

## Tensión Hídrica en la Producción de Pepino Injertado y Cultivado en Suelo y Sustrato Hydric Stress in the Production of Grafted Cucumbers Grown on Soil and Substrate

Jesús Tomas Félix-Leyva<sup>1</sup>, Rocio Maricela Peralta-Manjarrez<sup>2</sup>, Alberto Sandoval-Rangel<sup>3</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>3</sup> y Marcelino Cabrera-De la Fuente<sup>3†</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Estudiante de Maestría en Ciencias en Horticultura, <sup>2</sup> Postdoctorante CONAHACYT - UAAAN, <sup>3</sup> Departamento de Horticultura. Calzada Antonio Narro 1923, Colona Buenavista. 25315 Saltillo, Coahuila, México; (J.T.F.L.), (R.M.P.M.), (A.S.R.), (A.B.M.), (M.C.D.F.).  
<sup>†</sup> Autor para correspondencia: cafum7@yahoo.com

### RESUMEN

El cultivo de pepino es afectado por el volumen de agua suministrado puede disminuir la arquitectura de la planta, así como la producción. Por otro lado, el injerto en este cultivo puede aumentar la producción hortícola- dado a su vigorosidad radicular y su capacidad exploratoria. Se estableció un experimento en invernadero de baja tecnología, ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En el periodo de primavera-verano, bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial  $2 \times 2 \times 2$  obteniéndose ocho tratamientos. El objetivo fue evaluar el efecto del punto de anclaje (suelo y sustrato), injerto (con y sin injerto) y volumen de riego (100% y 75%). Se analizaron las variables de crecimiento del cultivo (altura de planta, diámetro basal, número de hojas), variables de rendimiento (diámetro polar y ecuatorial, número de frutos y rendimiento), conductancia estomática y biomasa del cultivo. Los resultados mostraron un aumento de 22.9 % en las variables de crecimiento y 56% en biomasa con el injerto cultivado en sustrato, lo que permite ahorro de energía de la planta y una tendencia a ser más eficiente en el uso del agua. Lo cual indica que el injerto es una herramienta benéfica para mejorar los rendimientos, además de ser una tecnología amigable con el ambiente.

**Palabras clave:** *biomasa, cucumis sativus, déficit de riego.*

### SUMMARY

The cucumber crop is affected by the volume of water supplied, which can decrease the architecture of the plant as well as the yield. Grafting can increase horticultural production due to its root vigor and explorative capacity. Therefore, a low-tech greenhouse experiment was set up at the facilities of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. In the spring-summer period, under a completely randomized design with a  $2 \times 2 \times 2$  factorial arrangement, obtaining eight treatments. The objective was to evaluate the effect of anchorage point (soil and substrate), grafting (with and without grafting) and irrigation volume (100% and 75%). Crop growth variables (plant height, basal diameter, number of leaves), yield variables (polar and equatorial diameter, number of fruits and yield), stomatal conductance and crop biomass were analyzed. The results showed an increase of 22.9% in growth and 56 % biomass variables with the graft grown on substrate, allowing plant energy savings and a tendency to be more efficient in water use. This indicates that grafting is a beneficial tool for improving yields, as well as being an environmentally friendly technology.

**Index words:** *biomass, cucumis sativus, irrigation deficit.*



check for  
updates

#### Cita recomendada:

Félix-Leyva, T. J., Peralta-Manjarrez, R. M., Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., & Cabrera-De la Fuente, M. (2024). Tensión Hídrica en la Producción de Pepino Injertado y Cultivado en Suelo y Sustrato. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-11. e1784. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i.1784>

Recibido: 15 de agosto de 2023.  
Aceptado: 14 de agosto de 2024.  
Artículo. Volumen 42.  
Octubre de 2024.

Editor de Sección:  
Dr. Gelacio Alejo Santiago

Editor Técnico:  
Dr. Gerardo Cruz Flores



**Copyright:** © 2024 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es importante a nivel mundial; lo cual, ha preocupado e incentivado la búsqueda de soluciones para satisfacer las necesidades alimentarias, así como nutrir a los consumidores. Las hortalizas son una de las principales fuentes de alimento que aportan una gran variedad de vitaminas y minerales, fitoquímicos, antioxidantes, pueden reducir el riesgo de algunos tipos de cáncer y otras enfermedades crónicas, cabe destacar que el contenido nutracéutico de las hortalizas se deriva del resultado de la interacción de las condiciones externas a la célula vegetal, lo cual, dará como resultado un fenotipo dado como respuesta al ambiente (Rouphael, Kyriacou, Petropoulos, De Pascale y Colla, 2018). Entre los factores limitantes para el desarrollo de los cultivos se encuentran los abióticos como sequía y salinidad los cuales tienen consecuencias negativas en el crecimiento y producción de los cultivos (Colla, Fiorillo, Cardarelli y Rouphael, 2014). La principal limitante en el crecimiento del cultivo de pepino es la irrigación, debido a que de haber irregularidades podría causar distorsiones (Hochmuth, 2018). Por el aumento de ácido abscísico (ABA), se retrasa el crecimiento del cultivo que afecta a los frutos y el desarrollo (Lv, Li, Ai y Bi, 2022). Debido a esto, el sector agrícola requiere soluciones, para enfrentar situaciones adversas, que contribuyan a desarrollar de forma óptima los cultivos de interés agrícola (Silva, de Moraes y Molin, 2011). Con ello se realizan transferencias de tecnología para optimizar los recursos del productor (Tarango-Arámula, 2005), promoviendo la utilización eficiente del agua, y de esta manera incrementar el potencial de rendimiento productivo (Rodríguez, 2002).

El suelo es un recurso no renovable, además, al emplear prácticas agrícolas indiscriminadas se degradan y vuelven estériles o alcanzan altos valores de presión osmótica por la acumulación de sales (Kopittke, Menzies, Wang, McKenna y Lombi 2019). La diversidad de los suelos se ve afectada negativamente por las sequías (Geng *et al.*, 2014). Las zonas áridas generan para el crecimiento vegetal estrés hídrico y este impacta en la morfología de la planta y la producción de biomasa (Luna-Flores, Estrada, Morales, y Rivera, 2015). La humedad de los suelos limita la disponibilidad de los nutrientes (Pérez-Zamora y Cigales, 2004). Para sostener un cultivo de manera eficiente, el suelo debe tener agua y todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, y además de un buen drenaje para evitar el exceso de agua para las raíces (Yang, Siddique y Liu, 2020). Sin embargo, otro método de cultivar es por medio de la utilización de sustratos y estos pueden ser residuos, amigables con el ambiente (Guisolfi *et al.*, 2018). El sustrato puede influir positivamente en la acumulación de biomasa y aumentar el rendimiento. Lo anterior, gracias a la capacidad de aireación, absorción y traslocación de nutrientes, mejorando el desarrollo y el contenido de azúcares los cuales, son la fuente primaria de energía. El crecimiento puede ser afectado por la porosidad del suelo o sustrato; por lo anterior, la granulometría es un factor que influye en el manejo agronómico y en consecuencia en los resultados bioquímicos (Petre, Pele y Draghici, 2015).

En Japón, en el año 1920 se registró el primer injerto en cucurbitáceas. Fue descrito como un corte en el tallo durante la fase de plántula, el cual es colocado sobre un portainjerto, conservando las condiciones ambientales adecuadas; creando así, plantas resistentes al estrés biótico y abiótico (Maurya, Pandey, Kumar, Dubey y Prakash, 2019). Para que los injertos sean exitosos, se debe contar con el personal debidamente capacitado y la infraestructura adecuada para llevar a cabo un método de injerto (Lee *et al.*, 2010). De la misma manera, la plantas que van a ser injertadas, deben cubrir una serie de requisitos como: compatibilidad, presentar hojas verdaderas y un diámetro similar. También es necesario la utilización de cámaras de prendimiento con ausencia de luz para fomentar la unión; lo cual, a su vez aumenta la humedad y disminuye la transpiración de la planta de pepino (Maurya *et al.*, 2019), lo anterior se requiere para que los injertos se conecten, cicatricen y hagan el callo que permita un transporte adecuado de azúcares (Miao *et al.*, 2021).

En el cultivo de pepino, el portainjerto más utilizado es el de calabaza (*Cucurbita maxima* Duch. × *C. moschata* Duch.); esto debido a que mejora la absorción de nutrientes y minerales, lo cual aumenta la producción y reduce los costos, sin embargo, se puede observar una ligera pérdida en calidad de los frutos (Maurya *et al.*, 2019). La técnica de injerto es una alternativa efectiva ya que reduce la pérdida de los cultivos y aumenta la resistencia a diversos tipos de estrés (Colla *et al.*, 2014); lo anterior debido a que aumenta el área radicular y genera mayor absorción de agua y nutrientes (Peralta-Manjarrez *et al.*, 2016), incluso en zonas con baja disponibilidad de agua (Schwarz, Rouphael, Colla y Venema, 2010) y con alta presión osmótica. Esto debido, al vigor de la radícula, que presenta mayor absorción y traslocación de recursos (Rivero, Ruiz y Romero, 2003), lo cual contrarresta el cierre estomático incrementado el ahorro de energía (Chaves, Flexas y Pinheiro, 2009).

Con base en lo antes expuesto, el propósito de este estudio fue evaluar el efecto del uso del injerto en plantas de pepino en diferentes medios de cultivos y volumen de riego y determinar si la interacción de estos factores permite el desarrollo del cultivo eficientando el uso del agua e incrementando el potencial de su rendimiento productivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio Experimental y Descripción del Área Experimental

El experimento se estableció en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a 25° 21' 22.51" N y 101° 2' 9.88" O, con una altitud de 1760 m. El invernadero contaba con cubierta plástica y ventilación natural con una temperatura máxima de 36.5 °C y mínima de 8 °C, humedad relativa del 75% y radiación solar dentro del invernadero de 4.9 w/m<sup>2</sup>. El establecimiento del cultivo se realizó el día 14 de mayo y se finalizó el 30 de agosto del año 2021.

### Material Vegetal

Se realizaron injertos de pepino (Poniente F1, Enza Zaden, Enkhuzen, Holanda), sobre un patrón de calabaza criolla (*Cucúrbita máxima*). El patrón fue sembrado en charolas de poliestireno de 60 cavidades tres días antes que la variedad de pepino (vástago), mientras que el vástago en charola de 200 cavidades son sustrato de peat moss en proporción 1:1 con perlita. Posteriormente ambas charolas se pasaron a la cámara de germinación envueltas en bolsas de plástico oscuro, para retener calor y humedad.

### Realización del Injerto

Los injertos se realizaron mediante el método de púa en hendidura; el cual, consiste en cortar el patrón en forma de "Y" y el vástago en forma de púa alargada y uniéndolo. Para lo cual se utilizó una navaja de afeitar esterilizada con alcohol, Una vez que se retira la parte aérea del patrón a la altura de los cotiledones, el corte en el portainjerto se realizó haciendo una incisión vertical de 1 cm con la navaja en el centro del tallo, Por su parte, el vástago fue cortado en forma de púa, pero adelgazando el tallo de tal forma que quede alargada y entre en el portainjerto. Posteriormente se colocó una pinza para sujetar el lugar donde se realizó la incisión; posteriormente, se procede a colocarlo en una cámara de prendimiento. Para ambos casos las plántulas deben tener las hojas verdaderas (García-Cruz, 1990; Lee et al., 2010).

### Cámara de Prendimiento y Aclimatación

La sobrevivencia del injerto depende de una adecuada aclimatación, para una correcta curación de la incisión realizada y favorecer el endurecimiento por cicatrización del área. Por ello, es necesario introducir a la planta en una cámara de prendimiento; la cual, consta de una membrana transparente que le permite mantener la humedad. Dicha membrana es cubierta por un revestimiento plástico negro, que repele la luz y evita la acumulación de calor. La cámara de prendimiento presenta una humedad relativa de 85-95% y temperatura de 20 a 28 °C (Geng et al., 2014; Hernández-González, Sahagún, Espinosa, Colinas y Rodríguez, 2014; Peralta-Manjarrez et al., 2016; Aslam et al., 2020; Grimaldo-Juárez, Suárez, Vargas, Carrasco y Morales, 2020).

El procedimiento de prendimiento y aclimatación duró ocho días y se llevó a cabo de la siguiente forma: los primeros tres días se humedecía cada dos horas la membrana transparente. Durante el cuarto día se levantó un lado de la cubierta plástica oscura para que la planta se fuera adaptando a la luz solar. El quinto día se realizó perforaciones en la membrana para permitir la adaptación de la planta a la pérdida de humedad. Durante el sexto día se realizaron mayor número de perforaciones a la membrana para promover la mejor ventilación. En el séptimo día se procedió a levantar el otro lado, de la cubierta oscura y a realizar más perforaciones. El octavo día se realizaron más perforaciones. El noveno día se sacaron de la cámara.

### Establecimiento del Cultivo y Diseño Experimental

El diseño experimental empleado fue un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2 × 2 × 2). El primer factor fue la planta (con y sin injerto). El segundo factor el sustrato (peat moss y perlita con una proporción

75:25 respectivamente y en suelo). El tercer factor el régimen hídrico (riego óptimo 100% y un riego deficitario al 75%), el cual se determinó con un tensiómetro para cada sitio de anclaje. Se manejaron tensiones de 20 centibares reduciéndolo a 14 centibares utilizando el volumen de agua requerido como óptimo y a éste se le restaba un 25% integrando 8 tratamientos constituidos de la siguiente manera: (T1) planta sin injerto en suelo con riego óptimo, (T2) planta sin injerto en suelo con riego deficitario, (T3) planta sin injerto en sustrato con riego óptimo, (T4) planta sin injerto en sustrato con riego deficitario, (T5) planta con injerto en suelo con riego deficitario, (T6) planta injertada en suelo con riego deficitario, (T7) planta con injerto en sustrato con riego óptimo y (T8) planta con injerto en sustrato con riego deficitario. Se realizaron riegos diarios que oscilaron entre 1 a 5 litros. Durante el ciclo de cultivo, se utilizó como nutrición mineral la solución Steiner (Steiner, 1961). Fue aplicada de acuerdo con la fase fenológica en que se encontraba el cultivo. En etapa de crecimiento al 25%, etapa vegetativa 50%, floración, amarre y cuajado de fruto al 75% y para llenado de fruto fue 100%. Se mantuvo la conductividad eléctrica según el caso de la solución nutritiva, así como un pH de 6.5, manejando el cultivo a un tallo y podando sus hojas después de cada cosecha.

## Variables Evaluadas

**Crecimiento del cultivo.** La toma de datos se realizó cada 8 días, se evaluaron las siguientes variables:

**Altura de planta.** Se realizó con una cinta métrica Truper FH-3M en escala de centímetros (cm) realizando la medición desde los cotiledones de la planta hasta el ápice de la misma.

**Diámetro basal.** Se realizó con un vernier marca Steren con escala en milímetros (mm) tomando la medición a la altura de los cotiledones.

**Número de hojas.** Se cuantificaron el número total de hojas.

**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 cinco plantas por tratamiento, tomando una lectura por planta en hojas adultas de la guía principal que se encontraban totalmente expandidas y con la misma orientación. Lo anterior en un horario de 12:00 a 14:00 h, cuando la radiación directa era máxima, los datos obtenidos se reportaron en milimoles por metro cuadrado por segundo ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

**Biomasa.** Los datos de peso seco de la planta se obtuvieron al final del cultivo luego de separar las hojas, el tallo y la raíz, colocándolos en bolsas de papel marcadas y pesando en una balanza analítica marca OHAUS CS con capacidad 5000 g. Se deshidrataron en horno de secado marca Linderberg/blue modelo GO1350C-1 a 80°C por 72 horas se obtuvo la biomasa seca.

**Peso seco.** Se pesó las hojas, tallo y raíz en la balanza analítica y los datos se registraron en gramos.

**Peso seco total de la planta.** Es la sumatoria de todo el peso seco de hojas, tallo y raíz siendo el peso registrado en gramos.

**Biomasa diaria acumulada.** Es el peso total de gramos por planta fue dividida entre el número de días que duro el establecimiento de la investigación.

**Producción y rendimiento.** Número de frutos cosechados: Posterior al corte de frutos listos para cosecha estos se cuantificaron por planta y por tratamientos.

**Peso de frutos.** Se promedió el peso en gramos de 14 frutos de cada tratamiento en una balanza digital modelo spx2202 de la marca Ohaus.

**Rendimiento.** Se pesaron los frutos ya cosechados en gramos por planta y estos se extrapolaron a hectárea en  $\text{Mg ha}^{-1}$  (considerando una densidad de plantación de 2.7 plantas por  $\text{m}^2$ ).

**Diámetro ecuatorial.** Se midieron 14 frutos por tratamiento en milímetros (mm) con un vernier marca Steren.

**Diámetro polar.** Se midieron 14 frutos por tratamiento en centímetros (cm) con un flexómetro Truper FH-3M.

## Análisis Estadístico

A los datos de las variables mencionadas se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) utilizando el software Infostat 2020 (Di Rienzo, *et al.*, 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento del Cultivo

Para el cultivo de pepino en suelo con los dos regímenes de riego, el injertado tuvo un aumento en altura de planta de 11.4 y 14.77% respectivamente sobre los cultivos sin injerto (Cuadro 1), mientras que los cultivos en sustrato no presentaron diferencia significativa para esta variable. En cuanto a los medios de cultivos, el

crecimiento fue superior en sustrato que en suelo. Se observó que en las plantas injertadas con riego óptimo en sustrato aumentó 16.6% sobre el cultivado en suelo, de igual manera sucediendo para los de riego deficitario donde el medio de sustrato superó al de suelo 22.92%. Por otro lado, para el cultivo sin injerto con los dos regímenes de riego óptimo y deficitario los cultivados en suelo fueron inferiores 18.95 y 29.16% respectivamente, a los cultivos en sustrato, destacando también que el volumen de agua afectó a esta variable siendo mayores los de riego óptimo que los de riego deficitario.

En la variable de diámetro basal, en el Cuadro 1 se puede observar que en el cultivo en suelo con riego óptimo el injertado fue 15.2% mayor al cultivo sin injerto; sin embargo, también se observaron diferencias significativas entre los medios cultivo de las plantas sin injerto y con injerto con riego óptimo, en donde los cultivados en sustrato aumentaron el diámetro basal sobre los cultivados en suelo 51.82 y 28.93% respectivamente, ocurriendo lo mismo con riego deficitarios los cuales aumentaron 39.83 y 22.99% respectivamente sobre los cultivados en suelo.

En el número de hojas (Cuadro 1) se pudo observar que en el cultivo en sustrato con riego óptimo el de injerto fue superior 32.11% al cultivo sin injerto, cabe mencionar que a pesar de que en el cultivo injertado en sustrato con riego deficitario comparten una semejanza estadística los resultados mostraron que el número de hojas fue superior en 16.58% sobre el cultivo sin injerto; así mismo, se observa que el injertado con riego óptimo el de sustrato fue superior sobre el de suelo 26.87%, así mismo, con riego deficitario el incremento fue 18.31% superior que el cultivo en suelo.

**Cuadro 1. Efecto de tensión hídrica en plantas de pepino injertado cultivado en suelo y sustrato sobre el crecimiento vegetal.**  
**Table 1. Effect of water stress in grafted cucumber plants grown in soil and substrate on plant growth.**

Tratamiento	Variables de crecimiento				
	Medio de cultivo	Riego	Altura de planta cm	Diámetro basal mm	Número de hojas
Sin injerto	Suelo	Óptimo	245.40 c	15.90c	40.80bc
Con injerto	Suelo	Óptimo	273.40 b	18.32b	45.40bc
Sin injerto	Suelo	Deficitario	209.80 d	14.46c	36.60c
Con injerto	Suelo	Deficitario	240.80 c	15.48c	40.40bc
Sin injerto	Sustrato	Óptimo	302.80 a	24.14a	43.60bc
Con injerto	Sustrato	Óptimo	318.80 a	23.62a	57.60a
Sin injerto	Sustrato	Deficitario	296.20 ab	20.22b	41.00bc
Con injerto	Sustrato	Deficitario	296.00 ab	19.04b	47.80b
Planta			**	ns	**
Sustrato			***	***	**
Riego			**	***	**
Planta × sustrato			ns	*	ns
Planta × riego			ns	ns	ns
Sustrato × riego			ns	ns	ns
Planta × sustrato × Riego			ns	ns	ns
Error			392.01	2.96	38.61
CV			7.26	9.10	14.07

Prueba de comparación de medias de Duncan. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV= coeficiente de variación. Misma letra no hay diferencia estadística.

Duncan's mean comparison test. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV= coefficient of variation. Same letter no statistical difference.

Los resultados anteriores sugieren que la variación en la expresión fenotípica se presenta como respuesta al ambiente en el que se encuentra la planta (Naegele y Wehner, 2016). Siendo el ahorro de energía y reducción de transpiración influenciado por la sensibilidad que la raíz presenta, la cual envía una señal para el cierre estomático, por medio del ácido abscísico bajo estrés abiótico (Niu *et al.*, 2019). Para las variables de crecimiento, así como las de número de hojas el punto de anclaje es de gran importancia, puesto que si tiene mejor retención de humedad y porosidad la planta puede tomar más fácilmente los nutrientes (Meneses-Fernández y Quesada, 2018). El crecimiento vegetativo es mayor en injertos por la vigorosidad del área de la rizosfera (Guan, Haseman y Nowaskie, 2020). Dicho crecimiento también es enriquecido por el contenido mineral y de agua, donde el injerto favorece la absorción y traslocación de estos recursos (Farhadi, Aroei, Nemat, Salehi y Giuffrida, 2016; Omar y El-hamahmy, 2019).

## Conductancia Estomática

Para la conductancia estomática en el Cuadro 2 se observó diferencia estadística entre los tratamientos, en los que, de las plantas injertadas con un régimen de riego óptimo cultivadas en sustrato registraron 29.23% mayor conductancia que las cultivadas en suelo, mientras que en el cultivo injertado con riego deficitario el de sustrato fue 25.21 % mayor que en suelo.

**Cuadro 2. Efecto de tensión hídrica en plantas de pepino injertado cultivado en suelo y sustrato sobre la conductancia estomática.**  
**Table 2. Effect of water stress in grafted cucumber plants grown in soil and substrate on stomatal conductance.**

Tratamiento	Variable		
Planta	Medio de cultivo	Riego	Conductancia estomática
			mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Sin injerto	Suelo	Óptimo	619.63 ab
Con injerto	Suelo	Óptimo	495.30 cde
Sin injerto	Suelo	Deficitario	467.59 de
Con injerto	Suelo	Deficitario	439.20 e
Sin injerto	Sustrato	Óptimo	620.74a b
Con injerto	Sustrato	Óptimo	640.08a
Sin injerto	Sustrato	Deficitario	546.09 bcd
Con injerto	Sustrato	Deficitario	549.96 bc
Planta			ns
Sustrato			**
Riego			***
Planta*Sustrato			*
Planta*Riego			ns
Sustrato*Riego			ns
Planta*Sustrato*Riego			ns
Error			3443.00
CV			10.72

Prueba de comparación de medias de Duncan. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV = coeficiente de variación. Misma letra no hay diferencia estadística.

Duncan's mean comparison test. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV = coefficient of variation. Same letter no statistical difference.

La transpiración también se ve afectada por los factores ambientales los cuales pueden incrementar o disminuir la misma (Naizaque, García, Fischer y Melgarejo, 2017). Los encargados de esto, son las estomas los cuales realizan el intercambio gaseoso y con ello también la transpiración del cultivo lo cual crea diferencias significativas (Peralta-Manjarrez *et al.*, 2016). Sumado a lo anterior, la acumulación y señalización del ABA es dependiente del régimen hídrico, este envía señales de apertura y cierre estomático generando un ahorro de energía en la planta, maximizando el uso de agua y asimilación de CO<sub>2</sub> (Liu *et al.*, 2016), estableciendo una transpiración de acuerdo a las necesidades de la planta; este rol de los estomas también media por el estrés oxidativo de la planta, ya que al aumentar los niveles de estrés la planta envía la señal con el ABA para el cierre estomático, usualmente las plantas que más gastan energía son las plantas sin injerto (Liu *et al.*, 2016). Otro factor limitante es la presión osmótica, que afecta a la apertura y cierre estomático, misma que es mayormente tolerable por las plantas injertadas por la vigorosidad radicular que presenta (Niu *et al.*, 2019).

El área radicular injertada es un factor favorable para condiciones adversas, envía señales rápidamente de ABA para que el cultivo se adapte fácilmente y ahorre energía (Niu *et al.*, 2019), adecuando el flujo de CO<sub>2</sub> y la transpiración de las plantas a las circunstancias presentes (Wang, Men, Gao y Tian, 2017). La producción de los cultivos depende de una adecuada asimilación de CO<sub>2</sub> sujeta a la apertura y cierre estomático, así como al uso eficiente del agua (Liu *et al.*, 2016). Esto sugiere que la asimilación de CO<sub>2</sub> es mejorada y se torna eficiente por el uso de injerto, mejorando el transporte de electrones en la planta, que da como resultado mayor actividad fotosintética. (Freitas, Roldán, Macedo y Mello, 2021). Por lo que, las características que presentan los frutos son un efecto del ambiente al cual el cultivo fue sometido teniendo una respuesta genotípica expresada en el fenotipo (Naegele y Wehner, 2016).

## Biomasa

En el Cuadro 3 se muestra que en el peso seco de las hojas si hubo diferencia estadística entre los tratamientos, en donde se observa que en el cultivo sin y con injerto y con riego óptimo el sembrado en sustrato fue superior al cultivo en suelo 43.02 y 67.33% respectivamente, lo mismo ocurrió con el cultivo sin y con injerto con riego deficitario en sustrato sobre el cultivo en suelo, el cual aumentó 32.96 y 53.82% respectivamente.

El peso seco de tallo (Cuadro 3) de las plantas injertadas con riego óptimo y deficitario, los tratamientos cultivados en sustrato fueron mayores a los de suelo 63.94 y 53.02% respectivamente, en los cultivos sin injerto y con riego deficitario, los de sustrato presentaron 42.66% mayor peso seco de tallo en relación con los de suelo.

En peso de raíz (Cuadro 3) se muestra diferencia significativa en el factor planta, donde se observa que en el cultivo injertado con riego óptimo y deficitario el de sustrato aumentó su peso 105.6% y 120.5% respectivamente sobre el cultivo en suelo, por lo que el cultivo en sustrato tuvo mejor desarrollo radicular que los cultivos en suelo.

En cuanto al peso seco total y biomasa diaria acumulada (Cuadro 3) presentaron el mismo comportamiento estadístico, dentro de cual se observó diferencia significativa en el factor planta. En el cultivo en suelo y riego óptimo, el peso seco total de los injertados fue mayor 3.77% y en biomasa 3.33% sobre el cultivo sin injerto; en el cultivo en sustrato con riego deficitario, el de injerto fue superior al cultivo sin injerto 56.17% en peso seco total y 56.89% en biomasa. En el cultivo sin injerto y con riego óptimo el de sustrato fue 50% mayor que el cultivo en suelo en ambas variables. Así mismo, para el cultivo sin injerto con riego deficitario, en sustrato fue mayor que en suelo, en 39.22% en peso seco total y 40% en biomasa.

Dado que la biomasa responde a capacidad de fotosintética, ésta repercute en que la planta tenga un aumento o disminución de materia seca (Velasco-Alvarado *et al.*, 2016). Para que la capacidad fotosintética sea eficiente requiere, un aporte nutricional y de agua los cuales deben ser trasladados de forma eficiente, por lo que los resultados obtenidos sugieren que el aumento de materia seca es dado por el efecto del uso de injertos (Hernández-González *et al.*, 2014), al acumular mayor biomasa por un aumento en la arquitectura de la planta (Miao *et al.*, 2021). Esta acumulación de biomasa es influenciada por la adecuada asimilación de CO<sub>2</sub> y la disminución en el estrés oxidativo, influyendo sobre la transpiración que a su vez se ve mediada por los estomas y el ABA en la planta e impacta de forma positiva a la acumulación de biomasa para plantas en zonas áridas y semiáridas (Liu *et al.*, 2016). En zonas con baja disponibilidad de agua que crea un estrés hídrico e incremento de la presión osmótica reduciendo la captación de agua y nutrientes, lo que disminuye la acumulación de biomasa (Bikdeloo *et al.*, 2021).

**Cuadro 3. Efecto de tensión hídrica en plantas de pepino injertado cultivado en suelo y sustrato sobre la Biomasa.**  
**Table 3. Effect of water stress on grafted cucumber plants grown in soil and substrate on Biomass.**

Tratamiento	Biomasa							
	Planta	Medio de cultivo	Riego	Peso seco Hojas	Peso seco Tallo	Peso seco Raíz	Peso seco total	Biomasa diaria acumulada
----- g -----								
Sin injerto	Suelo	Óptimo	50.57 c	12.96 c	1.84 de	65.38 d	0.60 d	
Con injerto	Suelo	Óptimo	49.23 c	15.42 c	3.20 cd	67.85 cd	0.62 cd	
Sin injerto	Suelo	Deficitario	45.63 c	13.34 c	1.58 e	60.55 d	0.55 d	
Con injerto	Suelo	Deficitario	46.19 c	14.56 c	2.43 de	63.19 d	0.58 d	
Sin injerto	Sustrato	Óptimo	72.33 ab	21.88 ab	4.02 bc	98.22 ab	0.90 ab	
Con injerto	Sustrato	Óptimo	82.38 a	25.28 a	6.58 a	114.24a	1.05 a	
Sin injerto	Sustrato	Deficitario	60.67 bc	20.99 b	2.65 cde	84.30 bc	0.77 bc	
Con injerto	Sustrato	Deficitario	71.05 ab	22.28 ab	5.36 ab	98.69 ab	0.91 ab	
Planta			Ns	*	***	*	*	
Sustrato			***	***	***	***	***	
Riego			*	ns	**	*	*	
Planta*Sustrato			Ns	ns	*	ns	ns	
Planta*Riego			Ns	ns	ns	ns	ns	
Sustrato*Riego			Ns	ns	ns	ns	ns	
Planta*Sustrato*Riego			Ns	ns	ns	ns	ns	
Error			133.11	7.33	1.25	164.99	0.01	
CV			19.31	14.76	32.3	15.75	15.76	

Prueba de comparación de medias de Duncan. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV= coeficiente de variación. Misma letra no hay diferencia estadística.

Duncan's mean comparison test. ns = ( $P > 0.05$ ), \* = ( $P \leq 0.05$ ), \*\* = ( $P \leq 0.01$ ), \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ), CV= coefficient of variation. Same letter no statistical difference.

## Producción y Rendimiento

En el Cuadro 4 se muestra la diferencia estadística entre injerto y sin injerto, así mismo se observa que los cultivos en sustrato aumentaron el número de frutos, de las plantas injertadas y con riego óptimo, las cultivadas en sustrato presentaron 78.9% mayor número de frutos sobre las cultivadas en suelo; la misma respuesta se obtuvo con injerto y riego deficitario, en sustrato fue superior 53.3% en comparación con el cultivado en sustrato. En los cultivos sin injerto con riego óptimo los de sustrato tuvieron 120% mayor número de frutos sobre el cultivo en suelo, así mismo con riego deficitario el cultivo sin injerto en suelo fue menor 135% en comparación al cultivado en sustrato.

En peso del fruto (Cuadro 4) del cultivo injertado en sustrato con riego deficitario presentó un incremento de 31.48% en relación con el cultivo sin injerto con el mismo medio de cultivo y régimen de riego, mientras que el cultivo injertado en suelo con riego óptimo es mayor 23.92% que el cultivo sin injerto con el mismo medio de cultivo y régimen de riego. En la interacción de los factores el peso de fruto de los cultivos injertados en sustrato fue 37.57% superior a los cultivos en suelo con riego óptimo.

En diámetro de fruto (Cuadro 4) se observó diferencia estadística en el cultivo injertado en suelo con riego óptimo con un aumento de 8.6% sobre el cultivo sin injerto en el mismo medio de cultivo y régimen de riego. El cultivo en sustrato injertado con riego deficitario presentó un aumento de 13.2% sobre el cultivo sin injerto en el mismo medio de cultivo y régimen de riego; contrario al cultivado en suelo que disminuyó 9.4%. En cultivos injertados en sustrato con riego óptimo el diámetro de fruto fue 13.54% mayor que el cultivo en suelo, lo mismo ocurrió para el cultivo injertado con riego deficitario en sustrato el diámetro fue mayor 18.07% sobre el cultivo en suelo.

En el Cuadro 4 se observó que en las plantas injertadas cultivadas en sustrato con riego óptimo la longitud del fruto incremento 8.86% en relación con el cultivo sin injerto. En el cultivo injertado en sustrato con riego deficitario la longitud del fruto fue 8.5% mayor que el cultivo sin injerto, mientras que, en el cultivo en suelo fue 6.6% mayor que el cultivo sin injerto, De acuerdo a la interacción de los factores, el cultivo injertado en suelo con riego óptimo fue superior al de suelo 11.27%.

Para los rendimientos de fruto por planta (Cuadro 4) se presentó una diferencia significativa entre cultivo suelo y sustrato, donde se observó que el rendimiento del cultivo con injerto y riego óptimo en sustrato fue 146.2% mayor que en suelo, lo mismo ocurrió con riego deficitario donde se observó que en sustrato el rendimiento aumentó 262.5% sobre el de suelo. El cultivo sin injerto fue 237.5% superior en sustrato con riego óptimo y 217.5% con riego deficitario que en suelo.

En base a lo anterior se observa que los cultivos con injerto en sustrato fueron superiores a los de suelo, aunque en el factor volumen de agua fueron estadísticamente iguales entre los del mismo punto de anclaje. La longitud del fruto y los tamaños aceptados para exportación son pequeño de 28.5 a 30.5 cm, medianos de 30.6 a 33 cm, grandes 33.1 a 35.5 cm y extra grande 35.6 o más (Meneses-Fernández y Quesada, 2018). La mejora del tamaño, número de frutos y rendimientos es atribuido a la amplia capacidad de búsqueda de recursos por el área de la rizosfera la cual trasloca mejor agua y nutrientes (Hernández-González *et al.*, 2014). De acuerdo con esto, los resultados obtenidos sugieren que el incremento del rendimiento, tamaño y número de frutos es influido por el injerto, el cual contribuye a una mayor asimilación de agua y nutrientes por la zona radicular y su capacidad amplia de exploración traslocando eficientemente estos recursos (Omar y El-hamamah, 2019).

**Cuadro 4. Efecto de tensión hídrica en plantas de pepino injertado cultivado en suelo y sustrato sobre la producción y rendimiento de fruto. Table 4. Effect of water stress in grafted cucumber plants grown in soil and substrate on production and fruit yield.**

Tratamiento	Variables producción						
	Medio de cultivo	Riego	Numero de frutos por planta	Peso de fruto	Diámetro de fruto	Longitud de fruto	Rendimiento de frutos
Planta				g	mm	cm	Mg ha <sup>-1</sup>
Sin injerto	Suelo	Óptimo	3.00 b	466.57 cd	45.39 cd	34.50 bc	37.79 b
Con injerto	Suelo	Óptimo	3.80 b	578.21 bc	49.33 b	35.11 bc	59.32 b
Sin injerto	Suelo	Deficitario	2.80 b	403.79 d	42.55 d	31.93 d	30.53 b
Con injerto	Suelo	Deficitario	3.00 b	499.93 cd	46.58 bc	34.04 bc	40.49 b
Sin injerto	Sustrato	Óptimo	6.60 a	715.86 ab	54.05 a	35.89 b	127.57 a
Con injerto	Sustrato	Óptimo	6.80 a	795.50 a	56.01 a	39.07 a	146.05 a
Sin injerto	Sustrato	Deficitario	6.60 a	544.07 cd	48.55 bc	33.04 cd	96.95 a
Con injerto	Sustrato	Deficitario	7.60 a	715.36 ab	55.00 a	35.86 b	146.79 a
Planta			ns	**	***	**	*
Sustrato			***	**	***	**	***
Riego			ns	***	**	***	ns
Planta*Sustrato			ns	ns	ns	ns	ns
Planta*Riego			ns	ns	ns	ns	ns
Sustrato*Riego			ns	ns	ns	ns	ns
Planta*Sustrato*Riego			ns	ns	ns	ns	ns
Error			2.44	48.94	21.28	8.69	17.6
CV			31.07	23.88	9.29	8.44	29.51

Prueba de comparación de medias de Duncan. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV= Coeficiente de variación. Misma letra no hay diferencia estadística

Duncan's mean comparison test. ns = ( $P > 0.05$ ); \* = ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = ( $P \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $P \leq 0.001$ ); CV = coefficient of variation. Same letter no statistical difference.

## CONCLUSIONES

El cultivo injertado en sustrato con riego óptimo tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas. La tasa de transpiración disminuye en los cultivos en suelo con riego deficitario y aumenta en cultivo en sustrato con riego óptimo.

El injerto en sustrato con riego óptimo tiene tendencia a un aumento en la acumulación de biomasa, lo que facilita una mayor producción de fotoasimilados en la planta utilizados para mejorar el tamaño y rendimiento de los frutos.

Para las variables de fruto esto se vio más influenciado por el lugar donde fue trasplantado aumentado su producción en sustrato esto independiente al injerto mejorando tamaño y rendimiento.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

No aplicable.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Redacción, preparación e investigación del borrador original: J.T.F.L. Metodología y recursos: M.C.D.F. y A.S.R. Redacción, revisión y edición: R.M.P.M., M.C.D.F. y A.B.M.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a CONAHCYT por la beca otorgada a J.T.F.L. para la realización de estudios de Maestría.

## LITERATURA CITADA

- Aslam, W., Shahzad Noor, R., Hussain, F., Ameen, M., Ullah, S., & Chen, H. (2020). Evaluating morphological growth, yield, and postharvest fruit quality of cucumber (*Cucumis Sativus* L.) Grafted on Cucurbitaceous Rootstocks. *Agriculture*, 10(101),1-19. <https://dx.doi.org/10.3390/agriculture10040101>
- Bikdeloo, M., Colla, G., Roupshael, Y., Hassandokht, M. R., Soltani, F., Salehi, R., ... & Cardarelli, M. (2021). Morphological and Physio-Biochemical Responses of Watermelon Grafted onto Rootstocks of Wild Watermelon [*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad] and Commercial Interspecific Cucurbita Hybrid to Drought Stress. *Horticulturae*, 7, 1-12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100359>
- Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560.
- Colla, G., Fiorillo, A., Cardarelli, M., & Roupshael, Y. (2014). Grafting to improve abiotic stress tolerance of fruit vegetables. *Acta Horticulturae*, 1041, 119-125. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1041.12>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. A., Tablada, E. M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020*. software estadístico. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.
- Farhadi, A., Aroei, H., Nemati, H., Salehi, R., & Giuffrida, F. (2016). The Effectiveness of Different Rootstocks for Improving Yield and growth of cucumber cultivated hydroponically in a greenhouse. *Horticulturae*, 2(1), 1-7. <https://doi.org/10.3390/horticulturae2010001>

- Freitas, I., Roldán, G., Macedo, A., & Mello, S. (2021). The responses of photosynthesis, fruit yield and quality of mini-cucumber to LED-interlighting and grafting. *Horticultura Brasileira*, 39(1), 86-93. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-20210113>
- García-Cruz, F. (1990). Injerto en cuña. Un nuevo método de injerto para cucurbitáceas. *Horticultura*, 56, 81-90.
- Geng, S., Yan, D., Zhang, T., Weng, B., Zhang, Z., & Qin, T. (2014). Effects of drought stress on agriculture soil. *Natural Hazards*, 75(2), 1997-2011. <http://doi.org/10.1007/s11069-014-1409-8>
- Grimaldo-Juárez, O., Suárez-Hernández, Á., Vargas-Hernández, E., Carrasco-Peña, L., & Morales-Zamorano, L. (2020). Concentración de nutrientes en hoja y calidad de pepino en plantas injertadas bajo condiciones salinas. *Idesia (Arica)*, 38(2), 41-48.
- Guan, W., Haseman, D., & Nowaskie, D. (2020). Rootstock Evaluation for Grafted Cucumbers Grown in High Tunnels: Yield and Plant Growth. *Hortscience*, 56(6), 914-919. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14867-20>
- Guisolfi, L., Lo Monaco-Vieira, P. A., Ramalho-Haddade, I., Krause, M., Merlo-Meneghelli, L., & Almeida, K. (2018). Production of Cucumber Seedlings in Alternative Substrates with Different Compositions of Agricultural Residues. *Revista Caatinga*, 31(3), 791-797. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n330rc>
- Hernández-González, Z., Sahagún-Castellanos, J., Espinosa-Robles, P., Colinas-León, M., & Rodríguez-Pérez, J. (2014). Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(1), 41-47.
- Hochmuth, R. C. (2018). *Greenhouse Cucumber Production-Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook*. Florida, USA: University of Florida. <https://doi.org/10.32473/edis-cv268-2001>
- Kopitke, P., Menzies, N., Wang, P., McKenna, B., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003>
- Liu, S., Li, H., Lv, X., Ahammed, G. J., Xia, X., Zhou, J., ... & Zhou, Y. (2016). Grafting cucumber onto luffa improves drought tolerance by increasing ABA biosynthesis and sensitivity. *Scientific Reports*, 6(1), 1-14. <http://doi.org/10.1038/srep20212>
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Morales-Maldonado, E., & Rivera, O. Á. (2015). Estrés por déficit hídrico en plantas: una revisión. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 31(1), 61-69.
- Lv, C., Li, F., Ai, X., & Bi, H. (2022). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> participates in ABA regulation of grafting-induced chilling tolerance in cucumber. *Plant Cell Reports*, 41, 115-130. <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02841-6>
- Maurya, D., Pandey, A. K., Kumar, V., Dubey, S., & Prakash, V. (2019). Grafting techniques in vegetable crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1664-1672.
- Meneses-Fernández, C., & Quesada-Roldán, G. (2018). Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 235-250. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.28738>
- Miao, L., Li, Q., Sun, T. S., Chai, S., Wang, C., Bai, L., ... & Yu, X. (2021). Sugars promote graft union development in the heterograft of cucumber onto pumpkin. *Horticulture Research*, 8, 1-17. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00580-5>
- Naegele, R. P., & Wehner, T. (2016). Genetic Resources of Cucumber. *Plant Genetics and Genomics*, 20, 61-86. [https://doi.org/10.1007/7397\\_2016\\_15](https://doi.org/10.1007/7397_2016_15)
- Naizaque, J., García, G., Fischer, G., & Melgarejo, L. M. (2014). Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en Feijoa (*Acca sellowiana* [o. Berg] Burret). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 115-121.
- Niu, M., Sun, S., Nawaz, M. A., Sun, J., Cao, H., Lu, J., ... & Bie, Z. (2019). Grafting cucumber onto pumpkin induced early stomatal closure by increasing ABA sensitivity under salinity conditions. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1290. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01290>
- Omar, G. F., & El-hamahmy, M. A. M. (2019). Effect of rootstocks on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *Hortscience Journal of Suez Canal University*, 8(1), 1-10.
- Peralta-Manjarrez, R. M., Cabrera-De la Fuente, M., Morelos-Moreno, A., Mendoza, A. B., Ramírez-Godina, F., & Fuentes, J. A. G. (2016). Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3453-3463.
- Pérez-Zamora, O., & Cigales-Rivero, M. (2001). Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe. *Agrociencia*, 35(5), 479-488.
- Petre, S. N., Pele, M., & Draghici, E. M. (2015). Influence of perlite and jiffy substrates on cucumber fruit productivity and quality. *Journal of Agricultural Science*, 7(8), 1-12. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n8p185>
- Rivero, R. M., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2003). Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 70-74.
- Rodríguez, C. (2002). *Residuos ganaderos Cursos de Introducción a la Producción Animal*. Argentina: UNRC.
- Rouphael, Y., Kyriacou, M., Petropoulos, S., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275-289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., & Venema, J. H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016>
- Silva, C. B., de Moraes, M. A. F. D., & Molin, J. P. (2011). Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture*, 12, 67-81. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>
- Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15, 134-154.
- Tarango-Arámbula, L. A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2), 17-21.
- Velasco-Alvarado, M. D. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J., & Lobato-Ortiz, R. (2016). Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado. *Interciencia*, 41(10), 703-708.
- Wang, Q., Men, L., Gao, L., & Tian, Y. (2017). Effect of grafting and gypsum application on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth under saline water irrigation. *Agricultural Water Management*, 188, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.003>
- Yang, T., Siddique, K. H., & Liu, K. (2020). Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Global Ecology and Conservation*, 23, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>