

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
DE BERENJENA INJERTADA

Tesis

Que presenta Guadalupe Magdaleno García

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Julio 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
DE BERENJENA INJERTADA

Tesis

Que presenta Guadalupe Magdaleno García

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

Dr. Marcelino Cabrera De La
Fuente Asesor Principal

Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Asesor Externo

NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
DE BERENJENA INJERTADA

Tesis

Elaborada por Guadalupe Magdalena García 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. Antonio Juárez Maldonado
Asesor



Dr. Adalberto Bénavides Mendoza
Asesor



Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Asesora



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme dado la oportunidad de formarme como profesionista.

Al consejo nacional de ciencia e investigación (CONACYT) por la beca otorgada para llevar a cabo mis estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura.

Al CIQA por el apoyo para la revisión de literatura y la síntesis de las nanopartículas de óxido de zinc.

Al Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, por su apoyo y consejos dados tanto en lo personal como en lo profesional para poder concluir el presente proyecto.

A la Dra. Hortensia Ortega Ortiz por su apoyo en el trabajo de laboratorio y consejos dados al proyecto.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por su conocimiento y recomendaciones puestas en el presente trabajo.

Al Dr. Antonio Juárez Maldonado por su conocimiento y apoyo en el presente proyecto.

A la Dra. Rocío Peralta Manjarrez por su apoyo en la parte experimental y sus conocimientos brindados.

A todos los profesores del programa de la Maestría en Ciencias en Horticultura por sus enseñanzas y orientación durante mi estancia en la Maestría

Al técnico laboratorista Ing. Martina De la Cruz, por todas las facilidades que me brindo durante la parte experimental de este trabajo.

DEDICATORIAS

A Dios por darme salud y fortaleza para cumplir mis objetivos y por haber puesto en mi camino todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía.

A mis padres y familia por su apoyo y consejos que en cada momento me han brindado a pesar de la distancia, por enseñarme que para lograr lo que se quiere hay que persistir y ser mejor cada día.

Al ahora ingeniero Francisco Estrada por su bonita amistad y ayuda en la ejecución de este proyecto.

A mis amigos Nelly Sígala, Perla Cárdenas, Rafael paredes, Magín González y Marco Villegas que siempre estuvieron para ayudarme y por todos los momentos tan gratos, a todos mis compañeros del posgrado en Horticultura gracias por las vivencias y el apoyo siempre bien sentido.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS.....	V
INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
HIPÓTESIS	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
ORIGEN	3
IMPORTANCIA NUTRIMENTAL.....	3
INJERTO EN PLANTAS HORTÍCOLAS.....	4
EFECTO DEL INJERTO EN LA HISTOLOGÍA Y ANATOMÍA DE LAS PLANTAS	5
CAMBIOS EN LA MORFOLOGÍA DE LA PLANTA INJERTADA.....	5
CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y ASIMILACIÓN DE CO ₂ EN INJERTOS.....	6
ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN PLANTAS INJERTADAS	6
NANOTECNOLOGÍA	7
NANOPARTÍCULAS (NPs) EN PLANTAS.....	7
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC (NPs ZNO)	8
MATERIALES Y MÉTODOS	10
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	10
MATERIAL VEGETATIVO	10
SIEMBRA.....	10
REALIZACIÓN DEL INJERTO	10
ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO	11

MANEJO NUTRICIONAL	11
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC (NPs ZNO)	11
APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	11
MANEJO DEL CULTIVO	12
VARIABLES AGRONÓMICAS EVALUADAS	12
Altura de la planta	12
Diámetro del tallo	13
Número de hojas	13
Peso de frutos	13
Peso seco de la parte aérea	13
Peso seco de la raíz	13
VARIABLES MICROMORFOLÓGICAS	14
Densidad estomática e índice estomático	14
VARIABLES HISTOLÓGICAS	15
Fijación	15
Deshidratación	15
Inclusión en parafina	15
Seccionamiento y Montaje	16
Coloración o Tinción	16
Número de vasos de xilema	17
Área de vasos de xilema	17
COLORFILAS	17
VARIABLES - CALIDAD COMERCIAL	18
pH	18
Firmeza	18
Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)	18
Acidez titulable	18
CALIDAD NUTRACÉUTICA	18
Extracción de biomoléculas	19
Extracción metanólica	19
Vitamina C	19
Fenoles totales	20
Flavonoides	20
Proteínas totales	20
Glutación reducido (GSH)	20
ANÁLISIS ENZIMÁTICOS	21
Catalasa	21
Glutación peroxidasa (GPX)	21
Ascorbato peroxidasa (APX)	22
Superóxido dismutasa (SOD)	22
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
AGRONÓMICAS.....	24
Variables agronómicas en plantas de berenjena injertadas	24
Efecto en las variables agronómicas por la aplicación de NPs ZnO en plantas de berenjena.....	25
Efecto de la Interacción Injerto-NPs ZnO en plantas de berenjena sobre las variables agronómicas	26
MICROMORFOLÓGICAS.....	29
Variables Micromorfológicas en plantas de berenjena injertadas	29
Efecto de la interacción injerto-NPs ZnO en plantas de berenjena sobre las variables micromorfológicas.....	29
HISTOLÓGICAS	31
Variables Histológicas en plantas de berenjena injertadas.....	31
Efecto en las variables histológicas por la aplicación de NPs ZnO en plantas de berenjena.....	32
Efecto de la interacción injerto- NPs ZnO en plantas de berenjena sobre las variables histológicas	33
CALIDAD COMERCIAL DEL FRUTO	36
Determinación de las variables de calidad comercial de los frutos de berenjenas injertadas	36
Determinación de las variables de calidad comercial de los frutos de berenjenas tratadas con NPs ZnO	36
Determinación de las variables de calidad comercial de los frutos de berenjenas y la interacción injerto-NPs ZnO.....	37
CALIDAD NUTRACÉUTICA	40
Vitamina C en frutos berenjenas injertadas	41
Efecto de la interacción injerto-NPs ZnO en el contenido de vitamina C en frutos de berenjena	41
Determinación de Proteínas en frutos berenjenas injertadas	42
Determinación de Proteínas en frutos berenjenas tratadas con NPs ZnO	42
Efecto de la interacción injerto-NPs ZnO en el contenido de proteínas de frutos de berenjena	42
Determinación de fenoles en frutos de berenjena injertada.....	43
Determinación de fenoles en frutos de berenjena tratada con NPs de ZnO	43
Determinación de fenoles en frutos de berenjena y el efecto de la interacción injerto-NPs de ZnO	44
Determinación de flavonoides en frutos de berenjena injertada	45
Determinación de flavonoides en frutos de berenjena tratadas con NPs ZnO	45
Determinación de flavonoides en frutos de berenjena injertada y tratada con ZnO	45
Determinación del glutatión reducido en frutos de berenjena injertada	46

Determinación del glutatión reducido en frutos de berenjena tratada con NPs ZnO.....	46
Determinación del glutatión reducido en frutos de berenjena injertada y tratada con NPs ZnO	47
COMPUESTOS ANTIOXIDANTES ENZIMÁTICOS	48
Determinación de los compuestos antioxidantes enzimáticos en frutos de berenjena injertada	48
Determinación de los compuestos antioxidantes enzimáticos en frutos de berenjena tratadas con NPs ZnO.....	49
Determinación de los compuestos antioxidantes enzimáticos en frutos de berenjena injertada y tratada con NPs ZnO.....	50
CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos empleados en el experimento donde se aplicaron ZnO NPs a berenjena injertada y sin injertar a diferentes concentraciones.	12
Tabla 2. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables agronómicas.	28
Tabla 3. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables micromorfológicas de plantas de berenjena.	31
Tabla 4. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables histológicas de plantas de berenjenas.	34
Tabla 5. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables de calidad comercial de frutos de berenjena.	37
Tabla 6. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en la conecnracion de clorofilas de la hoja de plantas de berenjenas.	40
Tabla 7. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en la calidad nutraceutica de frutos de berenjena.	48
Tabla 8. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en compuestos antioxidantes enzimáticos en fruto de berenjena.	52

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Micrografías sobre la distribución de estomas en la parte adaxial (Haz) de la hoja de plantas de berenjena injertadas y tratadas con NPs ZnO según los tratamientos de la Tabla 1: A) CI-0, B) CI-20, C) CI-40, D) CI-60, E) SI-0, F) SI-20, G) SI-40, H) SI-60 mg L⁻¹ observadas a 40 aumentos....30
- Figura 2.** Microfotografías de vasos del xilema en hoja de plantas de berenjena con y sin injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc. A) CI-0, B) CI-20, C) CI-40, D) CI-60, E) SI-0, F) SI-20, G) SI-40, H) SI-60 mg L⁻¹ 10x.35
- Figura 3.** Microfotografías de vasos del xilema en peciolo de plantas de berenjena con y sin injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc. A) CI-0, B) CI-20, C) CI-40, D) CI-60, E) SI-0, F) SI-20, G) SI-40, H) SI-60 mg L⁻¹ 10x.....35

RESUMEN

NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
DE BERENJENA INJERTADA

POR

GUADALUPE MAGDALENO GARCÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE -ASESOR-

Saltillo, Coahuila

Julio 2020

El injerto es una técnica que permite a la planta optimizar la utilización del agua y nutrientes, en tanto que la nanotecnología implica la utilización de materiales a nanoescala que poseen propiedades físicas y químicas específicas, por eso se evaluó el efecto de diferentes dosis (0, 20, 40, 60 mg L⁻¹) de nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) sobre la micromorfología, histología, crecimiento y calidad nutracéutica en el cultivo de berenjena. Se evaluó densidad estomática del haz, índice estomático, longitud y ancho de estoma, así como el área y número de vasos de xilema, también se registró la altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y peso seco de raíz, biomasa seca de la parte aérea. Los resultados demuestran que el injerto modifica la micromorfología de la hoja y afecta el crecimiento de las plantas, aumenta el número de vasos del xilema y disminuye el área transversal de los mismos, por su parte, las NPs ZnO mostraron efectos favorables en dosis de 20 mg L⁻¹ en el número de hojas y 40 mg L⁻¹ en el índice y la densidad estomática, así como un aumento en el número de vasos del xilema y una disminución en su área transversal, por otra parte, las plantas injertadas que fueron tratadas con nanopartículas de óxido de zinc mostraron un aumento en la concentración de clorofilas, además de que estas mismas plantas injertadas mostraron un aumento en cuanto a su contenido de vitamina C, así como también aumentó el contenido de fenoles y flavonoides. El uso del injerto y las aplicaciones foliares de NPs ZnO a la dosis de 20 mg L⁻¹ modificaron la micromorfología foliar de manera favorable, esto debido a que hubo un aumento en la densidad y en el índice estomático, además de que a esta misma dosis la actividad de la enzima catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD) aumentó en 56 y 26% respectivamente, mientras que a dosis de 40 mg L⁻¹ se obtuvo un mejor rendimiento en cuanto al peso del fruto por planta.

Palabras clave: berenjena, injerto, nanopartículas, óxido de zinc.

ABSTRACT

ZINC OXIDE NANOPARTICLES IN PRODUCTION AND QUALITY OF
GRAFTED EGGPLANT

BY

GUADALUPE MAGDALENO GARCIA

MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE -ADVISOR

Saltillo, Coahuila

July 2020

Grafting is a technique that allows plants to maximize water and nutrient absorption, while the use of nanoscale materials as fertilizers takes advantage of their unique physical and chemical properties. This study examined the effects of different zinc oxide nanoparticle (ZnO NPs) concentrations (0, 20, 40, 60 mg L⁻¹) on the micromorphology, histology, and growth of grafted eggplants. The stomatic density and index, stoma length and width, as well as the number and area of xylem vessels were evaluated. The plant height, stem diameter, leaf number, root length, root dry weight, and foliar dry weight were also recorded. The results show that grafting primarily promotes plant growth and micromorphology, increasing the number of xylem vessels but reducing their area. The zinc oxide nanoparticles at a dose of 20 mg L⁻¹ had favorable effects on leaf number, while at 40 mg L⁻¹, there were positive changes in the stomatic density and index, as well as an increase in the number of xylem vessels along with a concurrent reduction in their area in grafted plants, on the other hand, grafted plants that were treated with zinc oxide nanoparticles showed an increase in the chlorophyll content. In addition, these same grafted plants showed an increase in terms of their vitamin C content, as well as an increase in the content of phenols and flavonoids. The use of the graft and the foliar applications of NPs ZnO at the dose of 20 mg L⁻¹ modified the leaf micromorphology favorably, due to the fact that there was an increase in density and stomatal index, in addition to the same dose the activity of the enzyme catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) increased by 56 and 26% respectively, while at a dose of 40 mg L⁻¹, a better yield was obtained in terms of the weight of the fruit per plant.

Keywords: eggplant, grafting, Nanoparticles, zinc oxide.

INTRODUCCIÓN

La berenjena es una de las hortalizas de mayor importancia en el mundo debido a sus propiedades nutritivas, actualmente se encuentran establecidas cerca de 2.5 millones de hectáreas con rendimientos de 28.14 Ton ha⁻¹ (FAOSTAT, 2017).

El injerto es una técnica de gran interés económico y ambiental en la producción protegida de hortalizas de diversos países de Asia, Europa y América. Esta técnica se basa en la unión de dos porciones de tejido vegetal, de manera que crezcan y se desarrollen como una sola planta, generándose en la combinación portainjerto-injerto una interacción que puede afectar el crecimiento, la productividad y la calidad de los frutos obtenidos (Martínez *et al.*, 2011).

Entre los beneficios del injerto se encuentra una mejor toma de nutrientes por parte del sistema radicular de la planta, mejor respuesta de las plantas a déficit de agua, mejora ante altas concentraciones de salinidad en suelos, entre otros (Lee *et al.*, 2010). En años más recientes se ha comprobado la eficacia de la técnica tanto en el control de enfermedades como en la mejora del rendimiento en numerosos estudios (Xu, Ma y Chen, 2014; Moncada *et al.*, 2013). Dentro de las características modificadas por el injerto se encuentran: forma del fruto, color y textura del pericarpio, concentración de sólidos solubles, acidez titulable, pH, licopeno, tamaño y peso promedio del fruto (Flores *et al.*, 2010; Turhan *et al.*, 2011).

Adicionalmente al uso del injerto en hortalizas, se busca el incremento en la calidad nutracéutica de los productos de interés para el consumidor final, razón por la que el uso de nanopartículas (NPs) de diversos elementos minerales han mostrado efectos positivos en este aspecto (González, 2017). El efecto de los NPs en las plantas depende de las especies de plantas, tamaño de semilla, etapa de crecimiento, medio de crecimiento y el material de recubrimiento de NPs (Yang *et al.*, 2017). En el caso de las nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) se ha reportado que en altas concentraciones se reduce el crecimiento y la longitud de la raíz, así como la concentración de clorofilas en plántulas de berenjena, en dosis

más bajas se muestra un mayor contenido de flavonoides (Zhao *et al.*, 2014; Baskar *et al.*, 2018).

En México la utilización de la técnica de injerto en el cultivo de berenjena es novedosa y se considera una alternativa viable para incrementar la productividad y la calidad del cultivo y de igual manera el uso de nanomateriales en la agricultura ofrece una alternativa que impacta en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el efecto del injerto y las nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) en la producción y calidad de la berenjena.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) y el injerto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la berenjena.
- Determinar la micromorfología e histología de diferentes órganos de la berenjena.
- Evaluar la calidad comercial y nutracéutica de los frutos al momento de la cosecha.
- Analizar el contenido de compuestos antioxidantes enzimáticos

HIPÓTESIS

La producción y la calidad de la berenjena serán modificados positivamente por el injerto y el uso de nanopartículas de óxido de zinc en el cultivo de berenjena.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen

La berenjena cuyo nombre científico es *Solanum melongena*, pertenece a la familia de las solanáceas, es una baya carnosa con pulpa blanquecina y esponjosa, a menudo de sabor amargo y picante; dentro de la pulpa de esta hortaliza se encuentran numerosas semillas de color blanco o amarillo. Las berenjenas pueden ser de forma redonda, oblonga u ovalada y ser de color moreno morado, rosado o blanco (Hassan *et al.*, 2015). La superficie (cáscara) de la berenjena puede ser lisa y brillante. Aunque la historia de la domesticación de la berenjena ha sido debatida durante mucho tiempo, según las hipótesis más aceptadas, las berenjenas se domesticaron por primera vez hace más de 4000 años en el sur Asia Oriental (Meyer *et al.*, 2012). El supuesto progenitor de berenjenas, *Solanum incanum* L. está muy extendido en Asia tropical desde Madagascar hasta Filipinas (Syfert *et al.*, 2016) Algunos investigadores han calificado a la India como el centro de diversidad de la berenjena (Fraikue, 2016). El cultivo de esta hortaliza luego se extendió por África, el Cercano Oriente y Europa.

Importancia nutrimental

La berenjena es una hortaliza que se cultiva en todo el mundo y puede proporcionar importantes beneficios nutritivos gracias a su abundancia de vitaminas como Tiamina y Rivo flavina y compuestos antioxidantes como fenoles (Gürbüz *et al.*, 2018). Los metabolitos secundarios de la planta no son esenciales para los procesos básicos de esta, sin embargo, son importantes compuestos que ayudan a mantener la salud humana. Las berenjenas tienen un conjunto de compuestos bioactivos, incluidos fenoles, carotenoides y alcaloides (Singh *et al.*, 2015).

Esta hortaliza se considera la mejor fuente de ácidos fenólicos totales dentro de los miembros de la familia de las solanáceas. Los flavonoides son compuestos fenólicos significativos en la berenjena (Kaur *et al.*, 2014). Por su parte las

antocianinas son pigmentos naturales en la berenjena que se concentran en el fruto y varían debido a factores agronómicos, genéticos, intensidad, tipo de luz, temperatura, procesamiento y almacenamiento (Dranca y Oroian, 2016).

Injerto en plantas hortícolas

El injerto es la unión de dos porciones de tejido vegetal vivo con el objetivo de desarrollar una sola planta con afinidad morfológica y fisiológica, con un posterior crecimiento y desarrollo adecuado. Para el éxito del injerto es fundamental la elección de las especies de portainjertos y vástagos, además requiere de un proceso de manipulación, prendimiento y finalmente, la aclimatación (Lee *et al.*, 2010).

El uso del injerto en la producción de hortalizas primeramente fue utilizado en Japón a finales de la década de 1920 utilizando sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai] en portainjerto de calabacita [*Cucurbita moschata* Duchesne ex. Poir] buscando mejorar la producción, reducir susceptibilidad a enfermedades y aumentar el vigor de la planta (Kubota *et al.*, 2006).

El injerto es una técnica usada principalmente en solanáceas (es decir, tomates, berenjenas, pimientos) y cucurbitáceas (Lee *et al.*, 2010), surgió como una alternativa sobre los métodos de reproducción convencionales relativamente lentos destinados a aumentar la tolerancia a estrés biótico, como los insectos, o al estrés abiótico, como la salinidad, el frío o las condiciones desfavorables del suelo (Garner y Bradley, 2013)

Las actividades fisiológicas superiores como actividad antioxidante, actividad enzimática, ajuste osmótico, desarrollo de raíces adventicias en plantas injertadas en portainjertos potenciales proporciona una visión amplia de los mecanismos de respuesta al estrés, se menciona que el injerto puede mitigar el impacto adverso del cambio climático, la productividad y la calidad de las hortalizas (Kumar y Saravaiy, 2018).

Efecto del injerto en la histología y anatomía de las plantas

Los tejidos cortados se adhieren, las células se dividen y la vasculatura se diferencia a través de un notable proceso de regeneración entre dos organismos genéticamente distintos a medida que se convierten en uno, después de cortar los tejidos vegetales y crear una conexión entre ambos se conducen a la formación de callo en el sitio de la herida (Melnyk, 2017).

El injerto exitoso requiere la unión de dos tejidos incluyendo la formación de conexiones vasculares entre las dos plantas (Yassin y Hussen, 2015). El injerto inicialmente desencadena la secreción de pectinas de células en el sitio de corte para adherir el portainjerto y vástagos juntos. Luego se forma tejido de células madre desdiferenciadas denominado callo en ambas uniones hasta que los tejidos se unen y los plasmodesmos pueden cerrar la conexión sitio (Sugimoto y Iwase, 2013). El cambium, corteza y células de médula que rodean el floema y la xilema se dividen y, junto con las células callosas, se diferencian en tejidos vasculares y conecta las dos uniones (Melnyk y col. 2015; Ribeiro y col. 2015).

Las conexiones de floema generalmente preceden a las conexiones de xilema en la unión del injerto (Melnyk *et al.* 2015). El proceso de corte activa hormonas sensibles a heridas y vías de señalización que probablemente afectarán los mecanismos y dinámica de la formación del tejido vascular y la adhesión de tejidos (Da costa *et al.*, 2015).

Cambios en la morfología de la planta injertada

Sin duda uno de los aspectos más importantes en las plantas injertadas son las modificaciones morfológicas resultantes de la interacción injerto-variedad. Recientemente se observó que las plantas de frijol injertadas tenían características similares a las no injertadas, sin embargo, factores como la altura de la planta, el número de hojas y las flores aumentaron en plantas injertadas 28 días después del injerto (Bernal-Alzate *et al.*, 2016) estas modificaciones pueden estar mediadas por la producción de reguladores del crecimiento desde la raíz transportada a través de xilema a la parte aérea de la planta. Por otro lado, Kudo y Harada (2007), observaron cómo se modificó la morfología de las hojas de las plantas de

papa debido al transporte de ARN desde el portainjerto de tomate hacia la parte aérea, determinando que la cantidad de material genético transportado fue suficiente para modificar el tamaño y la forma y cantidad de tricomas en las hojas de plantas injertadas, estos y otros tipos de cambios morfológicos han sido documentados por otros investigadores.

Conductancia estomática y asimilación de CO₂ en injertos

Amaro y colaboradores (2014) observaron que el injerto en plantas de pepino aumentaron la conductancia estomática y la capacidad fotosintética de la planta en comparación con los que no habían sido injertados; resultados similares fueron reportados por Liu y colaboradores (2011), atribuyendo el incremento en la capacidad fotosintética a un aumento en la cantidad de clorofila a y b en plantas; Además informaron el aumento de acumulación de carbohidratos en el fruto, debido a la actividad de dos enzimas clave para este proceso en plantas de melón; resultados similares fueron presentados por Qi y colaboradores (2007) y González y colaboradores (2009), en melón y cítricos respectivamente. Del mismo modo Gao y colaboradores (2016), sugieren que las plantas injertadas tienen la capacidad de utilizar mejor el CO₂ intracelular en condiciones de estrés, así como presentando una mejor eficiencia fotosintética en comparación con aquellas plantas no injertadas, esta mayor eficiencia fotosintética puede deberse al hecho de que altos niveles de CO₂ disminuyen la transpiración de las hojas, mejorando la eficiencia del uso del agua durante la fotosíntesis (Jianlin *et al.*, 2008).

Actividad enzimática en plantas injertadas

Cuando las plantas están bajo algún tipo de estrés o en alguna etapa fenológica del cultivo ocurre uno de los principales indicadores de estos cambios es la actividad de ciertas enzimas en injertos, por lo que se han realizado estudios para determinar la actividad de éstas, algunos investigadores se han concentrado en observar procesos bioquímicos y fisiológicos que ocurren en diferentes etapas del injerto, se ha encontrado que durante el proceso de prendimiento del injerto en plantas hay una acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Irisarri *et*

al., 2015; Xu *et al.*, 2016; Baburaj *et al.*, 2019). Las plantas tienen un mecanismo de respuesta que es activado inmediatamente después del reconocimiento de una situación de estrés (De Wit 2007). Las altas cantidades de ROS causan el estrés oxidativo caracterizado por daños, como fragmentación del ADN, modificaciones de proteínas, desintegraciones de clorofila, fuga iónica, peroxidación lipídica y, en consecuencia, muerte celular (Møller *et al.*, 2007). El estrés oxidativo induce la síntesis de la mayoría de las formas reducidas de H_2O_2 , $O^2 \cdot -$, y el radical hidroxilo ($\cdot OH$). Para sobrevivir a las condiciones de estrés, las plantas desarrollaron sistemas de eliminación de las ROS y tienen dos sistemas de defensa antioxidante: uno no enzimático y otro enzimático, el mecanismo no enzimático se refiere a algunas moléculas con la capacidad de eliminar radicales libres, como compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C y alcaloides, entre otros. El mecanismo enzimático se compone de una serie de proteínas, con la función de eliminar radicales libres, como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), peroxidasa (POD), glutatión peroxidasa (GPX), ascorbato peroxidasa (APX), glutatión reducido (GR) y glutatión S-transferasa (Zhang *et al.*, 2014).

Nanotecnología

La Nanotecnología (NT) trabaja claramente con materiales estructurados en escala nanométrica o con nanoestructuras. La aparición de la NT y el desarrollo de nuevos nanodispositivos y nanomateriales abren aplicaciones potenciales nuevas en la agricultura y la biotecnología, representa una de las innovaciones científicas, y en muchos sentidos, la de mayor alcance en lo referente a la alta tecnología para la agricultura y los alimentos frescos (Gruere, 2012).

Nanopartículas (NPs) en plantas

Las NPs, también conocidas como nanomateriales particulados (NM), son materiales de partículas con dimensiones a nanoescala (1–100 nm). Debido a sus propiedades particulares, como el tamaño pequeño, la alta relación superficie / volumen y las propiedades físicas y químicas únicas, el uso de NPs en industrias y

una amplia gama de productos de consumo están aumentando enormemente (Stampoulis *et al.*, 2009).

El efecto de las NPs en las plantas depende de la especie de la planta, el tamaño, la etapa de crecimiento, medio de crecimiento y el material de recubrimiento de las NPs (Yang *et al.*, 2017). Se ha descubierto que las NPs ejercen profundos cambios fisiológicos en las plantas, porcentaje de germinación, el alargamiento de la raíz, la biomasa y el número de hojas (Lee *et al.* 2010). Se ha reportado que las NPs cambian el contenido de aminoácidos, ácidos grasos, azúcares no reductores y compuestos fenólicos en las plantas (Rico *et al.*, 2014). Las NPs pueden influir en la producción de hormonas vegetales (Yang *et al.*, 2017).

Nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO)

El Zn es un micronutriente esencial y crucial para el desarrollo de las plantas, es el único metal que se encuentra en las seis clases de enzimas, a saber. oxidorreductasas, liasas, isomerasas, transferasas, hidrolasas y ligasas (Auld, 2001). El zinc como micronutriente esencial juega un papel importante en muchos procesos metabólicos integrales (Rout y Das, 2003). El Zn también puede ayudar a aumentar la biosíntesis de clorofilas y carotenoides y mejorar el aparato fotosintético de la planta (Aravind y Prasad 2004).

Las NPs ZnO exhiben actividades biológicas tales como propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes (Santhoskumar *et al.*, 2017). La actividad fotocatalítica de las NPs ZnO promueve el nivel de producción de ROS (Ma *et al.*, 2013). Cuando se aplicaron NPs ZnO a *Oryza sativa* mostró una reducción en la superficie de la hoja (Salah *et al.*, 2015). Los estudios de fitotoxicidad con NPs ZnO en *Lolium perenne* (hierba de centeno) muestran que las NPs ZnO concentradas absorbidas en la superficie de la raíz y en la solución de la rizosfera causaron efectos potenciales en el crecimiento de la planta (Lin y Xing, 2008).

Faizan y colaboradores (2017), evaluaron dosis de 0, 2, 4, 8 y 16 mg L⁻¹ de NPs ZnO en la raíz y a diferentes tiempos en plántulas de tomate que presentaron un mayor crecimiento, eficiencia fotosintética, junto con actividades de anhidrasa

carbónica y sistemas antioxidantes de manera dependiente a las concentraciones y la duración.

En una investigación realizada por Thunugunta y colaboradores (2018) las NPs ZnO aumentaron el crecimiento de berenjenas en condiciones de invernadero, logrando la acumulación de NPs ZnO en varios órganos de la berenjena. También se ha reportado que mejora la germinación, el crecimiento de las raíces, el crecimiento de los brotes, el peso seco de *Vigna radiata*, *Cicer arietinum* (Mahajan *et al.*, 2011), *Solanum lycopersicum* L. (Raliya *et al.*, 2015), y rendimiento de vaina de las semillas de cacahuete (Prasad *et al.*, 2012). Numerosas investigaciones han demostrado que la absorción de las NPs por diferentes plantas conduce a la acumulación a nivel subcelular (Shhwab *et al.*, 2016), además se mencionan diferentes alteraciones en diversos procesos fisiológicos que inducen el crecimiento y desarrollo de plantas (García-Sánchez, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El presente experimento se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de policarbonato, localizado en el área de investigación del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Cuya ubicación geográfica se encuentra a 25°21'22.51" de latitud norte y 101°2'9.88" longitud oeste, con una altitud de 1760 msnm.

Material vegetativo

Se emplearon semillas de berenjena variedad Black Beauty de la casa semillera Starseeds, el fruto de esta variedad es en forma de pera (redonda ovalada) y de la cascara brillante de color morado muy oscuro. Posee pulpa compacta con pocas semillas y poco amarga (Gisbert *et al.*, 2016), como portainjerto se utilizaron plántulas de tomate híbrido Colosus Rz F1 (61-071), que es un tomate de vigor muy alto y alta producción pertenecientes a la casa semillera Rijk zwaan.

Siembra

Las semillas de berenjena se sembraron el día 7 de enero de 2019 en charolas de poliestireno de 200 cavidades colocando una semilla en cada cavidad, 21 días después se sembró la semilla del portainjerto, debido a que poseen un mayor vigor vegetativo comparado con la variedad, con esto se buscó que tanto el tallo de la variedad como el del portainjerto tuvieran un diámetro similar, para el llenado de las charolas en ambos se utilizó una mezcla de peat moss con perlita a una proporción 70:30.

Realización del injerto

La actividad de injerto se llevó a cabo el día 22 de febrero de 2019, se utilizó el método de púa, las plántulas ya injertadas se colocaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, se aplicaron los tratamientos y 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 a una temperatura que oscilaba entre 25 y 35°C para favorecer el prendimiento del injerto (Johnson *et al.*, 2011).

Establecimiento del cultivo

Una vez que a las plántulas se les formó el callo en la unión, se llevó a cabo el trasplante a los 23 días después de haber realizado el injerto, en bolsas de color negro (40 x 60 cm) de 15 Litros. Se usó una mezcla de peat moss y perlita (70/30, v/v).

Manejo nutricional

Se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) en diferentes concentraciones, de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo; iniciando en el crecimiento vegetativo al 25%, crecimiento vegetativo pleno al 50%, floración y amarre de frutos al 75% y llenado de frutos y cosecha al 100% en condiciones de pH de 6-6.5 y una conductividad eléctrica de 1.6 - 2.2.

Nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO)

Las NPs ZnO utilizadas fueron sintetizadas en la planta piloto del Centro de investigación y Química aplicada (CIQA) adquiriendo con un tamaño de 52 nm determinado por rayos X y recubiertas con ácido palmítico.

Aplicación de tratamientos y diseño experimental

Se realizaron cuatro aplicaciones foliares de nanopartículas de óxido de zinc, en dosis de 0, 20, 40 y 60 mg L⁻¹ en cada etapa del cultivo: inicio (después que se realizó el injerto), crecimiento vegetativo, floración y fructificación, los tratamientos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 X 4, el factor 1 con dos niveles que fueron plantas injertadas y sin injerto, el factor 2 que contó con 4 niveles y correspondieron a plantas tratadas con diferentes dosis

de nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO), siendo en total ocho tratamientos con seis repeticiones. En las Tabla 1 se presentan los tratamientos estudiados.

Tabla 1. Tratamientos empleados en el experimento donde se aplicaron ZnO NPs a berenjena injertada y sin injertar a diferentes concentraciones.

Tratamientos	Descripción
1	Berenjena Injertada + 0.0 mg L ⁻¹ NPs ZnO
2	Berenjena Injertada + 20 mg L ⁻¹ NPs ZnO
3	Berenjena Injertada + 40 mg L ⁻¹ NPs ZnO
4	Berenjena Injertada + 60 mg L ⁻¹ NPs ZnO
5	Berenjena sin injerto + 0.0 mg L ⁻¹ NPs ZnO
6	Berenjena sin injerto + 20 mg L ⁻¹ NPs ZnO
7	Berenjena sin injerto + 40 mg L ⁻¹ NPs ZnO
8	Berenjena sin injerto + 60 mg L ⁻¹ NPs ZnO

Manejo del cultivo

Cada planta se manejó a dos tallos, se realizaron podas de los brotes laterales y aplicaciones preventivas y de control fitosanitario, para mosca blanca y trips, se realizaron aplicaciones semanales de Evisect, a razón de 1 g L⁻¹, como fungicida/bactericida se utilizó Oxicob®-85.

Variables Agronómicas Evaluadas

Altura de la planta

Para esta variable se hizo uso de un flexómetro de la marca TOOLCRAFT modelo TC0234 con capacidad de tres metros, se evaluó la longitud del tallo, se llevó a cabo una vez cada 15 días hasta finalizar el ciclo, midiendo desde la base del tallo hasta el ápice.

Diámetro del tallo

La medición del diámetro de tallo se realizó con un vernier digital LSD de la marca STANLEY (150 mm), cabe mencionar que por efecto de las plantas injertadas y la formación del callo en la base del tallo se determinó que el punto para realizar la lectura fuese por arriba del callo formado por el injerto. La lectura se registró en mm.

Número de hojas

Para esta variable se realizaron los conteos cada 15 días, a partir del trasplante hasta finalizar el ciclo.

Peso de frutos

Para esta variable se consideró el momento justo de cosecha para ello se tomó en cuenta el desarrollo total, firmeza y el color purpura brillante que se tomó como factor para determinar el momento de cosecha ya que indica que el fruto ha concluido su crecimiento generativo (Gisbert *et al.*, 2016), el fruto con esas características fue cosechado y pesado utilizando una balanza analítica de la marca OHAUS CS con capacidad de 5000 g.

Peso seco de la parte aérea

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

Peso seco de la raíz

La raíz se extrajo separando el sustrato de la maceta manualmente y se retiró el exceso de sustrato con agua, por último, se pesó en la balanza marca OHAUS CS con capacidad de 5000 g. Para obtener el peso seco se colocaron las bolsas de papel y se colocaron en una estufa de secado marca Linderberg/blue modelo

GO1350C1 por 72 horas aproximadamente, con temperatura de 80 °C, por último, se pesaron en la balanza.

Variables Micromorfológicas

Para la evaluación de estos parámetros se midieron la densidad estomática, el índice estomático, longitud de los estomas, ancho de los estomas, número y área de haces vasculares de los peciolo y hojas, dichas metodologías se mencionan a continuación.

Densidad estomática e índice estomático

Para el estudio de estomas se tomaron muestras a los 50 días después del trasplante, se utilizaron 4 plantas por tratamiento, de las cuales se tomó una hoja madura, totalmente expandida con la misma orientación, en cada hoja en su parte media, se tomó una impresión epidérmica del haz (adaxial), utilizando poliestireno-xilol en forma líquida, el cual se aplicó sobre la superficie foliar con un pincel. Después de que se secó la película, esta fue removida con un trozo de cinta adhesiva transparente y se montó sobre un portaobjetos (Weyers y Johansen, 1985). En cada impresión se observaron al azar tres campos microscópicos a 40X. En cada campo se tomó una microfotografía, en la que se contaron los estomas y las células epidérmicas, además se midió el ancho y largo(μm) de las células oclusivas de los estomas en cada uno de los campos del microscopio.

La densidad estomática se obtuvo de la siguiente forma:

$$DE = \frac{N^{\circ} \text{ estomas}}{0.02479 \text{ mm}^2}$$

DE= número de estomas/0.02479 mm^2 (área de la imagen fotografiada) =estomas por mm^2 .

El índice estomático es el número de estomas en relación al total de células epidérmicas, para su determinación se utilizó la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{N^{\circ} \text{ estomas}}{\text{células epidermicas} + N^{\circ} \text{ estomas}} \times 100$$

(Wikilson, 1979). Se utilizó un microscopio con cámara digital Pixera Winder Pro y un Software de medición Axion Vision Rel. 4.8.

Variables histológicas

Se tomaron muestras a los 15 días después del injerto, cuando estaban en la etapa de aclimatación, se cortó un fragmento de los peciolo de la hoja y de la hoja, los tejidos fueron procesados por la técnica histológica de la parafina como sigue:

Fijación

Las muestras fueron depositadas en frascos de vidrio con capacidad de 25 mL los cuales contenían fijador formaldehído ácido acético glacial (FAA) (5 mL de formaldehído, 5 mL de ácido acético glacial y 90 mL de alcohol etílico al 70%). Las muestras permanecieron en el laboratorio de cultivo de tejidos a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco durante 30 días (Hernández, 1984).

Deshidratación

Las muestras fueron procesadas con soluciones de alcohol etílico al 50, 60, 70, 85 y 96% más colorante eosina para diferenciarlos. después se utilizó alcohol etílico absoluto I, alcohol etílico absoluto II, alcohol etílico absoluto con xilol en proporción 3:1, alcohol etílico absoluto con xilol en proporción 1:1, alcohol etílico absoluto con xilol en proporción 1:3, xilol puro I y xilol puro II, en cada solución permanecieron un intervalo de horas (Hernández, 1984).

Inclusión en parafina

Se añadió parafina a los frascos, a continuación, se llevaron a una estufa (GCA Precisión Scientific THELCO mod 18) y se dejaron a 35°C durante 24 h. Se añadió parafina a los frascos y la temperatura se incrementó en 10°C para finalizar

saturando con parafina los frascos a una temperatura de 55°C. La mezcla de xilol y parafina que contenían los frascos se cambió y se añadió parafina pura derretida y se fueron vaciando en moldes de aluminio. Se dejó reposar hasta su solidificación para luego hacer los cortes (Portos, 2016).

Seccionamiento y Montaje

Se ajustó el micrótopo de mano (LEICA RM2125RTS) a un grosor de 20 µm. Se colocó el bloque de parafina asegurándose de que quedase fijo en posición perpendicular a la navaja, se hicieron 5 cortes los cuales se colocan en un líquido en flotación el cual contiene 1000 mL de agua destilada, 0.2 gramos de bicromato de potasio y 0.2 gramos de gelatina, el agua destilada se calentó a 60°C para disolver el bicromato de potasio y la gelatina y después se filtró, recogidos los cortes se colocaron en un portaobjetos, posteriormente las láminas se apoyaron en forma oblicua para que escurriera el líquido sobrante y luego se dejaron secar a temperatura ambiente hasta que la sustancia adhesiva uniera el corte al portaobjetos.

Coloración o Tinción

Se utilizaron frascos de Coplin con capacidad de 8 portaobjetos, las muestras fueron sumergidas en xilol I durante 10 a 15 min hasta la eliminación de la parafina, acto seguido las muestras fueron sumergidas de 2 – 5 min en el siguiente orden: 1) alcohol etílico absoluto I, 2) alcohol etílico 96%, 3) alcohol etílico 85%, 4) alcohol etílico 70%, 5) alcohol etílico 60% y finalmente agua destilada. Luego dejaron en reposo en safranina acuosa 1%. Transcurrido el tiempo se enjuagaron uno a uno con agua corriente, agua destilada, alcohol etílico 60%, alcohol etílico 70%, alcohol etílico 85%, alcohol etílico 96%, finalizando con una inmersión en verde rápido en alcohol etílico de 96% durante 5 – 30 segundos. Se hizo un enjuague más con alcohol etílico absoluto I, se sumergieron en carboxilol por 10 min y se finalizó sumergiendo en xilol I,II por 10 min, después se sellaron con una gota de bálsamo de Canadá y un cubreobjetos del tamaño del

tejido, de manera que cubriera toda la muestra, así las preparaciones se pusieron a secar en una estufa a 30° C durante una semana (Portos, 2016).

Número de vasos de xilema

Una vez fijadas las muestras en los portaobjetos se visualizaron en el microscopio (Carl Zeiss) con cámara integrada y software Pixera Wiewfinder. Las muestras se analizaron con objetivo 10x en el haz vascular enfocando a los vasos de xilema.

Área de vasos de xilema

Una vez fijadas las muestras en los portaobjetos se visualizaron en el microscopio (Carl Zeiss) con cámara integrada y software Pixera Wiewfinder Pro utilizando objetivo 40x y el software AxiVision LE.

Clorofilas

El contenido de clorofilas, se determinó de acuerdo con Nagata y Yamashita (1992). Para ello se utilizaron 0.1 g de tejido liofilizado de hojas de berenjena las cuales se mezclaron con 20 mL de una solución de hexano: acetona (3:2). Del sobrenadante se tomó una alícuota y se midieron las absorbancias a 645 y 663 nm, las cuales se usaron para determinar el contenido de clorofilas según las ecuaciones 1 y 2:

$$1) \text{Chl } a = .999 \times \text{Abs}_{663} - 0.0989 \times \text{Abs}_{645}$$

$$2) \text{Chl } b = -0.328 \times \text{Abs}_{663} + 1.77 \times \text{Abs}_{645}$$

$$3) \text{Clorofila total} = \text{Chl } a + \text{Chl } b$$

Todos los datos se expresan en mg 100 g⁻¹ peso seco

Variables - Calidad comercial

pH

Para la determinación del pH se empleó un medidor de bolsillo (HI98129, Hanna Instruments Inc.).

Firmeza

Para la determinación de esta variable se requirió del uso de un penetrómetro de la marca QA modelo FT-327, se introdujo la punta del penetrómetro, las lecturas se reportaron en kg cm^{-2} .

Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)

Para determinar el contenido de sólidos solubles totales se seleccionaron los frutos con un color púrpura uniforme, los cuales fueron cosechados y llevados al laboratorio para obtener una muestra del contenido interno (pulpa) y colocar una gota en el lector del refractómetro digital (HI96801, Hanna Instruments Inc.), para obtener la concentración en % de sólidos solubles.

Acidez titulable

La acidez titulable (% de ácido cítrico) se calculó tomando 10 mL de la pulpa de cada fruto, a la cual se añadieron 2 gotas de fenolftaleína (1%) y se tituló con NaOH 0.1 N (AOAC, 1990).

Calidad nutracéutica

El fruto fue cosechado a los 16 días después del amarre (una vez que el color es púrpura brillante, las semillas no están bien desarrolladas y aún tiene firmeza) después fue llevado a congelación a 4 °C para detener la respiración y posteriormente se seleccionó parte del fruto y se almacenó a -86 °C en un ultracongelador (VIP® Series SANYO), finalmente el tejido se liofilizó durante 72 horas en un liofilizador (FreeZone 2.5 Liter Benchtop Freeze Dry System, LABCONCO).

Extracción de biomoléculas

El tejido liofilizado se pulverizó y se tomaron 200 mg de muestra y se colocaron en un tubo eppendorf añadiendo 20 mg de polivinil pirrolidona (PVP) (SIGMA-ALDRICH). Posteriormente se añadieron 1.5 mL de buffer de fosfatos 0.1 M (pH 7.0 - 7.2), se sonicó (Ultrasonic Cleaner Branson 1510) por 5 min y posteriormente se centrifugó (Microcentrifuga Refrigerada Labnet Prism™ R) a 12,500 rpm durante 15 minutos a 4 °C. El sobrenadante fue recolectado y filtrado con filtros jeringa PVDF 0.45 µm 13 mm tamaño de poro (Ramos *et al.*, 2010). Se diluyó el residuo filtrado en una proporción 1:20 con buffer de fosfatos y se almacenó en tubos eppendorf a una temperatura de 4 °C.

Extracción metanólica

Del tejido liofilizado y pulverizado se pesaron 200 mg, se colocaron en un tubo falcón de 15 mL y se añadieron 10 mL de metanol, se agitaron durante 24 horas (Labnet Orbit 1000), transcurrido el tiempo se centrifugó (centrifuga CIVEQ 80-2) a 4000 rpm durante 10 min, se extrajo el sobrenadante y se conservó en refrigeración a 4°C hasta la cuantificación de metabolitos (sin exceder las 48 h) (Cardador, 2002).

Vitamina C

El contenido de vitamina C se determinó por el método volumétrico (Padayatty *et al.*, 2011), 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 trituro por completo, a la mezcla se le agregaron 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 tomaron tres alícuotas de 10 mL del filtrado. En una bureta volumétrica de 10 mL se colocó reactivo 2,6- dicloroindofenol (1×10^{-3} N) y se titularon las alícuotas hasta la aparición de una coloración rosa constante durante 30 segundos, Los resultados se expresaron en mg/100 g de peso fresco.

Fenoles totales

Se tomaron 40 μL de extracto metanólico y se colocaron en los tubos de 10 mL, se adicionaron 460 μL de H_2O destilada, después se añadieron 250 μL de reactivo de Folin y 1250 μL de carbonato de sodio, se cerró el tubo y se agitó en el vortex, se dejó reposar durante 2 horas en la oscuridad. Finalmente, la lectura se tomó a una absorbancia de 760 nm utilizando una celdilla de plástico en un espectrofotómetro UV-Vis. El contenido de fenoles se determinó a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de ácido gálico (Singleton *et al.*, 1999).

Flavonoides

El contenido de flavonoides totales se realizó mediante el método de Dowd, adaptado por (Arvouet-Grand *et al.*, 1994). Para la extracción, se colocaron 100 mg de tejido liofilizado en un tubo de ensayo, donde se agregaron 10 mL de metanol de grado reactivo y se agitó durante 30 s hasta que se homogeneizó la mezcla. La mezcla se filtró usando el papel Whatman No. 1. Para la cuantificación, se agregaron 2 mL del extracto y 2 mL de solución metanólica de tricloruro de aluminio (AlCl_3) al 2% a un tubo de ensayo y se dejó reposar durante 20 minutos en la oscuridad. Luego se tomó la lectura en un espectrofotómetro UV-Vis una longitud de onda de 415 nm utilizando una celdilla de cuarzo. El contenido de flavonoides se expresó en miligramos equivalentes de quercentina.

Proteínas totales

Para la cuantificación de las proteínas totales se tomaron 100 μL del extracto de biomoléculas y se le agregó 1 mL del reactivo de Bradford, se mezcló y se dejó reaccionar durante 2 minutos, finalmente se leyó la absorbancia a 595 nm en el espectrofotómetro, utilizando como estándar de proteínas BSA (Bradford, 1976).

Glutación reducido (GSH)

La actividad del glutación se realizó mediante la técnica de Xue *et al.*, (2001). Se colocó en un tubo de ensayo 480 μL del extracto de biomoléculas y 2.2 mL de Na_2HPO_4 0.32 M, se agitó, se añadieron 320 μL del colorante DTNB 1mM y se

agitó nuevamente, se leyó mediante espectrofotometría UV-VIS a 412 nm. La actividad GSH se determinó al extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de glutatión reducido. Los resultados se expresaron en mg L^{-1} .

Análisis enzimáticos

Catalasa

Se realizó midiendo dos tiempos de reacción, tiempo 0 (T0) y tiempo 1 (T1). La mezcla de reacción para el blanco se elaboró tomando 0.1 mL de extracto de biomoléculas, 1 mL de buffer de fosfatos (pH 7.2) y 0.4 ml de H_2SO_4 (al 5%) y la mezcla para el T0 se preparó agregando 0.1 ml de extracto de biomoléculas, después se añadieron 0.4 mL de H_2SO_4 (al 5%), al final 1mL de H_2O_2 100 mM. Para T1 se preparó agregando 0.1mL de extracto de biomoléculas, en seguida 1mL de H_2O_2 y finalmente los 0.4 mL de H_2SO_4 al 5% fueron aplicados después de 1 minuto de reacción entre el extracto de biomoléculas y el H_2O_2 . La reacción se efectuó a una temperatura de 20 °C bajo agitación constante. Finalmente se tomó la lectura del consumo del H_2O_2 a 270 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis). La actividad enzimática se determinó a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de H_2O_2 . La actividad catalasa se expresó como mM de H_2O_2 por minuto entre el total de proteínas (Cansev *et al.*, 2011).

Glutatión peroxidasa (GPX)

Se realizó con el método establecido por Xue *et al.* (2001) usando H_2O_2 como sustrato. Se colocaron 0.2 mL del extracto de biomoléculas en un tubo de ensaye más 0.4 ml de glutatión reducido (0.1 M) y 0.2 ml de Na_2HPO_4 (0.067 M). Esta mezcla fue precalentada en baño de agua (IKA® HB 10 basic) a 25°C durante 5 minutos. Posteriormente se le añadieron 0.2 mL de H_2O_2 1.3 mM para iniciar la reacción catalítica. Después de 10 min se añadió 1 mL de ácido tricloro acético (al 1%) para detener la reacción. Esta mezcla de reacción fue puesta en baño de hielo por 30 min. A continuación se centrifugó a 3000 rpm por 10 min. Del sobrenadante se tomaron 0.48 mL y se colocaron en un tubo de ensaye, se

agregaron 2.2 mL de Na_2HPO_4 (0.32 M) y 0.32 ml de una solución 1 mM del colorante ácido 5,5 ditio-bis-2-nitro benzoico (DTNB). Se tomaron lecturas en el espectrofotómetro UV-VIS a 412 nm. La actividad enzimática GPX se determinó a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de glutatión reducido mM de glutatión por minuto entre el total de proteína.

Ascorbato peroxidasa (APX)

La medición de la actividad enzimática ascorbato peroxidasa se llevó a cabo de acuerdo a lo establecido por Nakano y Asada (1987). Se agregaron 100 μL de extracto enzimático, 500 μL de ascorbato (10 mg L⁻¹), y se adicionaron 1 mL de H_2O_2 (100 mM), se midió inmediatamente la absorbancia a una longitud de onda de 266 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis) para el tiempo 0, después de un minuto la misma muestra se vuelve a leer y este será el tiempo 1. Se preparó una curva de calibración con ascorbato, y los resultados se expresaron en mM de ascorbato por minuto entre el total de proteínas

Superóxido dismutasa (SOD)

La determinación de la actividad enzimática de la superóxido dismutasa se llevó a cabo utilizando el kit SOD Cayman 706002®. Una mezcla de 20 μL de extracto, 200 μL de detector de radicales (sal de tetrazolio) y 20 μL de solución de xantina oxidasa se colocó en una microplaca. La microplaca se cubrió con una cubierta transparente (kit), se agitó durante 10 segundos y luego se incubó a 26 ° C durante 30 minutos. Luego se midió la absorbancia a una longitud de 450 nm utilizando un lector de placas. El principio de la prueba se basa en el uso de una sal de tetrazolio para la detección de radicales superóxidos generados por la xantina oxidasa y la hipoxantina. Una unidad de SOD se define como la cantidad de enzima necesaria para exhibir un 50% de dismutación del radical superóxido. La actividad SOD se expresó como % de tasa de inhibición, a partir de la ecuación descrita por el kit comercial.

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 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agronómicas

Variables agronómicas en plantas de berenjena injertadas

En la **Tabla 2** se puede observar como el injerto mostró diferencias significativas para la altura, diámetro del tallo, número de hojas, largo de la raíz, peso seco de la parte aérea y de la raíz.

Un resultado significativo fue el aumento del 46% en la altura para la media de las plantas injertadas, similar a lo reportado por Sabatino y colaboradores (2018), quienes encontraron un mayor vigor en plantas de berenjena injertadas en porta injertos de tomate híbridos, de igual manera para la media en el diámetro del tallo se encontró un incremento del 21%, coincidiendo con Al-Harbi y Al-Omran (2017), quienes demostraron que las plantas de tomate injertadas eran más vigorosas que las no injertadas reportando un aumento significativo en el diámetro del tallo, la altura de la planta y el número de hojas. Por otra parte, en el presente trabajo experimental se encontró un aumento del 70 % para la media de las plantas injertadas al igual que Bernal-Alzate y colaboradores (2016), quienes mencionan que altura de la planta, el número de hojas y las flores aumentaron en plantas de frijol injertadas, estos autores argumentan que las plantas injertadas se desarrollan mejor debido a que tienen una mayor capacidad de obtener nutrientes y agua del suelo, las plantas injertadas tienen un porte mucho mayor respecto a las plantas sin injertar debido al vigor conferido por parte del patrón a la planta (Mohamed *et al.*, 2014). Para el peso de frutos por planta el injerto mostró diferencias significativas, siendo superior en las plantas injertadas (Tabla 2), resultados similares a lo que señalan Soltan y colaboradores (2017), para plantas de pimiento injertado, del mismo modo Userralde y colaboradores (2017), argumentan que el rendimiento en plantas de tomate injertadas fue superior al control sin injertar, de igual manera Sabatino y colaboradores (2018), mencionan que la berenjena es un cultivo importante que se beneficia significativamente del injerto debido a que el rendimiento manifestó un incremento.

Efecto en las variables agronómicas por la aplicación de NPs ZnO en plantas de berenjena

Las dosis aplicadas de las NPs ZnO mostró diferencias significativas para el número de hojas, pero no para el resto de las variables que se muestran en la **Tabla 2**, encontrándose que la dosis de 20 mg L⁻¹ supero al testigo en un 19%, resultados similares fueron reportados por Méndez-Argüello y colaboradores (2016), quienes encontraron un aumento en el crecimiento y la biomasa en plantas de chile tratadas con aplicaciones foliares de 50 mg L⁻¹ de Nps ZnO. Diversos reportes concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación. Panwar (2012) reporto un mayor crecimiento y producción de biomasa seca en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cuando aplicaron 20 mg L⁻¹ de Nps ZnO al follaje; además, encontraron Zn en las hojas, confirmando con ello que ocurrió la absorción en los estomas y su translocación vía floema, al igual que los resultados obtenidos por la aplicación foliar de 1.5 y 10 mg L⁻¹ de Nps ZnO en plántulas de garbanzo (*Cicer arietinum*), ya que originaron mayor altura y biomasa seca. En ese mismo estudio se ha destacado que la aplicación de Zn en forma de nanofertilizante promueve el crecimiento de las plantas. Se ha sugerido que esa inducción del crecimiento se debe a que el Zn tiene una función muy importante como cofactor de enzimas involucradas en el proceso fotosintético, así como en la integridad y mantenimiento de las membranas celulares de las plantas. Méndez-Argüello y colaboradores (2016), mencionan que las aplicaciones foliares de Nps ZnO a una concentración de 50 mg L⁻¹ en plantas de chile induce la producción de H₂O₂ en las hojas.

Las dosis de las nanopartículas mostraron diferencias significativas, siendo la dosis de 40 mg L⁻¹ aquella que muestra un incremento en el número de frutos por planta (Tabla 2), Raliya (2013), señala que las nanopartículas de óxido de zinc, en aplicaciones foliares de 10 mg L⁻¹ incrementaron el rendimiento del grano de *Cyamopsis tetragonoloba*, en cucurbitáceas como el pepino Astafurova *et al.*, (2018) analizaron la influencia de suspensiones de nanopartículas de óxido de zinc en el suelo a concentraciones de 5 mg Kg⁻¹ y encontraron una mejora el producción de un 36% superior al control. Del mismo modo Raliya *et al.*, (2015)

evaluaron concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc de 0 a 1000 mg Kg⁻¹ en aplicaciones foliares y en el suelo en plantas de tomate y encontraron que la aplicación foliar era más efectiva que la aplicación en el suelo, mencionan que las nanopartículas de ZnO aumentaron el rendimiento del fruto en un 81.9% en comparación con el control además mencionan que una mayor concentración de nanopartículas por aplicación foliar podría alcanzar niveles tóxicos.

Efecto de la Interacción Injerto-NPs ZnO en plantas de berenjena sobre las variables agronómicas

En el presente estudio se encontró un aumento en la altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y peso seco de la parte aérea en plantas injertadas y tratadas con una dosis de 20 mg L⁻¹ de NPs ZnO en 43, 41, 100 y 159% respectivamente en relación con el control, en cuanto a la longitud de la raíz aumento un 130% en plantas injertadas y una dosis de 40 mg L⁻¹, el peso seco de la raíz mostró los valores más altos en plantas injertadas sin aplicación de nanopartículas, de manera similar un experimento realizado por González y colaboradores (2017), observaron que plantas de sandía injertadas y tratadas con diferentes dosis de nanopartículas de cobre en hidrogeles de quitosán mostraron una mayor longitud de la guía principal, Raliya y colaboradores (2015) mencionan que la aplicación de NPs ZnO vía foliar es más efectiva que la aplicación en el suelo debido a que mejora la absorción de estas en plantas de tomate, donde reportaron un aumento significativo en la biomasa de la planta, crecimiento de brotes y raíces.

Numerosas investigaciones han demostrado que la absorción de las NPs por diferentes plantas conduce a la acumulación en compartimentos subcelulares (Schwab *et al.*, 2016), además se mencionan diferentes alteraciones en diversos procesos fisiológicos e inducen el crecimiento y el desarrollo de las plantas (García-Sánchez *et al.*, 2015). Los resultados señalan que el tratamiento con injerto y una dosis de 40 mg L⁻¹ fue superior al testigo en un 111% (Tabla 2) para el peso de frutos por planta, el rendimiento hortícola óptimo de una planta injertada depende de la cohesión entre el portainjerto y el vástago (es decir,

formación de callos, fusión de tejidos y reconexión vascular) que asegura el desarrollo equilibrado de vástago y portainjerto (Nanda y Melnyk, 2018), cuando no hay una conexión eficiente limita la transferencia de agua y nutrientes; baja conductancia hidráulica, deterioro de la actividad estomática, defoliación y una pérdida de vigor (crecimiento del vástago) que impactaría de manera negativa en el rendimiento (Oda y Mori, 2005). Por su parte el efecto positivo de las nanopartículas depende de su tamaño y su concentración, así como el medio químico de los sitios subcelulares en los que se depositan (Dietz y Herth, 2011). Todos estos factores pueden ser responsables de dar mayores rendimientos, además Zn juega un papel fundamental en la protección y el mantenimiento estructural, estabilidad de las membranas celulares, para síntesis de proteínas, función de membrana, alargamiento celular y tolerancia a estreses ambientales. Se ha demostrado que una dosis más baja de aplicación foliar es significativamente productiva. (Cakmak, 2000).

Tabla 2. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables agronómicas.

Factor	Tratamientos	AP	DT	NH	LR	PSR	PSA	PF
Injerto	CI	195.42 a	17.4 a	156.75a	62.38 a	38.21 a	331.17 a	1456.46 a
	SI	133.5 b	13.72 b	92.08 b	29.67 b	19.71b	134.65 b	749.28 b
Significancia		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
NPs ZnO (Mg L ⁻¹)	0	166.17 a	15.25 a	117 c	46.58 b	30.58 a	228.56 a	1034.91 b
	20	165.58 a	15.9 a	139.08 a	44.83 b	27.92ab	237.65 a	1099.47 ab
	40	159.75 a	15.68 a	113.75 c	52.92 a	30.83 a	238.79 a	1207.74 a
	60	166.33 a	15.41 a	127.83 b	39.75 c	26.5 b	226.65 a	1069.49 ab
Significancia		0.1693	0.3831	0.0001	0.0001	0.0194	0.1566	0.0896
Interacciones	CI-0	191.33 b	17.61 a	131.83 d	64.33ab	43.5 a	327.55 a	1328.70 b
	CI20	202.33 a	18.12 a	184.50 a	57.17 c	37.17 b	335.73 a	1408.65 ab
	CI40	191.33 b	17.43 ab	149.33 c	68.67 a	36.83 b	335.08 a	1569.18 a
	CI60	196.67 ab	16.43 b	161.33 b	59.33 bc	35.33 b	326.35 a	1519.60 ab
	SI-0	141.00 c	12.88 d	92.17 e	28.83 e	17.67 d	129.58 b	741.13 cd
	SI20	128.83 d	13.68 cd	93.67 e	32.50de	18.67 d	139.58 b	790.29 cd
	SI40	128.17 d	13.92 cd	98.17 e	37.17 d	24.83 c	142.51 b	846.30 c
	SI60	136.00 cd	14.38 b	94.33 e	20.17 f	17.67 d	126.95 b	619.38 d
Significancia		0.0138	0.008	0.0001	0.0035	0.0009	0.9572	0.0001
C.V(%)		5	6.29	7.93	10.12	13.1	6.81	12.55

AP (cm)= altura de la planta, DT(mm)= diámetro del tallo, NH= número de hojas, LR= largo de raíz, PSR(cm)= peso seco de raíz, PSA (g)= peso seco de la parte aérea, PF (g)= peso de frutos/ planta. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher), C. V= coeficiente de variación, NPs ZnO= nanopartículas de Óxido de zinc.

Micromorfológicas

Variables Micromorfológicas en plantas de berenjena injertadas

El injerto mostró diferencias significativas para la densidad y el índice estomático, así como para el largo y ancho de las estomas del haz, con un aumento de 30%, 25%, 12%, 17% respectivamente (Tabla 3), resultados similares reportaron Camposeco-Montejo y colaboradores (2018) quienes mencionan que el índice y la densidad estomática muestran valores superiores en el pimiento injertado, incrementos que son similares a los reportados por Cañizares y colaboradores (2003) y Ayala y colaboradores (2010), pero contrastan con lo reportado por Peralta y colaboradores (2016) para pepino, quienes señalan que en las plantas injertadas se reduce la densidad estomática del haz y envés, y el índice estomático del haz. Los incrementos en densidad estomática, índice estomático se debieron probablemente al vigor que le confiere el portainjerto a la variedad injertada, ya que se correlaciona de forma directa con la tasa de asimilación neta de CO₂, la tasa de respiración y la conductancia estomática al tiempo que se reduce la resistencia estomática como lo mencionan Ayala y colaboradores (2010) lo que influye con la eficiencia fisiológica de las hojas para asimilar CO₂ y transformarlo en asimilados que se transportan a los sitios de demanda, lo que confiere mayor eficiencia productiva a las plantas, en cuanto a las dosis no se encontraron diferencias significativas.

Efecto de la interacción injerto-NPs ZnO en plantas de berenjena sobre las variables micromorfológicas

La respuesta de las variables a la combinación de factores se muestra en la Tabla 3, donde los mejores tratamientos son las plantas injertadas y una dosis de 40 mg L⁻¹, ya que registraron los valores más altos para la densidad, índice estomático y ancho del estoma, además el tratamiento con injerto y 20 mg L⁻¹ mejoró el largo del estoma (figura 1), estos resultados contrastan con lo reportado por González y colaboradores (2017) quienes mencionan que la aplicación de NPs Cu absorbidas hidrogeles de quitosán tuvieron un mejor efecto en plantas de sandía sin injertar, cabe mencionar que la aplicación de las NPs Cu se hizo en el sustrato, los

resultados obtenidos en esta investigación pueden deberse a que las NPs ZnO se aplicaron vía foliar y se sabe que la penetración de las mismas es por las aperturas estomáticas (Jiao *et al.*, 2016), lo que pudo haber causado el aumento en el índice y la densidad estomática. Logrando con ello promover el crecimiento y rendimiento de los cultivos de una manera más efectiva que los fertilizantes tradicionales (Siskani *et al.*, 2015), promoviendo diversas respuestas fisiológicas como el desarrollo de raíz, flores y frutos, así como en expresiones bioquímicas relacionadas con la producción de clorofila (Chen, 2014).

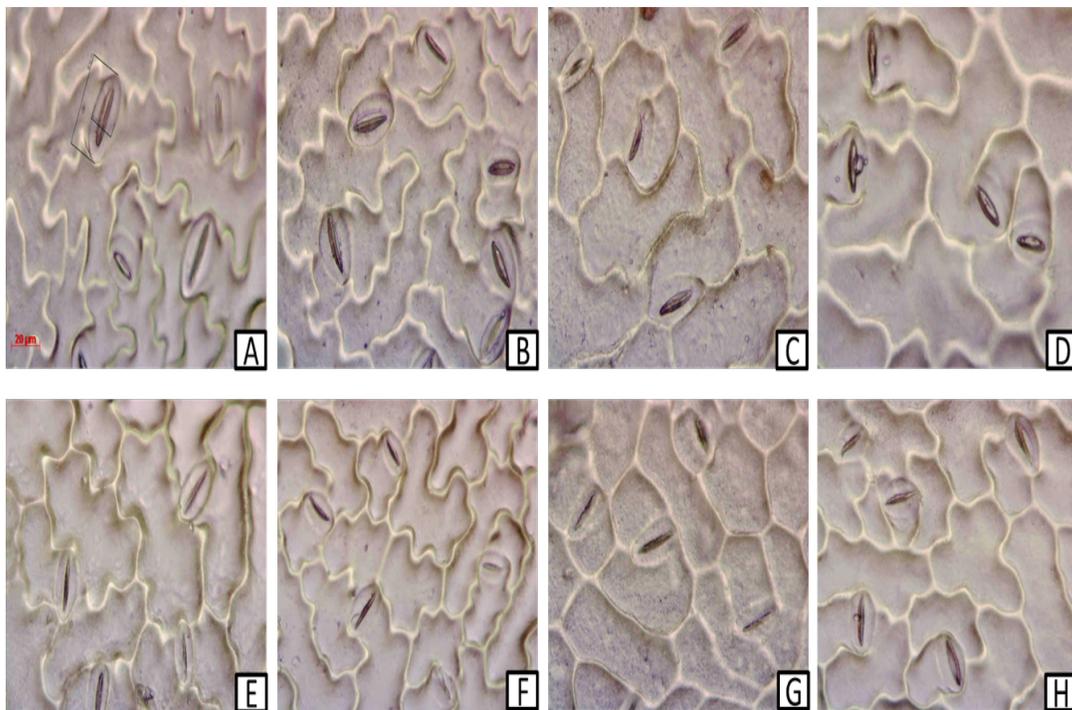


Figura 1. Micrográficas sobre la distribución de estomas en la parte adaxial (Haz) de la hoja de plantas de berenjena injertadas y tratadas con NPs ZnO según los tratamientos de la Tabla 1: A) CI-0, B) CI-20, C) CI-40, D) CI-60, E) SI-0, F) SI-20, G) SI-40, H) SI-60 mg L⁻¹ observadas a 40 aumentos.

Tabla 3. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables micromorfológicas de plantas de berenjena.

Factor	Tratamientos	DEH	IEH	LEH	AEH
Injerto	CI	115.12 a	20.25 a	23.69 a	12.82 a
	SI	88.23 b	16.14 b	21.16 b	10.96 b
Significancia		0.0075	0.0055	0.0001	0.0001
NPs ZnO (mg L ⁻¹)	0	99.16 a	16.32 a	21.93 a	12.35 a
	20	99.16 a	18.60 a	22.24 a	11.44 a
	40	109.24 a	20.1 a	22.13 a	11.93 a
	60	99.16 a	17.75 a	23.41 a	11.82 a
Significancia		0.825	0.2734	0.2099	0.4308
Interacciones	CI-0	114.28 ab	19.43 ab	22.4 bcd	13.12 a
	CI-20	117.64 ab	21.24 ab	24.07 ab	12.24 b
	CI-40	134.45 a	23.52 a	23.43abc	12.94 a
	CI-60	104.2 b	16.81 bc	24.87 a	12.97 a
	SI-0	84.03 b	13.22 c	21.47 cd	11.58abc
	SI-20	80.67 b	15.97 bc	20.40 d	10.65 c
	SI-40	84.03 b	16.69 abc	20.82 d	10.92 bc
	SI-60	94.12 ab	16.81 bc	21.94bcd	10.68 bc
Significancia		0.1409	0.108	0.3178	0.8819
C.V.(%)		25.61	20.94	6.58	9.06

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher. C. V. = Coeficiente de Variación. CI= con injerto, SI= sin injerto, DEH (Núm*mm⁻²) = densidad estomática del haz de la hoja, IEH (%)= índice estomático del haz, LEH (μm) = largo del estoma del haz, AEH (μm) = ancho del estoma del haz.

Histológicas

VARIABLES HISTOLÓGICAS EN PLANTAS DE BERENJENA INJERTADAS

La respuesta de las plantas para estas variables muestran que el injerto influye de manera positiva en el número y el área de los vasos del xilema en peciolo y hojas de la berenjena injertada, mostrándose un aumento en el número de vasos del xilema en peciolo para la media de las plantas injertadas y una disminución en el área de los vasos, de igual manera sucedió para el número y área de los vasos del xilema en la hoja (Tabla 4), tales alteraciones pueden ser el resultado de la activación de genes relacionados con la formación vascular en tejidos injertados,

además de respuestas hormonales que son percibidas a las pocas horas de la unión del tejido para activar el proceso de regeneración vascular (Melnyk *et al.*, 2018) , trabajos anteriores mencionan que tener un mayor número de vasos ayudará a aumentar la cantidad de agua que se transporta a través del tallo, además se menciona que el área de los vasos de xilema se ve favorecido al estar las plantas de berenjena injertadas (Sory *et al.*, 2010), en tanto que cuando hay presencia de numerosos vasos cortos y de diámetro estrecho, evita los problemas de embolismo que bloquean la conducción del agua (Santarosa *et al.*, 2016). Los tejidos de conducción para cualquier tipo de planta, el tamaño de los vasos del xilema, el porcentaje del xilema, y la relación entre xilema y floema, son caracteres anatómicos que definen la capacidad de transporte de agua en las plantas, observándose que, a medida que el porcentaje de los tejidos vasculares aumenta y el diámetro de los vasos es menor, la cantidad de agua transportada es mayor (Laskowski, 2000) y este carácter puede ser un indicador de mayor adaptación de las plantas (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002).

Efecto en las variables histológicas por la aplicación de NPs ZnO en plantas de berenjena

En cuanto al efecto de las NPs ZnO se mostró un aumento del 12% en el número de vasos de xilema con dosis de 40 mg L⁻¹, mientras que la de 60 mg L⁻¹ presento una disminución del 11% en el área de los vasos en el peciolo. Para las hojas no se mostraron diferencias significativas en el número de los vasos de la xilema, pero la dosis de 40 mg L⁻¹ disminuyó en un 15% el área de los vaso (Tabla 4), resultados que difieren con lo reportado por González, (2017), quien menciona que la aplicación de NPs Cu en hidrogeles de quitosán no mostraron un efecto en el número y área de los vasos del xilema, los resultados en el presente trabajo pueden atribuirse al efecto que ejercen las NPs ZnO en la producción de hormonas vegetales (Yang *et al.*, 2017), como la auxina, la citoquinina, GA, ABA, brasinoesteroides (BR), JA y ácido salicílico (SA) las cuales se han informado participan en el proceso de injerto (Pina y Errea, 2005).

Efecto de la interacción injerto- NPs ZnO en plantas de berenjena sobre las variables histológicas

La Tabla 4 muestra como el injerto y una dosis de 40 mg L^{-1} aumentó el número de vasos del xilema de peciolo y hoja, mientras que el injerto y una dosis de 60 mg L^{-1} presento una disminución en el área de los vasos del peciolo (figura 3), en la hoja el tratamiento con injerto y una dosis de 40 mg L^{-1} fue el que mostro una mayor disminución en el área de los vasos (figura 2). Se menciona que nanopartículas aplicadas de forma foliar después de ingresar por los estomas, estas son translocadas a través del floema que consiste en un tejido vascular vivo que transloca productos fotosintéticos, proteínas y algunos iones minerales para el crecimiento de las plantas, las nanopartículas fluyen a través de los tubos conductores del floema hasta llegar a las raíces mediante un mecanismo de flujo de presión, basado en mecanismos de presión osmótica, (Wang *et al.*, 2013), el xilema es un tejido que está estrechamente relacionado con el floema formando enlaces vasculares, se ha mencionado que las NPs ZnO muestran un efecto positivo sobre la reactividad de fitohormonas como las citoquininas (zeatina), auxinas (ácido indolacético) y ácido salicílico, compuestos que promueven elongación, división celular y crecimiento en las plantas (Lira-Saldivar *et al.*, 2016). En sandía se menciona que en el punto de unión entre el injerto y la variedad existe un gran número de proteínas que pueden formar fuertes conexiones entre los dos diferentes organismos durante el proceso de curación, modificando las características de los haces del xilema en la planta resultante (Muneer *et al.*, 2015).

Tabla 4. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables histológicas de plantas de berenjenas.

Factor	Tratamiento	NVXP	AVXP	NVXH	AVXH
injerto	CI	88.94 a	384.55 b	73.38 a	292.45 b
	SI	34.38 b	516.09 a	34.66 b	388.16 a
Significancia		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
NPs ZnO (mg L ⁻¹)	0	60.88 c	465.89 a	51.50 a	353.83 ab
	20	64.25 b	458.57 ab	55.75 a	319.1 b
	40	68.13 a	463.27 a	56.13 a	300.17 b
	60	53.38 d	413.56 b	51.50 a	388.12 a
Significancia		0.0001	0.0936	0.1477	0.0163
Interacciones	CI-0	90 b	379.72 c	68.75 b	324.88 bcd
	CI-20	91.75 b	404.17 c	74.25 ab	284.05 cd
	CI-40	97 a	400.51c	76.25 a	270.41 d
	CI-60	77 c	354.21 c	74.25 ab	290.45 cd
	SI-0	31.75 e	552.47 a	34.25 c	382.77 b
	SI-20	36.75 d	512.97 ab	36 c	354.15 bc
	SI-40	39.25 d	526.03 ab	37.25 c	329.93 bcd
	SI-60	29.75 e	472.90 b	31 c	485.79 a
Significancia		0.0001	0.5060	0.2798	0.047
C.V (%)		5.21	10.03	8.57	15.81

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher. C. V. = Coeficiente de Variación. CI= con injerto, SI= sin injerto, NVXP= número de vasos del xilema peciolo, AVXP (μm^2) = área de los vasos del xilema peciolo, NVXH= número de vasos del xilema en hoja, AVXH (μm^2) = área de vasos del xilema en hoja.

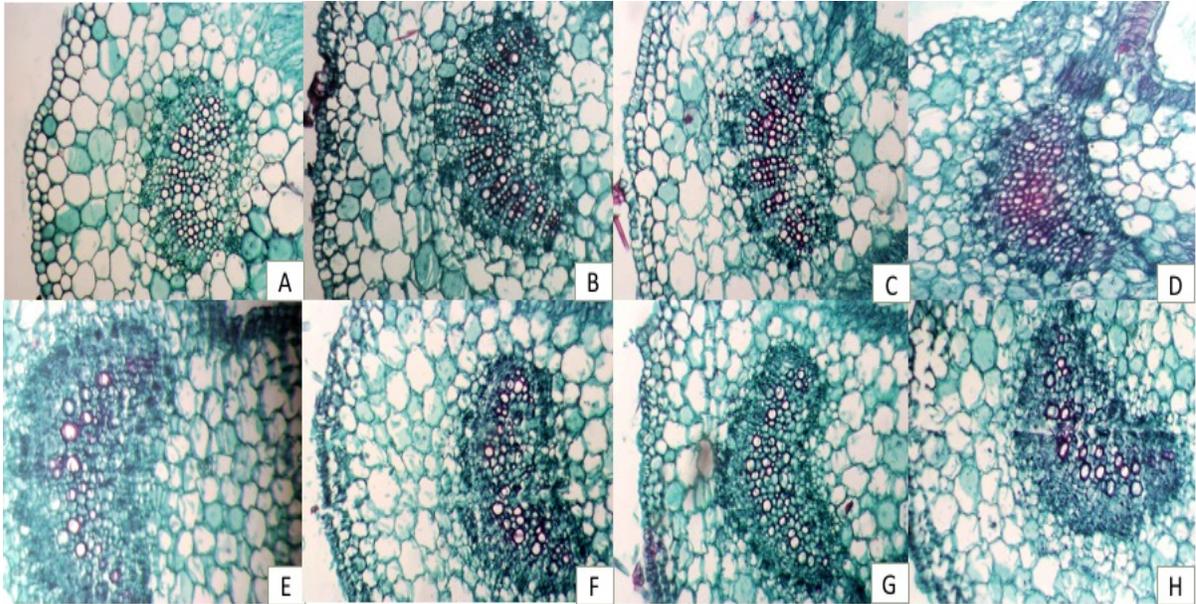


Figura 2. Microfotografías de vasos del xilema en hoja de plantas de berenjena con y sin injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc. A) CI-0, B) CI-20, C) CI-40, D) CI-60, E) SI-0, F) SI-20, G) SI-40, H) SI-60 mg L⁻¹ 10x.

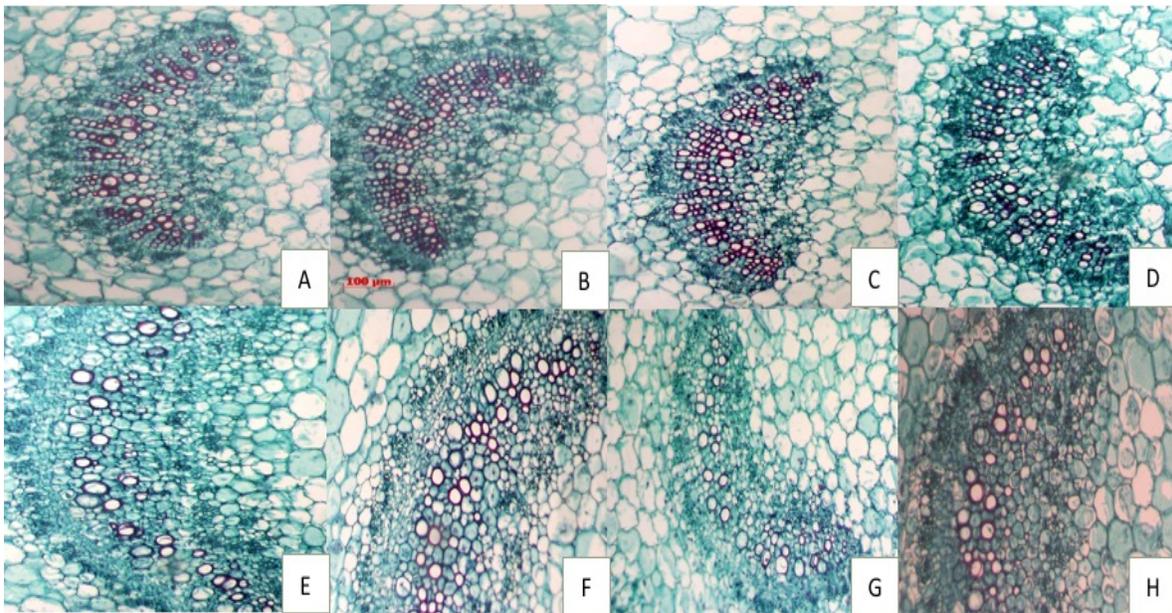


Figura 3. Microfotografías de vasos del xilema en peciolo de plantas de berenjena con y sin injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc. A) CI-0, B) CI-20, C) CI-40, D) CI-60, E) SI-0, F) SI-20, G) SI-40, H) SI-60 mg L⁻¹ 10x.

Calidad comercial del fruto

Determinación de las variables de calidad comercial de los frutos de berenjenas injertadas

Para este estudio el injerto no mostró diferencias estadísticas significativas para la variable sólidos solubles totales esto difiere a lo reportado en trabajos anteriores donde han encontrado menor contenido de azúcares en frutos de plantas injertadas lo cual puede atribuirse a varios mecanismos, que incluyen la reducción del flujo de asimilación a los órganos reproductivos, ya que los portainjertos vigorosos pueden actuar como sumideros adicionales para los asimilados, y la mayor absorción de agua por portainjertos que podrían reducir el contenido de materia seca de la fruta y, en consecuencia, el contenido de azúcar (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010; Roupael *et al.*, 2010).

Determinación de las variables de calidad comercial de los frutos de berenjenas tratadas con NPs ZnO

Las dosis de nanopartículas mostraron efecto para la variable pH mostrándose un incremento del 2% con la dosis de 60 mg L⁻¹ en comparación con el testigo (Tabla 5), resultados que coinciden con lo reportado por Juárez-Maldonado y colaboradores (2016), quienes registraron un aumento de pH en frutos de tomate tratados con nanopartículas de cobre en hidrogeles de quitosán, el rango de pH de las berenjenas normalmente se encuentra entre 4.5 y 5.3. la calidad de los frutos está muy influenciada por el pH debido a que los frutos menos ácidos son más apreciados por los consumidores. El aumento en el pH del fruto se debe a la transformación de los ácidos orgánicos en las vacuolas de las verduras en azúcares simples que luego se utilizan en la respiración celular para obtener energía, esto provoca una disminución de la acidez y, por lo tanto, un aumento del pH (Klunklin y Savage, 2017). Los resultados parecen indicar que la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc induce una transformación de ácidos orgánicos en azúcares simples en frutos de berenjena.

Determinación de las variables de calidad comercial de los frutos de berenjenas y la interacción injerto-NPs ZnO

En la Tabla 5 se puede observar que los tratamientos mostraron una mayor firmeza en las plantas del tratamiento testigo, Arvanitoyannis y colaboradores (2005), encontraron una mayor firmeza en frutos de plantas de berenjena no injertadas, se menciona que es probable que la restricción de la eficiencia de la absorción de agua en plantas sin injerto produzca frutos con menor contenido de agua y una textura más dura.

Tabla 5. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en variables de calidad comercial de frutos de berenjena.

Factor	Tratamiento	pH	SST	FIR	AT
injerto	CI	5.37 a	3.87 a	6.93 a	0.44 a
	SI	5.4 a	4.05 a	7.28 a	0.47 a
significancia		0.24	0.34	0.29	0.30
Dosis de Nps ZnO	0	5.37 b	4.09 a	7.73 a	0.5 a
	20	5.35 b	3.84 a	6.54 b	0.42 b
	40	5.35 b	4.1 a	7.34 ab	0.47 ab
	60	5.47 a	3.80 a	6.81 ab	0.44 b
significancia		0.007	0.68	0.061	0.045
Interacciones	CI-0	5.36 b	3.88 a	6.65 bcd	0.43 bcd
	CI-20	5.34 b	3.68 a	6.24 cd	0.4 cd
	CI-40	5.35 b	4.00 a	7.11 bcd	0.46 bcd
	CI-60	5.42 ab	3.98 a	7.73 ab	0.50 ab
	SI-0	5.38 b	4.10 a	8.80 a	0.57 a
	SI-20	5.35 b	4.26 a	6.85 bcd	0.44 bcd
	SI-40	5.35 b	4.20 a	7.57 abc	0.48 abc
	SI-60	5.52 a	3.63 a	5.89 d	0.38 d
significancia		0.53	0.28	0.002	0.001
C.V (%)		1.41	12.1	12.83	12.6

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher. C. V. = Coeficiente de Variación. CI= con injerto, SI= sin injerto, SST= sólidos solubles totales (°Brix), FIR = Firmeza (kg cm^{-2}), AC= acidez Titulable (%).

Clorofilas

Determinación de clorofilas en las hojas de berenjenas injertadas

El injerto mostró diferencias significativas para la clorofila a, b y total (**Tabla 6**). Se registró un aumento del 22, 69 y 44% respectivamente para la media de las plantas injertadas, Vidal y De Paula (2015), no encontraron diferencias significativas en el contenido de clorofilas en plantas de melón injertadas en comparación con las no injertadas, los resultados en esta investigación son similares con lo reportado por Baron y colaboradores (2018) quienes mencionan que los contenidos de clorofila a, b y total eran mayores en plantas de pepino injertadas sobre un patrón de calabaza. En un cultivo comercial de berenjenas "Xi'anlu" se utilizó como vástago, y un cultivar tomate 'Lydl' como portainjerto el contenido de clorofila en berenjenas injertadas se incrementaron significativamente en 149.93 y 69.59%, respectivamente para los controles de tomate y berenjena (Na *et al.*, 2012).

Determinación de clorofilas en las hojas de berenjenas tratadas con NPs

ZnO

Por su parte las nanopartículas mostraron valores más altos en la clorofila a las dosis de 60 y 40 mg L⁻¹ seguido por la dosis de 20, manifestándose la misma tendencia para la clorofila b y la total (**Tabla 6**). Se ha reportado que las nanopartículas de óxido de zinc influyen en las clorofilas, mostrando que estas inducen eficiencia en la producción de energía química en sistemas fotosintéticos lo que podría mejorar la maquinaria fotosintética en plantas (Faizan *et al.*, 2018), de igual manera, An y colaboradores (2008), demostraron que las Nps aumentaron el contenido de clorofilas en las hojas de espárragos. El zinc desempeña una importante función en la producción de clorofila y por ende en la fotosíntesis, otro factor que puede contribuir a los efectos positivos de las NPs aplicadas, es su tamaño nanométrico, debido a que producen mayor reactividad en el sistema vascular y celular de las plantas, en comparación con las mismas partículas pero de tamaño micrométrico, ya que el tamaño nano les permite

permear fácilmente a través de las paredes y membranas celulares, incidiendo así de manera más directa en los diferentes organelos de las células (Prasad *et al.*, 2012).

Determinación de clorofilas en las hojas de berenjenas injertadas y la interacción injerto-NPs ZnO

Se encontró un aumento en el contenido de clorofilas en plantas de berenjena con y sin injerto en relación a las dosis de nanopartículas de óxido de zinc (**Tabla 6**).

De acuerdo con Martínez-Ballesta *et al.*, (2010), un portainjerto vigoroso puede proporcionar un mayor vigor y desarrollo, lo que lleva a una mejor translocación de nutrientes mediante la conducción de los vasos (Borgognone *et al.*, 2013). Entre estos nutrientes, el magnesio (Mg) y el nitrógeno (N) son extremadamente importantes en la formación de la molécula de clorofila (Taiz y Zeiger, 2013). Esto podría ser directamente responsable del mayor contenido de clorofila a, b y clorofila total presente en las plantas injertadas en portainjerto se tomate.

Tabla 6. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en la concentración de clorofilas de la hoja de plantas de berenjenas.

Factor	Tratamientos	Chla	Chlb	Chl Total
Injerto	CI	1.23 a	1.50 a	2.73 a
	SI	1.01 b	0.89 b	1.90 b
significancia		0.0001	0.0001	0.0001
NPs ZnO (mg L ⁻¹)	0	0.73 C	0.75 d	1.48 d
	20	1.01 B	1.09 c	2.11 c
	40	1.33 A	1.32 b	2.64 b
	60	1.41 A	1.63.a	3.04 a
significancia		0.0001	0.0001	0.0001
Interacciones	CI-0	0.81 c	0.80 c	1.61 d
	CI-20	1.26 b	1.48 b	2.75 b
	CI-40	1.38 ab	1.83 a	3.21 a
	CI-60	1.46 a	1.90 a	3.35 a
	SI-0	0.70 c	0.70 c	1.34 d
	SI-20	0.76 c	0.70 c	1.47 d
	SI-40	1.28 ab	0.80 c	2.08 c
	SI-60	1.37 ab	1.37 b	2.73 b
significancia		0.014	0.0001	0.0006
C.V (%)		13.38	16.39	11.64

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher. C. V. = Coeficiente de Variación. CI= con injerto, SI= sin injerto Chla: Clorofila A (mg/g)., Chlb: Clorofila B (mg/g)., CHL TotalL: Clorofila total (mg/g).

Calidad nutracéutica

En los últimos años, una alta calidad de frutas vegetales es aún más importante que el rendimiento total, debido al papel benéfico de las verduras en la dieta humana, la calidad externa descrita por los rasgos visuales como el tamaño de la fruta, la forma, el color, además de la calidad nutracéutica son criterios importantes para tomar decisiones en el consumo de berenjena (Riga *et al.*, 2016).

Vitamina C en frutos berenjenas injertadas

Para este estudio el injerto mostró diferencias significativas para la variable vitamina C, indicando un aumento del 45 % para la media de frutos de plantas injertadas (**Tabla 7**), resultados que contrastan con lo reportado por Castro, (2018) quienes mencionan que la que la vitamina C no se vio afectada por el uso del injerto en plantas de tomate, de igual manera Zhu y colaboradores (2006), señalaron un incremento en el contenido de ácido ascórbico en pepino injertado, Chávez-Mendoza y colaboradores (2013), observaron una mejora significativa del ácido ascórbico en plantas de pimiento injertado; pero el mismo efecto no fue confirmado por López-Marín y colaboradores (2013), los autores concluyeron que la variación en la vitamina C depende tanto de las combinaciones vástago-portainjerto como de las condiciones de crecimiento de las plantas.

Efecto de la interacción injerto-NPs ZnO en el contenido de vitamina C en frutos de berenjena

Los tratamientos que mostraron un mayor contenido de vitamina C fueron aquellos con plantas injertadas, al combinar la técnica del injerto y las nanopartículas disminuyó el contenido de esta vitamina.

La vitamina C actúa como antioxidante a través de un catalizador de reacción con el ascorbato peroxidasa (Shigeoka *et al.*, 2002). A pesar de sus ventajas, el injerto no puede evitar el estrés por lesiones. Las plantas se lesionan por el corte en el proceso de injerto, y la concentración de oxígeno activo aumenta como resultado de este estrés por lesión (García *et al.*, 2004). En plantas de tomate, la concentración de oxígeno activo aumenta después del injerto y la actividad antioxidante del ácido ascórbico y enzimas como ascorbato peroxidasa y catalasa se incrementan para eliminar el oxígeno activo (García *et al.*, 2004). Se cree que la hiperproducción de vitamina C puede contrarrestar el estrés por lesiones, porque se ha demostrado que este compuesto ejerce un efecto protector al daño oxidativo a nivel celular (Tabata *et al.*, 2001).

Determinación de Proteínas en frutos berenjenas injertadas

En el presente estudio el factor injerto no influyó en el contenido de proteína en frutos de berenjena (**Tabla 7**), resultados similares a lo reportado por Na y colaboradores (2012) quienes señalan que en injertos de berenjena "Xi'anlu" utilizando como portainjertos de tomate 'Lydl' no se observaron diferencias significativas esto difiere con Sánchez colaboradores (2016), quienes reportaron un mayor contenido de proteínas en frutos de pimiento de plantas injertadas mencionan que el incremento podría estar asociado con la mayor absorción y transporte de nutrientes de igual manera Riga y colaboradores (2016), encontraron un aumento del 17% en el contenido de proteínas en tomate injertado en relación al testigo.

Determinación de Proteínas en frutos berenjenas tratadas con NPs ZnO

Las dosis de nanopartículas mostraron diferencias significativas en el contenido de proteína en fruto de berenjena a una dosis de 60 mg L^{-1} encontrándose un aumento del 21% en relación al testigo (**Tabla 7**), similar a lo reportado por López y colaboradores (2018), quienes mencionan que cuando se realizaron aplicaciones foliares de NPs Cu en plantas de tomate se observó que una concentración de 50 mg L^{-1} incremento en un 99.74% el contenido de proteínas totales en comparación con el control. Por su parte Zhao y colaboradores (2014), evaluaron nanopartículas de óxido de zinc en el suelo en plantas de pepino a concentraciones de 400 y 800 mg kg^{-1} y no encontraron diferencias en el contenido de proteínas.

Efecto de la interacción injerto-NPs ZnO en el contenido de proteínas de frutos de berenjena

Las plantas sin injerto y una dosis de nanopartículas de 60 mg L^{-1} mostraron los niveles más altos en el contenido de proteínas manifestando un incremento del 41% en relación al testigo (**Tabla 7**), es posible que el contenido de proteínas aumente como respuesta al estrés producido por las nanopartículas (Du y Col 2010), produciendo ROS, modificando a su vez la actividad de las enzimas

antioxidantes, algunos factores de transcripción y otras proteínas involucradas en la respuesta al estrés (Ahmed *et al.*, 2018). Las ROS tienen un doble papel que depende de la duración, el sitio y la concentración. Una baja concentración actúa como una señal y genera una respuesta al estrés en las plantas, mientras que una mayor concentración interrumpe la homeostasis celular, lo que produce daño oxidativo a las proteínas, el ADN y los lípidos (Kumar y Trivedi, 2016).

Determinación de fenoles en frutos de berenjena injertada

El factor injerto mostro diferencias significativas para el contenido de fenoles totales en fruto de berenjena manifestando un incremento del 23% en relación con las plantas sin injerto (**Tabla 7**), debido a los compuestos fenólicos, el fruto de berenjena se encuentra entre las 10 mejores verduras por su actividad antioxidante (Mishra *et al.*, 2013). 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 (Díaz *et al.*, 2012), Gilbert y col. (2011b), observaron un contenido fenólico total más alto en frutos de berenjena "Cristal" injertados en portainjertos de *S. macrocarpon*. Además, Sabatino *et al.*, (2016), mostraron que la berenjena injertada en *S. torvum* aumentó el contenido total de polifenoles en plantas de berenjena cultivadas a campo abierto, mientras que Moncada *et al.*, (2013) observaron una tendencia opuesta en donde el contenido fenólico total fue mayor en las plantas no injertadas, del mismo modo Vrcek *et al.*, (2011), observaron una disminución en los fenoles totales en la fruta de las plantas de tomate injertadas con tres portainjertos comerciales diferentes, incluidos 'Efialto', 'Heman' y 'Maxifort', resultados similares fueron los reportados por Chávez-Mendoza *et al.*, (2013) quienes señalan que el contenido fenólico total de la fruta de pimiento de plantas injertadas fue de un 6% inferior al de la fruta de plantas no injertadas.

Determinación de fenoles en frutos de berenjena tratada con NPs de ZnO

Las dosis de nanopartículas no mostraron diferencias estadísticas significativas respecto al control (**Tabla 7**), Zhao y colaboradores (2014), mencionan que las

nanopartículas de óxido de zinc aplicadas al suelo en concentraciones de 400 y 800 mg Kg⁻¹ no afectaron el contenido fenólico en frutos de pepino, por otro lado Akanbi-Gada y colaboradores (2019) señalan que hubo una reducción en el contenido de fenoles totales en frutos de tomate de plantas tratadas con NPs ZnO en concentraciones de 300, 600 Y 1000 mg Kg⁻¹, por el contrario Pérez-Labrada *et al.*, (2019), señalan que aplicaciones foliares de nanopartículas de cobre en dosis de 250 mg L⁻¹ aumentaron los fenoles (7.8%) en la fruta en comparación con el control.

Determinación de fenoles en frutos de berenjena y el efecto de la interacción injerto-NPs de ZnO

Los resultados indican que la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc en una dosis de 20 mg L⁻¹ aumentaron la concentración de fenoles en frutos de berenjena en un 56% en relación con el testigo (**Tabla 7**), los compuestos fenólicos de la berenjena están significativamente influenciados por el genotipo, el ambiente y tipo de suelo y crecimiento, así como por sistemas de cultivo e injerto (Kacjan Maršič *et al.*, 2014). Es bien sabido que la variedad afecta principalmente el rendimiento final (Davis *et al.*, 2008), pero los efectos del portainjerto pueden alterar características como el contenido de fenoles posiblemente debido a cambios en el vigor y la concentración de reguladores del crecimiento inducidos por los portainjertos (Muñoz *et al.*, 2008). Además, las diferencias en los requisitos para asimilar minerales nutrientes entre tomate (portainjerto) y berenjena (vástago) también puede alterar la calidad del fruto (Gisbert *et al.*, 2011), por su parte el efecto de las Nps sugiere que estas tienen un efecto estimulante sobre la inducción de estos compuestos antioxidantes en frutos, los compuestos fenólicos ejercen su actividad antioxidante de varias maneras: eliminando ROS y RNS por su capacidad de donar hidrógeno de sus grupos hidroxilo, inhibiendo la actividad enzimática generadora de radicales o por la sinergia con otros antioxidantes (Pereira *et al.*, 2009). Por otro lado, estos compuestos también pueden actuar como prooxidantes y aumentar los niveles de radicales libres al quelar metales pesados y mantener o aumentar su actividad catalítica. Al respecto, Croft,1(998),

sugiere que la aplicación foliar de Nps ZnO podría aumentar dichos radicales por este mecanismo; en ambos casos, los compuestos fenólicos son componentes importantes del sistema antioxidante de la planta.

Determinación de flavonoides en frutos de berenjena injertada

Efecto del injerto en el contenido de flavonoides mostro diferencias estadísticas manifestando un aumento del 70% en comparación a las plantas sin injertar (**Tabla 7**), resultados similares a lo reportado por Riga *et al.*, (2016), quienes argumentan que el contenido de la mayoría de flavonoides tiende a ser más altos en tomates de plantas injertadas que en las plantas no injertadas, además mencionan que la reducción o aumento de los flavonoides depende claramente de la selección del portainjerto.

Determinación de flavonoides en frutos de berenjena tratadas con NPs ZnO

Las nanopartículas en la dosis de 20 mg L⁻¹ mostraron efecto positivo en contenido de estos compuestos fenólicos (**Tabla 7**), resultados que contrastan a lo reportado por Zhao y colaboradores (2014) quienes mencionan que el fruto de plantas de pepino cultivadas en suelo tratado con Nps de ZnO a concentraciones de 400 y 800 mg Kg⁻¹ no tuvieron un impacto en el contenido de flavonoides, por otro lado se ha reportado el efecto de las nanopartículas de cobre en tomate donde se menciona un efecto estimulante en los compuestos fenólicos como los flavonoides (Hernández-Fuentes *et al.*, 2017).

Determinación de flavonoides en frutos de berenjena injertada y tratada con ZnO

El injerto con una aplicación de 60 mg L⁻¹ manifestó los mejores resultados en el contenido de flavonoides (**Tabla 7**), los resultados muestran que el injerto puede tener efectos positivos en los parámetros nutricionales en berenjena, esto no es consistente con hallazgos previos que muestran que el injerto es ineficaz para mejorar el valor nutricional del fruto, debido a que portainjertos pueden inducir tolerancia a factores ambientales estresantes que conducen a una menor

producción de compuestos fenólicos como los flavonoides (Riga, 2015), los resultados en el presente estudio podrían atribuirse al tipo de portainjerto que se utilizó el cual manifestó un efecto positivo ofreciendo una herramienta efectiva para aumentar el valor nutricional de las berenjena, como ya se ha mencionado que el injerto en portainjertos adecuados puede mejorar los parámetros nutricionales (Riga *et al.*, 2016). Los flavonoides son un grupo grande y diverso de metabolitos secundarios de bajo peso molecular y son tan variables que las plantas pueden responder de manera diferente y generar diferentes cantidades de grupos de metabolitos cuando están expuestos a algún de estrés en este caso el estrés que pudiera causar el tratamiento con las nanopartículas (Klunklin *et al.*, 2017).

Determinación del glutatión reducido en frutos de berenjena injertada

Este escenario mostro diferencias estadísticas significativas para el glutatión reducido siendo superior en plantas no injertadas (**Tabla 7**), resultados diferentes a lo reportado por Sánchez-Rodríguez y colaboradores (2012) quienes indican que las plantas injertadas mostraban la mayor cantidad de GSH y por lo tanto presentaban una mayor capacidad para eliminar las ROS con lo cual lograban una mayor tolerancia a estrés. Los resultados pudieron deberse a que como mencionan Rivero y colaboradores (2003) el ciclo de ascorbato-glutatión en las plantas injertadas funcionan mejor bajo una oxidación continua /proceso de reducción, que conduce a bajos niveles de estos antioxidantes en las células vegetales.

Determinación del glutatión reducido en frutos de berenjena tratada con NPs ZnO

El efecto de las nanopartículas en la dosis de 60 mg L⁻¹ mostro un aumento en comparación con el testigo (**Tabla 7**), resultados similares a lo reportado por López –Vargas y colaboradores (2018) con aplicaciones foliares de NPs Cu en frutos de tomate a una dosis de 500 mg L⁻¹ aumentaron el contenido de GSH en fruto de igual manera Hernández-Hernández y colaboradores (2019) que señalan

que las nanopartículas de selenio y cobre aplicadas en el suelo aumentaron el glutatión reducido en plantas de tomate, mencionan que podría deberse al aumento de la asimilación de azufre y a una mayor actividad enzimática de la glutatión reductasa (Noctor *et al.*, 2012).

Determinación del glutatión reducido en frutos de berenjena injertada y tratada con NPs ZnO

Las plantas sin injerto y una dosis de 60 mg L⁻¹ mostraron un aumento en el contenido de glutatión (**Tabla 7**), el glutatión tiene funciones importantes en el desarrollo de plantas que no pueden ser realizadas por otros tioles o antioxidantes: interactúa con varias proteínas a través del intercambio de tiol-disulfuro. Algunas funciones incluyen vías biosintéticas, desintoxicación, bioquímica antioxidante y homeostasis redox. El glutatión se sintetiza a partir de aminoácidos constituyentes, como la cisteína, en diferentes compartimentos celulares y se mueve a través del apoplasto y el symplasto (Anthon *et al.*, 2011). Actúa como un compuesto reductor de especies reactivas de oxígeno y reductores celulares y también cumple funciones de señalización. En el ciclo de ascorbato-glutatión, se usa para reducir el deshidroascorbato, tanto enzimático como no enzimático, y también se oxida a glutatión oxidado (GSSG); para regenerarse, es catalizada por la enzima glutatión reductasa y la nicotinamida-adenina-dinucleótido-fosfato (NADPH) como poder reductor (Jones *et al.*, 2007). El presente trabajo muestra que las nanopartículas de óxido de zinc estimulan el aumento del glutatión en frutos de berenjena, las ZnONPs desencadenan la regulación positiva de las actividades de las enzimas del ciclo AsA-GSH y las cantidades de sus metabolitos asociados ácido ascórbico y GSH (Tripathi *et al.*, 2017).

Tabla 7. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en la calidad nutracéutica de frutos de berenjena.

Factor	Tratamiento	VIT C	PRO	GSH	Fenoles	Flavonoides
injerto	CI	3.48 a	18.20 a	7.77 b	6.13 a	19.65 a
	SI	2.39 b	19.51 a	9.44a	4.97 b	11.55 b
Significancia		0.0001	0.221	0.0001	0.0003	0.0001
NPs ZnO	0	3.25 a	17.55 b	6.31 c	5.46 ab	10.09 b
	20	2.80 a	17.39 b	9.31 ab	6.13 a	18 a
	40	2.86 a	18.55 b	8.52 b	5.78 a	17.54 a
	60	2.83 a	21.93 a	10.29 a	4.83 b	16.77 a
Significancia		0.5079	0.0162	0.0001	0.067	0.0001
Interacciones	CI-0	3.68 a	18.36 b	4.19 e	6.58 ab	13.84 b
	CI-20	3.32 a	17.14 b	8.61 cd	7.71 a	20.89 a
	CI-40	3.56 a	17.07 b	8.36 d	5.20 cd	21.32 a
	CI-60	3.35 a	20.21ab	9.93abc	5.03 d	22.52 a
	SI-0	2.82 ab	16.75 b	8.43 d	4.33 d	6.34 d
	SI-20	2.27 b	18.64 b	10.00ab	4.56d	15.11 b
	SI-40	2.16 b	17.64ab	8.67bcd	6.35 bc	13.75 b
	SI-60	2.31 b	23.64 a	10.64 a	4.63 d	11.01 c
Significancia		0.8925	0.3199	0.0029	0.0001	0.0075
C.V.(%)		22.95	15.68	11.54	14.25	9.91

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher. C. V. = Coeficiente de Variación. CI= con injerto, SI= sin injerto, VIT C=vitamina C ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), PRO=proteínas mg/g de PS=peso seco Glutación reducido mg L^{-1} . FENOLES: Fenoles g EQ de Ácido gálico *kg de PS., FLAVONOIDES: Flavonoides en mg EQ de quercetina kg de PS.

Compuestos antioxidantes enzimáticos

Determinación de los compuestos antioxidantes enzimáticos en frutos de berenjena injertada

Con respecto a los compuestos enzimáticos en frutos de berenjena, el injerto influyo en la actividad de la catalasa y la superóxido dismutasa en tanto que en las demás enzimas antioxidantes no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 8), la actividad de la catalasa se vio incrementada en frutos de plantas de berenjena injertada en un 26% con respecto al fruto de plantas sin

injerto resultados que similares a lo reportado por He y colaboradores (2009), donde hubo diferencias en la actividad CAT al comparar injertos, portainjertos y variedad, de acuerdo con Fernández-García y colaboradores (2004), la catalasa se considera una enzima involucrada en el proceso de defensa celular contra el alto H_2O_2 producción que tiene lugar después del proceso del injerto, generado durante la lignificación, en plantas. La enzima superóxido dismutasa mostro mayor actividad en frutos de plantas injertadas, con un aumento del 35% en relación con las plantas sin injertar el sistema de defensa antioxidantes está involucrado en el proceso de curación del injerto (Baxter *et al.*, 2014) y una de las enzimas que juega un papel importante en la formación de la unión es SOD (Chen *et al.*, 2016).

Determinación de los compuestos antioxidantes enzimáticos en frutos de berenjena tratadas con NPs ZnO

Las dosis de nanopartículas mostraron diferencias significativas para el glutatión peroxidasa y el superóxido dismutasa, la enzima GPX mostro una disminución de la actividad a una dosis de 60 mg L^{-1} (Tabla 8), resultados similares a lo reportado por López-Vargas., (2018), quienes reportaron una disminución en la actividad de esta enzima con aplicaciones foliares de 50 mg L^{-1} de NPs Cu en plantas de tomate, una disminución en la actividad antioxidante enzimática en las frutas podría deberse a la inactivación de más enzimas debido a los efectos tóxicos de ROS (Jincy *et al.*, 2017). Esto es posible porque los NPs ZnO inducen estrés oxidativo (Rizwan *et al.*, 2017), de igual manera el superóxido dismutasa mostro una disminución con la dosis de 60 mg L^{-1} resultados diferentes a lo reportado por Faizan *et al.*, (2019), quienes mencionan que las aplicaciones de NPs ZnO a través de la raíz mejoran la actividad de enzimas antioxidantes como la SOD mencionando que la dosis de 10 mg L^{-1} durante 30 minutos fue aquella que mostro los mejores resultados. De igual manera Hu *et al.*, (2013) describen que la aplicación ZnO-NP mejora la actividad de las enzimas antioxidantes. Además, una menor concentración de ZnO-NP también mejoró la capacidad antioxidante en *Brassica napus* (Kouhi *et al.*, 2015).

Determinación de los compuestos antioxidantes enzimáticos en frutos de berenjena injertada y tratada con NPs ZnO

el tratamiento de injerto y una dosis de 20 mg L^{-1} que presento un 56% respecto al testigo (Tabla 8), CAT es una de las enzimas que protege a las células contra ROS ya que convierte H_2O_2 en H_2O y O_2 (Arruda *et al.*, 2015). En las plantas, ROS se forma como un subproducto natural del metabolismo normal de O_2 y tienen papeles prometedores en la célula señalización y homeostasis (Ray *et al.*, 2012), la reducción de O_2 da lugar a ROS que incluye el superóxido (O_2^-), oxígeno singulete, radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). El desequilibrio en ROS causa un estrés oxidativo, la mayor formación de ROS causa daño al ADN, proteínas y lípidos y finalmente la muerte celular (Tripathy y Oelmuller, 2012). Para superar el estrés oxidativo la planta activa un mecanismo enzimático que está compuesto por una serie de proteínas, con la función de eliminar radicales libres, como el superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPX), ascorbato peroxidasa (APX) y superóxido dismutasa (SOD) (Zhang *et al.*, 2014), Por lo tanto, la actividad de la catalasa está directamente relacionada con el estrés causado por la aplicación de óxido de zinc (Riwzan *et al.*, 2017). Un aumento en la actividad de CAT depende de la concentración de H_2O_2 , existe una correlación entre los componentes de los sistemas de eliminación de ROS (Wang *et al.*, 2005). el glutatión peroxidasa mostro una disminución del 28% en el tratamiento de plantas injertadas y tratadas con una dosis de nanopartículas de 60 mg L^{-1} en relación con el testigo los resultados anteriores sugieren que las nanopartículas a esta concentración tienen un efecto negativo sobre la enzima GPX debido a que disminuyeron su actividad, la ascorbato peroxidasa no mostro diferencias significativas entre los tratamientos resultados similares a lo reportado por He y colaboradores (2009) quienes señalan que no hubo diferencias significativas en la actividad APX entre las plantas injertadas y no injertadas, 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), la superóxido dismutasa mostro diferencias significativas en el tratamiento con injerto y una dosis de 20 mg L⁻¹ siendo superior al testigo en un 25%, la metaloproteína SOD y sus isoenzimas (Mn-SOD, Cu / Zn-SOD y Fe-SOD) son la primera línea de defensa para reducir el daño causado por ROS, y es más efectiva en la dismutación de O₂•- a H₂O₂ y O₂. (Saibi, 2018) Cuando la actividad de esta enzima es alta, como fue el caso de los frutos de berenjena injertadas y tratadas NPs ZnO puede aumentar la tolerancia al estrés causado por las nanopartículas, Además, la actividad SOD también es inducida por iones metálicos como el Zn, o por el aumento de los niveles de oxígeno singlete (Shahid *et al.*, 2014), nuestros resultados están concuerdan con Kim y colaboradores (2012) y Mousavi y colaboradores (2015), quienes informaron un aumento liderado por ZnO Nps en la actividad de SOD a dosis más bajas.

Tabla 8. Efecto del injerto y diferentes dosis de nanopartículas de óxido de zinc en compuestos antioxidantes enzimáticos en fruto de berenjena.

Factor	Tratamiento	CAT	GPX	APX	SOD
injerto	CI	2.30 a	56.09 a	0.12 a	37.75 a
	SI	1.69 b	52.73 a	0.10 a	27.86 b
Significancia		0.013	0.2265	0.0523	0.0002
NPs ZnO (mg L ⁻¹)	0	1.78 a	57.69 a	0.11 a	34.01 a
	20	2.32 a	58.35 a	0.10 a	35.56 a
	40	1.78 a	54.18 ab	0.12 a	35.62 a
	60	2.11 a	47.42 b	0.11 a	26.02 b
Significancia		0.2706	0.0289	0.924	0.0137
Interacciones	CI-0	1.68 bc	55.32 a	0.10 a	33.99 ab
	CI-20	2.91 a	58.63 a	0.10 a	42.66 a
	CI-40	2.34 ab	58.51 a	0.10 a	41.70 a
	CI-60	2.27 ab	51.89 ab	0.10 a	32.63 b
	SI-0	1.87 bc	60.07 a	0.11 a	34.04 b
	SI-20	1.72 bc	58.07 a	0.13 a	28.46 b
	SI-40	1.23 c	49.86 ab	0.12 a	29.53 b
	SI-60	1.94 bc	42.94 b	0.12 a	19.41 c
Significancia		0.1208	0.2391	0.670	0.0973
C.V (%)		31.72	13.86	20.76	18.88

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), prueba LSD Fisher. C. V. = Coeficiente de Variación. CI= con injerto, SI= sin injerto. CAT= catalasa (mM de H₂O₂ por min⁻¹/ total de proteínas), GPX= glutatión peroxidasa (mM de glutatión min⁻¹/ total de proteínas). SOD=Superóxido dismutasa (% inhibición), APX= Ascorbato peroxidasa (mM de ascorbato consumido min⁻¹/ total de proteínas).

CONCLUSIONES

- Las plantas de berenjena injertadas mostraron un efecto positivo en las variables agronómicas, micromorfológicas e histológicas. En cuanto a las variables de calidad nutracéutica, el injerto promueve un aumento en el contenido de vitamina C, fenoles y flavonoides; además el contenido de clorofilas aumenta con el uso del injerto, así como las enzimas catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD) en los frutos.
- Las nanopartículas de ZnO (NPs ZnO) por si solas muestran un aumento en el número de hojas con la dosis de 20 mg L⁻¹, mientras que la dosis de 40 mg L⁻¹ mostro un incremento en el peso de los frutos por planta, largo de la raíz y además aumenta el número de vasos del xilema en el peciolo. Por otra parte, el contenido de las clorofilas aumento con la aplicación de NPs ZnO. En cuanto a la calidad nutracéutica la dosis de 60 mg L⁻¹ promovió el contenido de proteínas y GSH; y la dosis de 20 mg L⁻¹ favoreció la formación del contenido de fenoles y los flavonoides.
- La interacción de las plantas de berenjena injertadas y tratadas foliarmente con NPs de ZnO beneficio la altura, el diámetro del tallo y el número de hojas a una dosis de 20 mg L⁻¹ de las NPs ZnO, mientras que la DEH y IEH se vieron favorecidos por el uso del injerto y una dosis de 40 mg L⁻¹. Por otra parte, se presentó una disminución en el área del número de los vasos del xilema, al aplicar 60 mg L⁻¹ de las NPs ZnO y el número de frutos por planta de berenjenas injertadas, las clorofilas se vieron beneficiadas en plantas injertadas y al aplicar la dosis de 40 mg L⁻¹ de las NPs ZnO; en la calidad nutracéutica la interacción del injerto y una dosis de 20 mg L⁻¹ de las NPs ZnO aumento el contenido de fenoles y esta misma dosis incremento los compuestos enzimáticos CAT y SOD.

REFERENCIAS

- Ahmed, B., Khan, M. S., Musarrat, J. 2018. Toxicity assessment of metal oxide nano-pollutants on tomato (*Solanum lycopersicon*): A study on growth dynamics and plant cell death. *Environmental Pollution*, 240, 802-816.
- Akanbi-Gada, M., Ogunkunle, C. O., Vishwakarma, V., Viswanathan, K., Fatoba, P. O. 2019. Phytotoxicity of nano-zinc oxide to tomato plant (*Solanum lycopersicum* L): Zn uptake, stress enzymes response and influence on non-enzymatic antioxidants in fruits. *Environmental Technology and Innovation*, 14, 100325
- 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.
- Amaro, A. C., Macedo, A. C., Ramos, A. R., Goto, R., Ono, E. O., Rodrigues, J. D. 2014. The use of grafting to improve the net photosynthesis of cucumber. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 26(3-4), 241-249.
- An, J., Zhang, M., Wang, S., Tang, J. 2008. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. *LWT-Food Science and Technology*, 41(6), 1100-1107.
- Anthon, G. E., Le Strange, M., Barrett, D. M. 2011. Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1175-1181.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 15th ed. Arlington, Virginia, USA. Pp. 384
- Aravind, P., Prasad, M.N.V. 2004 Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a fresh water macrophyte. *Plant Science*, 166,1321–1327.
- Arruda, S. C., Silva, A. L., Galazzi, R. M., Azevedo, R. A., Arruda, M. A. 2015. Nanoparticles applied to plant science: a review. *Talanta*, 131, 693-705.
- Arvanitoyannis, I. S., Khah, E. M., Christakou, E. C., Bletsos, F. A. 2005. Effect of grafting and modified atmosphere packaging on eggplant quality parameters during storage. *International Journal of Food Science*. 40, 311–322.
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A, Legret, P. 1994. Standardization of Propolis Extract and Identification of Principal Constituents. *Journal de pharmacie de Belgique* 49(6): 462–68.

- Astafurova, T. P., Burenina, A. A., Suchkova, S. A., Zotikova, A. B. P., Kulizhskiy, S. P., Morgalev, Y. N. 2017. Influence of ZnO and Pt nanoparticles on cucumber yielding capacity and fruit quality. In Nano Hybrids and Composites. 13, 142-148.
- Auld, D.S. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. *Biometals*, 14, 271-313.
- Ayala-Arreola, J., Barrientos-Priego, A. F., Colinas-León, M. T., Sahagún-Castellanos, J., Reyes-Alemán, J. C. 2010. Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 16(2), 147-154.
- Baburaj, A., Sreelatha, U., Anupama, T. V., Narayanankutty, C. 2019. Standardisation of grafting techniques in African marigold (*Tagetes erecta* L.). *Journal of Tropical Agriculture*, 56(2).
- 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.
- Baron, D., Saraiva, G. F., Amador, T. S., Rodrigues, J. D., Goto, R., Ono, E. O. 2018. Anatomical and physiological aspects of cucumber graft. *Comunicata Scientiae*, 9(2), 282-286.
- Baskar, V., Nayeem, S., Kuppuraj, S. P., Muthu, T., Ramalingam, S. 2018. Assessment of the effects of metal oxide nanoparticles on the growth, physiology and metabolic responses in in vitro grown eggplant (*Solanum melongena*). *3 Biotech*, 8(8), 362.
- Baxter, A., Mittler, R., Suzuki, N. 2014. ROS as key players in plant stress signalling. *Journal of experimental botany*, 65(5), 1229-1240.
- Bernal-Alzate, J., Grimaldo-Juarez, O., Gonzalez-Mendoza, D., Cervantes-Díaz, L., Rueda-Puente, E. O., Ceceña-Durán, C. 2016. El injerto como alternativa para mejorar el rendimiento en la producción de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.). *Idesia (Arica)*, 34(2), 43-46.
- Borgognone, D., Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Schwarz, D. 2013. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 149, 61-69.

- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254.
- Burman, U., Saini, M. y Kumar, P. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 95: 605-612.
- Cakmak, I. 2000. Tansley Review No. 111 Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *The New Phytologist*, 146(2), 185-205.
- Camposeco-Montejo, N., Robledo-Torres, V., Ramírez-Godina, F., Valdez-Aguilar, L. A., Cabrera-de-la-Fuente, M., Mendoza-Villareal, R. 2018. Efecto del portainjerto en el índice y densidad estomática de pimiento morrón *Capsicum annuum* var. *annuum*. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 555-561.
- Cansev, A., Gulen, H., Eris, A. 2011. The activities of catalase and ascorbate peroxidase in olive (*Olea europaea* L. cv. Gemlik) under low temperature stress. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52(2), 113–120.
- Cañizares A, Sanabria ME, Rodríguez DA, Perozo Y. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista UDO Agrícola* 3: 59-64.
- Cardador Martínez, A., Loarca Piña, G., Oomah, B. D. 2002. Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975–6980.
- Castro, J. 2018. Tomate: influencia del injerto y manejo a dos ramas en la respuesta fisiológica, productividad y calidad de los frutos (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata), pp 40.
- Croft, K. D. 1998. The Chemistry and Biological Effects of Flavonoids and Phenolic Acids a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 854(1), 435-442.
- Chávez-Mendoza, C., Sánchez, E., Carvajal-Millán, E., Muñoz-Márquez, E., Guevara-Aguilar, A. 2013. Characterization of the nutraceutical quality and antioxidant activity in bell pepper in response to grafting. *Molecules*, 18(12), 15689-15703.
- Chen, L. 2014. Sweet sugar transporters for phloem transport and pathogen nutrition. *New Phytologist*, 201(4), 1150-1155.

- Chen, Z., Zhao, J., Qin, Y., Hu, G. 2016. Study on the graft compatibility between “Jingganghongnuo” and other litchi cultivars. *Scientia Horticulturae*, 199, 56–62.
- da Costa C.T., Almeida M.R., Ruedell C.R., Schwambach J., Maraschin F.S., Fett-Neto A.G. 2013. When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 4, 133.
- Davis, A. R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., Levi, A., King, S. R., Zhang, X. 2008. Grafting effects on vegetable quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 43(6), 1670-1672.
- de Wit, P. J. G. M. 2007. How plants recognize pathogens and defend themselves. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 64, 2726–2732.
- 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.
- Dietz, K. J.; Herth, S. 2011. Plant nanotoxicology. *Trends in plant science*, 16(11), 582-589.
- Dranca, F.; Oroian, M. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 637-646
- Du, C. X., Fan, H. F., Guo, S. R., Tezuka, T. 2010. Applying spermidine for differential responses of antioxidant enzymes in cucumber subjected to short-term salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(1), 18-24.
- Faizan, M., Faraz, A., Hayat, S. 2019. Effective use of zinc oxide nanoparticles through root dipping on the performance of growth, quality, photosynthesis and antioxidant system in tomato. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*.15
- Faizan, M., Faraz, A., Yusuf, M., Khan, S. T., Hayat, S. 2018. Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. *Photosynthetica*, 56(2), 678-686
- FAOSTAT. Disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/> (acceso el 27 de junio de 2019).
- Fernández-García, N.; Carvajal, M.; Olmos, E. (2004). Graft union formation in

- tomato plants: peroxidase and catalase involvement. *Annals of Botany*, 93(1), 53-60.
- Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Romojaro, F. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 211-217.
- Fraikue, F. B. 2016. Unveiling the potential utility of eggplant: A review. In *Conference Proceedings of INCEDI*. 883-895.
- Gao, Q. H., Wu, Y., Jia, S., Huang, S., Lu, X. 2016. Effect of rootstock on the growth, photosynthetic capacity and osmotic adjustment of eggplant seedlings under chilling stress and recovery. *Pakistan Journal of Botany*, 48(2), 461-467.
- García-Sánchez, S., Bernales, I., Cristobal, S. 2015. Early response to nanoparticles in the *Arabidopsis* transcriptome compromises plant defence and root-hair development through salicylic acid signalling. *BMC genomics*, 16(1), 341.
- Gisbert, C., Dumm, J.M., Prohens, J., Vilanova, S., Stommel, J.R. 2016. A spontaneous eggplant (*Solanum melongena* L.) Color mutant conditions anthocyanin-free fruit pigmentation. *Horticultural Science*, 51(7), 793–798.
- Gisbert, C., Prohens, J., Raigón, M. D., Stommel, J. R., Nuez, F. 2011. Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks: Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. *Scientia Horticulturae*, 128(1), 14-22.
- Gonzalez-Gomez, 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*, 22(7), 1031.
- González-Mas, M. C., Llosa, M. J., Quijano, A., Forner-Giner, M. A. 2009. Rootstock effects on leaf photosynthesis in 'Navelina'trees grown in calcareous soil. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 44(2), 280-283.
- Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, A.; Doğanlar, S. 2018. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry*, 268, 602-610.
- Hassan I., Jatoi S.A., Arif M., Siddiqui S.U. 2015. Genetic variability in eggplant for agro-morphological traits. *Science, Technology and Development*, 34,35–40.
- 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.
- Hernández-Fuentes, A.D., López-Vargas, E.R., Pinedo-Espinoza, J.M., Campos-Montiel, R.G., Valdés-Reyna, J., Juárez-Maldonado, A. 2017. Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. *Applied Sciences*. 7, 980.
- Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., Juárez-Maldonado, A. 2019. Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*, 8(10), 355.
- Hernández, S. M. 1984. *Manual de Laboratorio Citología y Citogenética*. Univiversidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Ed.). Saltillo, Coah.
- Hossain, M. S., Dietz, K. J. 2016. Tuning of redox regulatory mechanisms, reactive oxygen species and redox homeostasis under salinity stress. *Frontiers in plant science*, 7, 548.
- Hu C, Liu Y, Li X, Li M. 2013. Biochemical responses of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) to zinc oxide nanoparticles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology Journal*, 64:643–651.
- Irisarri, P., Binczycki, P., Errea, P., Martens, H. J., Pina, A. 2015. Oxidative stress associated with rootstock–scion interactions in pear/quince combinations during early stages of graft development. *Journal of plant physiology*, 176, 25-35.
- Jianlin, W., Guirui, Y., Quanxiao, F., Defeng, J., Hua, Q., Qiufeng, W. 2008. Responses of water use efficiency of 9 plant species to light and CO₂ and their modeling. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2), 525-533.
- Jiao, J., Cheng, F., Zhang, X., Xie, L., Li, Z., Yuan, C., Zhang, L. 2016. Preparation of graphene oxide and its mechanism in promoting tomato roots growth. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(4), 4216-4223.
- Jincy, M., Djanaguiraman, M., Jeyakumar, P., Subramanian, K. S., Jayasankar, S., Paliyath, G. 2017. Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidant enzymes activity. *Scientia Horticulturae*, 218, 316-325
- Johnson, S. J., Kreider, P., Miles, C. A. 2011. *Vegetable Grafting: Eggplants and Tomatoes*. Washington State University Extension.
- Jones, J.B., Jr. 2007. *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home*

Garden, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.

- Juárez-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. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 183-189.
- Kacjan Maršič, N., Mikulič-Petkovšek, M., Štampar, F. 2014. Grafting Influences Phenolic Profile and Carpometric Traits of Fruits of Greenhouse-Grown Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(43), 10504–10514.
- Kaur, C., Nagal, S., Nishad, J., Kumar, R.; Sarika. 2014. Evaluating eggplant (*Solanum melongena* L) genotypes for bioactive properties: A chemometric approach. *Food Research International*, 60, 205-211.
- Kim, S., Lee, S., Lee, I. 2012. Alteration of phytotoxicity and oxidant stress potential by metal 564 oxide nanoparticles in *Cucumis sativus*. *Water Air Soil Pollut.* 223, 2799–2806.
- Klunklin, W., Savage, G. 2017. Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions. *Foods*, 6(8), 56.
- Koponen, J.M., Happonen, A.M., Mattila, P.J., Törrönen, A.R. 2007. Content of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* ,55, 1612-1619.
- Kouhi SMM, Lahouti M, Ganjeali A, Entezari MH. 2015. Comparative phytotoxicity of ZnO nanoparticles, ZnO microparticles, and Zn²⁺ on rapeseed (*Brassica napus* L.): investigating a wide range of concentrations. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 96, 861-868.
- Kubota, C. 2006. Use of grafted seedlings for vegetable production in North America. In XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Cultivation and Utilization of Asian, 770 (pp. 21-28).
- Kudo, H. Harada, T. 2007. A graft-transmissible RNA from tomato rootstock changes leaf morphology of potato scion, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 42(2), 225-226.
- Kumar, S., Bharti, N., Saravaiya, S. N. 2018. Vegetable Grafting: A Surgical Approach to combat biotic and abiotic stresses-A review. *Agricultural Reviews*, 39(1).
- Kumar, S., Trivedi, P. K. 2016. Heavy metal stress signaling in plants. In *Plant Metal Interaction* (pp. 585-603).

- Laskowski, L. E. 2000. Características anatómicas de la hoja y el tallo del Semeruco (*Malpighia emarginata* DC) cultivado en dos localidades del Estado Lara. *Bioagro*, 12(2), 33-40.
- Lee, C. W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y. C., Braam, J., Alvarez, P. J. 2010. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Toxicology and Chemistry and International Journal*, 29(3), 669-675.
- Lee, J., Kubota, C., Tsao, S., Bie, Z., Hoyos-Echeverria, P., Morra, L., Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, Grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127: 93-105.
- Lin D, Xing B .2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 42(15):5580–5585
- 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
- Liu, Y., Qi, H., Bai, C., Qi, M., Xu, C., Hao, J., Li, T. 2011. Grafting helps improve photosynthesis and carbohydrate metabolism in leaves of muskmelon. *International journal of biological sciences*, 7(8), 1161-1170.
- López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, C., and Fernandez, J. A. 2013. Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. *Scientia Horticulturae*. 149, 39-46.
- 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.
- Ma H, Williams PL, Diamond S.A. 2013. Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles—a review. *Environmental Pollution* ,172:76-85
- Mahajan, P., Dhoke, S. K., Khanna, A. S. 2011. Effect of nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiata*) and gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. *Journal of Nanotechnology*. 2011, 7
- Martínez-Ballesta, M. C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 112-118.

- Martínez, S., Garbi, M., Andreau, R., Morelli, G., Zeoli, F. y Cap, G. 2011. Estudio de las combinaciones pie-injerto en tomate conducido en suelo con nematodos. En: Mitidieri, Mariel S., Corbino, G. y Cosntantino, A. Seminario de horticultura urbana y periurbana buscamos soluciones entre todos. San Pedro: INTA/EEA. Serie Capacitaciones, (2): 42-48.
- Melnyk, C. W. (2017). Plant grafting: insights into tissue regeneration. *Regeneration*, 4(1), 3-14.
- Melnyk, C. W., Schuster, C., Leyser, O., Meyerowitz, E. M. 2015. A developmental framework for graft formation and vascular reconnection in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biology*, 25(10), 1306-1318.
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., Lira-Saldívar, R. H. 2016. Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova scientia*, 8(17), 140-156.
- Meyer, R. S., Karol, K. G., Little, D. P., Nee, M. H., Litt, A. 2012. Phylogeographic relationships among Asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. *Molecular phylogenetics and evolution*, 63(3), 685-701.
- Mishra, B.B., Gautam, S., Sharma, A. 2013. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): the factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). *Food Chemistry*. 139, 105–114.
- Mohamed, F.H, El-Hamed, K.E., Elwan, M.W.M., Hussien, M.N.E. 2014. Evaluation of different grafting methods and rootstocks in watermelon grown in Egypt. *Scientia Horticulturae*, 168, 145-150.
- Møller, I. M., Jensen, P. E., Hansson, A. 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 459–481.
- Moncada, A., Miceli, A., Vetrano, F., Mineo, V., Planeta, D., D' Anna, F. 2013. Effect of grafting on yield and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae*. 149: 108-114.
- Mousavi Kouhi, S.M., Lahouti, M., Ganjeali, A., Entezari, M.H. 2015. Comparative Effects of ZnO Nanoparticles, ZnO Bulk Particles, and Zn²⁺ on *Brassica napus* After Long-Term Exposure: Changes in Growth, Biochemical Compounds, Antioxidant Enzyme Activities, and Zn Bioaccumulation. *Water Air and Soil Pollution*. 226, 364
- Muneer, S., Ko, C. H., Soundararajan, P., Manivnnan, A., Park, Y. G., Jeong, B. R. 2015. Proteomic study related to vascular connections in watermelon scions grafted onto bottle-gourd rootstock under different light intensities. *Plos One*, 10(3).

- Muñoz-Falcón, J. E., Prohens, J., Rodríguez-Burruezo, A., Nuez, F. 2008. Potential of local varieties and their hybrids for the improvement of eggplant production in the open field and greenhouse cultivation. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(1), 83.
- Na, L., Bao-li, Z., Jing, H., Bo, L., Wei-min, Z. 2012. Biological characteristics of grafted eggplant on tomato rootstocks. *African Journal of Agricultural Research*, 7(18), 2791-2799.
- Nagata, M., Yamashita, I. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 39, 925–928.
- Nanda, A. K.; Melnyk, C. W. 2018. The role of plant hormones during grafting. *Journal of plant research*, 131(1), 49-58.
- Noctor, G., Mhamdi, A., Chaouch, S., Han, Y., Neukermans, J., Marquez-García, B., Queval, G., Foyer, C. 2012. Glutathione in plants: An integrated overview. *Plant, Cell & Environment*. 35, 454–484.
- Oda, M., Maruyama, M., Mori, G. 2005. Water transfer at graft union of tomato plants grafted onto *Solanum* rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 74(6), 458-463.
- Oomah, B. D., Cardador Martínez, A., Loarca Piña, G. 2005. Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 935–942.
- Panwar, J. 2012. Positive effect of zinc oxide nanoparticles on tomato plants: A step towards developing nano-fertilizers. In *International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT)*.
- Peralta, M.R.M., Cabrera de la F, M., Morelos M., Benavides M.A., Ramírez G.F., Gonzales F.J.A. 2016. Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3453-3463.
- Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A., Andrade, P. B. 2009. Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules*, 4(6), 2202-2211.
- Pérez-Labrada, F., López-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A. 2019. Responses of Tomato Plants under Saline Stress to Foliar Application of Copper Nanoparticles. *Plants*, 8(6), 151.
- Pina, A., Errea, P. 2005. A review of new advances in mechanism of graft

- compatibility–incompatibility. *Scientia Horticulturae*, 106(1), 1-11
- Portos G., N. L. 2016. Manual de Procedimientos y Técnicas sobre la Elaboración de Preparaciones Histológicas en Microtomía. (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Ed.). Saltillo, Coahuila.
- Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K.R. y Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 905-927
- Qi, H. Y., Li, T. L., Liu, Y. F., Li, D. 2006. Effects of grafting on photosynthesis characteristics, yield and sugar content in melon. *Journal-shenyang agricultural university*, 37(2), 155.
- Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W. N., Biswas, P. (2015). Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. *Metallomics*, 7(12), 1584-1594.
- Raliya, R., Tarafdar, J. C. 2013. ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research*, 2(1), 48-57.
- Ray, P.D., Huang, B.W., Tsuji, Y. 2012. Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling. *Cellular Signalling*, 24, 981-990.
- Reyes-Santamaría, I., Terrazas, T., Barrientos-Priego, A. F., Trejo, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. *Scientia Horticulturae*, 92: 97-105.
- Ribeiro, L.M., Nery, L.A., Vieira, L.M., Mercadante, M.O. 2015. Histological study of micrografting in passion fruit. *Plant Cell Tissue Organ Cult PCTOC* 123:173–181.
- Rico, C. M., Lee, S. C., Rubenecia, R., Mukherjee, A., Hong, J., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L. 2014. Cerium oxide nanoparticles impact yield and modify nutritional parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(40), 9669-9675.
- Riga, P. 2015. Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(5), 626-638.
- Riga, P., Benedicto, L., García-Flores, L., Villaño, D., Medina, S., Gil-Izquierdo, Á. 2016. Rootstock effect on serotonin and nutritional quality of tomatoes

- produced under low temperature and light conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 50–59.
- Rivero RM, Ruiz JM, Sanchez E, Romero L. 2003. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under conditions of thermal shock? *Physiologia Plantarum* 117:44–50
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M., Abbas, F. 2017. Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal of hazardous materials*, 322, 2-16.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., and Colla, G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia horticulturae*. 127, 172–179.
- Rout, G.R., Das, P. 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism. *Agronomie*, 23, 3–11.
- Sabatino, L., Iapichino, G., D'Anna, F., Palazzolo, E., Mennella, G., Rotino, G. L. 2018. Hybrids and allied species as potential rootstocks for eggplant: Effect of grafting on vigour, yield and overall fruit quality traits. *Scientia horticulturae*, 228, 81-90.
- Saibi, W., Brini, F. 2018. Superoxide dismutase (SOD) and abiotic stress tolerance in plants: An overview. In *Superoxide Dismutase: Structure, Synthesis and Applications*; Magliozzi, S., Ed.; Nova Science Publishers, Inc.: Hauppauge, NY, USA, pp. 101–142.
- Salah, S. M., Yajing, G., Dongdong, C., Jie, L., Aamir, N., Qijuan, H., Jin, H. 2015. Seed priming with polyethylene glycol regulating the physiological and molecular mechanism in rice (*Oryza sativa* L.) under nano-ZnO stress. *Scientific reports*, 5, 14278.
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. del M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., Ruiz, J. M. 2012. Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. *Plant Science*, 188-189, 89–96.
- Sánchez-Torres, P., Raigón, M. D., Gammoudi, N., Gisbert, C. 2016. Effects of grafting combinations on the nutritional composition of pepper fruit. *Fruits*, 71(4), 249-256.
- Santarosa, E., de Souza, P. V. D., de Araujo Mariath, J. E., Lourosa, G. V. 2016. Physiological interaction between rootstock-scion: effects on xylem vessels in Cabernet Sauvignon and Merlot grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67(1), 65-76.

- Santhoshkumar, J., Kumar, S. V., Rajeshkumar, S. 2017. Synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant leaf extract against urinary tract infection pathogen. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 459-465.
- Schwab, F., Zhai, G., Kern, M., Turner, A., Schnoor, J. L., Wiesner, M. R. 2016. Barriers, pathways and processes for uptake, translocation and accumulation of nanomaterials in plants Critical review. *Nanotoxicology*, 10(3), 257-278.
- Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M., Pinelli, E. 2014. Heavy-Metal-Induced Reactive Oxygen Species: Phytotoxicity and Physicochemical Changes in Plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 232, 1-44.
- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., Yoshimura, K. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of experimental botany*, 53(372), 1305-1319.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
- Siskani, A., Seghatoleslami, M., Moosavi, G. 2015. Effect of deficit irrigation and nano fertilizers on yield and some morphological traits of cotton. *Biological Forum*, 7(1), 1710-1715.
- Soltan, M. M., ElAidy, F. A., Scheerens, J. C.; Kleinhenz, M. D. 2017. Grafting, scion and rootstock effects on survival rate, vegetative growth and fruit yield of high tunnel-grown grafted pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Advances in Crop Science and Technology*, 5 (312), 2.
- Sory-Toure, A., Nieto-Ángel, R., Rodríguez-Pérez, J. E., Barrientos-Priego, A. F., Ibáñez-Castillo, L. A., Romanchik, K., Núñez-Colín, C. A. 2010. Variación anatómica del xilema en tallo de cultivares de tomate injertados en un tipo criollo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(1), 67-76.
- Stampoulis D, Sinha SK, White JC. 2009. Assay-dependent phy- totoxicity of nanoparticles to plants. *Environmental Science and Technology* ,43(24),9473-9479
- Sugimoto, K., Gordon, S. P., Meyerowitz, E. M. 2011. Regeneration in plants and animals: dedifferentiation, transdifferentiation, or just differentiation?. *Trends in Cell Biology*, 21 (4), 212-218.
- Syfert, M. M., Castañeda-Álvarez, N. P., Khoury, C. K., Särkinen, T., Sosa, C. C., Achicanoy, H. A., Knapp, S. 2016. Crop wild relatives of the brinjal eggplant (*Solanum melongena*): poorly represented in genebanks and many species at risk of extinction. *American journal of botany*, 103(4), 635-651.

- Tabata, K., Ôba, K., Suzuki, K., Esaka, M. 2001. Generation and properties of ascorbic acid-deficient transgenic tobacco cells expressing antisense RNA for L-galactono-1, 4-lactone dehydrogenase. *The Plant Journal*, 27(2), 139-148.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2013. *Fisiología vegetal*. 5. ed. Porto Alegre, Artmed. 918 p.
- Thunugunta, T., Reddy, A. C., Seetharamaiah, S. K., Hunashikatti, L. R., Chandrappa, S. G., Kalathil, N. C., Reddy, L. R. D. C. 2018. Impact of Zinc oxide nanoparticles on eggplant (*S. melongena*): studies on growth and the accumulation of nanoparticles. *IET nanobiotechnology*, 12(6), 706-713.
- Tripathi, D. K., Mishra, R. K., Singh, S., Singh, S., Singh, V. P., Singh, P. K., Pandey, A. C. 2017. Nitric oxide ameliorates zinc oxide nanoparticles phytotoxicity in wheat seedlings: implication of the ascorbate-glutathione cycle. *Frontiers in plant science*, 8, 1.
- Tripathy, B.C., Oelmuller, R. 2012. Reactive oxygen species generation and signaling in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 7:1621-1633.
- Turham, A., Ozmen, N., Serbeci, M.S., Seniz, V. 2011. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Horticultural Science*, 38 (84),142-149.
- Userralde, F. M. G., Morales, A. S. C., Hernández, M. G. R., Pulido, J. M. S., Cabrera, I. M. 2017. Comportamiento de portainjertos sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*solanum lycopersicum* L.) en condiciones protegidas. *Agrotecnia de Cuba*, 41(1).
- Van Hooijdonk, B., Woolley, D., Warrington, I., Tustin, S. 2011. Rootstocks modify scion architecture, endogenous hormones, and root growth of newly grafted 'Royal Gala' apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136(2), 93-102.
- Vidal, B., de Paula, R. F. 2015. Comportamiento fisiológico y agronómico de las plantas injertadas de melón tipo piel de sapo (Tesis Doctorado).
- Vrcek, I. V., Samobor, V., Bojic, M., Saric, M. M., Vukobratovic, M., Erhatic, R., Matotan, Z. 2011. The effect of grafting on the antioxidant properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Spanish journal of agricultural research*, (3), 844-851.
- Wang, W.-N., Tarafdar, J. C., Biswas, P. 2013. Nanoparticle synthesis and delivery by an aerosol route for watermelon plant foliar uptake. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(1), 1417.
- Wang, Y., Wisniewski, M., Meilan, R., Cui, M., Webb, R., Fuchigami, L. 2005.

- Overexpression of cytosolic ascorbate peroxidase in tomato confers tolerance to chilling and salt stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(2), 167-173.
- Weyers, J. D., Johansen, L. G. 1985. Accurate estimation of stomatal aperture from silicone rubber impressions. *New phytologist*, 101(1), 109-115.
- Wilkinson, H. P. 1979. The plant surface (mainly leaf). *Anatomy of the Dicotyledons*, 1, 97-165.
- Xu, C., Ma, Y., Chen, H. 2014. Technique of grafting with wufanshu (*Vaccinium bracteatum* Thunb) and the effects on blueberry plant growth and development, fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 176: 290-296.
- Xu, Q., Guo, S. R., Li, L., An, Y. H., Shu, S., Sun, J. 2016. Proteomics analysis of compatibility and incompatibility in grafted cucumber seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 21-28.
- Xue, T., Hartikainen, H., Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55–61.
- Yang J, Cao W, Rui Y. 2017. Interactions between nanoparticles and plants: phytotoxicity and defense mechanisms. *Journal of plant interactions*, 12(1), 158–169.
- Yassin, H., Hussen, S. 2015. Review on role of grafting on yield and quality of selected fruit vegetables. *Global Journal of Science Frontier Research*, 15(1), 17.
- Zhang, Q., Wang, C., Yong, D., Li, G., Dong, X., Li, B. 2014. Induction of resistance mediated by an attenuated strain of *valsa mali* var. *mali* using pathogen-apple callus interaction system. *Scientific World Journal*, 2014, 1-10.
- Zhao, L., Peralta-Videa, J. R., Rico, C. M., Hernandez-Viezcas, J. A., Sun, Y., Niu, G., Gardea-Torresdey, J. L. 2014. CeO₂ and ZnO nanoparticles change the nutritional qualities of cucumber (*Cucumis sativus*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(13), 2752-2759.
- Zhu, I., Bie, Z.L., Huang, Y., Han X.Y. 2006. Effects of different grafting methods on the grafting work efficiency and growth of cucumber seedlings. *China Vegetables*, 9, 24-25.