

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DEL INJERTO Y ESTRÉS SALINO SOBRE EL CONTENIDO  
NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE TOMATE.

**Tesis**

Que presenta ISRAEL LEON CALVARIO

como requisito parcial para obtener el Grado de:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

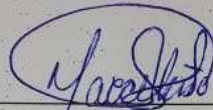
Saltillo, Coahuila

Agosto 2018

EFFECTOS DEL INJERTO Y ESTRÉS SALINO SOBRE EL CONTENIDO  
NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE TOMATE.

**Tesis**

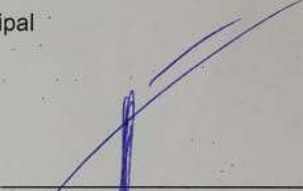
Elaborada por ISRAEL LEON CALVARIO como requisito parcial para obtener el  
grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión y aprobación  
del Comité de Asesoría



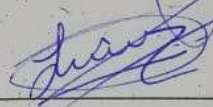
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Asesor Principal



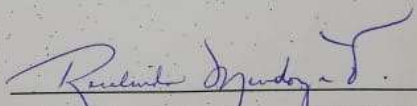
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor



Dr. Antonio Juárez Maldonado  
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Subdirectora de Postgrado  
UAAAN

Saltillo, Coahuila

SEPTIEMBRE 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A Dios.***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

### **A la UAAAN**

*Por abrirme sus puertas para poder lograr una meta más en la vida y darme la dicha de haber conocido personas muy especiales*

### ***A mis amigos.***

*Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Daniela, Julia, Yolanda, Abraham, Francely, Eliseo, Iván, Marco, Rafa, Leo, Uldarico Tommy y Mony por haberme ayudado a realizar este trabajo.*

### ***A mis maestros.***

*Al Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, al Dr. Antonio Juárez Maldonado y al Dr. Alberto Sandoval Rangel por su apoyo en este trabajo y por el tiempo compartido para impulsar nuestra formación profesional.*

## **DEDICATORIAS**

### ***A mi madre Guadalupe.***

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

### ***A mi padre Jesús.***

*Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*

### ***Mis hermanos***

*Irene, Alicia, Irma, Jesús y Ana Rosa, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Importancia del Tomate.....	3
Mundial.....	3
México.....	3
Estrés Oxidativo.....	3
Estrés Salino.....	4
Fitoquímicos Antioxidantes.....	4
Acido Ascorbico en Tomate (vitamina C).....	4
Polifenoles.....	5
Licopeno.....	5
Superóxido Dismutasa.....	5
Ascorbato Peroxidasa.....	6
Injertos en hortalizas.....	6
Recurso Agua.....	7
Cultivo Sin Suelo.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Descripción del Sitio Experimental y Material Vegetativo.....	8
Material Vegetal.....	8
Actividades para el Establecimiento del Experimento.....	8
Producción de la Plántula.....	8
Establecimiento del Cultivo.....	9
Manejo Nutricional.....	9
Variables de Respuesta.....	9

Crecimiento Semanal de Fruto.....	9
Número de Frutos y Rendimiento.....	10
Contenido de Sólidos Solubles Totales (SST).....	10
Contenido de Vitamina C.....	10
Extracción de Biomoléculas .....	11
Compuestos Fenólicos.....	11
Licopeno.....	11
Determinación de la concentración de proteínas .....	12
Superóxido dismutasa (SOD).....	12
Ascorbato Peroxidasa (APx) .....	12
Arreglo Experimental .....	13
Análisis estadístico .....	13
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>14</b>
Crecimiento Semanal del Fruto. ....	14
Altura de planta, diámetro basal del tallo, diámetro polar del fruto y diámetro ecuatorial del fruto. ....	18
Injerto .....	18
Concentración de NaCl .....	18
Interacción injerto-Salinidad .....	19
Número de Frutos, Rendimiento y SST .....	21
Injerto .....	21
Concentración de NaCl .....	22
Interacción injerto-concentración de NaCl.....	23
Vitamina C, Fenoles totales, Licopeno, SOD y CAT.....	25
Injerto .....	25
Concentración de NaCl .....	26
Interacción injerto-concentración de NaCl.....	28
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>32</b>

## LISTA DE FIGURAS

**Grafica 1.** Crecimiento sigmoideal del diámetro ecuatorial del fruto.....17

## INDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre Crecimiento semanal del diámetro ecuatorial del fruto.....16

**Cuadro 2.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre la altura de planta, diámetro basal del tallo, diámetro polar del fruto y diámetro ecuatorial del fruto.....20

**Cuadro 3.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre el rendimiento contenido de solidos solubles totales y peso de fruto.....23

**Cuadro 4.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre el contenido de antioxidantes y la actividad enzimática en frutos de tomate.....28



## RESUMEN

EFFECTO DEL INJERTO Y ESTRÉS SALINO SOBRE EL CONTENIDO  
NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE TOMATE.

POR

ISRAEL LEON CALVARIO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE —ASESOR—

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2018

El tomate es una de las hortalizas que más se consume en el mundo, de tal manera que lograr un aumento en la calidad nutracéutica tendrá un efecto positivo sobre la salud de los consumidores. En esta investigación se utilizaron plantas de tomate injertadas y no injertadas sometidas a cuatro diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 75 y 100mM) con la finalidad de aumentar el contenido de antioxidantes presentes en los frutos, sin afectar los rendimientos. El injerto tuvo efecto sobre el contenido de licopeno y la actividad de la enzima ascorbato peroxidasa (APx), mientras que las concentraciones de 50, 75 y 100 mM aumentaron el contenido de vitamina C y la actividad de SOD y APx pero afectaron el contenido de licopeno así como los rendimientos. Los frutos en el tratamiento de injerto-100mM mostraron mayores contenidos de vitamina C y de fenoles totales. El licopeno fue mayor en los tratamientos que no se encontraban en condiciones salinas. La actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) se vio mayormente beneficiada por el tratamiento sin injerto-100mM y la actividad de APx mejoro por el tratamiento sin injerto-50mM. Los rendimientos más altos se obtuvieron en tratamiento injerto-0mM.

**Palabras claves:** Antioxidantes, Enzimas antioxidantes, *Solanum lycopersicum*

**ABSTRACT**

EFFECT OF GRAFT AND SALINE STRESS ON THE NUTRACEUTICAL  
CONTENT IN TOMATO FRUITS.

BY

ISRAEL LEON CALVARIO

MASTER'S IN SCIENCE IN HORTICULTURE  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE -ASESOR-

SALTILLO, COAHUILA

AUGUST 2018

The tomato is one of the most consumed vegetables in the world, in such a way that achieving an increase in the nutraceutical quality will have a positive effect on the health of the consumers. In this research, grafted and non-grafted tomato plants subjected to four different concentrations of NaCl (0, 50, 75 and 100mM) were used in order to increase the antioxidant content present in the fruits, without affecting the yields. The graft had an effect on the lycopene content and the activity of the enzyme ascorbate peroxidase (APx), while the concentrations of 50, 75 and 100 mM increased the vitamin C content and the activity of SOD and APx but affected the content of lycopene as well as yields. The fruits in the treatment of graft-100mM showed higher contents of vitamin C and total phenols. Lycopene was higher in treatments that were not in saline conditions. The activity of the enzyme superoxide dismutase (SOD) was mainly benefited by the treatment without graft-100mM and the activity of APx improved by the treatment without graft-50mM. The highest yields were obtained in graft-0mM treatment.

**Keywords:** Antioxidants, Antioxidant enzymes, *Solanum lycopersicum*

## INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas más ampliamente consumidas en el mundo (Bashir *et al.*, 2017) y fuente importante de antioxidantes como compuestos fenólicos, vitamina C, licopeno entre otros, los cuales tienen un efecto positivo sobre la salud humana (Giovanelli & Paradise, 2002). Se ha demostrado que una alta ingesta de estos antioxidantes se encuentra asociada con una menor incidencia de enfermedades cardiovasculares (Riboli & Norat, 2003), debido a que la función de los antioxidantes es el secuestro de las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Mittler *et al.*, 2004).

Las ROS se producen de manera continua como subproductos de algunas vías metabólicas que ocurren en diferentes organelos celulares como cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas principalmente (Navrot *et al.*, 2007) y son controlados de forma natural por los diferentes mecanismos antioxidantes, evitando de esta manera daños por toxicidad a proteínas ADN y lípidos (Chu *et al.*, 2016).

La primera línea de defensa antioxidante está conformada por antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos como la enzima superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT), la glutatión peroxidasa (GPx), así como los compuestos fenólicos (Ighodaro & Akinloye, 2017). Un aumento excesivo en la producción de ROS se ve inducido por diferentes tipos de estrés tanto biótico como abiótico. Como respuesta, las plantas disponen de un sistema antioxidante para protegerse del daño oxidativo provocado por las ROS lo que implica una mayor generación de antioxidantes tanto enzimáticos como no enzimáticos, y un equilibrio en la actividad de estos, la mayor o menor efectividad del sistema antioxidante depende de la especie vegetal y las condiciones ambientales (Khan & Panda, 2008).

Uno de los estreses más comunes para los cultivos es la salinidad que restringen los rendimientos en los sistemas productivos (Queiros *et al.*, 2011), debido al estrés osmótico, desequilibrio nutricional y toxicidad por algunos iones (Cambrollé *et al.*, 2011). Como respuesta a la producción continua de ROS como

subproductos del metabolismo celular en condiciones de alta salinidad, la planta se ve inducida a realizar diferentes cambios en las funciones fisiológicas, moleculares y metabólicas que les permitan adaptarse mejor en condiciones ambientales subóptimas mediante la inducción de sistemas antioxidantes y protegerse del daño que esto pueda causar (Apel & Hir, 2004).

Por otro lado el injerto, es una técnica que se ha empleado como alternativa para la producción de cultivos bajo diferentes condiciones de estrés. Inicialmente el uso de plantas injertadas surgió por la necesidad de disminuir los daños causados por las enfermedades del suelo (Ke & Saltveit, 1988), pero recientemente ha tomado múltiples enfoques como es la mejora en la absorción de nutrientes (Ahmedi *et al.*, 2007), tolerancia a altas y bajas temperaturas (Zhou *et al.*, 2007). También sugieren que el injerto ayuda a mejorar la tolerancia a la sal disminuyendo el estrés iónico y aumentando así la absorción de agua (Flores *et al.*, 2010). Por lo anterior el presente trabajo tiene por;

### **Objetivo General**

Inducir cambios en el rendimiento de las plantas y el sistema antioxidante de los frutos de tomate obtenidos mediante injerto y cultivados en medio salino.

### **Objetivos Específicos**

- Cuantificar la producción de biomasa total.
- Evaluar la calidad comercial y nutracéutica de los frutos al momento de la cosecha
- Estudiar el efecto de la salinidad y el injerto sobre el rendimiento del sistema producción.

### **Hipótesis**

La producción, calidad comercial y nutracéutica son afectados por el injerto y el nivel de salinidad.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del Tomate

#### Mundial

El tomate (*Solanum Lycopersicum*) es el segundo cultivo más importante después de la papa ya que representan más del 50% de la producción de hortalizas en todo el mundo. La producción mundial de tomate en el año 2016 fue de 177,042,359 millones de toneladas, siendo China el principal productor seguido por la India y E.U.A, México ocupó el décimo lugar en el ranking de producción mundial (FIRA, 2017)

#### México

El tomate es un cultivo muy importante para México, pues representa su principal producto de exportación superando las exportaciones de: aguacates, cítricos, mangos y plátanos. Su producción en el año 2016 fue de 3,349,154 de toneladas siendo el estado de Sinaloa con un 27% el principal productor seguido por San Luis Potosi, Michoacán y Baja California. Los principales tipos de tomates fueron Saladette con un 79.4% del total de la producción, el tomate bola con 17.2% y el tomate cherry con un 3.2. (FIRA 2017)

### Estrés Oxidativo

El estrés oxidativo es uno de los factores más importantes que causa daño a las plantas expuestas a muchos tipos de estrés abióticos, y en última instancia afecta el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas (Wang *et al.*, 2003). El peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ), el oxígeno singlete ( $^1O_2$ ) y los radicales hidroxilo ( $OH^{\bullet}$ ) actúan indiscriminadamente con casi todos los componentes básicos celulares (Ruyskensvelde *et al.*, 2018).

En situaciones de estrés extremo los radicales libres conducen un daño celular general, pero también tienen funciones que específicas pueden desencadenar eventos de señalización específicos que resultan en una alteración del

metabolismo celular hacia un estado protector para contrarrestar el ataque ambiental impuesto. (Meng *et al.*, 2017)

### **Estrés Salino**

El estrés salino conduce a una serie de cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares que afectan negativamente el crecimiento de las plantas y productividad (Wang *et al.*, 2003). La salinidad es más severa en regiones áridas y semiáridas del mundo caracterizadas por precipitaciones inadecuadas, altas temperaturas y evapotranspiración, la alta concentración de sal en el suelo puede afectar a las plantas debido a la presión iónica y al estrés osmótico (Kumar *et al.*, 2015)

La adaptación de la célula vegetal a una alta salinidad implica un ajuste osmótico y la compartimentación de iones tóxicos, mientras que la alta salinidad también induce la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS). La salinidad puede conducir a una producción mejorada de especies de oxígeno reactivo (ROS) en las plantas, debido a la interrupción de la homeostasis celular, causando daño a proteínas, ADN, lípidos, activación de la vía de muerte celular programada (PCD) y finalmente conduciendo a la muerte de los diferentes tejidos, estas ROS también estimulan la actividad enzimática (Ashraf & Foolad, 2007)

### **Fitoquímicos Antioxidantes**

#### **Ácido Ascórbico en Tomate (vitamina C)**

El ácido ascórbico o ascorbato (AsA) juega un papel importante en las plantas. Por ejemplo, está involucrado en la división celular y la síntesis de la pared celular y en la interacción de las plantas con el medio ambiente, los agentes patógenos y oxidantes (Gues *et al.*, 2012). En tomate, la vitamina C existe en dos formas solubles en agua, biológicamente activas: ascorbato (forma reducida) y ácido dehidroascórbico (forma oxidada). Ambas formas están presentes en todos los compartimentos celulares de los tejidos que experimentan crecimiento



y desarrollo activo, y la cantidad total de vitamina C oscila entre 8 y 40 mg 100 g<sup>-1</sup> entre las especies de tomate y los cultivares (Frei *et al.*, 2012)

### **Polifenoles**

Los polifenoles son una familia extensa de fitoquímicos con diversas funciones biológicas en las plantas, por ejemplo en respuesta a diversos factores de estrés bióticos o abióticos (Bertin & Génard, 2018). También son compuestos bioactivos conocidos por su potente actividad antioxidante, actividades hepatoprotectoras, hipoglucémicas, antivirales y protección cardiovascular, aunque solo se absorbe una pequeña fracción de los polifenoles ingeridos (Habauzit & Morand, 2012). Los tomates son una fuente importante de compuestos fenólicos, en su mayoría restringidos a su piel (98%) y al tejido placentario estos compuestos se sintetizan principalmente a partir de la fenilalanina producida por la vía del ácido shikímico (Slimestada & Verheulb, 2009).

### **Licopeno**

El carotenoide más abundante en la fruta de tomate es el licopeno 80-90% del total de carotenoides en el fruto maduro, la concentración total de carotenoides aumenta entre 10 y 50 veces durante la maduración de la fruta y los cambios de color externos más obvios del verde al rojo se asocian con la pérdida de clorofila y la acumulación de  $\beta$ -caroteno y licopeno (Fraser *et al.*, 1994). Además de ser el carotenoide con mayor potencial antioxidante, el licopeno también tiene la capacidad de modular varios eventos clave que son importantes en el contexto de enfermedades cardiovasculares y crónico degenerativas (Thies *et al.*, 2012)

### **Superóxido Dismutasa**

La maduración de la fruta es un proceso oxidativo en el cual se producen especies de oxígeno reactivo, incluyendo superóxido ( $O_2^-$ ), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y radicales hidroxilo (OH), estas juegan un papel importante en el proceso de maduración de la fruta (Zhang *et al.*, 2016). La superóxido dismutasa (SOD), es una enzima que contiene metales que actúa como la

primera línea del sistema antioxidante en la respuesta al estrés bióticos y abióticos a través de la conversión de  $O_2^-$  en oxígeno y  $H_2O_2$  (Saba & Moradi, 2016). En las plantas, las SOD, que están localizadas en diferentes compartimentos celulares, podrían clasificarse en tres subgrupos basados en cofactores metálicos : Cu / ZnSOD, FeSOD y MnSOD (Wang *et al.*, 2016)

### **Ascorbato Peroxidasa**

Ascorbato peroxidasa (APx) es una enzima hemo peroxidasa que juegan un papel esencial en el control de los niveles de ROS intracelulares. Esta enzima es un componente fundamental antioxidante sistema conocido como el ciclo de ascorbato-glutación, usando ascorbato como un donador de electrones para la reducción de  $H_2O_2$  en agua y  $O_2$  (Hong-Bin *et al.*, 2007). Dado que las APX muestran una mayor afinidad por el  $H_2O_2$  que la CAT, se sugiere que estas enzimas se encuentran implicadas en la modulación final de los niveles de  $H_2O_2$  , mientras que CAT reduce el exceso de  $H_2O_2$  producido sobre la percepción del estrés (Mittler, 2002).

### **Injertos en hortalizas**

El injerto se ha usado ampliamente en la producción de tomates, para disminuir el daño por patógenos del suelo (Lee, 1994) y más recientemente se han usado injertos para inducir resistencia contra bajas y altas temperaturas, contra la clorosis férrica en suelos calcáreos, la absorción de nutrientes, aumentar la síntesis de hormonas endógenas y para optimizar el uso del agua (Abdelmageed & Gruda, 2009). Anteriormente se demostró que el portainjerto también puede aumentar la tolerancia a la salinidad en el tomate, evaluado en función del rendimiento de la fruta en consecuencia, el injerto es una herramienta útil para los productores comerciales para hacer frente a las condiciones adversas en los sistemas productivos (Martinez-Rodriguez *et al.*, 2008).

## **Recurso Agua**

Debido al cambio climático global, el crecimiento industrial y las cuestiones ambientales, muchos países se enfrentan a una escasez de agua a corto o largo plazo (Haddeland *et al.*, 2014). Para sostener la población mundial en rápido crecimiento, la producción agrícola deberá aumentar sin embargo, la porción de agua dulce actualmente disponible para la agricultura (72%) está disminuyendo (Mosa *et al.*, 2016).

El uso óptimo de los recursos hídricos para la producción agrícola sigue siendo uno de los principales desafíos a nivel mundial. Las prácticas de riego más eficientes pueden reducir el volumen de agua aplicada a los campos agrícolas en un 30-70% y pueden aumentar el rendimiento de los cultivos en un 20-90%. El requerimiento de agua de un cultivo debe ser satisfecho para lograr un rendimiento potencial (Saccon, 2017).

El requerimiento de agua de un cultivo debe ser satisfecho para lograr un rendimiento potencial. Por lo tanto, para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, la gestión del riego debe optimizarse para evitar el desperdicio innecesario de recursos hídricos importantes y, en ocasiones, limitados. Por lo tanto, para lograr este objetivo, la cantidad de agua suministrada para el riego durante la temporada de crecimiento no debe exceder los requisitos efectivos de agua del cultivo (Saccon, 2017).

## **Cultivo Sin Suelo**

El cultivo sin suelo, especialmente en sistemas hidropónicos de ciclo cerrado, ofrece una gran opción para el ahorro de agua reducen el consumo de agua y la lixiviación de nutrientes en invernaderos (Massa *et al.*, 2011). La captura y el reciclaje del exceso de agua de riego que drena fuera de la zona de la raíz es posible en sistemas de cultivo sin tierra de ciclo cerrado y puede mejorar considerablemente la eficiencia del uso del agua en cultivos de invernadero, esta técnica también podría restringir la contaminación del agua subterránea por nitratos y fosfatos (Thompson *et al.*, 2007)

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del Experimento**

La investigación se realizó en un invernadero tipo micro túnel del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Ubicado a 25° 21' 12.8" latitud norte y 101° 01' 51.9" longitud oeste.

### **Descripción del Sitio Experimental y Material Vegetativo**

Clima tipo estepario cálido (semiárido) (Köppen, 1936) con temperaturas máximas de 37°C y mínimas de 8°C durante el ciclo del cultivo y humedad relativa de 40-70%.

### **Material Vegetal**

Como variedad se utilizó tomate Lezaforta de crecimiento indeterminado, con la característica de producir tomate tipo bola y de altos rendimientos, con frutos de forma globosa y tamaño extra grande con un peso promedio de 250 a 300 g por fruto. Como portainjerto se utilizó tomate Fortamino, que es un tomate de vigor muy alto con resistencia a *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*, razas 0,1 y 2, recomendado para suelos salinos, ambos materiales pertenecientes a la casa semillera Enza Zaden.

### **Actividades para el Establecimiento del Experimento**

#### **Producción de la Plántula**

La variedad fue sembrada en el mes de mayo del 2017 y a los 6 días posteriores el portainjerto. El proceso del injerto se llevó a cabo cuando las plantas tenían un tallo de aproximadamente 3 mm de diámetro lo cual se obtuvo a los 25 días después de sembrar la variedad. Para esto se utilizó la técnica de empalme (Lee *et al.*, 2010), que consta de un corte en un ángulo de 45° a las dos plantas para formar una sola. Posteriormente las plantas injertadas se conservaron durante 15 días en una cámara de aclimatación, estuvieron en condiciones de obscuridad

por un periodo de tres días, cinco con un 50% de sombra y el resto de los días sin sombra, la humedad relativa fue constante del 95% y una temperatura que oscilaba entre 25 y 35 ° C para favorecer el prendimiento del injerto.

### **Establecimiento del Cultivo**

El trasplante se realizó a los 22 días después de haber realizado el injerto, en un sistema NFT que consistió en una tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro con una pendiente del 10% por la cual recirculaba la solución nutritiva de manera constante y en la que fueron sumergidas las raíces. La recirculación se realizó con una bomba sumergible marca BIOPRO modelo H-450, esta fue colocada en un deposito con solución nutritiva en el que se recolectaba y almacenaba para su recirculación.

### **Manejo Nutricional**

Se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) en diferentes concentraciones, Inicio de crecimiento vegetativo 25%, Crecimiento vegetativo pleno 50%, Floración y amarre de frutos 75% y Llenado de frutos y cosecha 100% y se manejó un pH de 6-6.5. Adicionalmente a los tratamientos de salinidad se les agregó NaCl como inductor del estrés salino (0, 50, 75 y 100 mM) como inductor del estrés salino y con una conductividad eléctrica (CE) de 2.5, 8.4, 10.5 y 15.3 mS/cm  $\pm$  0.2 respectivamente.

## **Variables de Respuesta**

### **Crecimiento Semanal de Fruto**

Se seleccionaron 6 frutos por tratamiento los cuales fueron marcados cuando estos tenían un tamaño promedio de 3-4 mm de diámetro cada semana se les midió el diámetro polar y ecuatorial con ayuda de un vernier electrónico hasta la semana 7.

### **Número de Frutos y Rendimiento**

El ciclo productivo de las plantas se llevó hasta el sexto racimo floral ya que en el momento que las plantas emitieron dicho racimo se les cortó el ápice con la finalidad de evitar el crecimiento. Los frutos fueron cosechados a los 77 días después del trasplante comenzando a partir del 06/09/2017 hasta el 8/12/2017 y fueron cosechados en base a la clasificación de la USDA (USDA, 1975) que indica que los frutos deben de presentar un 90% de la superficie de un color rojo uniforme, después de esto, se contabilizaron y pesaron en una balanza portátil (OHAUS, modelo YA501E) para estimar el rendimiento en base al volumen de producción.

### **Contenido de Sólidos Solubles Totales (SST)**

Para determinar el contenido de sólidos solubles totales se seleccionaron frutos de tomate con un color rojo uniforme, los cuales fueron cosechados y llevados al laboratorio para obtener una muestra del contenido interno (pulpa) y depositarla en el lector del refractómetro digital (HI- modelo 96811), para obtener la concentración en % de sólidos solubles.

### **Contenido de Vitamina C**

El contenido de vitamina C se determinó por el método volumétrico (Padayatty *et al.*, 2001) Se pesaron 20 gramos de muestra fresca y se colocaron en un mortero, después se le agregaron 10 ml de HCl al 2% y se trituró por completo, a la mezcla se le agregó 100 ml de agua destilada. La mezcla fue homogenizada con el mortero y filtrada, en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se midió el volumen exacto de la muestra y se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado. En una bureta volumétrica de 10 ml se colocó reactivo 2,6 – diclorofenolindofenol ( $1 \times 10^{-3}$  N) y fue titulada la alícuota hasta la aparición de una coloración rosa constante durante 30 segundos, realizando el cálculo del contenido de vitamina C en base al volumen del reactivo gastado en la alícuota.

### **Extracción de Biomoléculas**

Los frutos recién cosechados, se congelaron a una temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$  y de cada muestra se tomaron 20g los cuales se colocaron en vasos de plásticos con tapa perforada y fueron secadas en un liofilización (LABCONCO, FreeZone 2.5 Liter Benchtop Freeze Dry System) durante un periodo de 48h. El tejido liofilizado fue macerado en un mortero de porcelana en forma manual, posterior a esto se tomaron 200 mg de muestra agregando 20 mg de polivinil pirrolidona (Sigma®) y 1.5 mL de 0.1 M de buffer de fosfatos pH 7-7.2. Y se sometió a sonicación (Ultrasonic Cleaner Branson 1510 ) por 5 min. La muestra obtenida se centrifugó a 12500 rpm por 10 min a  $4^{\circ}\text{C}$  (Microcentrifuga Refrigerada Labnet Prism tm R), el sobrenadante fue recolectado y filtrado con una membrana de nylon(PVDF .45 $\mu\text{m}$ ), finalmente se diluyó en una proporción 1:15 con buffer de fosfatos (Ramos *et al.*, 2010).

### **Compuestos Fenólicos**

Para cuantificar los compuestos fenolicos se utilizó el reactivo de Folin-Ciocalteu (Rivero *et al.*, 2001). Se tomaron 200 mg de muestra liofilizada y macerada, se le agregó 1 ml de solución agua-acetona 1:1 fue centrifugada a 10000 revoluciones por minuto (rpm) y  $4^{\circ}\text{C}$  durante 10 min y se extrajo el sobrenadante. Para iniciar la reacción se colocó en un tubo de ensayo 50  $\mu\text{l}$  del extracto, 200  $\mu\text{l}$  del reactivo Folin-Ciocalteu 1 M, 500  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% (P/V) y 5 ml de agua destilada. Posteriormente se dejó incubar a  $45^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos después de esto las muestras fueron leídas con un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific modelo G10S UV-Vis) a una longitud de onda de 750 nm los cuales fueron extrapolados con una curva de calibración en unidades de  $\text{mg l}^{-1}$  de ácido gálico realizada previamente.

### **Lycopeno**

El licopeno se cuantifico usando la técnica de Bunghez (Bunghez *et al.*, 2011), en el fruto de tomate pesando 1 g de tejido seco que se colocó en un tubo de 2 ml, se le agrego 1.5 mL hexano, se llevó al vortex (Scientific Industries SI-0136

Vortex-Genie 1 Touch Mixer) por 30 s después de esto se sonico por 5 min fue centrifugado a 10000 rpm y 4 C por 10 min, posterior a esto se extrajo el sobrenadante para ser filtrado con una membrana de nylon (PVDF .45 $\mu$ m), y finalmente fue cuantificado espectrofotométricamente a 472 nm. Las concentraciones se determinaron mediante una curva de calibración previamente trazada con estándar de licopeno (Sigma-Aldrich).

### **Determinación de la concentración de proteínas**

Para determinar la concentración de proteínas se utilizó el colorante azul brillante Coomassie (Bradford, 1976).. Se colocó 1ml del extracto del fruto en un tubo de ensayo y se le añadió 1ml del colorante que al entrar en contacto con las proteínas provoco un cambio de color de manera inmediata. La muestras fueron colocadas en celdillas de plástico y la lectura se realizó en un espectrofotómetro a una absorbancia de 450 nm, con las absorbancias obtenidas se determinaron las concentraciones de proteínas con ayuda de una curva de calibración la cual fue realizada previamente a concentraciones en mg kg<sup>-1</sup> de albúmina sérica bovina

### **Superóxido dismutasa (SOD)**

La determinación de la actividad de esta enzima se llevó a cabo con el uso del kit para SOD (SIGMA-ALDRICH, 2014) el cual está basado en la cuantificación por colorimetría de la oxidación del colorante WST (wáter-soluble tetrazolium salt) a WST- formazan por los iones superóxido formados mediante el conjunto xantina (XO)/xantina (X) oxidasa. La inhibición en la oxidación del WST es atribuida a la neutralización de los radicales superóxido por la SOD. Los resultados se expresan en porcentaje de inhibición.

### **Ascorbato Peroxidasa (APx)**

Se utilizó la técnica de (Nakano & Asada, 1981). La cual consistió en agregar en un tubo para centrífuga 0.1 mL del extracto de biomoléculas, 0.5 mL de ascorbato a 10 mg L<sup>-1</sup> de concentración y 1 mL 100 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a una temperatura de



22 °C, después de 1 min la reacción fue detenida con 0.4 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %. Se cuantificó por espectrofotometría la tasa de consumo del ascorbato a 266 nm. Las unidades de la actividad fueron expresadas en mM de ascorbato min<sup>-1</sup>/proteínas totales.

### **Arreglo Experimental**

Se utilizaron dos factores, siendo el factor 1: injerto con dos niveles (con y sin); y el factor dos: salinidad con cuatro niveles (0, 50, 75 y 100 mM de NaCl). Como testigo absoluto se tomó Sin injerto-0mM y como testigo Injertado fue Injerto-0mM. Los tratamientos se evaluaron mediante un arreglo factorial 2X4 en un diseño completamente al azar con 16 unidades experimentales por tratamiento, teniendo un total de 128 plantas.

### **Análisis estadístico**

Para el procesamiento de los datos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias utilizando la prueba de LSD ( $P \leq 0.05$ ). Se utilizó el software Infostat versión 2017.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento Semanal del Fruto.

El tamaño del fruto es un componente del rendimiento y un parámetro de calidad física (Erling *et al.*, 2008). El tamaño del fruto puede ser manipulado por fertilización foliar, riego, carga del cultivo y condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo (Intrigliolo & Castel, 2006).

El aumento en la masa de frutas generalmente ocurre de manera asimétrica, a menudo descrita por una curva de Gompertz, Weibull o Richards (Godoy *et al.*, 2008). Este comportamiento sigmoideal puede ocurrir como un comportamiento emergente combinando procesos biofísicos como flujos de agua, presión osmótica y presión de turgencia (Hall *et al.*, 2013)

Semana 1. No hay diferencia estadística entre injerto y estrés salino, por lo tanto en esta etapa los ambientes no afectaron el crecimiento del fruto. El tratamiento con los valores más altos fue el de con injerto-100mM y los frutos más pequeños se encontraron en el tratamiento sin injerto-100mM (Cuadro 1). El tamaño potencial de la fruta está determinado por el corto período de división celular durante el desarrollo temprano de la fruta después de la floración, (Al-Hinai & Roper, 2004), esto se observó en la primera semana ya que los frutos experimentaron una mayor división celular, pero una escasa expansión celular.

Semana 2. El injerto y el estrés salino afectaron estadísticamente el crecimiento de los frutos y se observó un rápido crecimiento del diámetro. Las plantas injertadas produjeron frutos 224.3% más y la concentración de 0 y 50mM se comportan estadísticamente similares. La integración injerto 0mM y 50mM favorecen el tamaño del fruto, contrario a esto los tratamientos de sin injerto-75mM y sin injerto-100mM que reducen el tamaño del fruto (Cuadro 1). El tamaño real alcanzado en la cosecha está determinado por el período más largo de expansión celular, esto fue lo que ocurrió en la semana 2 donde ocurre dicho proceso (Al-Hinai & Roper 2004).

Semana 3. El injerto y la salinidad continúan mostrando diferencias significativas, el crecimiento del fruto comienza a disminuir con respecto a la semana dos ya

que esta vez el aumento fue de un 54.2% en el mejor tratamiento. Contribuye el injerto a la mejora del tamaño, en tanto que las concentraciones de 0 y 50mM continúan mejorando el tamaño del fruto, mientras que las de 75 y 100mM lo afectan. Los tratamientos que mejoran o mantienen el tamaño de fruto son los de 0 y 50mM con y sin injerto ya que se comportan estadísticamente iguales. (Cuadro 1)

Semana 4. Continúan las diferencias significativas entre la salinidad y el injerto, el crecimiento disminuye de manera clara comparado con la semana 2 y 3 ya que solo se observó un aumento del 20%. Las plantas injertadas presentan frutos de mayor tamaño y la concentración de 0mM sigue favoreciendo el tamaño, en tanto que la de 50mM comienza afectarlo. Se mantiene el tratamiento con injerto-0mM con el mayor tamaño de fruto, mientras que los tratamientos de 75 y 100mM con y sin injerto siguen afectando en gran medida el crecimiento del fruto ya que se comportan estadísticamente iguales (Cuadro 1)

(Ho *et al.*, 1987) menciona que el crecimiento del fruto del tomate sigue una curva sigmoide, siendo lento hasta unos 10 días después de la fertilización del óvulo (fase 1), muy rápido después hasta alcanzar su tamaño final (fase 2) aproximadamente 2 semanas antes de la maduración completa (fase 3). La fase 1 corresponde a una fase de división celular, la fase 2 a la expansión celular y la fase 3 a la maduración de la fruta. La transición de la fase 1 a la fase 2 requiere estimulación hormonal que normalmente es proporcionada por el crecimiento del tubo polínico y la fertilización del óvulo (Gillaspy, 1993).

Lo anterior coincide con los resultados obtenidos ya que en la primera semana todos los frutos se comportaron estadísticamente iguales, lo que corresponde a la fase 1, posteriormente los frutos experimentaron un crecimiento muy acelerado, este corresponde a la fase 2 en la cual ocurre la expansión celular y finalmente la fase 3 en la cual a partir de la semana cuatro los frutos disminuyeron el crecimiento.

Semana 5, 6 y 7. El injerto y la salinidad continúan mostrando diferencias significativas, el injerto favorece el crecimiento del fruto y la salinidad continua afectándolo ya que entre más aumenta la concentración de sales disminuye el

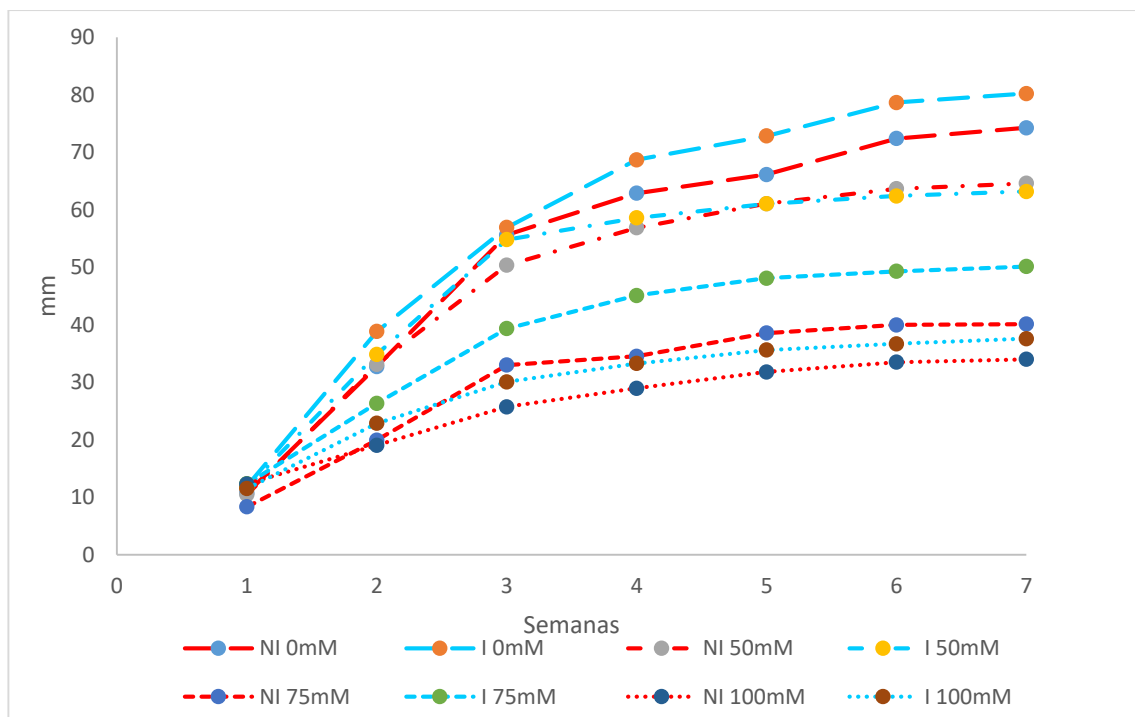
crecimiento del fruto El comportamiento entre la interacción injerto y la salinidad presentan el mismo comportamiento estadístico, es decir las plantas con y sin injerto que no tiene estrés salino presentan los mejores valores y estos disminuyen a medida que la salinidad aumenta tanto en plantas injertadas y no injertadas pero en mayor medida en aquellas que no fueron injertadas. El tamaño realmente logrado depende de las condiciones de crecimiento (interceptación de luz, fotosíntesis y temperatura) durante el período de expansión celular (Warrington *et al.*, 1999). Lo anterior quedo demostrado ya que la salinidad afectó el tamaño final del fruto en plantas injertadas y no injertadas.

Cuartero & Fernández-Muñoz (1998) mencionan que las frutas de las plantas tratadas con sal parecen crecer normalmente durante la fase de división celular y es durante la fase de expansión celular cuando se observan los efectos nocivos de la sal, resultados similares fueron los encontrados en este trabajo ya que en la primera semana el tamaño de los frutos era estadísticamente iguales pero en la transición de la semana 1 a la 2 los frutos de las plantas con mayores niveles de salinidad disminuyeron drásticamente el tamaño.

**Cuadro 1.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre Crecimiento semanal del diámetro ecuatorial del fruto.

Factor	tratamiento	Sem1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7
Injerto	Con	11.90a	30.74a	45.30a	51.44a	54.42a	56.78a	57.80a
	Sin	10.49a	26.24b	41.19b	45.82b	49.40b	52.32b	53.26b
Significancia		0.15ns	0.0014**	0.03*	0.0044**	0.0179*	0.04*	0.0377*
Salinidad (mM)	0	11.37a	35.81a	56.29a	65.81a	69.51a	75.56a	77.25a
	50	11.09a	34.00a	52.60a	57.75b	61.07b	63.05b	63.91b
	75	10.36a	23.16b	36.17b	39.82c	43.34c	44.64c	45.13c
	100	11.94a	20.98b	27.92c	31.13d	33.71d	35.11d	35.81d
Significancia		0.71ns	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**
Injerto*Sal	T. injertado	11.98ab	38.86a	56.94a	68.72a	72.86a	78.66a	80.24a
	Con-50	11.70ab	34.86ab	54.82a	58.62b	61.06b	62.44b	63.20b
	Con-75	12.36a	26.36c	39.34b	45.10c	48.12c	49.30c	50.14c
	Con-100	11.54ab	22.88cd	30.10c	33.30d	35.62d	36.72d	37.60d
	T. absoluto	10.76ab	32.76b	55.64a	62.90ab	66.16ab	72.40a	74.26a
	Sin-50	10.48ab	33.14b	50.38a	56.88b	61.08b	63.68b	64.62b
	Sin-75	8.36b	19.96d	33.00bc	34.54d	38.56d	39.98d	40.12d
	Sin-100	12.34a	19.08d	25.74c	28.96d	31.80d	33.50d	34.02d
Significancia		0.39ns	0.54ns	0.80ns	0.39ns	0.38ns	0.32ns	0.29ns
C.V		27.43	14.3	12.28	11.91	12.25	11.99	11.93

Sem= semana (n). Letras diferentes por columna indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de medias de LSD ( $P < 0.05$ ). Los valores representan la media de los tratamientos. Los niveles de significancia representan el valor de P.  $P > 0.05$  = no significativo (ns),  $P < 0.05$  = \*significativo y  $P < 0.01$  = \*\*altamente significativo.



**Grafica 1.** Crecimiento sigmoidal del diámetro ecuatorial del fruto

### Altura de planta, diámetro basal del tallo, diámetro polar del fruto y diámetro ecuatorial del fruto

#### Injerto

El injerto mostró diferencias significativas para el diámetro basal del tallo, pero no para el resto de las variables (Cuadro 2). Se registró una disminución del 7.8% en el diámetro de tallo para la media de las plantas injertadas resultados contrarios fueron los observados por Al-Harbi *et al.* (2017) que demostraron que las plantas de tomate injertadas eran más vigorosas que las no injertadas considerando el aumento significativo en el diámetro del tallo, la altura de la planta.

#### Concentración de NaCl

La concentración de sales si mostro efectos para la altura de planta, diámetro basal del tallo, diámetro polar del fruto y diámetro ecuatorial del fruto, en general

todas estas variables resultaron afectadas por las altas concentraciones de salinidad. (Cuadro 2)

En la altura de las plantas las concentraciones testigo mostraron los valores más altos y la concentración de 100mM presento las plantas más pequeñas con una con una disminución del 45% con respecto a la concentración testigo.

El diámetro basal de tallo disminuyo en un 26.3% en la concentración de 100mM, con respecto a las concentración testigo, las cuales presentaron los valores más altos.

La fruta de tomate se compone principalmente de agua, carbohidratos y sales, de la misma manera que el crecimiento de la fruta está estrechamente relacionado con la acumulación relativa de agua, iones inorgánicos y asimilados (Balibrea *et al.*, 1996). En este sentido, hay evidencia de que el crecimiento de la fruta está estrechamente relacionado con el movimiento del agua hacia la fruta (Alian *et al.*, 2000)

La salinidad reduce principalmente la acumulación de agua en la fruta, lo que resulta en un aumento de las concentraciones de azúcares y ácidos en el jugo en consecuencia, el sabor de la fruta mejora sustancialmente, pero la mejora de la calidad de la fruta se debe principalmente a un efecto de concentración causado por un contenido de agua reducido en frutos estresados con sal disminuyendo de esta misma manera el tamaño del fruto (Plaut *et al.*, 2004). Lo anterior es similar a los resultados obtenidos ya que el fruto disminuyo el diámetro polar y ecuatorial del fruto bajo condiciones salinas, se registró una disminución del 46.37% en el diámetro polar, mientras que el diámetro ecuatorial disminuyo un 47.9% bajos los efectos de la concentración de 100mM y los valores más altos se presentaron en la concentración testigo.

### **Interacción injerto-Salinidad**

En un experimento realizado por Al-Harbi *et al.* (2017) Observaron que las plantas injertadas bajo condiciones de estrés salino tuvieron valores más altos de crecimiento en altura de planta y diámetro detalle en comparación con las plantas no injertadas, en este estudio ocurrió lo contrario ya que las plantas no injertadas

fueron las que obtuvieron los valores más altos tanto de altura de planta así como diámetro de tallo.

Los tratamientos que se encontraban en condiciones de salinidad alta, media y baja no mostraron diferencias significativas ya que estos se comportaron estadísticamente iguales cuando se encontraban en la misma concentración de sal. La altura de plantas fue más alta en el tratamiento injerto-0mM que aumentó un 5.3% con respecto al testigo, aun que estadísticamente se comportaron iguales y los valores más bajos se presentaron en los tratamientos con injerto-100mM y sin Injerto-100mM que se comportaron estadísticamente iguales ya que mostraron una disminución 54% con respecto a la concentración testigo. El diámetro basal del tallo fue más alto en el testigo absoluto, mientras que el tratamiento con injerto-100mM disminuyó en un 32.7% comparado con el testigo absoluto (Cuadro 2).

La calidad del fruto se define como una combinación de estímulos visuales, como tamaño, forma y color, y propiedades sensoriales, como dulzor, acidez y aroma (Bai & Lindhout, 2007). Como una alternativa rápida para aumentar la calidad del fruto y como una forma de superar los problemas causados por el riego con agua salina, el injerto de cultivares comerciales con alto potencial de rendimiento existentes portainjertos seleccionados que podría ser una herramienta prometedora (Colla *et al.*, 2008). El injerto favoreció para aumentar el tamaño del fruto principalmente el diámetro ecuatorial, pero esto se observó cuando las plantas no se encontraban en condiciones salinas ya que las plantas no injertadas y sin estrés salinos presentaron los frutos de mayor tamaño, contrario a lo que ocurre en condiciones salinas debido a que el injerto se comportó estadísticamente igual cuando las plantas se encontraban a una misma concentración, observándose reducciones de hasta un 43% en el tratamiento con injerto-100mM.



**Cuadro 2.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre la altura de planta, diámetro basal del tallo, diámetro polar del fruto y diámetro ecuatorial del fruto.

Factor	Tratamiento	AP	DBT	DPF	DEF
Injerto	Con	1.74a	11.92b	40.58a	49.59a
	Sin	1.73a	12.94a	39.80a	47.81a
Significancia		0.7005ns	0.0032**	0.3921ns	0.1252ns
Salinidad (mM)	0	2.36a	14.94a	58.63a	68.81a
	50	1.68b	12.69b	47.22b	58.88b
	75	1.59b	11.09c	27.72c	34.16c
	100	1.30c	11.00c	27.19c	32.97c
Significancia		0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**
Injerto*Sal	Testigo injertado	2.42a	14.06b	58.63a	72.56a
	Con-50	1.63b	12.50bc	48.69b	57.75c
	Con-75	1.60bc	10.50e	29.38c	36.19d
	Con-100	1.31d	10.63e	25.63d	31.88d
	Testigo absoluto	2.29a	15.81a	58.63a	65.06b
	Sin-50	1.73b	12.88bc	45.75b	60.00c
	Sin-75	1.58c	11.50de	26.06cd	32.13d
	Sin-100	1.30d	11.56cde	28.75cd	34.06d
Significancia		0.1497ns	0.55ns	0.0480*	0.0058**
C.V		11.90	15.38	12.80	13.40

AP= Altura de planta (m), DBT= diámetro basal del tallo (mm), DPF= Diámetro polar de fruto (mm) y DEF= Diámetro ecuatorial del fruto (mm). Letras diferentes por columna indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de medias de LSD ( $P < 0.05$ ). Los valores representan la media de los tratamientos. Los niveles de significancia representan el valor de P.  $P > 0.05$  = no significativo (ns),  $P < 0.05$  = \*significativo y  $P < 0.01$  = \*\*altamente significativo.

## Número de Frutos, Rendimiento y SST

### Injerto

Una técnica amigable con el medio ambiente para evitar o reducir las pérdidas en la producción causada por la salinidad es uso de hortalizas injertadas en genotipos de alto rendimiento (Yetisir & Uygur, 2010). El injerto en plantas de

tomate no tuvo diferencias significativas sobre el número de frutos, rendimiento y contenido de sólidos solubles totales (SST). Martínez-Rodríguez *et al.* (2008), mencionan que el injerto es una alternativa de mejorar la tolerancia a la salinidad, determinada por el rendimiento de las frutas cosechadas, en un híbrido de tomate comercial, contrario con los resultados encontrados ya que el injerto no mostro diferencias significativas respecto a las plantas no injertadas. Resultados similares fueron reportados, en los cuales, demostraron que la sensibilidad a la salinidad era similar entre las plantas de melón injertadas y no injertadas (Edelstein *et al.*, 2005).

### **Concentración de NaCl**

A pesar de que el tomate es una planta medianamente tolerante a la salinidad no está exenta de los efectos negativos causados por las sales ya que es uno de los principales factores ambientales que limitan la productividad de los cultivos mundiales, debido a la restricción de los rendimientos de diferentes cultivos (Arzani, 2008). Se observaron diferencias significativas en peso de frutos, rendimiento y SST. El número de frutos por planta se vio afectado negativamente por la salinidad.

Respecto a la cantidad de frutos por plantas informan (Li *et al.*, 2001) que el número de frutos no se vio afectado por la salinidad moderada, y que el rendimiento reducido se debió enteramente a la fruta más pequeña, contrario a lo observado en este estudio ya que el número de frutos y el tamaño de estos se vio afectado en gran medida por la concentración de sales, puesto que conforme se aumentó el contenido de sales, disminuyo el número de frutos hasta en un 52% en la concentración de 100mM, lo que coincide con lo reportado por (Van leperen, 1996), que observó una disminución en número de frutos cosechados por planta con la salinidad, y fue un factor que contribuyó a la reducción del rendimiento de la fruta, esto debido a la disminución del número de flores por planta observada al aumentar la salinidad (Magán *et al.*, 2005). Los tratamientos con mayor número de frutos fueron los que no tuvieron aplicaciones de NaCl.

El estrés salino tuvo un efecto negativo sobre el rendimiento del tomate con una disminución del 92.12 y 91.72% respectivamente en las concentraciones de 75 y 100mM comparadas con la concentración testigo,, de la misma manera se han reportado disminuciones de los rendimientos en otras investigaciones realizadas con diferentes hortalizas, donde las plantas fueron sometidas a estrés salino, uno de estos casos fueron pepinos injertados cultivados en macetas con arena las cuales fueron regadas con diferentes concentraciones de sales (Colla *et al.*, 2012) así como calabacín (Rouphael *et al.*, 2006) crecido hidropónicamente. El rendimiento se comportó de manera similar al número de frutos ya que conforme aumento el contenido de NaCl disminuyó el rendimiento.

El contenido de SST es de gran importancia para procesar el tomate de calidad y darle un mejor valor de mercado, donde los niveles moderados de salinidad (hasta NaCl 86 mM) pueden aumentar significativamente su contenido y compensar los rendimientos más bajos con valores de mercado más altos (Rouphael *et al.*, 2018). En la presente investigación los SST se vieron beneficiados por la salinidad ya que conforme aumentaba la salinidad aumentaban los SST, pero los rendimientos se comportaron de manera decreciente. Las concentraciones de NaCl con mayor contenido de SST fueron las de 100mM con un aumento del 194.5% respecto al testigo. (Cuadro 3). El aumento simultáneo tanto del rendimiento de fruto como de SST en cultivares comerciales de tomate ha resultado difícil (Bai & Lindhout, 2007). Una de las razones principales es la relación inversa entre el rendimiento de la fruta y el contenido de SST, que parece fortalecerse en condiciones salinas (Martinez-Rodriguez *et al.*, 2008).

### **Interacción injerto-concentración de NaCl**

El número de frutos el Testigo injertado obtuvo mayor cantidad, logrando un aumento del 7.1% y el tratamiento que presento menor cantidad de frutos fue el Sin injerto-100mM con una disminución del 53.3% respecto al testigo absoluto (Cuadro 3). Esto debido a que las plantas se enfrentan a diferentes restricciones causadas por la salinidad y muestran una respuesta de crecimiento en dos fases

a la salinidad (Schwarz *et al.*, 2010). La primera fase aparece rápidamente y se debe al estrés osmótico causado por la sal fuera de las plantas. La segunda fase lleva tiempo para desarrollarse, y resulta del efecto tóxico de la sal en el interior de la planta, ya que se excede la capacidad de las células para compartimentar la sal en la vacuola (Munns, 2005).

Kyriacou & Roupael (2018) las características de la raíz son la razón principal para el alivio del efecto perjudicial del estrés salino sobre el crecimiento de los brotes ya que los rendimientos más altos se obtuvieron en el Testigo injertado con un aumento del 22.97% respecto al testigo absoluto mientras que el tratamiento con los rendimientos más bajo fue Sin injerto-100mM que mostro una disminución del 92.94% en comparación con el testigo absoluto (Cuadro 3). La mayor tolerancia a la sal de los vegetales injertados a menudo se ha asociado con el sistema de raíces de hecho, el sistema radicular es la parte más crítica de la planta ya que esta se enfrenta a factores de estrés relacionados con el suelo, como la salinidad (Fullana-Pericás *et al.*, 2018)

Sugieren Flores *et al.* (2010) que la razón por la cual las plantas no injertadas obtuvieron un mayor contenido de SST es porque fueron estas las más estresadas debido a una mayor dificultad en la absorción de agua que se refleja en un contenido reducido de agua en el fruto. El tratamiento que obtuvo un mayor contenido de SST fue el de Sin injerto-100 mM con un aumento del 194% en comparación con el testigo absoluto y el de menor contenido fue Testigo Injertado con una disminución del 2.2% respecto al testigo absoluto (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre el rendimiento contenido de sólidos solubles totales y peso de fruto.

Factor	Tratamiento	#FP	Rendimiento	SST
Injerto	Con	14.55a	2.79a	8.53a
	Sin	14.06a	2.38a	8.21a
Significancia		0.43 ns	0.09 ns	0.24 ns
Salinidad (mM)	0	20.97a	7.42a	4.03d
	50	14.78b	1.768b	8.19c
	75	11.75c	0.62c	9.39b
	100	9.72d	0.59c	11.87a
Significancia		0.0001**	0001**	0.0001**
Injerto*Sal	Testigo injertado	21.69a	8.19a	3.99d
	Con-50	14.88b	1.73c	8.84b
	Con-75	11.63c	0.65d	9.53b
	Con-100	10.00c	0.60d	11.75a
	Testigo absoluto	20.25a	6.66b	4.08d
	Sin-50	14.69b	1.79c	7.53c
	Sin-75	11.88c	0.59d	9.24b
	Sin-100	9.44c	0.47d	12a
Significancia		0.80 ns	0.12 ns	0.17 ns
C.V		24.71	34.59	14.71

#FP= Numero de frutos por planta, SST=Sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix), Rendimiento ( $\text{Kg}^{-1} \text{m}^{-2}$ ), C.V= coeficiente de variación. Letras diferentes por columna indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de medias de LSD ( $P < 0.05$ ). Los valores representan la media de los tratamientos. Los niveles de significancia representan el valor de P.  $P > 0.05$  = no significativo (ns),  $P < 0.05$  = \*significativo y  $P < 0.01$  = \*\*altamente significativo.

### Vitamina C, Fenoles Totales, Licopeno, SOD y CAT

#### Injerto

El factor injerto influyó sobre el contenido de licopeno y la actividad de APx, en los demás antioxidantes no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 4).

El contenido de licopeno se vio aumentado por las plantas de tomate que fueron injertadas con un aumento del 9.1% con respecto a las plantas no injertadas, en otra investigación con sandía injertada el contenido de licopeno fue favorecido por el injerto, particularmente cuando se usaron la calabaza y sandía silvestre como portainjerto (Kong *et al.*, 2017). Se sabe que el injerto tiene diversos

efectos sobre las acumulaciones de licopeno en plantas injertadas pero su mecanismo es aún desconocido (Lv *et al.*, 2015), se creó que el portainjerto puede afectar el metabolismo del licopeno a nivel transcripcional en las plantas injertadas (Guo *et al.*, 2015).

La actividad de APx disminuyó un 16.72% con respecto a la media de las plantas no injertadas. En un experimento en el cual utilizaron plantas de tomate injertadas y no injertadas sometidas a diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 100 y 150 mM) encontraron que los tratamientos de NaCl 100 y 150 mM aumentaron la actividad de APX, y no hubo diferencias significativas en la actividad de APX entre las plantas injertadas y no injertadas (He *et al.*, 2009).

### **Concentración de NaCl**

La concentración de sales (NaCl) en la solución nutritiva mostró diferencias significativas para el contenido de vitamina C, licopeno y la actividad de SOD y APx, no así para el contenido de compuestos fenólicos. (Cuadro 4).

El contenido de vitamina C está influenciado por diversos factores, incluidas las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo, almacenamiento poscosecha, trastornos fisiológicos y daños mecánicos (Cortés *et al.*, 2008). En vitamina C se observó que conforme aumentó la concentración de sales aumentó también el contenido de este antioxidante en los frutos. El aumento de la CE hasta 30 mM en solución de nutrientes con NaCl y la baja frecuencia de riego en las plantas de pimiento dio como resultado un aumento del contenido de vitamina C en frutos de pimiento (Marin *et al.*, 2009). Para el caso del contenido de vitamina C en este estudio se vio beneficiado por el estrés abiótico causado por la salinidad ya que a medida que se aumentó de concentración de sales, el contenido de vitamina C se incrementó en los frutos, siendo los tratamientos que estaban sometidos a la concentración de 100mM los que mostraron un aumento del 82% con respecto al testigo (Cuadro 4).

La concentración de licopeno en la fruta no se vio beneficiada por la condición salina en la que se desarrollaron las plantas, debido a que se obtuvo más licopeno en las plantas no estresadas y se observó hasta una disminución 36%

para 100mM de NaCl, contrario a los reportado por Wu & Kubota (2008) que realizaron un estudio en el cual sometieron plantas a estrés salino el licopeno comenzó a aumentar más rápidamente en condiciones de alta conductividad eléctrica (CE) que en baja CE y concluyen que esto se debió a que bajo estrés osmótico provoca que los tomates maduran antes y acumulan más licopeno durante el tiempo anterior a la cosecha. En otra investigación en la cual utilizaron diversas dosis de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) como inductor de estrés obtuvieron mayor cantidad de licopeno en el tratamiento menos estresado ( $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) que en los que se encontraban en más altas concentraciones del nitrato de plata, donde el licopeno disminuía a medida que aumentaba el estrés (Cabrera-De La Fuente, *et al.*, 2014).

SOD es un metaloproteína con funciones importantes en el control de los niveles de ROS (Santos *et al.*, 2018). La superóxido dismutasa (SOD) es la primera enzima de desintoxicación y el antioxidante más poderoso en la célula gracias a su velocidad para controlar el  $\text{O}_2^{\cdot -}$  (Willems *et al.*, 2016). Un aumento en la actividad de las enzimas antioxidantes bajo el estrés de la sal y el agua podría ser indicativo de una mayor producción de ROS ya que una acumulación de estas, activa los mecanismos de protección para reducir el daño oxidativo provocado por el estrés experimentado en condiciones salinas (Meloni *et al.*, 2003). La actividad de esta enzima se vio favorecida en presencia de salinidad ya que la mayor actividad de esta enzima se dio en condiciones salinas, siendo la concentración de 100mM que obtuvo un aumento del 20% en comparación con el testigo (Cuadro 4), hallazgos similares fueron reportados en otro estudio donde lograron un aumento de la actividad de SOD en diferentes genotipos de triticale estudiados en diferentes etapas de crecimiento (Rasouli & Kiani-Pouya, 2015). También reporta que la actividad de SOD aumentó bajo estrés salino, más considerablemente en plantas de tomate no injertadas y autoinjertadas (He *et al.*, 2009).

La actividad de APx aumento en condiciones de salinidad. La concentración de NaCl que presento mayor actividad fue la de 50mM que aumentó un 24.7% con respecto a la concentración testigo. Mencionan (Zhu *et al.*, 2004) que las enzimas

antioxidantes responden de manera diferente en condiciones salinas, ya que encontraron que las actividades de CAT y DHAR disminuyeron en plantas de pepino crecida en condiciones de salinidad, mientras que las actividades de SOD, APx, GPOD y GR se mejoraron. Resultados similares fueron los obtenidos ya que la actividad de SOD y APx aumentaron en condiciones salinas.

### **Interacción injerto-concentración de NaCl**

El contenido de vitamina C aumento en el tratamiento Sin injerto-100mM que presento un del 103% respecto al testigo absoluto el cual obtuvo la menor cantidad de vitamina C (Cuadro 4). Esto posiblemente a que la vitamina C es considerada como el antioxidante soluble en agua más importante y se relacionado con más del 65% de la actividad antioxidante y antirradical en muchas frutas (Klimczak *et al.*, 2007).

Los compuestos fenólicos tienen un efecto protector contra las reacciones oxidativas tales como la actividad reductora, las propiedades de quelación de los metales y la función de donantes de hidrógeno (Diaz *et al.*, 2012) . Del mismo modo, han informado que el estrés por salinidad indujo la producción de fenoles totales y el aumento de la actividad antioxidante de la fruta de fresa (Cardeñosa *et al.*, 2015). Los compuestos fenólicos aumentaron por la interacción de Con injerto-100mM el cual representa un aumento del 19.7% comparado al testigo absoluto. Algunos autores sugirieron que este aumento en los compuestos fenólicos podría atribuirse a una mayor intensidad de la luz ya que al disminuir el área foliar de las plantas los frutos reciben más tiempo y con mayor intensidad la luz solar provocado un estrés fotooxidativo que induce la biosíntesis de compuestos protectores tales como fenólicos para secuestrar las especies de oxígeno reactivas producidas (Rouphael *et al.*, 2018).

Los tratamientos que presentaron mayor cantidad de licopeno fueron los testigos, siendo el testigo injertado el que alcanzo un aumento del 0.36% con respecto al testigo absoluto y los tratamientos de con-100mM y sin-100mM fueron los que decrecieron en un 27.49 y 46.15% respectivamente comparado con el testigo absoluto. Mencionan que rangos térmicos por encima de 30°C pueden



afectar negativamente la síntesis de licopeno (Lurie *et al.*, 1996). Posiblemente la temperatura pudo haber afectado la síntesis de licopeno ya que la temperatura promedio durante el día superaba los 30°C, además de que las plantas estresadas con NaCl disminuyeron en gran medida su índice de área foliar provocando que los rayos del sol incidieran de manera directa sobre el fruto, mientras que las que no tenían NaCl los frutos se encontraban bajo la sombra creada por el área foliar. La actividad de la enzima SOD se vio favorecida por el tratamiento sin-100mM el cual incrementó en un 18.28% mientras que el testigo injertado presentó un decremento del 10.71%, ambos en comparación con el testigo absoluto. Es una enzima antioxidante endógena importante que actúa como un componente del sistema de defensa siendo la primera línea contra especies reactivas de oxígeno (ROS) ya que cataliza la dismutación de dos moléculas del anión superóxido ( $O_2^{\cdot -}$ ) a peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y oxígeno molecular ( $O_2$ ) (Ighodaro & Akinloye, 2017). Observaron resultados similares en plantas injertadas bajo estrés térmico y mencionan que esto podría deberse a que la producción de ROS bajo condiciones de estrés permanecen más bajas en plantas injertadas que en plantas no injertadas o auto injertadas (Rivero *et al.*, 2003).

La enzima ascorbato peroxidasa (APx), deshidroascorbato reductasa (DHAR) y la glutatión reductasa son importantes enzimas antioxidantes involucradas en el ciclo de ascorbato-glutatión, en este ciclo, APx reduce  $H_2O_2$  a  $H_2O$  y  $O_2$ , utilizando ascorbato como sustrato reductor. El  $H_2O_2$  que se produce por la actividad de la SOD es neutralizado por la catalasa y APx entre otras enzimas antioxidantes (Balfagón *et al.*, 2018). Los resultados obtenidos demuestran que cuando aumentó la actividad de SOD también aumentó la actividad de APx. (Noctor & Foyer, 1998). En el presente estudio se obtuvo una mayor actividad de APx en el tratamiento sin-100mM con un aumento del 39.7% en el tratamiento (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto del injerto y la concentración de NaCl sobre el contenido de antioxidantes y la actividad enzimática en frutos de tomate.

Factor	Tratamiento	Vit C	FT	Licopeno	SOD	APx
Injerto	Con	14.86a	783.31a	67.71a	75.81a	10.06b
	Sin	14.17a	770.96a	61.54b	79.88a	12.08a
Significancia		0.33 ns	0.67 ns	0.0054**	0.16 ns	0.0017**
Concentración (mM)	0	10.06d	707.40a	75.73a	69.50b	8.96b
	50	13.46c	865.85a	68.93b	79.87a	12.43a
	75	16.14b	724.87a	66.08b	78.87a	10.97a
	100	18.39a	810.42a	47.77c	83.43a	11.91a
Significancia		0.0001**	0.19 ns	0.0001**	0.01*	0.0021**
Injerto*Con	Testigo injertado	10.91de	628.47c	75.89a	65.57c	9.01e
	Con-50	14.53bc	826.09abc	72.36ab	80.39ab	10.05cde
	Con-75	15.93ab	736.92abc	67.80ab	77.27abc	9.44de
	Con-100	18.05a	941.76a	54.82c	79.99ab	11.74bcd
	Testigo absoluto	9.21e	786.32abc	75.61a	73.44bc	8.92e
	Sin-50	12.38cd	905.62ab	65.49d	79.34ab	14.80a
	Sin-75	16.36ab	712.82abc	64.37d	79.88ab	12.50ab
	Sin-100	18.72a	679.08bc	40.71c	86.87a	12.08bc
Significancia		0.37 ns	0.0031**	0.11 ns	0.68 ns	0.0214*
C.V		13.56	16.48	8.83	10.47	14.89

Vitamina C= (mg 100g<sup>-1</sup> de peso fresco), FT= Fenoles totales (equivalentes de Ácido Gálico en mg kg<sup>-1</sup>), Licopeno= (mg 100g<sup>-1</sup> de tejido seco) SOD=Superóxido dismutasa (% inhibición), APx= Ascorbato peroxidasa (mM de ascorbato consumido min<sup>-1</sup>/ total de proteínas). C.V= coeficiente de variación. Los valores representan la media de los tratamientos. Letras diferentes por columna indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de medias de LSD (P<0.05). Los niveles de significancia representan el valor de P. P > 0.05 = no significativo (ns), P < 0.05 = \*significativo y P < 0.01 = \*\*altamente significativo.

## CONCLUSIONES

El injerto ayudo a mejorar los rendimientos cuando las plantas no se encontraban en condiciones salinas, así como el tamaño de frutos en plantas estresadas y no estresadas.

Dentro de las variables agronómicas la salinidad disminuyo en gran medida los rendimientos, el tamaño de los frutos, la altura de planta y el diámetro del tallo. Sobre las variables bioquímicas ayudo aumentar en fruto los SST, la vitamina C y la actividad de las enzimas SOD y APx, mientras que disminuyo el contenido de licopeno.

La interacción del injerto con la salinidad beneficio el contenido de los compuestos fenólicos, pero de manera general las interacciones no tuvieron efecto significativo sobre el resto de las variables evaluadas.

## REFERENCIAS

- Abdelmageed, A. H. A., & Gruda, N. (2009). Influence of grafting on growth, development and some physiological parameters of tomatoes under controlled heat stress conditions. *European Journal of Horticultural Science*, 74(1), 16–20. <https://doi.org/10.2307/24126488>
- Agricultura, F. I. en R. con la agricultura. (2017). Panorama agroalimentario. Recuperado a partir de <https://www.fira.gob.mx/Nd/index.jsp>
- Ahmedi, W., Nawaz, M. A., Iqbal, M. A., & Khan, M. M. (2007). Effect of different rootstocks on plant nutrient status and yield in Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Pakistan Journal of Botany*, 38, 1779–1786.
- Al-Harbi, A., Hejazi, A., & Al-Omran, A. (2017). Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(6), 1274–1280. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.005>
- Al-Hinai, Y. K., & Roper, T. R. (2004). Rootstock effects on growth and quality of “Gala” apples. *HortScience*, 39(6), 1231–1233.
- Alian, A., Altman, A., & Heuer, B. (2000). Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Science*, 152(1), 59–65. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00220-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00220-4)
- Apel, K., & Hir, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373–399.
- Arzani, A. (2008). Improving salinity tolerance in crop plants: A biotechnological view. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 44(5), 373–383. <https://doi.org/10.1007/s11627-008-9157-7>
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, 100(5), 1085–1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>
- Balfagón, D., Zandalinas, S. I., Baliño, P., Muriach, M., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Involvement of ascorbate peroxidase and heat shock proteins on citrus tolerance to combined conditions of drought and high temperatures. *Plant Physiology and Biochemistry*, 127, 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.029>

- Balibrea, M. E., Santa Cruz, A. M., Bolarín, M. C., & Pérez-Alfocea, F. (1996). Sucrolytic activities in relation to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Science*, *118*(1), 47–55. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(96\)04424-X](https://doi.org/10.1016/0168-9452(96)04424-X)
- Bashir, M. A., Alvi, A. M., Khan, K. A., Rehmani, M. I. A., Ansari, M. J., Atta, S., ... Tariq, M. (2017). Role of pollination in yield and physicochemical properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.006>
- Bertin, N., & Génard, M. (2018). Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, *233*(April 2017), 264–276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.056>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248–254.
- Bunghez, I. R., Raduly, M., Doncea, S., Aksahin, I., & Ion, R. M. (2011). Lycopene determination in tomatoes by different spectral techniques (UV-VIS, FTIR and HPLC). *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, *6*(3), 1349–1356.
- Cabrera-De La Fuente, M., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., & Sandoval-Rangel, A. (2014). Effect of the application of silver nitrate on antioxidant status in watermelon plants. *Pakistan Journal of Botany*, *46*(5), 1843–1846.
- Cambrollé, J., Redondo-Gómez, S., Mateos-Naranjo, E., Luque, T., & Figueroa, M. E. (2011). Physiological responses to salinity in the yellow-horned poppy, *Glaucium flavum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, *49*(2), 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.11.008>
- Cardeñosa, V., Medrano, E., Lorenzo, P., Sánchez-Guerrero, M. C., Cuevas, F., Pradas, I., & Moreno-Rojas, J. M. (2015). Effects of salinity and nitrogen supply on the quality and health-related compounds of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* cv. Primoris). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *95*(14), 2924–2930. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7034>
- Chu, X. T., Fu, J. J., Sun, Y. F., Xu, Y. M., Miao, Y. J., Xu, Y. F., & Hu, T. M. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on cold stress-induced oxidative damage in leaves of *Elymus nutans* Griseb. *South African Journal of Botany*, *104*, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.001>

- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Temperini, O., Rea, E., Salerno, A., & Pierandrei, F. (2008). Influence of grafting on yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*, 782(February 2008), 359–363. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.782.45>
- Colla, G., Roupshael, Y., Rea, E., & Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae*, 135, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.023>
- Cortés, C., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2008). Effect of refrigerated storage on ascorbic acid content of orange juice treated by pulsed electric fields and thermal pasteurization. *European Food Research and Technology*, 227(2), 629–635. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0766-x>
- Cuartero, J., & Fernández-Muñoz, R. (1998). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), 83–125. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00191-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00191-5)
- Diaz, P., Jeong, S. C., Lee, S., Khoo, C., & Koyyalamudi, S. R. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants and fungi containing phenolic and flavonoid compounds. *Chinese Medicine*, 7(1), 26. <https://doi.org/10.1186/1749-8546-7-26>
- Edelstein, M., Ben-Hur, M., Cohen, R., Burger, Y., & Ravina, I. (2005). Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon plants. *Plant and Soil*, 269(1–2), 273–284. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0598-4>
- Erling, W., Ackermann, H., Weber, H., Reinhart, A., Food, B., & Von, S. (2008). *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 03/08.
- Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estañ, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., ... Bolarín, M. C. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026>
- Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., & Bramley, P. M. (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (evidence for tissue-specific gene expression). *Plant Physiology*, 105(1), 405–413. <https://doi.org/10.1104/pp.105.1.405>
- Frei, B., Birlouez-Aragon, I., & Lykkesfeldt, J. (2012). Authors' perspective: What is the optimum intake of vitamin C in humans? *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(9), 815–829. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.649149>

- Fullana-Pericàs, M., Ponce, J., Conesa, M., Juan, A., Ribas-Carbó, M., & Galmés, J. (2018). Changes in yield, growth and photosynthesis in a drought-adapted Mediterranean tomato landrace (*Solanum lycopersicum* 'Ramellet') when grafted onto commercial rootstocks and *Solanum pimpinellifolium*. *Scientia Horticulturae*, 233(January), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.045>
- Gillaspy, G. (1993). Fruits: A Developmental Perspective. *the Plant Cell Online*, 5(10), 1439–1451. <https://doi.org/10.1105/tpc.5.10.1439>
- Giovanelli, G., & Paradise, A. (2002). Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, pp 7277-7281.
- Godoy, C., Monterubbianesi, G., & Tognetti, J. (2008). Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae*, 115(4), 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.018>
- Gues, N., Gautier, H., & Stevens, R. (2012). Ascorbate as seen through plant evolution: the rise of a successful molecule? *Journal of Experimental Botany*, 64, 33–53. <https://doi.org/10.1093/jxb/err313>
- Guo, S., Sun, H., Zhang, H., Liu, J., Ren, Y., Gong, G., ... Xu, Y. (2015). Comparative transcriptome analysis of cultivated and wild watermelon during fruit development. *PLoS ONE*, 10(6), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130267>
- Habauzit, V., & Morand, C. (2012). Evidence for a protective effect of polyphenols-containing foods on cardiovascular health: An update for clinicians. *Therapeutic Advances in Chronic Disease*, 3(2), 87–106. <https://doi.org/10.1177/2040622311430006>
- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., ... Wisser, D. (2014). Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3251–3256. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222475110>
- Hall, A. J., Minchin, P. E. H., Clearwater, M. J., & Génard, M. (2013). A biophysical model of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) berry development. *Journal of Experimental Botany*, 64(18), 5473–5483. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert317>
- He, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X., & Zhu, B. (2009). Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.02.007>

- Ho, L. C., Grange, R. I., & Picken, A. J. (1987). An Analysis of the Accumulation of Water and Dry-Matter in Tomato Fruit. *Plant Cell & Environment*, 10(2), 157–162.
- Ighodaro, O. M., & Akinloye, O. A. (2017). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001>
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2006). Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, 83(1–2), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.12.005>
- Ke, D., & Saltveit, M. E. (1988). Plant hormone interaction and phenolic metabolism in the regulation of russet spotting in iceberg Lettuce. *Plant Physiology*, 88, 1136–1140.
- Khan, M. H., & Panda, S. K. (2008). Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiol. Plant*, 30, 81–89.
- Klimczak, I., Małecka, M., Szlachta, M., & Gliszczyńska-Świgło, A. (2007). Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.02.012>
- Kong, Q., Yuan, J., Gao, L., Liu, P., Cao, L., Huang, Y., ... Bie, Z. (2017). Transcriptional regulation of lycopene metabolism mediated by rootstock during the ripening of grafted watermelons. *Food Chemistry*, 214, 406–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.103>
- Köppen, W. (1936). *Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie*. <https://doi.org/10.3354/cr01204>
- Koushesh Saba, M., & Moradi, S. (2016). Internal browning disorder of eight pear cultivars affected by bioactive constituents and enzyme activity. *Food Chemistry*, 205, 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.022>
- Kumar, J., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). NaCl-induced physiological and biochemical changes in two cyanobacteria *Nostoc muscorum* and *Phormidium foveolarum* acclimatized to different photosynthetically active radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 151, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.08.005>



- Kyriacou, M. C., & Roupshael, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234(August), 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>
- 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>
- Lee Jung Myung. (1994). Cultivation of grafted vegetables. I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience*, 29(4), 235–239.
- Li, H. Bin, Qin, Y. M., Pang, Y., Song, W. Q., Mei, W. Q., & Zhu, Y. X. (2007). A cotton ascorbate peroxidase is involved in hydrogen peroxide homeostasis during fibre cell development. *New Phytologist*, 175(3), 462–471. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02120.x>
- Li, Y. L., Stanghellini, C., & Challa, H. (2001). Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Scientia Horticulturae*, 88(1), 11–29. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00190-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00190-4)
- Lurie, S., Handros, A., Fallik, E., & Shapira, R. (1996). Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. *Plant Physiology*, 110(1996), 1007–1214.
- Lv, P., Li, N., Liu, H., Gu, H., & Zhao, W. E. (2015). Changes in carotenoid profiles and in the expression pattern of the genes in carotenoid metabolisms during fruit development and ripening in four watermelon cultivars. *Food Chemistry*, 174, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.022>
- Magán, J. J., Casas, E., Gallardo, M., Thompson, R. B., & Lorenzo, P. (2005). Uptake Concentrations of a Tomato Crop in Different Salinity Conditions. *Acta Horticulturae*, (697), 365–369. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.697.46>
- Marin, A., Rubio, J. S., Martinez, V., & Gila, M. I. (2009). Antioxidant compounds in green and red peppers as affected by irrigation frequency, salinity and nutrient solution composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1352–1359. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3594>
- Martinez-Rodriguez, M. M., Estañ, M. T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J. O., Flores, F. B., Campos, J. F., ... Bolarín, M. C. (2008). The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an “excluder” genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1–3), 392–401. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.007>

- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Bibbiani, C., Carmassi, G., Malorgio, F., & Pardossi, A. (2011). Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soilless culture. *Environmental Modelling and Software*, 26(6), 711–722. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.01.004>
- Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A., & Cambraia, J. (2003). Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49(1), 69–76. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8)
- Meng, D., Zhang, P., Zhang, L., Wang, H., Ho, C.-T., Li, S., ... Zhao, H. (2017). Detection of cellular redox reactions and antioxidant activity assays. *Journal of Functional Foods*, 37, 467–479. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2017.08.008>
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405–410. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci*, 9, pp 490-498.
- Mosa, A., El-Banna, M. F., & Gao, B. (2016). Biochar filters reduced the toxic effects of nickel on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in nutrient film technique hydroponic system. *Chemosphere*, 149, 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.104>
- Munns, R. (2005). Genes and Salt Tolerance. *New Phytologist*, 167(3), 645–663.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(May), 867–880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Navrot, N., Rouhier, N., Gelhaye, E., & Jaquot, J. P. (2007). Reactive oxygen species generation and antioxidant systems in plant mitochondria. *Physiol. Plant*, 129, pp 185-195.
- Noctor, G., & Foyer, C. H. (1998). ASCORBATE AND GLUTATHIONE: Keeping Active Oxygen Under Control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 249–279. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.249>
- Padayatty, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, J., S, W., & Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. En E. Cardenas & L. Packer (Eds.), *Handbook of Antioxidants* (2nd editio, p. 117–145.). Washington DC, USA.

- Plaut, Z., Grava, A., Yehezkel, C., & Matan, E. (2004). How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiologia Plantarum*, 122(4), 429–442. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2004.00416.x>
- Queiros, F., Rodrigues, J. A., Almeida, J. M., Almeida, D. P. F., & Fidalgo, F. (2011). Differential responses of the antioxidant defence system and ultrastructure in a salt-adapted potato cell line. *Plant Physiol. Biochem*, 49, 1410–1419.
- Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., ... Oliveira, C. (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment*, 56(12), 584–588.
- Rasouli, F., & Kiani-Pouya, A. (2015). Photosynthesis capacity and enzymatic defense system as bioindicators of salt tolerance in triticale genotypes. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 214, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.05.006>
- Riboli, E., & Norat, T. (2003). Epidemiologic evidence of the protective effect of fruit and vegetables on cancer risk. *American Journal for Clinical Nutrition*, 78, pp 559-569.
- Rivero, R. M., Ruiz, J. M., García, P. C., López-Lefebvre, L. R., Sánchez, E., & Romero, L. (2001). Resistance to cold and heat stress: Accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*, 160(2), 315–321. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00395-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00395-2)
- Rivero, R., Ruiz, J., & Romero, L. (2003). Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Journal of Food ...*, 1(January), 70–74. Recuperado a partir de [http://www.researchgate.net/publication/236211274\\_Role\\_of\\_grafting\\_in\\_horticultural\\_plants\\_under\\_stress\\_conditions/file/e0b495170043787b85.pdf](http://www.researchgate.net/publication/236211274_Role_of_grafting_in_horticultural_plants_under_stress_conditions/file/e0b495170043787b85.pdf)
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A., & Colla, G. (2006). Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agricultural water management*, 82(1–2), 99–117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.018>
- Rouphael, Y., Petropoulos, S. A., Cardarelli, M., & Colla, G. (2018). Salinity as eustressor for enhancing quality of vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234(January), 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.048>

- Ruyskensvelde Van, V., Breusegema Van, F., & Kelen Van Der, K. (2018). Post-transcriptional regulation of the oxidative stress response in plants. *Free Radical Biology and Medicine*, (December 2017), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.02.032>
- Saccon, P. (2017). Water for agriculture, irrigation management. *Applied Soil Ecology*, (October), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.037>
- Santos, A. de A., Silveira, J. A. G. da, Bonifacio, A., Rodrigues, A. C., & Figueiredo, M. do V. B. (2018). Antioxidant response of cowpea co-inoculated with plant growth-promoting bacteria under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.003>
- 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>
- SIGMA-ALDRICH. (2014). 19160 SOD determination kit. Recuperado a partir de <https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/docs/Sigma/Datasheet/6/19160dat.pdf>
- Slimestada, R., & Verheulb, M. (2009). Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*lycopersicon esculentum mill.*) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1255–1270. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3605>
- Steiner, A. A. (1961). A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil*, 15, 134–154.
- Thies, F., Masson, L. F., Rudd, A., Vaughan, N., Tsang, C., Brittenden, J., ... Duthie, G. (2012). Effect of a tomato-rich diet on markers of cardiovascular disease risk in moderately overweight, disease-free, middle-aged adults: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 95(5), 1013–1022. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.026286>
- Thompson, R. B., Gallardo, M., Valdez, L. C., & Fernández, M. D. (2007). Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 88(1–3), 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.007>
- USDA. (1975). Color classification requirements in United States standards for grades of fresh tomatoes.

- Van Ieperen, W. (1996). Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. *Journal of Horticultural Science*, 71(1), 99–111. <https://doi.org/10.1080/14620316.1996.11515386>
- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- Wang, W., Xia, M. X., Chen, J., Yuan, R., Deng, F. N., & Shen, F. F. (2016). Gene expression characteristics and regulation mechanisms of superoxide dismutase and its physiological roles in plants under stress. *Biochemistry (Moscow)*, 81(5), 465–480. <https://doi.org/10.1134/S0006297916050047>
- Warrington, I. J., Fulton, T. A., Halligan, E. A., & Silva, H. N. de. (1999). Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(5), 468–477.
- Willems, P., Mhamdi, A., Stael, S., Storme, V., Kerchev, P., Noctor, G., ... Breusegem, F. Van. (2016). The ROS Wheel: Refining ROS Transcriptional Footprints. *Plant Physiology*, 171(3), 1720–1733. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00420>
- Wu, M., & Kubota, C. (2008). Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, 116(2), 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.014>
- Yetisir, H., & Uygur, V. (2010). Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3), 315–327. <https://doi.org/10.1080/01904160903470372>
- Zhang, J., Serra, S., S. Leisso, R., & Musacchi, S. (2016). Effect of light microclimate on the quality of “d’Anjou” pears in mature open-centre tree architecture. *Biosystems Engineering*, 141, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.002>
- Zhou, Y. H., Huang, L. F., Zhang, Y. L., Shi, K., Yu, J. Q., & Noguees, S. (2007). Chill-induced decrease in capacity of RuBP carboxylation and associated H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> accumulation in cucumber leaves are alleviated by grafting onto figleaf gourd. *Annals of Botany*, 100, 839–848.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., & Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3), 527–533. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.04.020>