerto y la fertilización las  
260 características de sólidos solubles totales y acidez titulable no presentaron diferencias  
261 significativas. Aunque, el uso del injerto tiene un efecto significativo ( $P\leq 0.03$ ) sobre la  
262 actividad antioxidante y compuestos fenólicos en frutos obtenidos de plantas cultivadas  
263 con los dos tipos de fertilización, así mismo, se obtuvo incrementos en el contenido de  
264 vitamina C del 2%, en la capacidad antioxidante total se incrementó un 7.5% y en la  
265 concentración de flavonoides un 3.4% en frutos de plantas injertadas con fertilización  
266 química en relación a los frutos de plantas con fertilización orgánica. Mientras que en  
267 fenoles totales el valor mayor se vio favorecido con fertilización orgánica en un 4.5% en  
268 relación a la química.

269

270

## 271 **DISCUSIÓN**

272           En la longitud del tallo principal, podemos corroborar lo reportado por López *et*  
273 *al.*, (2005), que mencionan que con el uso de injertos en plantas de sandía se obtiene mayor  
274 longitud de tallo en plantas. Además esta condición es indicio de una buena unión del  
275 injerto, lo cual es fundamental para la comunicación entre el injerto y patrón y sugiriendo  
276 que una reconexión positiva de los tejidos vasculares en la unión del injerto pueden  
277 conducir a la promoción del crecimiento del tallo. Por otra parte, en el diámetro del tallo,  
278 la técnica de injerto influyó sobre dicha variable, en este caso al utilizar al injerto de púa,  
279 el diámetro no presenta incrementos significativos en relación a los de las plantas no  
280 injertadas (López *et al.*, 2008). También, Rojas y Rivero (2001) mencionan que el  
281 aumento del diámetro del tallo en plantas de melón injertadas puede ser modificado por  
282 efectos simples de la variedad o el tipo de injerto realizado.

283           En el estudio del sistema vascular de peciolos de las plantas los resultados suponen  
284 que durante el proceso de unión y regeneración de los haces vasculares hay un aumento  
285 en el número de puentes vasculares (Lu *et al.*, 1996). Además, se ha reportado que los  
286 factores más importantes en la conducción del agua además del diámetro de tallo, es la  
287 cantidad de vasos del xilema en un haz vascular (Nemec *et al.*, 1975; Zimmermann, 1983);  
288 favoreciendo el abastecimiento hídrico y nutricional hacia toda la planta. Los cambios  
289 encontrados en el área de los tubos conductores en los peciolos se pueden atribuir a la  
290 relación interespecie, y suponer que el portainjeto comparte información genética al  
291 vástago creando una modificación en el comportamiento de las células generando una  
292 respuesta (Lockard and Schneider, 1981; Lacono *et al.*, 1998) en nuestro caso, cambios  
293 en las dimensiones del haz vascular, este carácter anatómico define la capacidad de

294 transporte de agua en las plantas, ya que a medida que el índice de los vasos vasculares  
295 aumenta y el diámetro de los vasos es menor, la cantidad de agua transportada es mayor,  
296 favoreciendo el uso eficiente de agua y nutrientes por parte de la planta (Ascón-Bieto y  
297 Talcón, 2013).

298 Estudios realizados en torno a la calidad del pepino mencionan que los frutos no  
299 climatéricos presentan contenidos de sólidos solubles bajos (Desai and Musmade, 1988;  
300 Vázquez-Angulo *et al.*, 2013), por lo tanto no presenta cambios significativos en la  
301 acumulación de solutos en esta etapa de maduración (Azcón y Talón, 2003). Huang *et al.*  
302 (2009) reportan que obtuvieron una menor concentración de SS y AT en frutos de plantas  
303 de pepino injertadas sobre calabaza de higuera en condiciones no estresadas en  
304 comparación con el autoinjerto. Otros estudios de plantas injertadas en combinación con  
305 estrés salino han demostraron que en ausencia del estrés la proporción de sólidos solubles  
306 y acidez titulable no fue significativamente influenciada por el injerto en frutos de pepino  
307 (Lee and Kader, 2000) y tomate (Gioia *et al.*, 2010; Flores *et al.*, 2010). Esto es consistente  
308 con los resultados obtenidos en este estudio (Cuadro 1), en el que los datos son similares  
309 a los reportados en otras investigaciones, al igual que el porcentaje de acidez obtenido  
310 (Muy *et al.*, 2004; Cortés *et al.*, 2011; Moreno-Velázquez *et al.*, 2015), sugiriendo que la  
311 concentración de solutos en frutos no climatéricos está en función del estado de desarrollo  
312 del fruto cosechado (Wills *et al.*, 1998). Por otra parte, en relación con lo reportado por  
313 Plaut *et al.*, (2004) que mencionan que el aumento de la concentración de sólidos solubles  
314 en el fruto de tomate se puede deber a una menor absorción y acumulación de agua por  
315 los frutos, la respuesta obtenida en SST se atribuye al efecto del injerto que al favorecer  
316 la absorción de agua en los frutos la concentración de sólidos solubles disminuye. El uso

317 del injerto tiene un impacto positivo en la calidad de los frutos al incrementar el contenido  
318 de vitamina C o ácido ascórbico (Fernández-García *et al.*, 2004; Zhu *et al.*, 2006; Huang  
319 *et al.*, 2009; Rouphael *et al.*, 2010; Flores *et al.*, 2010). Por otra parte, se debe considerar  
320 la maduración de los frutos cosechados ya que esta condición podría influir en el contenido  
321 de ascorbato, con el avance de las etapas de desarrollo del fruto (Raffo *et al.*, 2002;  
322 Rouphael *et al.*, 2010; Kyriacou *et al.*, 2017); se ha documentado que el ácido ascórbico  
323 es uno de los compuestos antioxidantes más abundantes en la totalidad de las plantas y  
324 está relacionado con la síntesis de moléculas del metabolismo primario y secundario, así  
325 como con la división y elongación celular, (Arrigoni, 1994; Smirnoff, 1996; De Pinto y  
326 De Gara; 2004, Mora-Herrera, 2011); tomando en cuenta que el pepino es un fruto que se  
327 cosecha en estado inmaduro, etapa en la que se encuentra en plena elongación o  
328 alargamiento celular, es congruente la presencia de esta molécula antioxidante en el fruto.  
329 En el contenido de vitamina C, la respuesta observada con fertilización química, supone  
330 que tiene que ver con la disponibilidad de nutrientes determinada por el tipo de fertilizante  
331 y por sus características solubles en el agua (Sánchez *et al.*, 2008), lo que puede generar  
332 una condición de estrés moderada del sistema de producción que influya en la síntesis de  
333 estas sustancias o moléculas para evitar un daño oxidativo. De acuerdo con lo anterior,  
334 existe una relación lineal entre los compuestos fenólicos y componentes que contribuyen  
335 al potencial de los antioxidantes en plantas y frutos, lo cual es congruente con otras  
336 investigaciones en las que las variables se comportan de forma similar (Kim *et al.*, 2003;  
337 El-Mergawi *et al.*, 2010; Deepa *et al.*, 2013; Soteriou *et al.*, 2014). Ghasemmezhad *et al.*  
338 (2011) reportan que la capacidad antioxidante total es más alta en frutos cosechados en  
339 etapas tempranas; además, Sukrasno y Yeoman (1993) encontraron que en frutos  
340 cosechados en estado inmaduro el contenido de flavonoides era alto en relación a un fruto

341 maduro. Por lo tanto, altas concentraciones de quercetina en frutos verdes o inmaduros se  
342 pueden relacionar con la protección del aparato fotosintético (Harborne y Williams, 2000).  
343 Tomando en cuenta el estado de desarrollo del fruto a la cosecha y de acuerdo con Yassin  
344 *et al.* (2015), con el uso del injerto se mejoran los atributos de calidad física y contenido  
345 de importantes compuestos bioactivos en los frutos, convirtiéndose un producto  
346 nutraceútico. En el efecto de la fertilización los resultados coinciden con lo obtenido por  
347 Barraza-Álvarez (2015), quien reportó que el uso de la solución nutritiva universal de  
348 Steiner tiene efecto positivo sobre las principales características de calidad de los frutos  
349 de pepino cultivado en invernadero. También Odior-Juárez (2013), no encontró  
350 diferencias significativas en el contenido de la capacidad antioxidante total y  
351 concentración de fenoles totales en pepino suministrado con fertilización química  
352 (solución Steiner al 100%) y fertilización orgánica- birracional (solución Steiner más  
353 rizobacterias) y en la determinación del contenido de flavonoides en pepino con  
354 fertilización orgánica respecto a la fertilización química, indica que en general los dos  
355 tipos de fertilización en pepino fueron estadísticamente similares. También El-Mergawi  
356 and Al-Redhaiman (2010) reportan que en zanahorias orgánicas se observó una menor  
357 capacidad antioxidante, fenoles y vitamina C en relación a la fertilización química.  
358 Aunque, existen otras investigaciones con fertilización orgánica en tomate que reportan la  
359 acumulación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante se incrementan como  
360 consecuencia de las condiciones de estrés moderado asociadas con el sistema de cultivo  
361 (El-Mergawi and Al-Redhaiman, 2010; Oliveira *et al.*, 2013; Díaz-Méndez *et al.*, 2014;  
362 Porto *et al.*, 2016). En base a esto podríamos inferir que los cambios en el contenido de  
363 estos compuestos antioxidantes pueden estar relacionados no nada más con condiciones  
364 de estrés, sino también con la captación de nutrimentos (El-Mergawi and Al-Redhaiman,

2010; Márquez-Hernández, et al., 2013), la etapa de maduración fisiológica del fruto a la cosecha (Sukrasno and Yeoman, 1993, Odior-Juárez, 2013), la especie vegetal (El-Mergawi and Al-Redhaiman, 2010) e incluso a la diferencia de variedades (Huang *et al.*, 2009; Kyriacou *et al.*, 2017) aun siendo de la misma especie. Estos resultados demuestran que los frutos en plantas injertadas suministradas tanto con nutrimentos orgánicos o inorgánicos reciben el abastecimiento óptimo de agua, lo que permite a la planta ingresar los nutrientes necesarios para mejorar la calidad de la fruta (Lee *et al.*, 2010; Barraza-Álvarez, 2015), promoviendo la síntesis de moléculas que contribuyen al incremento del potencial antioxidante (Kim *et al.*, 2003; Rouphael *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2017), evitando un daño oxidativo por tener un sistema radical más eficiente (Zen *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2006; Nawaz *et al.*, 2017). Existen aún discrepancias en cuanto a la respuesta de la actividad antioxidante en los frutos ante los diferentes tipos de fertilización, algunas investigaciones reportan incrementos del contenido de antioxidantes con fertilización química (El-Mergawi and Al-Redhaiman, 2010) y otros con orgánica (El-Mergawi and Al-Redhaiman, 2010; Cifuentes *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2013; Díaz-Méndez *et al.*, 2014; Porto *et al.*, 2016), una respecto de la otra; por otra parte, no hay información suficiente sobre el comportamiento de los compuestos bioactivos en las diferentes especies vegetales injertadas en ausencia de alguna condición de estrés inducida y lo que se ha reportado indica que la síntesis de estos compuestos no solo está en función de la disponibilidad nutricional, sino de otros aspectos como la especie, la etapa de desarrollo del fruto a la cosecha, frecuencia y disponibilidad de agua, temperatura, o alguna condición de estrés manipulada (Mitchell *et al.*, 1991; Sánchez *et al.*, 2008; Cifuentes *et al.*, 2013; Márquez-Hernández 2013; Odior-Juárez, 2013. Porto *et al.*, 2016).

388

## 389 **CONCLUSIONES**

390 Con los resultados obtenidos se detectó que el uso del injerto con fertilización  
391 química y orgánica favorece el suministro óptimo de agua y mejoran el transporte de  
392 nutrientes al interior de la planta, contribuyendo a un mayor crecimiento y a la síntesis de  
393 metabolitos secundarios, al tener un sistema vascular más eficiente, lo cual también le  
394 confieren a las plantas la capacidad de adaptación a ambientes ante una condición de estrés  
395 hídrico.

396 Los cambios en los niveles del contenido de compuestos antioxidantes también  
397 están en función de las características propias de la especie o variedad en cuestión y del  
398 estado de desarrollo fisiológico del fruto, que al ser incrementados proporcionan una  
399 alternativa en la dieta del consumidor, promoviendo la prevención de enfermedades a  
400 través de la ingesta alimentaria de productos naturales con propiedades nutracéuticas.

401

## 402 **REFERENCIAS**

403 AOAC. 1990. International. Official methods of analysis of association of official  
404 agricultural chemists (AOAC) International. 15<sup>th</sup>. edition. Virginia, USA.

405 Arrigoni, O. 1994. Ascorbate system in plant development. J. Bioenerg. Biomemb. 26,  
406 407–419.

407 Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2003. Fundamentos de fisiología vegetal. McGrawHill.

408 Barraza-Álvarez, F. V. 2015. Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados  
409 en diferentes concentraciones nutrimentales. Revista Colombiana de Ciencias  
410 Hortícolas, 9(1).

- 411 Basantes, M., E., 2016. *Silvicultura y fisiología vegetal aplicada*. 1<sup>a</sup>. Edición electrónica  
412 revisada. ISBN: 978-9978-301-36-4
- 413 Cifuentes, R., Colmenares, A. S., De León, E. y González, X. 2013. Efecto de la  
414 situación parcial del fertilizante inorgánico por compost sobre el rendimiento y la calidad  
415 de tomate en invernadero (*Solanum lycopersicum* L) en Solalá. Revista 26 de la  
416 Universidad del Valle de Guatemala.
- 417 Cortés, M., Johan, Y. and Rodríguez, E. 2011. Valoración de atributos de calidad en  
418 pepino (*Cucumis sativus* L.) fortificado con vitamina E. *Biotecnología en el Sector*  
419 *Agropecuario y Agroindustrial*. 9(1):24-34.
- 420 Deepa, G., Ayesha, S., Nishtha, K., and Thankamani, M. 2013. Comparative evaluation  
421 of various total antioxidant capacity assays applied to phytochemical compounds of Indian  
422 culinary spices. *International Food Research Journal*, 20(4).
- 423 Denev, P., Ciz, M., Ambrozova, G., Lojek, A., Yanakieva, I., Kratchanova, M. 2010.  
424 Solid-phase extraction of berries anthocyanins and evaluation of their antioxidative  
425 properties. *Food Chemistry*, 123, 1055-1061.
- 426 De Pinto, M. C. and De Gara, L. 2004. Changes in the ascorbate metabolism of  
427 apoplasmic and symplasmic spaces are associated with cell differentiation. *Journal of*  
428 *Experimental Botany*, 55(408): 2559-2569.
- 429 Desai, U. T. and Musmade, A. M. 1998. Pumpkins, squashes and gourds. In: *Handbook*  
430 *of vegetable science and technology: production, composition, storage and*  
431 *processing*. New York, Marcel Dekker 273-298.
- 432 Díaz-Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Álvarez-Reyna, V. P., Fortis-Hernández, M.,  
433 García-Hernández, J. L. y Sánchez-Chávez, E. 2014. Producción orgánica y capacidad  
434 antioxidante de frutos de pepino. *ITEA*, Vol. 110 (4), 335-342.

- 435 El Gharas, H. 2009. Polyphenols: food sources, properties and applications—a  
436 review. *International journal of food science & technology*, 44(12), 2512-2518.
- 437 El-Mergawi, R. A. and Al-Redhaiman, K. 2010. Effect of organic and conventional  
438 production practices on antioxidant activity, antioxidant constituents and nutritional value  
439 of tomatoes and carrots in Saudi Arabia markets. *J Food, Agric Environ* 8: 253–258.
- 440 Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E.,  
441 Morales, B., Campos, J. F., García-Abellán, J. O., Egea, M. I., Fernández-García, N.,  
442 Romojaro, F. and Bolarín, M. C. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato  
443 fruit quality. *Sci. Hortic.* 125, 211–217.
- 444 Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W. J. and Zhang, F. 2011.  
445 Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and  
446 environmental quality in China. *Journal of Experimental Botany*, 63(1), 13-24.
- 447 Fernández-García, N., Martínez, V., Cerda, A. and Carvajal, M. 2004. Fruit quality of  
448 grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79, 995–  
449 1001.
- 450 Gioia, F. D., Serio, F., Buttarò, D., Ayala, O. and Santamaria, P. 2010. Influence of  
451 rootstock on vegetative growth, fruit yield and quality in ‘Cuore di Bue’, an heirloom  
452 tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85(6), 477-482.
- 453 González-Gómez, H., Ramírez-Godina, F., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A.,  
454 Robledo-Torres, V. and Cabrera-De la Fuente, M. 2017. Use of chitosan-PVA hydrogels  
455 with copper nanoparticles to improve the growth of grafted watermelon. *Molecules.* 22,  
456 1031.
- 457 Good, A. G. and Beatty, P.H. 2011. Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the  
458 Commons. *PLoS Biol*, 9(8): e1001124. doi:10.1371/journal.pbio.1001124

- 459 Ghasemnezhad, M., Sherafati, M. and Payvast, G. A. 2011. Variation in phenolic  
460 compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum*  
461 *annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of functional foods*, 3(1), 44-49.
- 462 Harborne, G. B., and Williams, C. A. 2000. Advance in flavonoid research since 1992.  
463 *Phytochemistry*, 55, 481–504.
- 464 Huang, Y., Tang, R., Cao, Q. and Bie, Z. 2009. Improving the fruit yield and quality  
465 of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress. *Sci. Hortic.*  
466 122, 26–31.
- 467 Ju, X. T., Kou, C. L., Christie, P., Dou, Z. X., & Zhang, F. S. 2007. Changes in the soil  
468 environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting  
469 intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, 145(2),  
470 497-506.
- 471 Kim, D. O., Chun, O. K., Kim, Y. J., Moon, H. Y. and Lee, C. Y. 2003. Quantification  
472 of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *Journal of Agricultural and*  
473 *Food Chemistry*, 51(22), 6509-6515.
- 474 Kumar, P., Roupael, Y., Cardarelli, M., y Colla, G. 2017. El injerto vegetal como  
475 herramienta para mejorar la resistencia a la sequía y la eficiencia del uso del  
476 agua. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- 477 Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Colla, G., Zrenner, R., and Schwarz, D. 2017. Vegetable  
478 grafting: The implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality  
479 and nutritive value. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- 480 Lacono, F.; Buccella, A. and Peterlunger, E. 1998. Water stress and rootstock influence  
481 on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines. *Scientia Horticulturae*, 75(1),  
482 27–39.

483 Lee, S. K. and Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing  
484 vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-  
485 220.

486 Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L. and Oda, M.  
487 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques,  
488 automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105.

489 Lockard, R. G. and Schneider, G. W. 1981. Stock and scion relationships and the  
490 dwarfing mechanism in apple. *Horticultural Reviews*, 3, 315–375.

491 López, E. J., Romo, J. A. y Zamora, Y. E. 2005. Evaluación del uso del injerto en la  
492 propagación de sandía. *Memorias del VII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas*.  
493 UABC. Mexicali, B. C. México. 256-259.

494 López, E. J., Romo, A. F. y Domínguez, S. J. G. 2008. Evaluación de métodos de injerto  
495 en sandía (*Citrullus lanatus* (thunb.) matsum & nakai) sobre diferentes patrones de  
496 calabaza. *IDESIA (Chile)*, 26(2), 13-18.

497 Lu, P., Biron, P., Granier, A., and Cochard, H. 1996. Water relations of adult Norway  
498 spruce (*Picea abies* (L) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: whole-tree  
499 hydraulic conductance, xylem embolism and water loss regulation. In *Annales des sciences*  
500 *forestières*, 53(1), 113-121.

501 Martínez-Ballesta, M. C.; Alcaraz-Lopez, C.; Muries, B. and Carvajal, M. 2010.  
502 Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Sci. Hortic.* 127, 112–118.

503 Márquez-Hernández, C.; Cano-Ríos, P.; Chew-Madinaveitia, Y. I.; Moreno-Reséndez,  
504 A. y Rodríguez-Dimas, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry  
505 bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 183-189.

506 Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., García-Hernández, J. L., Rodríguez-Dimas, N.,  
507 Preciado-Rangel, P., Moreno-Resendez, A. y De la Cruz Lázaro, E. 2010. Agricultura  
508 orgánica: El caso de México. Agricultura Orgánica, Tercera parte. Primera edición.  
509 Universidad Juárez del Estado de Durango, 1-2.

510 Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Avila-Diaz, J.A.,  
511 Rodríguez-Dimas, N. y García-Hernández, J. L. 2013. Rendimiento y calidad de tomate  
512 con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Phyton* (Buenos Aires), 82(1), 55-  
513 61.

514 Martínez-Vera, A. 2013. Compatibilidad, resistencia a *Phytophthora capsici* L. y  
515 desempeño agronómico. Tesis Maestría en Ciencias. Chapingo, México.

516 Mitchell, P., C. Shennan, S. R. Grattan y D. M. 1991. Tomato fruit yield and quality  
517 under water deficit and salinity. *Journal of the American Society for Horticulture*  
518 *Science*, 116: 215-221.

519 Mora-Herrera, M. E., Peralta-Velázquez, J., López-Delgado, H. A., García-Velasco, R.,  
520 y González-Díaz, J. G. 2011. Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos  
521 fotosintéticos y actividad peroxidasa en plantas de crisantemo. *Revista Chapingo. Serie*  
522 *horticultura*, 17(SPE2), 73-81.

523 Moreno-Velázquez, D., Hernández-Hernández, B. N., Barrios-Díaz, J. M., Ibáñez-  
524 Martínez, A., Cruz-Romero, W. y Berdeja-Arbeu, R. 2015. Calidad poscosecha de frutos  
525 de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Revista Mexicana de Ciencias*  
526 *Agrícolas*, 6(3), 637-643.

527 Mujeri, M. K., Shahana, S., Chowdhury, T. T. and Haider, K. T. 2012. Improving the  
528 effectiveness, efficiency, and sustainability of fertilizer use in South Asia. *South Asia:*  
529 *Global Development Network.*

530 ([http://www.gdn.int/admin/uploads/editor/files/SA\\_3\\_ResearchPaper\\_](http://www.gdn.int/admin/uploads/editor/files/SA_3_ResearchPaper_)  
531 *Fertilizer\_Efficiency.pdf*) (Accessed on May 4, 2015).

532 Mukherjee, P. K., Nema, N. K., Maity, N. and Sarkar, B. K. 2013. Phytochemical and  
533 therapeutic potential of cucumber. *Fitoterapia*, 84, 227-236.

534 Muy, D., J. Siller, J. Díaz y B. Valdéz. 2004. Efecto de las condiciones de  
535 almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de  
536 mesa. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(2), 157-165.

537 Nawaz, M. A., Imtiaz, M., Kong, Q., Cheng, F., Ahmed, W., Huang, Y. and Bie, Z.  
538 2016. Grafting: a technique to modify ion accumulation in horticultural crops. *Frontiers*  
539 *in plant science*, 7.

540 Nemec, S., R. Constant, and M. Patterson. 1975. Distribution of obstructions to water  
541 movement in citrus with without blight. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 88, 70-75

542 Ogata, T.; Kabashima, Y.; Shiozaki, S.; Horiuchi, S. 2005. Regeneration of the vascular  
543 bundle at the graft interface in auto- and heterografts with juvenile nucellar seedlings of  
544 satsuma mandarin, yuzu and trifoliolate orange. *Journal of the Japanese Society for*  
545 *Horticultural Science*, 74, 214-220.

546 Oidor-Juarez, J. A. 2013. Determinación de compuestos bioactivos en la planta  
547 *Cucumis sativus* L (pepino) evaluando diferentes tipos de fertilización en invernadero.  
548 Tesis. Universidad Autónoma de Querétaro.

549 Oliveira, A. B., Moura, C. F., Gomes-Filho, E., Marco, C. A., Urban, L. and Miranda,  
550 M. R. A. 2013. The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to  
551 increased oxidative stress during fruit development. *PLoS One*, 8(2), e56354.

552 Plaut, Z., Grava, A., Yehezkel, Ch. and Matán, E. 2004. How do salinity and water  
553 stress affect transport of water assimilates and ions to tomato fruits? *Physiol. Plant.* 122:  
554 429-442.

555 Popp, J., Petó, K., and Nagy, J. 2013. Pesticide productivity and food security. A  
556 review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 243-255.

557 Porto, J. S., Rebouças, T. N. H., Moraes, M. O. B., Bomfim, M. P., Lemos, O. L., Luz,  
558 J., and Queiroz, M. 2016. Quality and antioxidant activity of tomato cultivated under  
559 different sources and doses of nitrogen. *Revista Caatinga*, 29(4), 780-788.

560 Raffo, A., Leonardi, C., Flogiano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L.,  
561 Bugianesi, R., Giuffrida, F. and Quaglia, G. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes  
562 (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal*  
563 *of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 6550–6556.

564 Roupael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A. and Colla, G. 2010. Impact of grafting on  
565 product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 172-179.

566 Rojas P. L. y Riveros B. F. 2001. Efecto del método y edad de las plántulas sobre el  
567 rendimiento y desarrollo de injertos de melón (*Cucumis melo*). *Agricultura Técnica*, 61(3),  
568 262-274.

569 Sánchez B. P., Egea I., Martínez M. M. C., Flores B. and Romajaro F. 2008 Influence  
570 of irrigation and Organic/Inorganic Fertilization on chemical quality of almond (*Prunus*  
571 *Amygdalus* Cv. Guara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:10056 –10062

572 Sánchez-Rodríguez, E., Leyva, R., Constán-Aguilar, C., Romero, L., and Ruiz, J. M.  
573 2014. How does grafting affect the ionome of cherry tomato plants under water  
574 stress?. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(2), 145-155.

- 575 SIAP, 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. Disponible  
576 en línea: [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas-](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016)  
577 [Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016)
- 578 Singleton, V. L., Orthfer, R., Lamuela-Raventos, R. M. 1999. Analysis of total phenols  
579 and other oxidation substrates and antioxidants by means means of the Folin-Ciocalteu  
580 reagent. *Methods Enzymol.* 299, 152–178. 41.
- 581 Smirnoff, N. 1996. Botanical briefing: the function and metabolism of ascorbic acid in  
582 plants. *Annals of botany*, 78(6), 661-669.
- 583 Solla, A. and Gil, L. 2000. Relationship between vessel diameter and Dutch elm disease  
584 in *Ulmus minor* Miller. *For. Pathol.*
- 585 Sory-Toure, A., Nieto-Ángel, R., Rodríguez-Pérez, J. E., Barrientos-Priego, A. F.,  
586 Ibáñez-Castillo, L. A., Romanchik, K. and Núñez-Colín, C. A. 2010. Variación anatómica  
587 del xilema en tallo de cultivares de tomate injertados en un tipo criollo. *Revista Chapingo.*  
588 *Serie horticultura*, 16(1), 67-76.
- 589 Soteriou, G. A., Kyriacou, M. C., Siomos, A. S., and Gerasopoulos, D. 2014. Evolution  
590 of watermelon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as  
591 affected by grafting. *Food Chem.* 165, 282–289.
- 592 Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International  
593 Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC.  
594 Wageningen, The Netherlands. 633-649 pp.
- 595 Sukrasno, N., and Yeoman, M. M. 1993. Phenylpropanoid metabolism during growth  
596 and development of *Capsicum frutescens* fruits. *Phytochemistry*, 32, 839–884.
- 597 Torii, T., Kawasaki, M., Okamoto, T. and Kitani, O. 1992. Evaluation of grafttake using  
598 thermal camera. *Acta Horticulturae* 319, 631-634.

599 Vázquez-Angulo, J. C., Grimaldo-Juárez, O. y González-Mendoza, D. 2013.  
600 Producción de *Cucumis sativus* en el valle de Mexicali, Baja California, México. Idesia  
601 (Arica), 3,17-20.

602 Velasco-Alvarado, M. J. 2013. Anatomía y manejo de plantas injertadas de jitomate  
603 (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis Maestría en Ciencias. Chapingo, México.

604 Wargovich, M. J. 2000. Anticancer properties of fruits and  
605 vegetables. HortScience, 35(4).

606 Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. and Jo, D. 1998. Postharvest: An introduction  
607 to the physiology and handling of fruit. Vegetable and Ornamentals. 4th ed., CAB  
608 International: Oxfordshire, UK, p. 262.

609 Witham, F. D., Blaydes, D. F. and Devlin, R. M. 1971. Experiments. In: Plant  
610 physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245p.

611 Yang, L. F., Zhu, Y. L., Hu, C. M., Liu, Z. L. and Zhang, G. W. 2006. Effects of NaCl  
612 stress on the contents of the substances regulating membrane lipidoxidation and osmosis  
613 and photosynthetic characteristics of grafted cucumber. Acta Bot. Boreal-Occident Sin.,  
614 26, 1195–1200.

615 Yassin, S. H., and Hussen, S. 2015. Reiview on role of grafting on yield and quality of  
616 selected fruit vegetables. Global J Sci Front Res, 15(1).

617 Ying, Q. L. 2011. Study on debinding and antioxidant technology eel [D]. Hangzhou:  
618 Zhejiang Gongshang University.

619 Zhu I., Z. L. Bie, Y. Huang and X. Y. Han 2006. Effects of different grafting methods  
620 on the grafting work efficiency and growth of cucumber seedlings. China Vegetables 9,24-  
621 25.

622 Zhuang, X. P., and Yu, X. Y. 1992. Determination of total flavonoids in the leaves of  
 623 Ginkgo and studies on its extraction process. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 23,  
 624 122-124.

625 Zimmermann, M.H. 1983. Xylem structure and the ascent of sap. In: Springer Verlag,  
 626 Berlin. España.

627

628

629 **Cuadro 1. Interacción del uso del injerto y la fertilización sobre el crecimiento de**  
 630 **plantas de pepino.**

Injerto	Fertilización	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (cm)
SIN	QUIMICA	336.68c	11.28a
	ORGANICA	385.63b	11.50a
CON	QUIMICA	442.25a	11.18a
	ORGANICA	403.58a	11.98a

631 Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba LSD  
 632 ( $P \leq 0.05$ ).

633

634 **Cuadro 2. Interacción del uso del injerto y la fertilización sobre la anatomía vascular**  
 635 **en peciolo de plantas de pepino.**

Injerto	Fertilización	No. Vasos del Xilema	Área del Haz Vascular	Área de Vasos del Xilema ( $\mu\text{m}^2$ )
SIN	QUIMICA	99.00a	138605.70c	3735.45b

	ORGANICA	96.67a	168754.71a	3976.25a
CON	QUIMICA	109.33ab	124624.92c	3272.57c
	ORGANICA	108.67b	153688.62b	3801.49b

636 Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba LSD  
 637 ( $P \leq 0.05$ ).

638

639 **Cuadro 3. Interacción del uso del injerto y la fertilización sobre la calidad**  
 640 **nutracéutica de los frutos de pepino.**

Injerto	Fertilización	SST	AT	Vitamina C	CAoxT	FT	Flavonoides
SIN	QUIMICA	3.03a	0.10a	6.50b	938.25a	162.60a	431.30a
	ORGANICA	3.08a	0.09a	6.44b	808.60b	145.18b	369.08b
CON	QUIMICA	3.08a	0.11a	9.36a	1048.48a	168.70a	492.78a
	ORGANICA	2.93a	0.09a	9.20a	975.48a	176.20a	476.58a

641 SST ( $^{\circ}$ Brix), AT (% de Ácido Cítrico), Vitamina C (mg de Ácido Ascórbico por 100 g de  
 642 Peso Fresco), CAoxT ( $\mu$ M Trolox/100g PS), FT (mg Ácido Gálico por 100 g de PS),  
 643 Favonoides (mg Rutina por 100 g de PS). *Medias con la misma letra no presentan*  
 644 *diferencias significativas, según la prueba LSD ( $P \leq 0.05$ ).*

## CONCLUSIÓN GENERAL

Con los resultados obtenidos de esta investigación podemos ayudar a promover la implementación del uso del injerto en mayor parte de las superficies de producción, ya que al utilizar esta técnica los cultivos obtendrían los beneficios conferidos por la raíz del portainjerto al favorecer la absorción de agua y nutrientes, lo que reduce el uso de pesticidas y fertilizantes de manera irracional permitiendo obtener grandes rendimientos, generando así la cultura de uso de prácticas alternativas en los sistemas de producción amigables con el ambiente.

Generando alimentos funcionales para una nutrición más diversa y sana, acompañada del diseño de sistemas de producción mejorados, que mantengan un balance entre producción e impacto ambiental.

.

## REFERENCIAS

- Aktar, W., Sengupta, D. and Chowdhury, A. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1), 1-12.
- Anaya, R. S. y J. N. Romero. 1990. *Hortalizas. Plagas y enfermedades*. Primera edición. Editorial Trillas, México. pp. 34-36.
- Angela, R., P. Perkins-Veazie., Y. Sakata., S. López-Galarza, J. Maroto, and L. Sang-Gyu, H. 2008. Cucurbit grafting. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(1), 50-74
- Bie, Z., Nawaz, M. A., Huang, Y., Lee, J. M. and Colla, G. 2017. Introduction of vegetable grafting. *Vegetable Grafting, Principles and Practices*.
- Cabrera-De La Fuente, M., H. Ortega-Ortiz, A. Benavides-Mendoza and A. Sandoval-Rangel. 2014. Effect Of The Application Of Silver Nitrate On Antioxidant Status In Watermelon Plants. *Pak. J. Bot.*, 46(5): 1843-1846.
- Colla, G., Rouphael, Y., Rea, E., and Cardarelli, M. 2012. Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Sci. Hortic.* 135, 177–185. doi: 10.1016/j.scienta.2011.11.023.
- Colla, G., Fiorillo, A., Cardarelli, M. and Rouphael, Y. 2014. Grafting to improve abiotic stress tolerance of fruit vegetables. In *II International Symposium on Organic Greenhouse Horticulture*, 1041, 119-125.
- Denev, P., Ciz, M., Ambrozova, G., Lojek, A., Yanakieva, I. and Kratchanova, M. 2010. Solid-phase extraction of berries anthocyanins and evaluation of their antioxidative properties. *Food Chemistry*, 123, 1055-1061.
- Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W. J. and Zhang, F. 2011. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. *Journal of Experimental Botany*, 63(1), 13-24.
- Farhadi, A., and Malek, S. 2015. "Evaluation of graft compatibility and organoleptic traits of Green house cucumber seedlings grafted on different rootstocks," in *Proceeding of the First International Symposium on Vegetable Grafting. Acta Horticulturae*, Vol.1086, eds Z. Bie Y. Huang, and M. A. Nawaz (Wuhan), 219–224.
- Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, J. F., García-Abellán, J. O., Egea, M. I., Fernández-García,

- N., Romojaro, F. and Bolarín, M. C. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Sci. Hortic.* 125, 211–217.
- Gálvez, A. 2004. Injerto de hortalizas. 88 p. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia, España.
- Gao, Y., Tian, Y., Liang, X. and Gao, L. 2015. Effects of single-root-grafting, double-root grafting and compost application on microbial properties of rhizosphere soils in Chinese protected cucumber (*Cucumis sativus* L.) production systems. *Sci. Hortic.* 186,190–200.
- Gómez. D. y Vázquez, M. 2011. PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE HORTALIZAS DE CLIMA TEMPLADO: Macrotúnel. Pymerrural-Pronagro/sag. Honduras. 20p.
- González F., M.; A. Hernández; A. Casanova; T. Depestre; L. Gómez; M. Rodríguez. 2008. El injerto herbáceo: Alternativa para el manejo de plagas en el suelo. *Protección Vegetal.* 23(2):69-74.
- Good, A. G. and Beatty, P.H. 2011. Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons. *PLoS Biol*, 9(8): e1001124. doi:10.1371/journal.pbio.1001124.
- Gordon, T. R., Okamoto, D. 1992. Variación del ADN mitocondrial entre los aislamientos vegetativamente compatibles de *Fusarium oxysporum*. *Experimental Mycology* 16: 245 - 250.
- Godoy Hernández, H., Castellanos Ramos, J. Z., Alcántar González, G., Sandoval Villa, M. y Muñoz Ramos, J. D. J. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana*, 27(1), 01-09.
- Gruda, N. 2005. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(3), 227-247.
- Hassimotto, N.M., Genovese, M.I. and Lajolo, F.M. 2005. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2928-2935.
- Hernández-González, Z., Sahagún-Castellanos, J., Espinosa-Robles, P., Colinas-León, M. T., & Rodríguez-Pérez, J. E. 2014. Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 41-47.
- Huang, D., Ou, D. B. and Prior, R. L. 2005. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841-1856.

- Huang, Y., Tang, R., Cao, Q., and Bie, Z. 2009. Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting on to the salt tolerant rootstock under NaCl stress. *Sci.Hortic.* 122,26–31.
- Ju, X. T., Kou, C. L., Christie, P., Dou, Z. X., & Zhang, F. S. 2007. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, 145(2), 497-506.
- Juárez, P. et al 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente Año 3 No. 8 Julio – Septiembre.* ISSN 2007 – 0713.
- López, A. C. 2003. Guía técnica; cultivo de pepino. *Centro Nacional de America. HortScience* 43:235-239
- López-Elías, J., A.R.F. Romo y J.G. Domínguez. 2008. Evaluación de métodos de injerto en sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) sobre diferentes patrones de calabaza. IDESIA. Universidad de Tarapacá. Facultad de Ciencias Agronómicas. Arica, Chile. 26(2): 13-18.
- Maršić, N. K. and Jakše, M. 2010. Growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) on different soilless substrates. *J. Food Agric. Environ.* 8(2):654-658.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., García-Hernández, J. L., Rodríguez-Dimas, N., Preciado-Rangel, P., Moreno-Resendez, A. y De la Cruz Lázaro, E. 2010. Agricultura orgánica: El caso de México. *Agricultura Orgánica*, Tercera parte. Primera edición. Universidad Juárez del Estado de Durango, 1-2.
- Mencuccini, M. 2003. The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long-term acclimation and the hydraulic costs of stature across plant life forms. *Plant Cell Environ.* 26:163-182.
- Moreno D., Cruz W., García E., Ibáñez A., Barrios J. y Barrios B. 2013. Cambios fisicoquímicos postcosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 4, Pp 909-920.
- Moreiras O., Carvajal A., Cabrera L. y Cuadrado C. 2013. Tablas de composición de alimentos. Editorial Pirámide. 16º Edición. Pp 193-194.
- Maroto, J. V. 2002. *Horticultura Herbacea Especial*. 5ª. Edición. Mundi-prensa España.
- Martínez-Ballesta M.C., Alcaraz-López C., Muries B., Mota-Cadenas C. y Carvajal M. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae*. 127(2):112-118.
- Mujeri, M. K., Shahana, S., Chowdhury, T. T. and Haider, K. T. 2012. Improving the effectiveness, efficiency, and sustainability of fertilizer use in South Asia. *South*

- Asia: Global Development Network.  
([http://www.gdn.int/admin/uploads/editor/files/SA\\_3\\_ResearchPaper\\_Fertilizer\\_Efficiency.pdf](http://www.gdn.int/admin/uploads/editor/files/SA_3_ResearchPaper_Fertilizer_Efficiency.pdf)) (Accessed on May 4, 2015).
- Nieto-Ángel, R. y Borys, M. W. 1999. Relaciones fisiológicas y morfológicas de injertos de frutales sobre tejocote (*Crataegus spp.*) como portainjerto. Revista Chapingo Serie Horticultura, 5(2), 137-150.
- Ortiz, C.J., Sánchez, C.F., Mendoza, C.M.C. y Torres, G.A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana 32: 289-294.
- Ozores-Hampton, M., y Xin., Z. 2010. Introducción a la Tecnología de Injertos a la Industria de Tomate en la Florida: Beneficios Potenciales y Retos. Departamento de Horticultural Sciences. Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida.
- Piedrahita, Ó. A. G., Zapata, J. C., y Estrada, B. V. 2012. Principales Nematodos Fitoparásitos Y Síntomas Ocasionados En Cultivos De Importancia Económica. Estimación Histopatológica Del Grado De Infección Inducido Por Stagonospora Nodorum (Berk.) Castellani & Germano En Plántulas De Trigo (*Triticum aestivum* L.), 38.
- Popp, J., Pető, K., and Nagy, J. 2013. Pesticide productivity and food security. A review. Agronomy for Sustainable Development, 33(1), 243-255.
- Porras, P. 2005. Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos. En: Fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Cevipapa, Bogotá. 99 p.
- Reyes-Santamaría, I., Terrazas, T., Barrientos-Priego, A. F. and Trejo, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. Scientia Horticulturae, 92(2), 97-105.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., and Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted miniwatermelon plants under deficit irrigation. Hortscience 43, 730–736.
- Sánchez, C. F., Moreno-Pérez, E. D. C., Contreras-Magaña, E. y González, V. E. 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo, mediante trasplante tardío. Revista Fitotecnia Mexicana 29: 87-90.
- Sánchez-Guerrero, M. C., Alonso, J. F. y Lorenzo, P; Medrano, E. 2010. Manejo del clima en el invernadero mediterráneo. España: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Consejería de Agricultura y Pesca. Andalucía. 130p
- Sánchez-Rodríguez, E., Leyva, R., Constán-Aguilar, C., Romero, L., and Ruiz, J. M. 2014. How does grafting affect the ionome of cherry tomato plants under water stress?. Soil Science and Plant Nutrition, 60(2), 145-155.

- SIAP, 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. Disponible en línea: [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016)
- SIAP, 2017. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/> (25/07/2017).
- Schnitzler, W. H. and Gruda, N. 2002. Quality issues of greenhouse production. In VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation 614 (pp. 663-674).
- Swarupa, V., Ravishankar, K. V., and Rekha, A. 2014. Plant defense response against *Fusarium oxysporum* and strategies to develop tolerant genotypes in banana. *Planta*, 239(4), 735-751.
- Vasconcellos, L. A. and Castle, W. S. 1994. Trunk xylem anatomy of mature healthy and blighted grapefruit trees on several rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 185-194.
- Wehner, T.C.; Maynard, D.N. 2003. Cucumbers, melons, and other cucurbits. Vol. 1. *Encyclopedia of food and culture*. New York, USA. Pp 474-479.
- Yang X, Wang X, Wang L and Wei M. 2012. Control of light environment: A key technique for high-yield and high-quality vegetable production in protected farmland. *Agricultural Sciences* 3: 923-928.
- Yassin, S. H., and Hussen, S. 2015. Reiview on role of grafting on yield and quality of selected fruit vegetables. *Global J Sci Front Res*, 15(1).
- Yates, S.R., Gan, J. and Papiernik, S. K. 2003. Environmental fate of methyl bromide as a soil fumigant. *Rev. Environ .Contam. Toxicol.* 177: 45-1