

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Crecimiento y calidad nutracéutica del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
injertado y cultivado con nanopartículas de cobre.

Por:

PEDRO JOAQUIN SOLIS MUÑOZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Crecimiento y calidad nutracéutica de frutos de tomate *Solanum lycopersicum* L.)
injertado y cultivado con nanopartículas de cobre.

Por:

PEDRO JOAQUIN SOLIS MUÑOZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el comité de Asesoría



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Asesor principal



Dra. Rocío Maricela Peralta Manjarrez
Coasesor



Dra. Susana González Morales
Coasesor



Dr. José Antonio Gonzáles Fuentes.
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo Coahuila México

Diciembre de 2019



Agradecimientos

A El Gran Arquitecto del Universo.

Que siempre ha cuidado de mí, y que hasta cuando me muestra el lado amargo de la vida me está dando una lección.

A la UAAAN.

Por brindarme la posibilidad de haber estudiado la única área que me interesaba que es la agronomía y haberme dado todo para que ello fuera posible.

A mi padre.

Benito Solís Gutiérrez

Por enseñarme a trabajar, el amor a la agricultura, la tolerancia a la adversidad, el no tener miedo a perder, y la audacia cercana a la imprudencia.

A mi madre.

Anita Muñoz Pérez. Por todo su apoyo y amor.

A mis maestros.

Por los conocimientos que me fueron transmitidos, que ellos adquirieron a lo largo de años de experiencia y continuo estudio.

A mis amigos.

Por su amistad, apoyo, consejos e incluso regaños.

Dedicatoria

A mi abuelita Lían por ser una persona ejemplar, por enseñarme que no importa ningún tipo de adversidad, nada es pretexto. Que cuidó de mi cuando era niño y nadie más quiso hacerlo. Por ser la única persona que creyó en mi cuando nadie más lo hizo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	viii
INTRODUCCION.....	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis.....	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
Origen.....	3
Clasificación taxonómica	3
Características Botánicas	3
Fases del Cultivo	4
Requerimientos Ambientales.....	4
Requerimientos Hídricos y Nutricionales	5
Importancia del Tomate en México y el Mundo	6
Producción de Tomate en México	6
Injerto	6
Tipos de injerto	7
Empalme o Adosado	7
Cuña o Hendidura	7
Compatibilidad.....	7
Nanotecnología	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
Ubicación del experimento	9
Material vegetativo	9
Obtención del injerto.....	9

Tratamientos.....	10
VARIABLES EVALUADAS.....	11
Crecimiento Semanal del Fruto.....	11
Características Fisicoquímicas.....	11
Contenido Nutraceutico.....	11
Vitamina C.....	12
Licopeno y Carotenoides Totales.....	12
Capacidad Antioxidante Total (CAoxT).....	12
Análisis Estadístico.....	13
RESULTADOS Y DISCUSION.....	14
Crecimiento Semanal del Fruto.....	14
Características Fisicoquímicas.....	15
Diámetro del Fruto.....	15
Peso de Fruto.....	17
Firmeza del Fruto.....	19
Solidos Solubles Totales.....	20
Acidez Titulable.....	21
Calidad Nutraceutica.....	22
Vitamina C.....	22
Licopeno.....	23
Carotenoides Totales.....	25
Antioxidantes Totales.....	26
CONCLUSIONES.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	14
Ilustración 2. Crecimiento del diámetro polar del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	15
Ilustración 3. Diámetro ecuatorial del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	16
Ilustración 4. Diámetro polar del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	17
Ilustración 5. Peso del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	18
Ilustración 6. Firmeza del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.	19
Ilustración 7. Contenido de sólidos solubles totales del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	21
Ilustración 8. <i>Porcentaje de acidez titulable en fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....</i>	22
Ilustración 9. Contenido de vitamina C en el fruto de tomate de plantas injertada y tratadas con NPS de cobre.....	23
Ilustración 10. Contenido de licopeno en el fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	24
Ilustración 11. Contenido de Carotenoides en el fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	25
Ilustración 12. Contenido antioxidante total en el fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.....	27

RESUMEN

Los compuestos antioxidantes presentes en los frutos de tomate, son capaces de neutralizar las especies reactivas del oxígeno y prevenir los cambios oxidativos en el cuerpo humano, aportando beneficios para la salud humana. El objetivo del estudio es evaluar el efecto de la interacción del uso del injerto y la aplicación de Nanopartículas (NPs) de Cobre (Cu) sobre la calidad fisicoquímica y nutracéutica en frutos de tomate como alternativa para promover la concentración de compuestos antioxidantes y mejorar la calidad nutracéutica de los frutos. Se aplicaron seis tratamientos con y sin injerto, y aplicaciones de NPs de Cobre de manera foliar (50 mg L^{-1}) y al sustrato (5 mg por planta). Los resultados muestran que con el uso del injerto en combinación con aplicaciones de NPs de Cu en plantas de tomate hay una mejora en la calidad organoléptica y promueve la calidad nutracéutica del fruto.

Palabras Clave: *Solanum lycopersicum*, antioxidantes, injertar, nanomateriales.

INTRODUCCION

La producción y consumo per cápita a nivel mundial de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) registra un incremento siendo México el principal exportador (FAO 2017). Sin embargo, es un cultivo susceptible a diferentes tipos de estrés que provocan una disminución en la producción y calidad de los frutos.

Para esto, el uso de portainjertos resistentes a condiciones ambientales es una alternativa para una mejor producción sin afectar la calidad (Toure, *et al.*, 2010). El portainjerto puede proteger a la planta del estrés modificando sus respuestas fisiológicas y proteómicas (Muneer, *et al.*, 2016).

El uso de la nanotecnología en la agricultura va en aumento, debido a que se enfoca en mejorar la calidad y eficiencia de los insumos agrícolas, al ser utilizados en menor volumen y mejorar la nutrición (Razzaq, *et al.*, 2016). Sin embargo, sus usos actuales en el sector agrícola y alimentario son todavía escasos, debido a que se encuentra en estado emergente (Siddiqui, *et al.*, 2015).

Se ha demostrado que las nanopartículas (NPs) de cobre muestran un efecto positivo sobre la reactividad de fitohormonas como; ácido indolacético (AIA), ácido salicílico, lo cual facilita e incrementa la acción fitoestimulante (Wang, *et al.*, 2015).

El uso de nanopartículas metálicas de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), plata (Ag), titanio (Ti), entre otras se debe en gran parte a su actividad antimicrobiana (Zhang, *et al.*, 2008).

Diversos autores mencionan que el efecto promotor o inhibidor que las nano partículas está en función de su concentración y propiedades del elemento involucrado, así como la función que desempeña en la planta (Wang, *et al.*, 2015).

El presente trabajo tiene como objetivo encontrar la influencia que tienen las nanopartículas de cobre en interacción con el injerto sobre el crecimiento, la calidad comercial y nutraceútica en el cultivo de tomate.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de nanopartículas de cobre en el crecimiento y calidad del fruto de plantas de tomate injertadas.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de las nanopartículas de cobre en el crecimiento del fruto de tomate injertado a través del tiempo.
2. Analizar el efecto de las nanopartículas de cobre en las características fisicoquímicas del fruto de tomate injertado.
3. Determinar el contenido antioxidante en frutos de plantas de tomate tratadas con nanopartículas de cobre.

Hipótesis

La aplicación de nanopartículas de cobre inducirá cambios en el crecimiento, calidad comercial y nutraceútica del fruto de tomate injertado.

II. REVISION DE LITERATURA

Origen

El centro de origen del tomate es la región andina que hoy comparte Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. También es la zona donde se encuentra mayor variación genética (Nuez *et al.*, 1995). Muner (1940), sugiere que el tomate fue transportado a Europa desde Perú en el año 1535. La evidencia citada proviene de los primeros nombres, Mala peruviana, Pomi del Perú.

Clasificación taxonómica

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: Solanum
Subgénero: Potatoe
Sección: Petota
Especie: Solanum lycopersicum

Características Botánicas

La planta puede desarrollarse de forma rastrera, teniendo crecimiento determinado o indeterminado, llegando a medir hasta 10m en un año. Las hojas son compuestas imparipinadas con siete a nueve folíolos. La inflorescencia es un dicasio compuesto por 12 flores. El fruto es una baya globular, cuyo peso oscila entre 5 a 500g (Nuez,

2001). El sistema radicular del tomate consta de una raíz principal y un gran número de ramificaciones secundarias (Castellanos, *et al.*, 2007). La semilla es de forma lenticular de aproximadamente 5 mm y está compuesta por el embrión, endospermo y la testa (Muñoz 2002)

Fases del Cultivo

Crecimiento vegetativo. El crecimiento vegetal es entendido como un aumento irreversible en tamaño, implica una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, de las cuales dependerá el comportamiento de los diferentes genotipos. EL cual está ligado a su vez a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, entre otros (Salisbury y Ross, 1994)

La duración de la etapa vegetativa del tomate es de 22 a 40 días en promedio. Luego del trasplante esta etapa continúa por 30 a 35 días más y a los 50 o 60 días inicia la floración (Pérez, *et al.*, 2002)

Etapa reproductiva. Se extiende desde 32 a 40 días antes de la cosecha e inicia entre los 62 y 75 días después de trasplante. Dicha etapa dura entre 30 y 40 días, durante esta etapa se detiene el crecimiento de la planta e inicia el crecimiento y maduración de los frutos (CATIE,1990)

La floración inicia 45 días después de la emergencia en campo, sus flores son perfectas agrupadas en inflorescencia tipo racemoso (Nuez, 1995). Al producirse la anthesis, las anteras se abren y los granos de polen caen sobre el estigma y deben adherirse para que ocurra la polinización (Charles, 1972). Los óvulos fertilizados permiten la transformación del ovario en fruto, solamente cuando las células del ovario han empezado a dividirse, iniciando el crecimiento del fruto se considera que se han establecido los frutos (Bonher y Bangerth 1988)

Requerimientos Ambientales

Las temperaturas óptimas para el cultivo del tomate oscilan entre los 15 y 18 °C durante la noche y 24 a 25 °C durante el día (Rodríguez *et al.*, 2001). Cuando la

temperatura interna del fruto es mayor a 30°C se inhibe la síntesis de licopeno, esto ocasiona maduración des uniforme ya que es el responsable de la coloración de los frutos (Bolaños, 1998)

La humedad relativa requerida oscila entre un 55 y 60%, siendo la más favorable para una correcta dehiscencia polínica, y la consiguiente polinización y fecundación. Si la humedad relativa es menor al 50% no habrá una buena retención de granos de polen y las flores se desprenden de la planta. El crecimiento de tejidos y las enfermedades criptogámicas están directamente influenciados por la humedad relativa (Chamarro, 2001).

El tomate requiere de días largos (entre 8 a 16 horas luz), la baja radiación afecta los procesos de floración, crecimiento de la planta además de una baja absorción de agua y nutrientes (Jaramillo *et al.*, 2006)

Requerimientos Hídricos y Nutricionales

Riego. Un riego adecuado permite controlar la acumulación de sales y mantener un adecuado nivel de oxígeno en las raíces, permite compensar las extracciones de agua y elementos esenciales. El crecimiento de la planta y su productividad depende directamente del riego, para ello debe tenerse un buen suministro de agua y nutrientes en cantidad y tiempos adecuados, tomando en cuenta las necesidades hídricas del cultivo (Doorembos y Kassam, 1986). El coeficiente para tomate tiene valores cercanos a 0.8 de la evapotranspiración, en la etapa de producción (FAO, 2006)

Fertilización. La composición y concentración de la solución nutritiva, depende de la fase del cultivo, la etapa, la clase de cultivo, el medio ambiente y el tipo de hidroponía. Para cubrir las necesidades nutricionales del cultivo durante el ciclo de este, se utilizó la solución nutritiva Steiner, a diferentes concentraciones de acuerdo con la etapa de cultivo, 25% en la etapa de crecimiento, 50% en etapa de floración, 75% amarre y llenado de fruto y 100% producción (Steiner, 1968).

Importancia del Tomate en México y el Mundo

La producción y consumo de tomate rojo a nivel mundial registran una tendencia alcista, teniendo a China como principal productor y consumidor mundial, Estados Unidos como principal importador. La superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció una tasa promedio anual del 1.7% entre 2004 y 2014, con 50 millones de toneladas, a su vez los rendimientos crecieron a un ritmo de 1.2% anual, teniendo como promedio 34 toneladas por hectárea en rendimiento. El 54% de la superficie cosechada en 2014 se centró en; China con el 19.8%, India con el 18.8%, Nigeria con el 10.8% y Turquía con el 10.8%. Sin embargo, México se encuentra ubicado como principal exportador, teniendo a Estados Unidos como principal consumidor de tomate mexicano exportado con el 997.7%. En la década 2006-2016 la producción de tomate en México creció una tasa promedio anual del 4.8%, el año 2016 el tomate fue el principal productor agropecuario de exportación, el volumen exportado representa el 48% de la producción nacional (FIRA, 2017)

Producción de Tomate en México

Durante la década 2006-2016 la producción de tomate reporto un máximo histórico de 3.3 millones de toneladas. La productividad de tomate rojo por unidad de superficie continúa creciendo y los rendimientos dependen de la tecnología empleada. La producción nacional se concentró en cinco entidades durante el año 2016; Sinaloa (27.6%), San Luis Potosí (9.2%), Michoacán (7.0%), Baja California (6.7%), y Zacatecas (5.7%). (FIRA, 2017; SIAP 2018).

Injerto

Es una técnica de propagación asexual que permite unir un patrón que por medio del sistema radical suministra los nutrientes necesarios a un tallo (injerto) que aportara las características, del vegetal a multiplicar (Hartmann *et al.*, 2002).

El uso del injerto proporciona mayor vigor y producción a la planta, como consecuencia de una mayor capacidad radicular que mejora la absorción de agua y nutrientes, aunque normalmente se selecciona por los beneficios que ofrece frente

al estrés biótico como abiótico (Ruiz *et al.*, 1997). Al inicio era una buena alternativa frente al problema de enfermedades en el suelo a las cuales la planta cultivada es susceptible (Louws *et al.*, 2010). El uso de injertos de tomate con patrones vigorosos, normalmente híbridos, reduce los costos de producción al permitir emplear 2 o más tallos por planta (Miguel, 1997). Además, se ha demostrado que aumenta la vida pos cosecha del fruto (Lee y Oda, 2003) Coutinho *et al.* (2006), menciona que mejora las características físico-químicas de los frutos.

Tipos de injerto

Empalme o Adosado

Se realiza poco ya que requiere instalaciones adecuadas para el prendimiento y enraizamiento ya que se eliminan los sistemas radiculares del cultivar a injertar y también del patrón (De la Torre, 2005).

Cuña o Hendidura

Es el más común ya que permite ahorrar mano de obra y debido a que permite ahorrar algunas de las operaciones que se necesitan con el injerto de aproximación (De la Torre, 2005).

Compatibilidad

La unión y continuidad de los vasos de xilema es una de las formas más confiables para estimar la compatibilidad que existe entre el patrón y el cultivar injertado, y así conocer la viabilidad en el desarrollo de las plantas injertadas (Nieto-Ángel y Borys, 1999), Sass (1998) también menciona que las características anatómicas de los tallos son importantes para conocer el grado de compatibilidad vegetativa. Fernández *et al.* (2004), mencionan que en las plantas injertadas “Fanny” /”AR-9704” por el método de aproximación y con lengüeta, observó que el punto de fusión de xilema y floema estaba totalmente fusionado y activo, además de un incremento

en la actividad enzimática del tipo peroxidasa y catalasa, implicadas en la unión del injerto.

Nanotecnología

Es toda aquella tecnología con materiales que operan a una escala menor a 100 nanómetros (nm) o menos, implica la manipulación de materiales, creación de estructuras y sistemas a nana escala (Somasundaran *et al.*, 2010).

La nanotecnología (NT) tiene diversas aplicaciones en la agricultura, pudiendo mejorar la productividad y eficiencia, y por consecuencia, reducir costos. Las nanopartículas (NPs) metálicas de óxido de zinc, cobre y fierro están siendo estudiadas por su potencial como promotores de crecimiento, nanofertilizantes y antimicrobiales (Méndez *et al.*, 2016). Srilatha (2011), menciona que los materiales de escala nanométrica se liberan en un momento específico y ubicación de orientación. Las nanopartículas podían reducir el daño a tejidos de las plantas que es ocasionado por agroquímicos u otras sustancias y la cantidad de productos químicos liberados al ambiente.

Las funciones que pueden tener las NPs sobre el crecimiento y metabolismo de las plantas varía según su especie (Ma *et al.*, 2010).

Un experimento realizado por Adhikari, *et al.*, (2012), sobre el efecto de las NPs de óxido de Cu (50nm) en la germinación y crecimiento de semillas de soja y garbanzo, los resultados experimentales generales demostraron que la presencia de NPs de óxido de Cu afecta el crecimiento de las plántulas de soja y garbanzo a diferentes concentraciones. El crecimiento es eficaz en concentración óptima, pero si es alta inhibe el crecimiento. Se encontró que la acumulación y absorción de las NPs fue dependiente de las concentraciones de exposición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El desarrollo del cultivo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero, en Saltillo, Coahuila, México, ubicado en las coordenadas 25.412403 latitud Norte y -101.007812 longitud Oeste, a una altitud de 2500 msnm, durante el ciclo primavera-verano 2019.

Material vegetativo

El material genético utilizado fue tomate tipo bola de la variedad Piranha (Singenta, México) y el híbrido Colosus RZ F1 como patrón (portainjerto) Se inició con la siembra de las semillas, en el mes de febrero del 2019, con un desfase de 15 días entre la variedad y el portainjerto, iniciando por la variedad. La siembra se realizó en charolas de 200 cavidades, las cuales fueron desinfectadas con solución clorada. El sustrato utilizado fue una mezcla de peat moss y perlita con proporción 1:1 humedecido a saturación.

Obtención del injerto

La técnica de injerto utilizada fue de púa en hendidura (González , 1999), al alcanzar 2 mm de diámetro los tallos de las plántulas se eliminó la parte superior terminal de la plántula del portainjerto dejando los cotiledones, haciendo una incisión hacia Muller (1940) abajo en medio de éstos, de la plántula de la variedad se tomó la parte superior terminal y se realizó un corte en forma de “v”, de esta manera quedaron ambas partes en contacto directo, se colocó una pinza de silicón para sujetar la zona de unión y se formara una sola planta. Una vez injertadas las plántulas se llevaron a una cámara de prendimiento por 6 días, con condiciones controladas con 80% de humedad y 25°C de temperatura, en ausencia de luz, posterior a esto se tuvieron 4 días en una cámara de aclimatación en presencia de luz bajo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura. Una vez prendieron las plantas se trasplantó a bolsas de polietileno de 10 kilogramos con una mezcla de peat moss y perlita con proporción 1:1 nuevamente. El cultivo se condujo a un tallo, y se realizaron las labores culturales necesarias para el mantenimiento del cultivo; podas

de brotes axilares, tutoro, aclareo de frutos para regular la carga y el tamaño de los frutos, dejando 4 frutos por racimo. Para el riego se utilizó un sistema de riego por goteo.

Para cubrir las necesidades nutricionales del cultivo durante su ciclo, se utilizó la solución nutritiva Steiner, a diferentes concentraciones de acuerdo con la etapa de cultivo, 25% en la etapa de crecimiento, 50% en etapa de floración, 75% amarre y llenado de fruto y 100% producción (Steiner, 1968).

Tratamientos

Los tratamientos (T) consistieron en aplicaciones de $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de NPs de Cu por planta de manera foliar y 5 mg de NPs de Cu encapsuladas en 1g de hidrogel de quitosán PVA por planta al sustrato (dirigidas a la raíz), incluyendo un tratamiento sin NPs de Cu, con un total de 6 tratamientos con 10 repeticiones, quedando de la siguiente manera:

Tabla 1. Tratamientos empleados en el Experimento

(T1) Plantas sin injerto y sin NPs de Cu (Testigo absoluto)
(T2) Plantas sin injerto y con NPs de Cu foliar
(T3) Plantas sin injerto con NPs de Cu al sustrato
(T4) Plantas con injerto y sin NPs de Cu
(T5) Plantas con injerto y con NPs de Cu foliar
(T6) Plantas con injerto y con NPs de Cu al sustrato

Las NPs de Cu utilizadas en este estudio fueron proporcionadas por el centro de investigación de química aplicada (CIQA), sintetizadas bajo la metodología descrita por Ortega-Ortiz *et al.* (2013). Las NPs tenían morfología esférica, pureza del 99.8% y diámetro promedio de 25 nm.

Variables Evaluadas

Crecimiento Semanal del Fruto

Se seleccionaron 3 frutos (un fruto por racimo) por repetición de cada tratamiento los cuales fueron etiquetados cuando estos tenían un tamaño promedio de 5 mm de diámetro y cada semana se les midió el diámetro polar y ecuatorial (mm) con ayuda de un vernier electrónico (Marca y modelo) hasta la semana 5, para observar el comportamiento del crecimiento del fruto a través del tiempo desde el amarre del fruto hasta su madurez fisiológica.

Características Fisicoquímicas

De los frutos obtenidos de la cosecha realizada a los 60 días después del trasplante, se seleccionaron 3 frutos aleatoriamente de cada tratamiento, para evaluar cada variable después de la cosecha.

Diámetro de fruto. El diámetro polar y ecuatorial se midió con un vernier digital.

Peso de fruto (g), se registró utilizando una balanza digital (OHAUS, modelo YA501E).

Firmeza del fruto ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) utilizando un penetrómetro (FRUIT PRESSURE TESTER FT 327) con la puntilla de ocho milímetros.

Sólidos solubles totales (expresado en °Brix) se determinó con un refractómetro digital (Hanna modelo HI 96801) a 20°C.

Acidez titulable se determinó por el método de titulación con NaOH 0.1N (AOAC, 2000), expresando su valor en porcentaje de ácido cítrico de acuerdo con la norma AOAC 942.15.

Contenido Nutraceutico

El análisis de compuestos nutraceuticos, se realizó con tres muestras de pulpa de fruto al azar de cada tratamiento, estas fueron congeladas en un ultracongelador (Ultracongelador THERMO SCIENTIFIC 303, EUA) durante 72 h. a -80 ° C, se

liofilizaron (Labconco, FreeZone 6, Kansas City, MO, USA) durante 72 horas a -84 ° C y 0.060 mbar. Posteriormente las muestras se pulverizaron con ayuda de un mortero.

Vitamina C

El ácido ascórbico determinó por el método de Dürüst, *et al.* (1997) con modificaciones. Se pesó 0.1 g de muestra liofilizada y se mezcló con 10 ml de solución de ácido tricloracético al 10 % (v / v). Las muestras fueron sonicadas (Ultrasonic Cleaner, Mod. 32V118A, Illinois, U.S.A.), durante 15 minutos a una frecuencia de 40 kHz y se centrifugaron a 10,000 xg durante 10 min, se tomó 2 ml de sobrenadante y se agregó 1.5 ml de agua y 0.2 ml de Folin-Ciocalteu (1:10), se mezclaron vigorosamente y se dejó reposar por 10 minutos. Finalmente se midieron a 520 nm en un espectrofotómetro UV/Vis (Varian CARY 100BIO, Turin, Italy). Los resultados fueron expresados en mg de ácido ascórbico por g de peso fresco.

Licopeno y Carotenoides Totales

La concentración de licopeno y β -caroteno se determinaron mediante un método espectrofotométrico de acuerdo a Goula y Adamopoulos (2005) con modificaciones. Se disolvió 0.1 g de muestra liofilizada con 10 ml de hexano y se homogenizó utilizando un vortex durante 5 min. Posteriormente se centrifugaron a 10000 xg durante 10 min (centrifuga Thermo Scientific, Mod. ST 16R, Alemania). El sobrenadante se midió a una longitud de onda de 503 y 478 nm (Espectrofotómetro modelo 6715 UV/Vis, Jenway, Techne Inc. EE.UU.) para licopeno y β -caroteno, respectivamente. Las concentraciones de licopeno y β -caroteno se determinaron a partir de curvas estándar generadas para cada uno de los carotenoides, los resultados fueron expresados en mg/g de Peso Seco.

Capacidad Antioxidante Total (CAoxT)

Para la determinación de la Capacidad Antioxidante Total (CAoxT) se utilizaron dos radicales metaestables, con fuentes de absorción en el espectro visible para

determinar su capacidad estabilizadora de radicales libres, uno fue el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995) con modificaciones, se mezcló 0.1 g de muestra seca con 10 ml de metanol. El extracto metabólico se agitó en un vórtex por un minuto se centrifugó a 15000 rpm durante 10 minutos a 4° C. Posteriormente se tomó una alícuota de 300 µl con 2.7 ml de DPPH al 6.1×10^5 mol L⁻¹. La mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 minutos, y la absorbancia se registró a 517 nm en un espectrofotómetro (modelo 6715 UV/Vis, Jenway, Techne Inc. EE. UU). Los resultados se expresaron en µM equivalentes de Trolox por g de peso seco (PS).

Análisis Estadístico

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2X3. Los factores fueron los estados de injerto (con y sin injertar), y la aplicación de NPs de Cu (raíz, foliar y sin aplicación), resultando en seis tratamientos y diez repeticiones por tratamiento (una planta por repetición).

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), seguido de pruebas de Diferencias Mínimas Significativas (LSD, $P \leq 0.05$) entre los factores evaluados, utilizando el paquete estadístico Infostat versión 2018.

RESULTADOS Y DISCUSION

Crecimiento Semanal del Fruto

El comportamiento de crecimiento diametral del fruto en todos los tratamientos corresponde a las tres fases de desarrollo de los frutos: división, expansión y maduración del fruto. En base al análisis de varianza no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los dos factores evaluados, ni en la interacción de los mismos, sin embargo, podemos observar en la Ilustración 1 y la Ilustración 2, que los frutos de las plantas injertadas presentaron un crecimiento diametral por arriba del de los frutos no injertados con y sin aplicación de NPs de cobre. Lo cual coincide con De la Rosa *et al.* (2014), que encontró que la aplicación de NPs promueve el crecimiento.

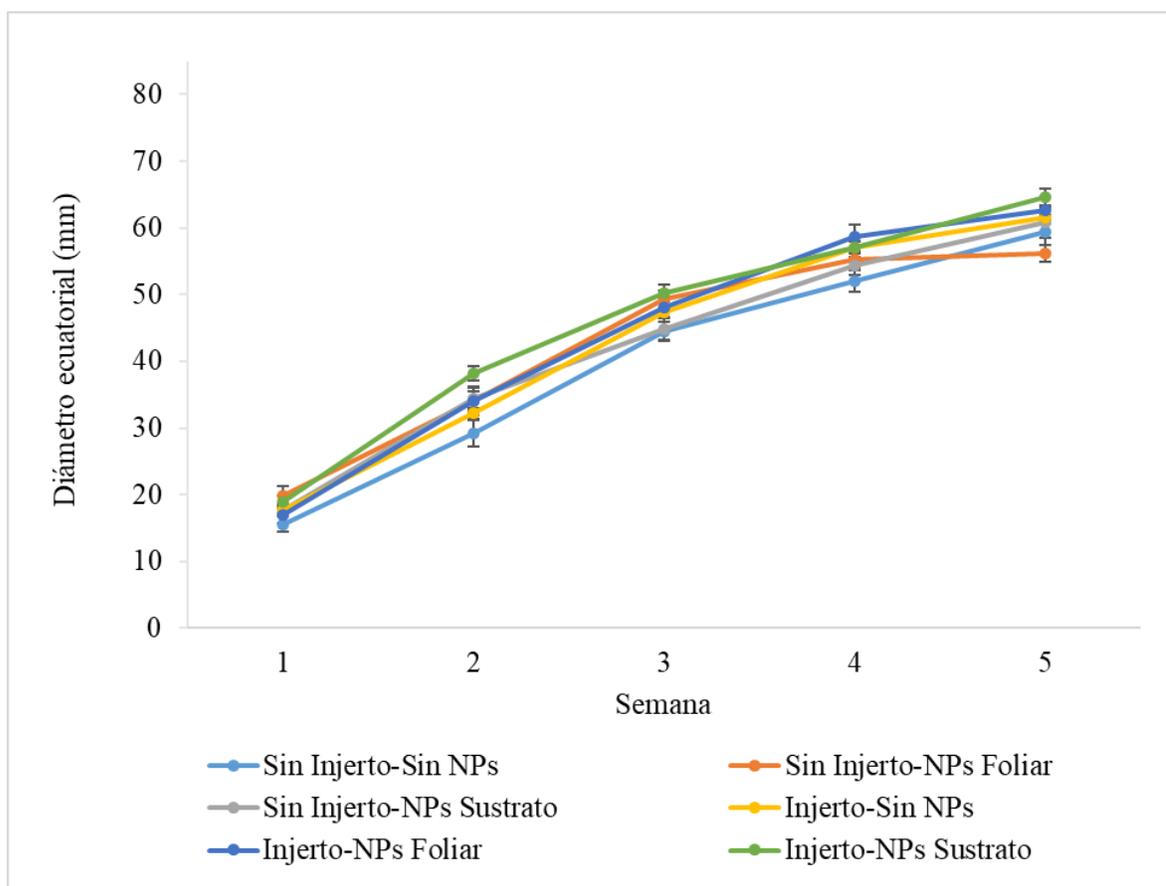


Ilustración 1. Crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

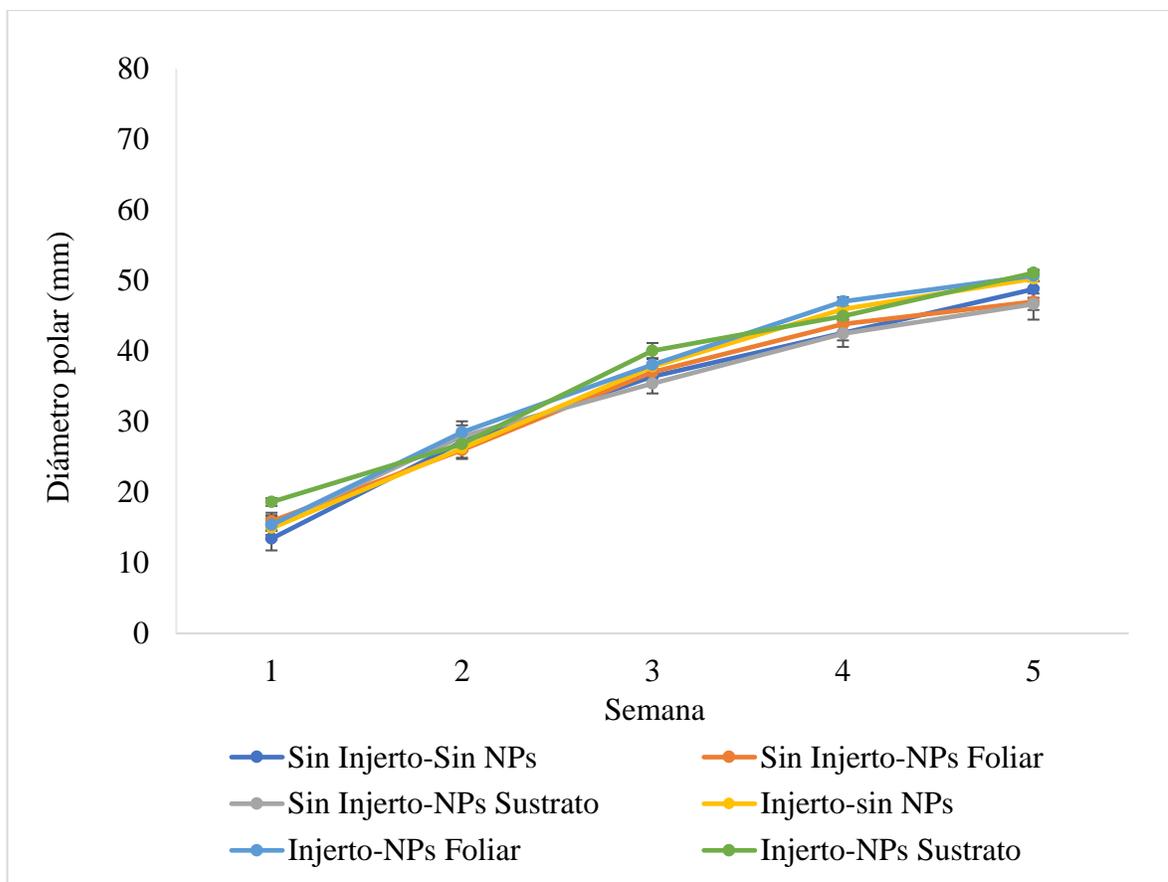


Ilustración 2. Crecimiento del diámetro polar del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Características Físicoquímicas

Diámetro del Fruto

Los resultados de esta variable muestran un efecto positivo del injerto sobre el diámetro ecuatorial y polar del fruto, presentando un incremento en el diámetro del 23% y 18% respectivamente. La aplicación de NPS de cobre no presentó un efecto positivo sobre estas variables, sin embargo, en la interacción de los factores podemos observar en la Ilustración 3, podemos observar que el uso del injerto con NPS de cobre aplicadas de manera foliar fue superior a los frutos de plantas sin injerto con la misma forma de aplicación, incrementando 51% el diámetro; y con respecto al testigo un incremento del 13%. En la Ilustración 4 podemos observar que en la interacción de los factores los frutos de las plantas injertadas en cualquier

forma de aplicación incrementaron el diámetro del fruto en relación a las no injertadas. Lo que sugiere que el incremento del crecimiento del diámetro durante la expansión celular del fruto se debió a los cambios ocurridos en la planta derivados de la eficiencia del sistema radicular por el uso del injerto y la introducción de NPS de cobre que al intervenir en la síntesis de reguladores del crecimiento como las auxinas y citocininas promueven la división y elongación celular, factor que influye directamente en el aumento de tamaño y diámetro de frutos (Méndez *et al.*, 2016).

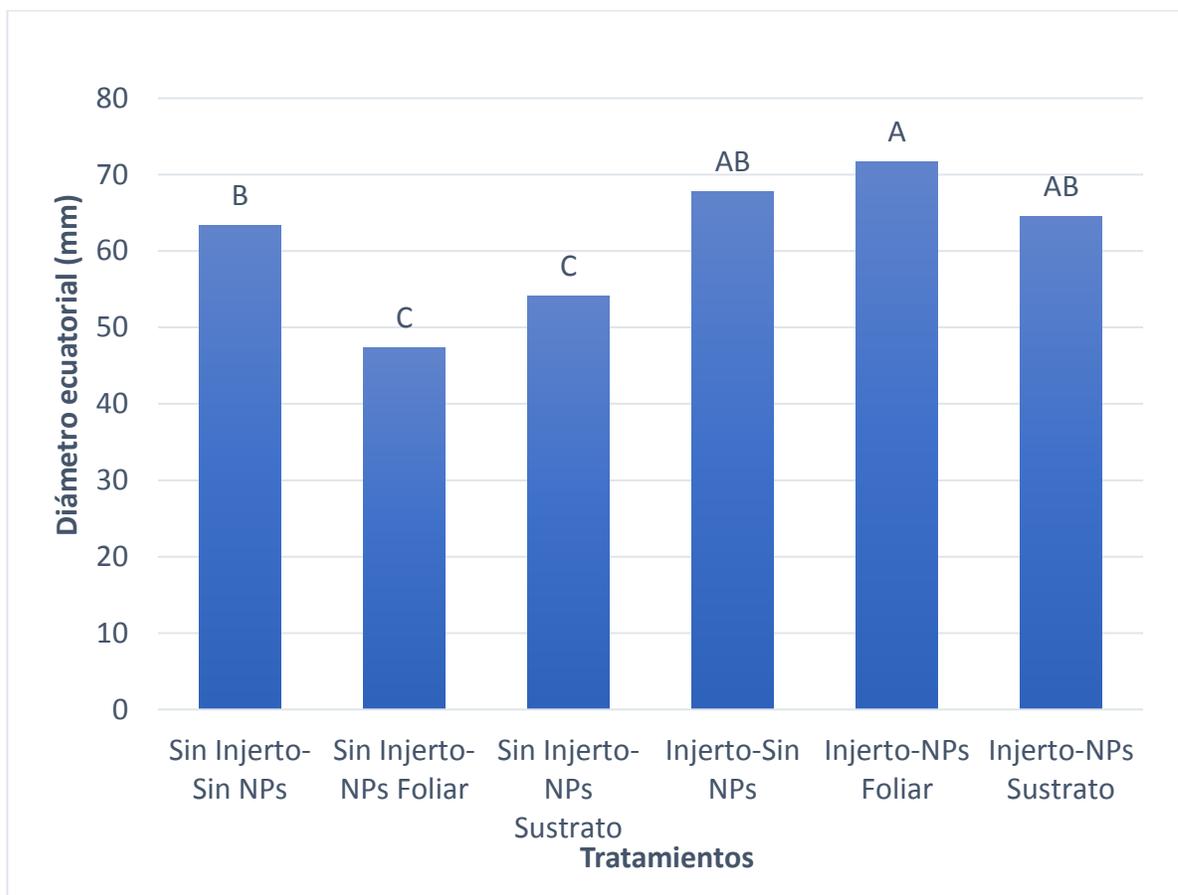


Ilustración 3. Diámetro ecuatorial del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

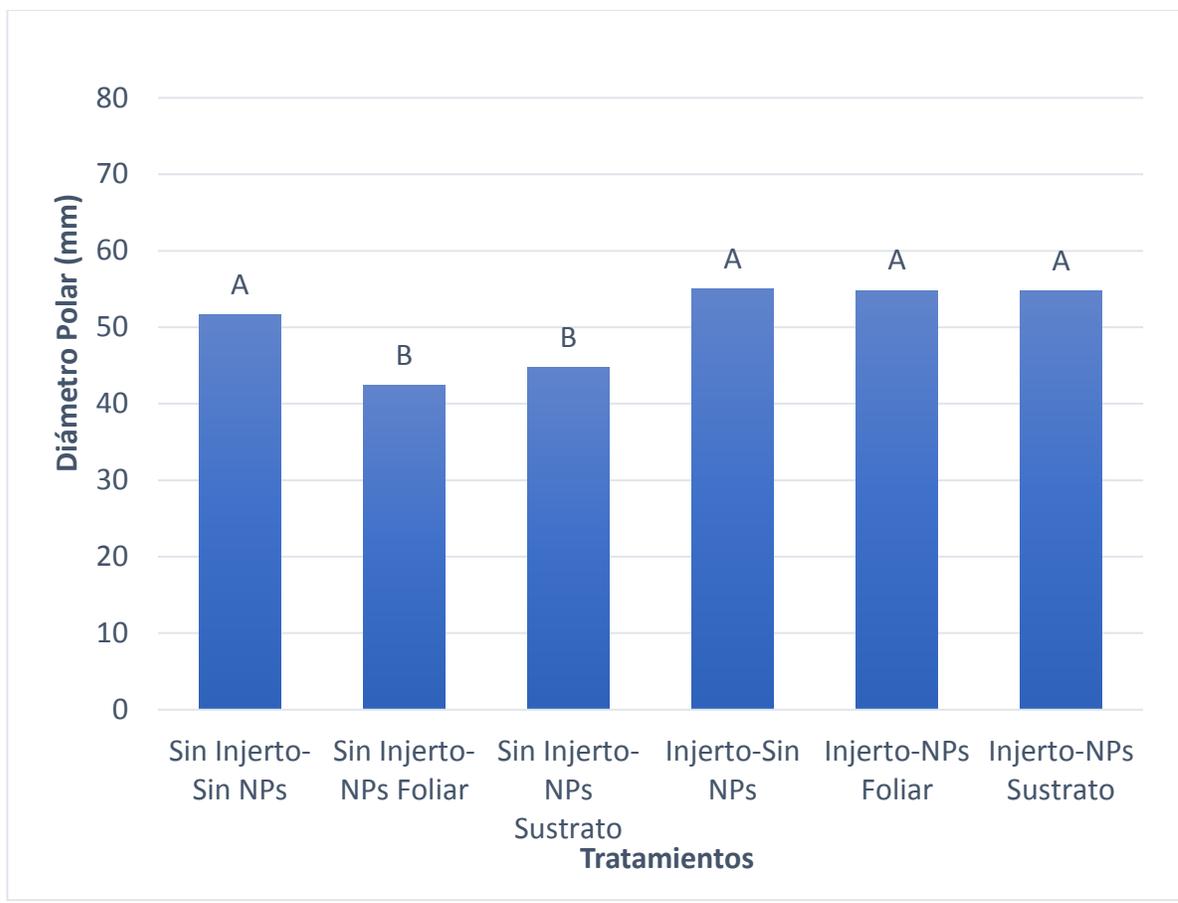


Ilustración 4. Diámetro polar del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Peso de Fruto

Con base al ANOVA el efecto del injerto fue altamente significativo sobre el peso del fruto, sin aplicación de NPs de Cu, sin embargo, en la interacción de los factores podemos observar en la Ilustración 5, los frutos de plantas injertadas con aplicación foliar de NPs de Cu presentó el mayor peso promedio de fruto, con un incremento del 197% con respecto a los frutos de plantas sin injerto con la misma forma de aplicación y un 18% en relación al testigo absoluto. Además de presentar un aumento de 29.7% sobre el peso del fruto de plantas injertadas con aplicaciones de NPs al sustrato. En base a lo anterior el aumento del peso del fruto se le atribuye al uso del injerto ya que con el uso de portainjertos adecuados, se da una modificación en el sistema vascular de la planta haciendo más eficiente el uso de agua y

asimilación de nutrientes (Navarro *et al.*, 2008), lo que favorece la división celular en frutos y aumento de turgencia de las mismas, reflejando un aumento de peso del fruto, por otro lado, Lira-Saldívar *et al.* (2016), menciona que el uso de NPs metálicas participan en la síntesis de compuestos que promueven la división celular, mismos que tienen que ver directamente con la formación de y desarrollo celular. También, Wang *et al.* (2012), quienes mencionan que las NPs de óxido de cerio (CeO₂) tuvieron un efecto positivo el rendimiento en tomate.

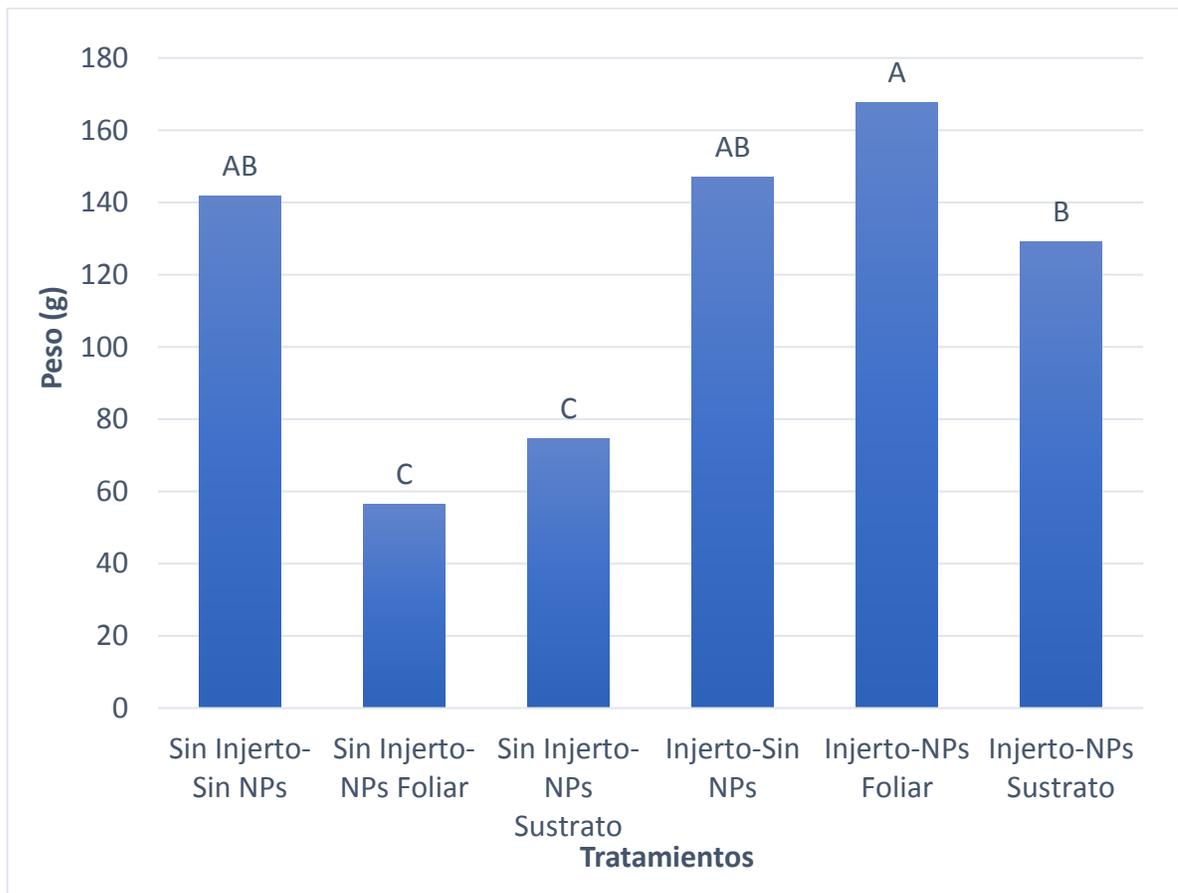


Ilustración 5. Peso del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Firmeza del Fruto

En relación a esta variable el análisis de varianza nos indica que en la interacción de los factores el injerto sin y con aplicación de NPs de Cu al sustrato fueron significativos positivamente incrementando la firmeza del fruto en un 63.7% y 23.8% respectivamente en comparación con los tratamientos sin injerto con las mismas formas de aplicación de NPs (Ilustración 6). El aumento de la firmeza del fruto obtenido en este estudio sugiere una variación en la morfología y turgencia celular aunado a la facilidad de absorción de las NPs de Cu por efecto del injerto (Rouphael et al., 2010), las cuales al ser absorbidas provocan la precipitación de proteínas que tienen que ver con la lignificación de la pared celular del pericarpio del fruto, las cuales se trasloca a la pared celular del fruto una vez que son absorbidas por la planta. Lo cual coincide con Juárez Maldonado *et al.* (2016), quienes mencionan que la aplicación de NPs de Cu encapsuladas con quitosán aumentan 9% la firmeza de frutos de tomate.

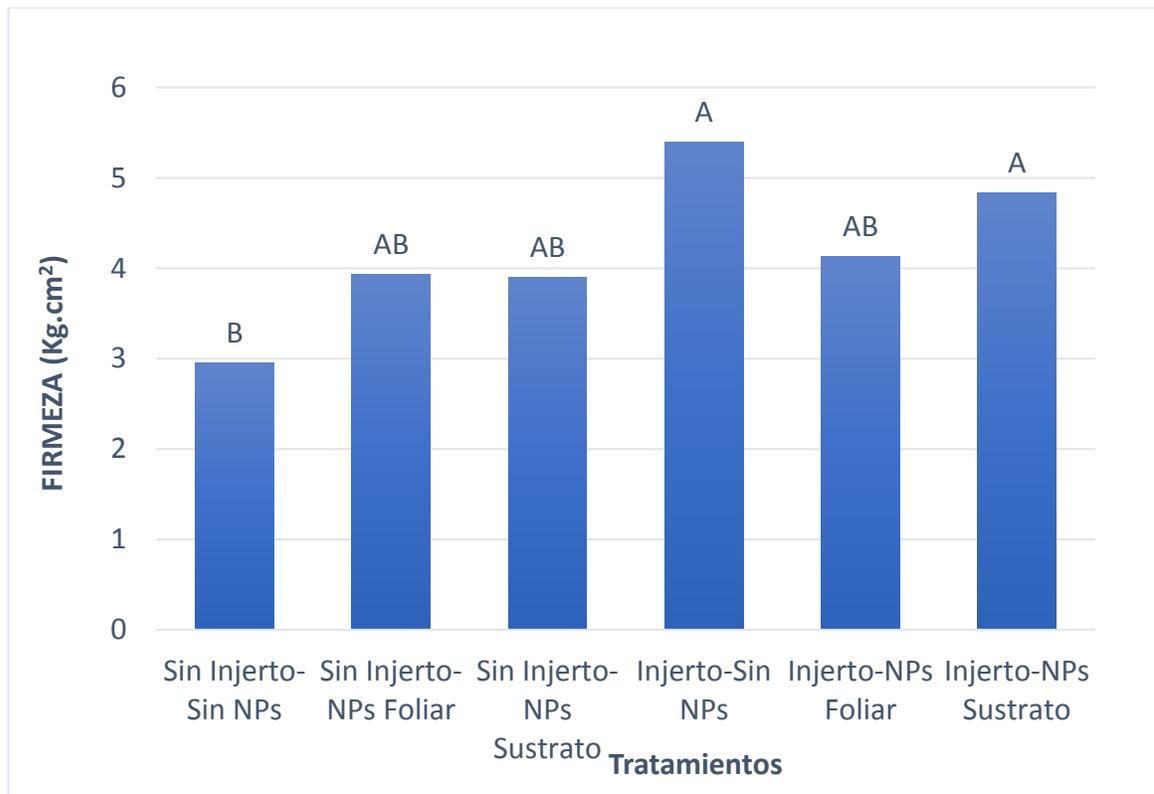


Ilustración 6. Firmeza del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Solidos Solubles Totales

En bases al análisis de varianza observamos un efecto negativo del injerto sobre la concentración de solidos solubles totales, sin embargo, con la aplicación de NPs de Cu aplicadas de manera foliar se presenta un incremento de su contenido en un 13% en relación al testigo absoluto (Ilustración 7). En la interacción de los factores se observó un incremento del 16.8% en frutos de plantas sin injertos con aplicaciones de NPs de Cu foliares en comparación a los obtenidos en plantas injertadas con la misma forma de aplicación. Este incremento se atribuye al uso de aplicaciones de NPs de Cu debido a que las NPs al ingresar a la planta a través de la cutícula, epidermis, tricomas y estomas hasta llegar al sistema vascular (Burkhardt *et al.*, 2012) genera cambios en el metabolismo de los carbohidratos, en la concentración de ácidos orgánicos aumentando la concentración de sacarosa durante la maduración del fruto a expensa de la fructosa y la glucosa (Magwaza y Opara, 2015), el resultado obtenido es este trabajo coincide con Juárez-Maldonado *et al.* (2016) quienes indican un retraso en la maduración y aumento de la vida de anaquel del fruto del tomate por la aplicación de NPs de Cu.

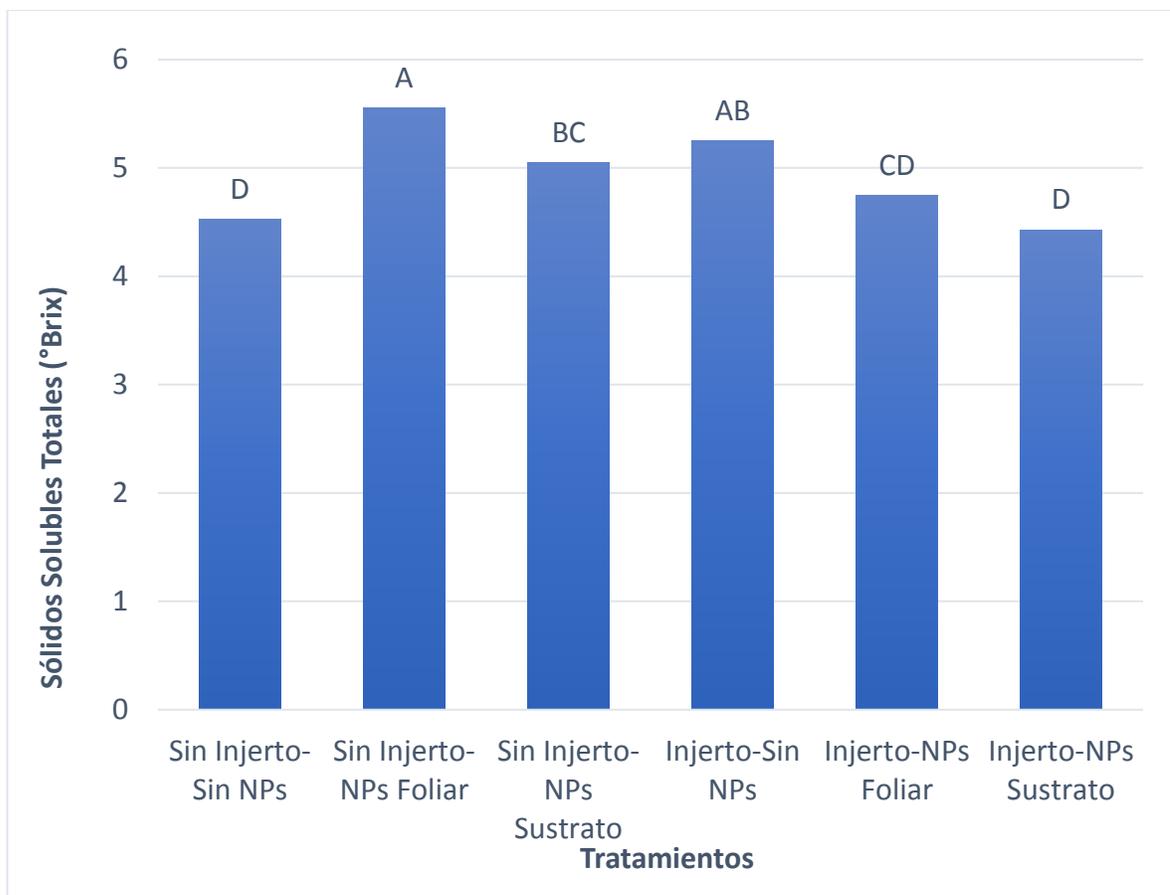


Ilustración 7.Contenido de solidos solubles totales del fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Acidez Titulable

Con base al análisis de varianza en la variable de Acidez Titulable de los frutos de tomate como se puede observar en la Ilustración 8, no fue efectiva la interacción del uso del injerto y la aplicación de NPs de Cu a la planta. Por otra parte, la AT se encuentra en los rangos promedio para tomate con 0.35 a 0.4% (Barret *et al.*, 2010), esto sugiere que ambos factores por si solos y en conjunción no influyen sobre el porcentaje de acidez del fruto.

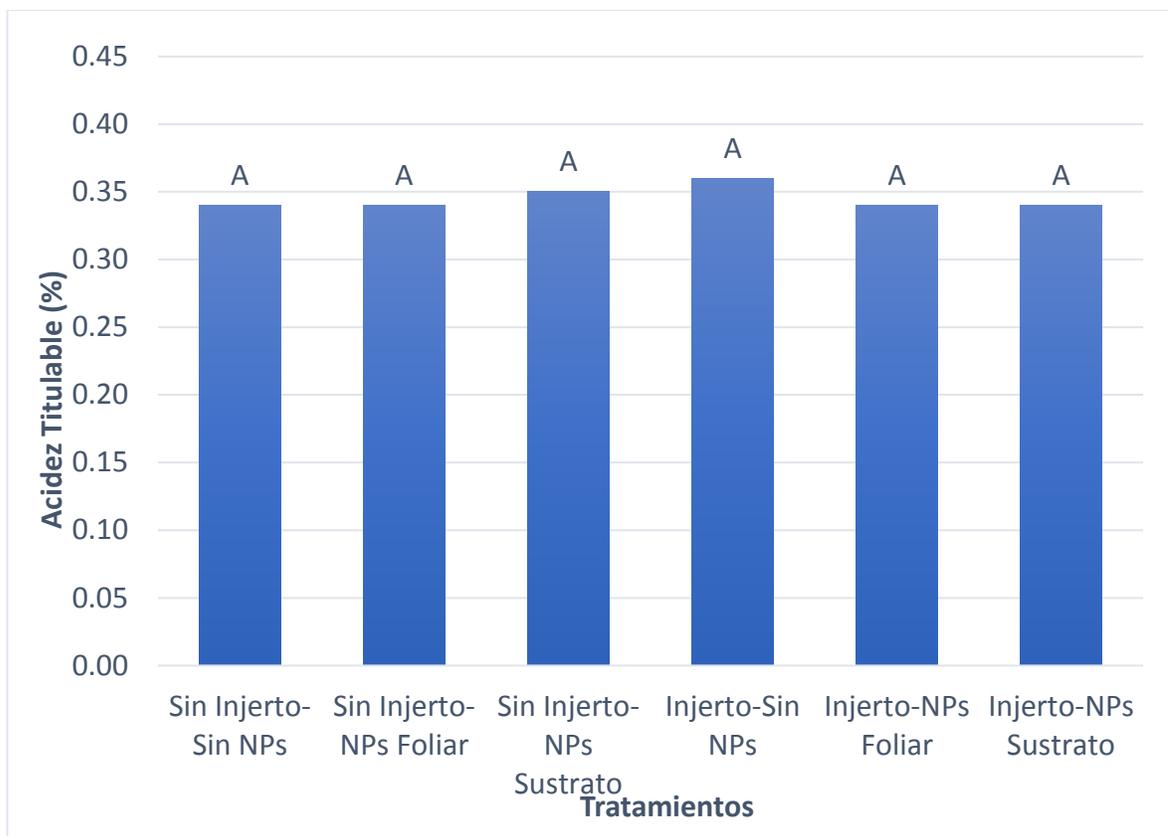


Ilustración 8. Porcentaje de acidez titulable en fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Calidad Nutracéutica

Vitamina C

Respecto a esta variable en la Ilustración 9, podemos observar que en ausencia de NPs de Cu, el uso del injerto incrementa su contenido en frutos de tomate 4.3% en relación a las no injertadas, Sin embargo, el efecto de la interacción de los factores mostró que los frutos de las plantas sin injerto con aplicaciones de NPs de Cu de forma foliar y al sustrato incremento la concentración de Vitamina C 28.9% y 30% respectivamente en relación a los frutos de plantas injertadas con las mismas formas de aplicación. Esto se debe a que al interactuar los factores se incrementa el contenido de vitamina C debido a que el cobre tiene la propiedad de formar un complejo con el ascorbato, además de ser un compuesto antioxidante más

abundante en la planta, tiene una gran capacidad de reducirse, de esa manera se da una rápida regeneración del ascorbato y una redistribución del contenido de vitamina C a otros órganos de la planta como lo es el fruto (Reátegui *et al.*, 2008; López-Vargas *et al.*, 2018).

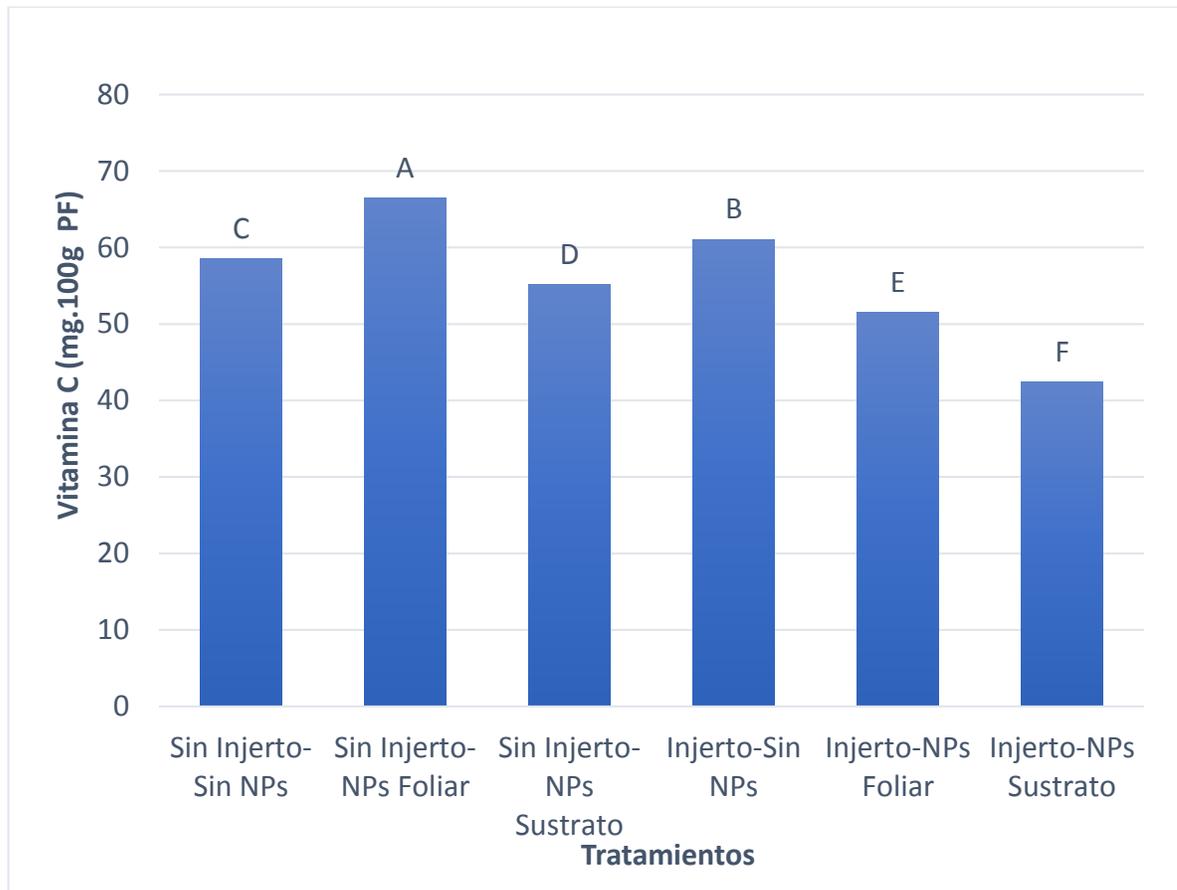


Ilustración 9. Contenido de vitamina C en el fruto de tomate de plantas injertada y tratadas con NPS de cobre.

Licopeno

En cuanto al contenido de licopeno, el uso del injerto es efectivo positivamente incrementando su concentración en un 8.9% respectivamente en relación a los frutos de plantas no injertadas. Y en el factor de NPs de Cu de manera foliar tienen un efecto positivo en el contenido de licopeno con un incremento de 5% con respecto al testigo. En la interacción de los factores los frutos de plantas sin injerto y con aplicaciones de NPs de Cu al sustrato incrementan 74.2% el contenido de

licopeno en relación a los frutos de plantas injertadas con la misma forma de aplicación. Esto se debe a que con el uso del injerto se incrementa el contenido de clorofila que al degradarse libera la síntesis de otros pigmentos como el licopeno, siendo esta molécula la principal responsable del cambio de coloración de los tejidos (López-Camelo y Gómez, 2004), Sin embargo, los resultados obtenidos (Ilustración 10) en la combinación de los factores se sugiere que este comportamiento se debe a que en presencia del cobre se producen expresiones bioquímicas en los frutos de tomate activando genes que tienen que ver con la síntesis de moléculas precursoras del licopeno (Fraser *et al.*, 1994).

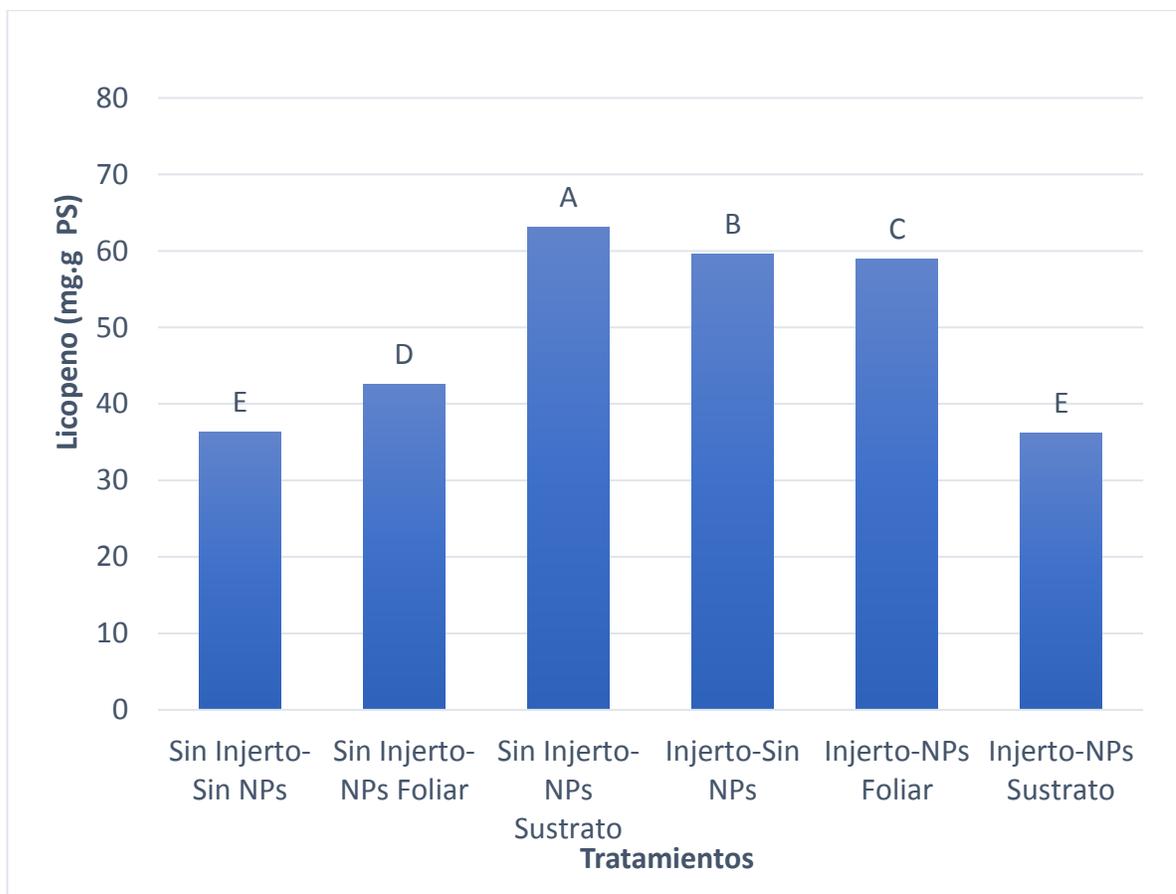


Ilustración 10. Contenido de licopeno en el fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Carotenoides Totales

En cuanto al contenido de carotenoides, el uso del injerto es efectivo positivamente incrementando su concentración en un 3.3% respectivamente en relación a los frutos de plantas no injertadas. Y en el factor de NPs de Cu de manera foliar tienen un efecto positivo en el contenido de licopeno con un incremento de 6.2% con respecto al testigo. En la interacción de los factores los frutos de plantas sin injerto y con aplicaciones de NPs de Cu al sustrato incrementan 49.4% el contenido de carotenoides totales en relación a los frutos de plantas injertadas con la misma forma de aplicación. Esto se debe a que con el uso del injerto se incrementa el contenido de clorofila que al degradarse libera la síntesis de carotenoides (López-Camelo y Gómez, 2004), En la Ilustración 11 podemos observar la respuesta que se da en la combinación de los factores este comportamiento se debe a que en presencia del cobre activa genes relacionados con la síntesis de carotenoides (Chen, 2014).

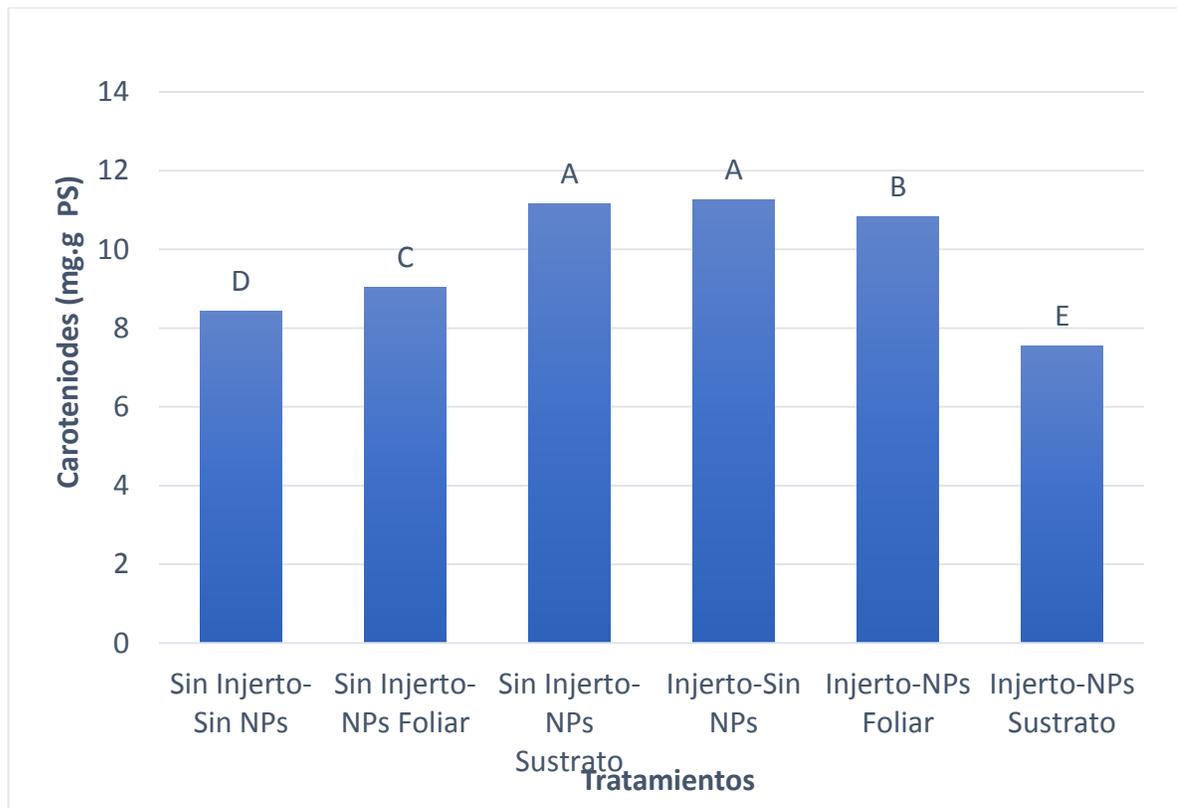


Ilustración 11. Contenido de Carotenoides en el fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

Antioxidantes Totales

Los resultados obtenidos por el método DPPH se demostró que el uso del injerto tiene un efecto positivo sobre la capacidad antioxidante en los frutos de tomate con un incremento de 2.2%. Con la aplicación de NPs de Cu vía foliar se incrementó el contenido de antioxidantes totales 22.2% en comparación de lo obtenido en aplicaciones al sustrato. En la interacción de los factores en la Ilustración 12 observamos que los frutos de plantas sin injerto con aplicación de NPs de Cu de manera foliar se presentó la mayor capacidad antioxidante en los frutos de tomate en comparación al resto de los tratamientos, con incrementos de 11.4% en relación a lo obtenido a frutos de plantas injertadas con la misma forma de aplicación y un incremento del 28.9% en relación a lo obtenido en frutos de plantas sin injerto con NPs de Cu aplicadas al sustrato. Esto se debe a que con aplicación de NPs de Cu se crea una condición de estrés en la planta generando especies reactivas de oxígeno que activan el mecanismo de defensa de las plantas produciendo compuestos antioxidantes para estabilizar los agentes oxidantes (González-Gómez *et al.*, 2017). Estos resultados coinciden con los reportados con Hernández-Hernández *et al.* (2018), que mencionan que con aplicación de NPs de Cu se induce incrementos en la capacidad antioxidante total en tomate.

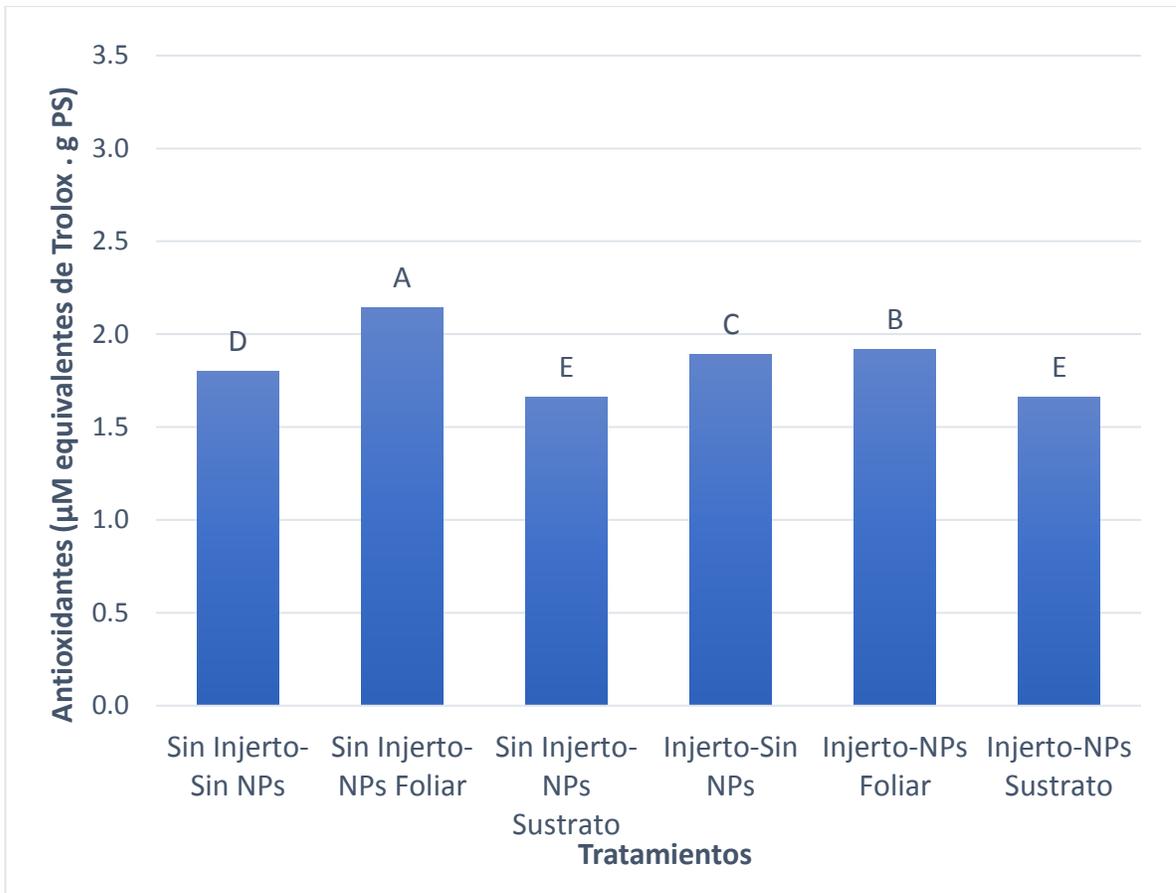


Ilustración 12. Contenido antioxidante total en el fruto de tomate de plantas injertadas y tratadas con NPS de cobre.

CONCLUSIONES

El injerto en conjunto con las NPS de cobre al sustrato promueve el crecimiento del diámetro del fruto de tomate y aumenta la firmeza del fruto 63.7%.

El injerto con aplicaciones de NPs de Cu foliar incrementa el peso (5%) y diámetros de fruto polar y ecuatorial (6 y 22% respectivamente) obteniendo frutos de mayor tamaño.

El injerto sin NPs de Cu incrementa el contenido de carotenoides 73.8%, fuente de provitamina A y licopeno (63.9%) e incrementa el contenido de Vitamina C en un 4.3%.

El ambiente de NPs de Cu al sustrato sin injerto incrementa el contenido de carotenoides 32.3% y licopeno 33.2%.

NPs de Cu foliar sin injerto incrementa el contenido de SST 5.5 °Brix y baja la Acidez en frutos e incrementa el contenido de vitamina C 13.6% y aumenta la capacidad antioxidante total 18%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, T., Kundu., S., Biswas, A. K., Tarafdar, J. C., and Rao, A. S. (2012). Effect of copper oxide nanoparticle on seed germination of selected crops. *Journal of agricultural Science and Technology*. 2 (6A): 815-823
- AOAC. 2000. Vitamin and other nutrient. In Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists International, 17th. ed., Hoerwitz, w., Ed. AOAC International: Gaithersburg, MD, USA.
- Barrett DM, Beaulieu JC & Shewfelt R. 2010. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 50, 369–389. doi.org/10.1080/10408391003626322
- Bohner, J.; Bangerth, F. 1988b. Effects of fruits sequence and defoliation on cell number, cell size, and hormone levels of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.) within a truss. *Plant Growth Regul.* 7: 141-155.
- Bolaños A.H. 1998. Introducción a la Oleicultura. Primera Edición. San José Costa Rica.
- Burkhardt, J., Basl, S., Pariyar, S., & Hunsche, M. 2012. Stomatal penetration by aqueous solutions—an update involving leaf surface particles. *New Phytologist*. 196(3), 774–787.
- Castellanos, JZ; Borbón M.C. 2008. Panorama de la agricultura protegida en México. Editorial, INTAGRI.
- CATIE. 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Proyecto Regional Manejo integrado de plagas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Chamarro, L. J. 2001. Anatomía y fisiología de la planta, pp. 43-87. En: F. Nuez (Ed.) El cultivo del tomate. Editorial Mundi-Prensa México

- Charles, W. B.; Harris, R. E. 1972. Tomato fruit-set at high and low temperatures. *Can J. Plant Sci.* 52: 497-506.
- CHEN, L. 2014. Sweet sugar transporters for phloem transport and pathogen nutrition. *New Phytologist.* 201(4), 1150–1155.
- De la Rosa, G.; García-Castañeda, C.; Vázquez-Núñez, E.; Alonso-Castro, Á.J.; Basurto-Islas, G.; Mendoza, Á.; Cruz-Jiménez, G.; Molina, C. 2017. Physiological and biochemical response of plants to engineered NMs: Implications on future design. *Plant Physiol. Biochem.* 110:226-235
- De la Torre, F.; 2005. Injertos Hortícolas. Curso Internacional. Intagri. Jalisco-México. Dimitrova. Km33 1/2, Quivocá, La Habana.
- Doorembos, J. y A. Kassam A. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO -Riego y Drenaje °N 33. 211 pags. Roma, 1986. Disponible en: <http://innovaciontec.idict.cu/index.php/innovacion/article/viewFile/25/252>
- Dürüst, N., Sümengen, D., and Dürüst, Y. 1997. Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(6), 2085-2087.
- FAO. 2017. FAOSTAT. Incluye tomate rojo y tomate verde. Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y Evaluación Económica Sectorial.
- Fernández.G.; Carvajal, M.; Olmos, E. 2004. Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvent. *Annals of Botany* 93: 53-60.
- FIRA. (2017). Panorama Agroalimentario. 2017, de Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sensorial Sitio web: <file:///C:/Users/pedro/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Tomate%20Rojo%202017.pdf>
- Fleischer, A.; O'Neill, M.A.; Ehwald, R. (1999). The pore size of non-graminaceous plant cell walls is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II. *Plant Physiology.* 121: 829-838.

- Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. Evapotranspiration del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Vol. 56.
- Fraser PD, Truesdale MR, Bird CR, Schuch W & Bramley PM. 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>
- Gonzalez H, Ramírez-Godina F, Ortega-Ortiz H, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V & Cabrera-De La Fuente M. 2017. Use of chitosan-PVA hydrogels with copper nanoparticles to improve the growth of grafted watermelon. *Molecules*. 2017. 22(7), 1031. doi.org/10.3390/molecules22071031
- González J. El injerto en hortalizas. -España: Ed. Horticultura; 1999. p.140.
- Goula AM & Adamopoulos KG. 2005. Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT Food Science and Technology*. 38(5), 479-487. doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.020
- Hartmann, H., D. Kester, R. Geneve. 2002. *Plant propagation, principles and practices*. 7th ed. Prentice Hall. NJ, USA. Pp 411-460.
- Hernández-Hernández H, González-Morales S, Benavides-Mendoza A, Ortega-Ortiz H, Cadenas-Pliego G & Juárez-Maldonado A. 2018. Effects of chitosan–PVA and Cu nanoparticles on the growth and antioxidant capacity of tomato under saline stress. *Molecules*. 23(1), 178. doi.org/10.3390/molecules23010178
- Jaramillo, N. J., Rodríguez, V. P., Guzmán, A. M., & Zapata, C. M. A. (2006). *El cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero (Lycopersicon esculentum. Mill)* (Corporación colombiana de investigación Agropecuaria, Corpoica, Centro de investigación “La Selva”, Apartado Aéreo 100, Rionegro, Antioquia, Colombia ed.) Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Boletín Técnico

- Juarez-Maldonado A, ortega-Ortíz, H, Pérez-Labrada F, Cadenas-Pliego G & Benavides-Mendoza, A. 2016. Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 89, 183–189. doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.023
- Lee, J. M. and M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* 28: 61-124.
- Lira-Saldivar RH, Ponce-Zambrano R, Ruiz-Torres NA, Méndez-Argüello B, Mendoza-Mendoza E, García-Cerda LA & Vera-Reyes I. 2016. Synthesis of zinc oxide nanoparticles and its influence on seed germination and growth of *Solanum lycopersicum* seedlings. *Wulfenia Journal* 23: 220–235.
- López-Camelo AF & Gómez. PA. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Hortic. Bras.* 22:534–537.
- López-Vargas, E., Ortega-Ortíz, H., Cadenas-Pliego, G., De Alba Romenus, K., Cabrera De La Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., & Juárez-Maldonado, A. 2018. Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Sciences.* 8(7), 1020.doi:10.3390/app7100980
- Lows J.F.; Rivard L. C.; Kubota C.; 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulture* 127 (2) 125-146.
- Ma, H., P.L. Williams and S. Diamond. 2013. Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles: A review. *Environmental Pollution* (172): 75-85.
- Magwaza LS & Opara UL. 2015. Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products – A review. *Scientia Horticulture.* 184, 179–192.doi:10.1016/j.scienta.2015.01.001
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente Urbina, B. A., & Lira-Saldivar, R. H. (2016). Promoción del

crecimiento de las plantas de *Capsicum annum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*, 8 (17)

Miguel, A. 1997. El injerto de hortalizas. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España

Muller, CH 1940a. Una revisión del género *Lycopersicon*. Departamento de Agricultura de los EE. UU., Pub. Nº 382. Economic Botanic. 2(4). p 379–392

Muneer, S., Ko, C. H., Wei, H., Chen, Y., & Jeong, B. R. (2016). Physiological and Proteomic Investigations to Study the Response of Tomato Graft Unions under Temperature Stress. *PLoS ONE*, 11(6), 1–23.

Muñoz., R., J.J. 2002. Acondicionamiento nutritivo de plántulas de tomate y pimiento en semilleros y su respuesta postrasplante. Tesis Doctoral, Universidad de Almería, España

Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N.B., Filser, J., Miao, A.J. y Sigg, L. (2008). Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology*, 17: 372-386.

Nieto-Ángel, R.; Borys, M. W. 1999. Relaciones fisiológicas y morfológicas de injertos de frutales sobre tejocote (*Crataegus* spp.) como portainjerto. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(2): 137-150.

Nuez. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones mundi-prensa. Primera impresión 1995. Reimpresión 2001. España. 790p

Ortega-Ortiz H, Jiménez-Regalado E.; Ávila, O.; Sierra-Ávila, R.; Cadenas-Pliego, G.; Betancourt-Galindo, R.; PÉREZ-ALVAREZ, M.; BARRIGA-CASTRO, E.;

Ortiz, J. F, Sánchez D C, y Mendoza T.M. A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernaderos e hidroponía en altas densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4):289-294.

- Palacios-Mireles, I.M. 2013. Proceso de Síntesis de Nanopartículas Metálicas Mediante el Uso de Moléculas Bifuncionales; Expediente: MX/a/2013/015221, Patent. Fecha 19/DICIEMBRE/2013. Available online: <http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/cont/common/busquedaSimple.jsf>
- Peng, C.; Duan, D.; Xu, C.; Chen, Y.; Sun, L.; Zhang, H.; Yuan, X.; Zheng, L.; Yang, Y.; Yang, J.; Zhen, X.; Chen, Y.; Shi, J. (2015). Traslocation and biotransformation of CuO nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Environmental Pollution*. 197: 99-107.
- Pérez, J., G. Hurtado, V. Aparicio, Q. Argueta y M. Larín. 2002. Guía técnica cultivo de tomate. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, San Salvador.
- Razzaq, A; Ammara, R.; Jhanzab, H.M.; Mahmood, T.; Hafeez, A.; Hussain, S. (2016). *Journal of Nanoscience and Technology*. *Journal of Nanoscience and Technology*. 2: 55-58.
- Reátegui Arévalo, Ó., Fukusaki Yoshizawa, A., & Guija Poma, E. 2008. Efecto de aminoácidos sobre la oxidación de vitamina C inducida por Ion Cúprico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(1), 30-39. ISSN 1810-634X
- Rodríguez, L., Nardini, I., Henriquez, E. y Arias, A. (2009). Variaciones termoquímicas de los fluidos hidrotermales del campo geotérmico de Berlín (El Salvador). En EGU General Asamblea Conferencia resúmenes. 11:103-108
- Rouphael, Y., Schwarz, D., KRUMBEIN, A. AND COLLA, G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*. 127(2), 172-179. doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001
- Ruiz J., M.A. Belakbir, C. I. López y L. Romero. 1997. Leaf-macronutrient content ad yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scie, Hortic*. 71: 227-234.

- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México. 759 p.
- SASS, J. E. 1968. Botanical Microtechnique. 3rd Edition. The Iowa State Variación anatómica del... University Press. Ames, Iowa, USA. 227 p
- SIAP. (2018). Tomate rojo (jitomate). Boletín de la producción mensual.
- Siddiqui, H.M.; Al-Whaibi, H.; M., Mohammad, F. (Editors). (2015). Nanotechnology and Plant Sciences. Nanoparticles and Their Impact on Plants. Springer International Publishing Switzerland. ISBN 978-3-319-14502-0 (eBook). 305 pp.
- Somasundaran P. Fang, X., Ponnurangam, S. B. (2010). Nano-particles: characteristics, mechanisms and modulation of biotoxicity. KONA Powder Part. J. 28,38-49.
- Somasundaran, P. Fang, X., Ponnurangam, S. B. (2010). Nano-particles: characteristics, mechanisms and modulation of biotoxicity. KONA Powder Part. J. 28,38-49.
- Srilatha, B. (2011). Nanotechnology in agricultura. *J. Nanomed. Nanotechnology*, 2(7), 5
- Steiner AA (1966) The influence of the Chemical Composition of Nutrient Solution on the Production of Tomato Plants. *Plant Soil*. 24:434-466.
- Toure, A. S. et al. Variación Anatómica Del Xilema en Tallo De Cultivares De Tomate Injertados en Un Tipo Criollo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 67–76, 2010. Disponible em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=48881863&lang=es&site=eds-live>>.
- Uhram, C., E. Junio, B. Waldman, J. Roh, Y. Kim, J. Yi and E. Ju Lee. 2013. Functional analyses of nanoparticle toxicity: A comparative study of the effects of TiO₂ and Ag on tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) (93): 60-67.

- W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier and C. Berset. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity . Received March, Lebensm. -Wiss. u.-Technol., 25-30.
- Wang, Q., Ma, X., Zhang, W., Pei, H., and Chen, Y. (2012). The impact of cerium oxide nanoparticles on tomato (*Solanum lycopersicum L.*) and its implications for food safety. Metallomics, 4 (10), 1105-1112.
- Wang, S.; Liu, H.; Zhang, Y.; Xin, H. (2015). Effect of CuO nanoparticles on reactive oxygen species and cell cycle gene expression in roots of rice. Environmental Toxicological Chemistry, 34: 554-561.
- Zhang, D.; Hua, T.; Xiao, F.; Chen, C.; Gersberg, M.R.; Liu, Y.; Stuckey, D.; Ng, J.W.; Tan, K.S. (2015). Phytotoxicity and bioaccumulation of ZnO nanoparticles in *Schoenoplectus tabernaemontani*. Chemosphere. 20: 211-219.