

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto De Dos Formas De Aplicación De Nanopartículas De Cobre Sobre La  
Calidad Organoléptica Y Nutraceutica Del Fruto De Pepino Injertado.

Por:

**MIGUEL ANGEL RINCÓN VÁZQUEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto De Dos Formas De Aplicación De Nanopartículas De Cobre Sobre La  
Calidad Organoléptica Y Nutraceútica Del Fruto De Pepino Injertado.

Por:

**MIGUEL ANGEL RINCÓN VÁZQUEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



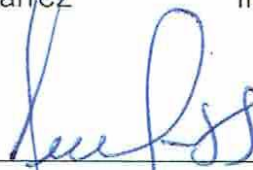
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente  
Asesor Principal



Dra. Roció Maricela Peralta Manjarrez  
Coasesor



Ing. Gerardo Rodríguez Galindo  
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México  
Junio 2023

## Declaración de no plagio

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Autor principal



Miguel Angel Rincón Vázquez

Miguel Angel Rincón Vázquez

Firma y Nombre

Asesor principal



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

Firma y Nombre

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Mi Dios**

por darme la dicha de venir a este mundo guiar mi camino y lograr que sea la persona que soy hoy día. Le agradezco por acompañarme en este sendero por relacionarme con las personas que ha puesto en mi camino, por darme la familia que tengo, simplemente gracias por estar todo momento de mi lado.

### **A Mi Familia**

Por ser parte de mi vida y apoyarme incondicionalmente en los momentos más difíciles de mi vida, por apoyarme en mi formación como profesional que a pesar de la distancia siempre estuvieron a mi lado les agradezco con todo mi corazón su apoyo para formar parte de la UAAAN que fue uno de mis más grandes sueños ahora cumplido.

### **A Mi ALMA MATER**

A esta maravillosa escuela la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser simplemente increíble y permitirnos formar parte de ti, por darnos las herramientas necesarias en nuestra formación como profesionistas, por los buenos momentos que nos brindaste dentro de tus instalaciones y por la darme la dicha de ser buitre de la NARRO.

### **A Mis Asesores**

**Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente**, por ser un increíble docente que nos compartió con gusto sus conocimientos teóricos y prácticos, gracias por ser una excelente persona que siempre ha estado ahí para apoyarnos con sus concejos, que además de ser un buen catedrático es buen amigo.

**Dra. Roció Maricela Peralta Manjarrez**, por todo su apoyo y los conocimientos compartidos durante la elaboración de este trabajo, gracias por su amistad, sus sabios concejos y por motivarme a concluir esta etapa de mi formación.

## **A Mis Profesores**

Por sus palabras, su paciencia y su vocación, ya que son lo más importante para nuestra formación como profesionistas y la manera de compartir sus conocimientos de manera incondicional que nos acompañaran como el pilar de nuestra vida profesional.

## **A Mis Amigos Y Compañeros**

Mis amigos y compañeros de clase Juan Carlos González, Jorge Morales, Emmanuel Sánchez, Luis Darío, Raúl Raya, Hugo Raya, Hugo Gutiérrez, Rogelio Báez, Maximiliano Esparza, Bruce Ariza, Adán Silguero, Isidro Díaz, Sergio Vázquez, Ismael Sosa, Jazmín Escobar, Brandon Sánchez, Ismael García, Edgar Muñoz, Marco Villegas, Osiel Hernández, Cesar Gastelum, y muchos más. hoy se culmina esta maravillosa aventura de formar parte de esta gloriosa escuela “La Narro” la que permitió que junto a ustedes lograra vivir este hermoso capítulo el cual estuvo lleno de experiencias y momentos fantásticos. Hoy les agradezco por formar parte de mi vida en este capítulo tan importante para mí, gracias por ser mis compañeros de generación.

## DEDICATORIAS

### A Mi Padre

**Miguel Angel Rincón Bustamante**, Por apoyarme incondicionalmente cada momento durante mis estudios como profesionista, por ser una buena persona y por darme el ejemplo de ser un hombre de bien. Gracias papá por estar junto a mi todo momento y por permitirme estudiar en esta bella escuela de agronomía.

### A Mi Madre

**María Guadalupe Vázquez Acosta †**, Por estar junto a mi todo el tiempo por ser una madre excelente, que confiaste en mi para ser la persona que hoy día soy, que a pesar que ya no estas con nosotros sembraste la semilla del bien con tu buena educación, y con tu amor, gracias a ti por permitirme formar parte de la maravillosa NARRO, sin ti no lograría cumplir este sueño increíble. Te Amo Mamá...

### A Mi Hermano

**Luis Axel Rincón Vázquez**, gracias hermano por ser parte de mi vida, por ser uno de los pilares más importantes de mi familia, gracias por tener la paciencia de ser mi hermano, por esperarme todo el tiempo que no estuve cerca durante esta etapa de mi vida.

### A Mi Esposa

**Esmeralda Bernal Guevara**, Gracias amor por estar a mi lado a lo largo de mis estudios, por tu paciencia, y tu apoyo incondicional, eres uno de mis motores para echarle ganas a la vida, te agradezco porque todo el tiempo que necesite de ti, estuviste a mi lado, y hoy día también te agradezco por ser mi familia y por darme un espacio en tu corazón.

### A Mi Hija

**Valentina Rincón Bernal**, por ser lo más importante de mi vida, mi más grande inspiración, gracias por tenerme paciencia, darme tu apoyo y por demostrarme tu amor. Pequeña te quiero mucho.

## INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general .....	2
Objetivo específico.....	2
HIPÓTESIS .....	2
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
Origen.....	3
Clasificación taxonómica .....	3
Características botánicas.....	4
Sistema radical.....	4
Tallo .....	4
Hojas.....	4
Flores .....	4
Fruto .....	5
Tipos de pepino.....	5
Estados fenológicos.....	6
Requerimientos ambientales .....	6
Temperatura .....	6
Luminosidad.....	7
Requerimientos edáficos .....	7
Suelo.....	7
Humedad .....	7
Nutrición.....	7
Importancia del pepino en México y en el mundo .....	8
Producción de pepino en México .....	8
El injerto .....	9
Ventajas y desventajas del injerto.....	9
Tipos de injerto .....	10
Injerto de aproximación: .....	10
Injerto de Hendidura:.....	10
Injerto de empalme:.....	10
Compatibilidad de los portainjertos .....	11
Nanotecnología .....	11

Uso de la nanotecnología en la agricultura .....	11
Nanopartículas metálicas en las plantas .....	12
Aplicación de nanopartículas de cobre en las plantas .....	12
Antioxidantes .....	13
Antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos .....	14
MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
Localización del experimento .....	14
Material vegetal .....	14
Siembra del Material Vegetal .....	15
Riego y fertilización .....	15
Realización del injerto .....	15
Manejo de plántulas post injerto .....	15
Trasplante .....	16
Manejo de plagas y enfermedades .....	16
Manejo agronómico del cultivo .....	16
Tratamientos evaluados .....	17
Preparación de las muestras .....	17
VARIABLES EVALUADAS .....	18
Calidad comercial .....	18
Peso del fruto .....	18
Diámetro y longitud del fruto .....	18
Firmeza del fruto .....	18
Peso seco del fruto .....	18
Color del fruto .....	18
Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) .....	19
Calidad nutracéutica .....	19
Ácido ascórbico .....	20
Clorofilas totales .....	20
Capacidad Antioxidante Total (CAoxT) .....	21
Análisis estadístico .....	21
Paquete estadístico .....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
Peso del fruto .....	22
Diámetro .....	24
Longitud .....	26



Firmeza .....	28
Peso seco del fruto .....	30
Color del fruto .....	32
Sólidos Solubles Totales (°Brix).....	34
Ácido ascórbico (Vitamina C).....	36
Clorofila .....	38
Capacidad antioxidante total.....	40
CONCLUSIONES .....	42
LITERATURA CITADA.....	43
ANEXOS .....	53

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del pepino .....	3
<b>Cuadro 2.</b> Tipos fruto de pepino .....	5
<b>Cuadro 3.</b> Estados fenológicos del pepino.....	6
<b>Cuadro 4.</b> Tratamientos evaluados .....	17

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Peso del fruto de pepino. ....	23
<b>Figura 2.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Diametro del fruto de pepino .....	25
<b>Figura 3.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la Longitud del fruto de pepino .....	27
<b>Figura 4.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la Firmeza del fruto de pepino. ....	29
<b>Figura 5.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Peso seco del fruto de pepino. ....	31
<b>Figura 6.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Color del fruto de pepino .....	33
<b>Figura 7.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la cantidad de Solidos Solubles Totales (°Brix del fruto de pepino.....	35
<b>Figura 8.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la cantidad de Vitamina C del fruto de pepino.....	37
<b>Figura 9.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la cantidad de Clorofila del fruto de pepino. ....	39
<b>Figura 10.</b> Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la Capacidad antioxidante total CAoxT del fruto de pepino. ....	41

## RESUMEN

en el presente experimento se realizó la aplicación de nanopartículas de cobre en el cultivo de pepino injertado, con el fin de evaluar características de importancia agronómica, comerciales y nutraceuticas como lo son: peso, diámetro, longitud, firmeza, peso seco, color, contenido de solidos solubles (°brix), contenido de ácido ascórbico, clorofilas totales y la capacidad de antioxidantes totales. en este experimento se utilizaron plantas de pepino injertadas y sin injertar en las cuales se aplicaron nps de cu en dos formas de aplicación al sustrato y foliar, se realizó un arreglo factorial completamente al azar 2\*3 donde resultaron 6 tratamientos. los resultados obtenidos mostraron diferentes tendencias entre cada interacción donde el factor injerto presento incremento en la calidad nutraceutica y organoléptica de los frutos de pepino en las variables: peso del fruto, longitud del fruto, solidos solubles totales (°brix) y clorofila. en el factor nanopartículas vía foliar los mejores rendimientos se presentaron en las variables solidos solubles totales (°brix). y para la interacción de nanopartículas al sustrato fueron en las variables; firmeza y ácido ascórbico (vitamina c). los resultados de este experimento resultaron ser favorables para algunos de los tratamientos de los cuales tuvieron efectos positivos en sus diferentes interacciones.

Palabras clave: pepino; nanopartículas; NPS; Cu; injerto; organolépticas.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente una de las formas más eficientes de incrementar la producción y calidad de las hortalizas, es utilizar las tecnologías modernas que estén disponibles en el momento. Una de estas tecnologías son las técnicas del injerto, la agricultura protegida, así como la nanotecnología.

La agricultura como toda actividad productiva implica la explotación del medio natural. En este aspecto la agricultura intensiva pretende producir el máximo con la menor ocupación posible del suelo, por lo cual se recurre al uso de técnicas con el objetivo de forzar la producción (Anton, 2004). Dentro de estas tecnologías, la nanotecnología es aplicable a la industria de la agroalimenta y a la agricultura sustentable, de alguna manera los nanomateriales ofrecen innovación en la agroindustria lo cual proporcionan una alternativa de protección a los cultivos (Somasundaran et. al., 2010). Dentro de los nanomateriales más estudiados, se encuentran las nanopartículas metálicas de Cobre, Zinc, Hierro, Aluminio, Oro, Selenio, entre otras. El uso de estas, dentro de la agricultura está dirigida al desarrollo de formulación de pesticidas y fertilizantes que de alguna manera se pretende sean más eficientes dentro del sistema biológico de los cultivos (Simonin, (2018). Por otra parte, el uso del injerto es una técnica amigable con el ambiente que se utiliza principalmente para evitar el daño causado por agentes fitopatógenos, tolerancia al estrés salino, estrés hídrico, mejorar el aprovechamiento de nutrientes, aumentar el vigor de las plantas, prolongar el desarrollo, producción y cosecha, así mismo aumentar el rendimiento y la calidad del fruto (Gaytán et. al. 2014).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Implementar la aplicación de nanopartículas de cobre en el cultivo de pepino injertado para mejorar de la calidad organoléptica y nutraceútica.

### **Objetivo específico**

- Evaluar el uso de injertos sobre la calidad de los frutos de pepino.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de cobre en plantas de pepino injertado sobre la calidad organoléptica y nutraceútica de los frutos.
- Evaluar el efecto de la aplicación de nanopartículas de cobre al sustrato de plantas de pepino injertado sobre la calidad organoléptica y nutraceútica de los frutos.

## **HIPÓTESIS**

Alguna de las formas de aplicación de nanopartículas de cobre a plantas de pepino injertadas mostrarán efecto positivo sobre la calidad organoléptica y nutraceútica de sus frutos.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen

El origen del pepino se remonta por lo menos hace 3000 años, fue introducido al continente asiático, concretamente a china 100 años a. c., y posteriormente a Francia en el siglo IX, donde principalmente se utilizó para rebanar y encurtir (Malepszys, 1988).

### Clasificación taxonómica

El sistema integrado de información taxonómica sugiere el siguiente orden taxonómico para el cultivo de pepino:

Reino	plantae
Subreino	viridiplantae
Infrareino	streptophyta
Superdivision	tracheophyta
Division	spermatophytina
Clase	magnoliopsida
Superorden	rosanae
Orden	cucurbitales
Familia	cucurbitaceae
Genero	cucumis
Especie	sativus
nombre científico	Cucumis sativus
nombre comun	pepino
	(ITIS,2023).

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica del pepino.

## **Características botánicas**

### **Sistema radical**

La raíz principal del pepino es muy vigorosa pues suele alcanzar a medir 110 cm de profundidad, las raíces secundarias son más superficiales situándose mayormente entre los 25 a 30 cm de profundidad y alcanzar a medir 65 cm de diámetro, los pelos absorbentes abundan de manera compacta aumentando sus requerimientos hídricos en comparación a otras cucurbitáceas (Veladez, 1998; Gálvez, 2004).

### **Tallo**

El tallo principal puede llegar a medir hasta 5m, por lo general es de porte rastrero-trepador, con presencia de tricomas o espinas, de cada uno de sus nudos parte una hoja y una o varias yemas axilares que podrían dar lugar al brote de tallos, hojas, inflorescencias y zarcillos (Serrano, 1979; Grubben et. al., 2004).

### **Hojas**

Son hojas simples de forma acorazonada, palmonervadas y con un peciolo. Contienen de 3 a 5 lóbulos angulados y triangulados y su posición de ubica de manera alterna una de otra y contra puestas a los zarcillos (López, 2003).

### **Flores**

En las yemas axilares de los tallos brotan flores gamopétalas amarillas con un pedúnculo corto, estas pueden ser femeninas o masculinas ya que son flores unisexuales en plantas monoicas, estas se diferencian porque las femeninas poseen un ovario ínfero que da lugar a un fruto diminuto que crece conforme avanza su maduración (Haz, 2021).

## Fruto

la clasificación del fruto se encuentra dentro de los peponidos, puede ser liso o áspero de acuerdo a su variedad, su color varía de tonos verdes oscuros, verdes claros y amarillentos dependiendo de su estado de madurez, por lo general se cosecha cuando es color verde oscuro y aun no alcanza su madurez fisiológica (Casaca, 2005).

## Tipos de pepino

Dentro de los tipos de pepino se ve influenciado el mercado al que van dirigidos, por lo general los que más se comercializan en el mundo son los tipos pickes, americanos, europeos y japonés.

tipo japonés	produce frutos mayores a 30 cm de longitud cuya principal característica es la presencia de espinas en la cascara.
tipo europeo	produce frutos mayores a 30 cm de longitud cuya principal característica es que no presenta espinas en la cascara.
tipo americano o slicer	produce frutos entre 19 a 25 cm de longitud y su cascara presenta espinas.
tipo pickes o pepinillo	son frutos de tamaño pequeño menor a 19 cm, presenta espinas en su cascara.
	(Monje et. al., 2021).

**Cuadro 2.** Tipos fruto de pepino.



## Estados fenológicos

Germinacion	6 a 15 dias despues de la siembra
Emergencia	10 a15 dias despues de la germinacion
Aparicion de hojas	15 a 20 dias despues de la germinacion
Precencia de yemas	25 a 35 dias despues de la germinacion
Floracion	35 dias apartir de la germinacion terminando el dia 45
Amarre de futo	42 a 48 dias despues de la germinacion
Inicio del desarrollo del fruto	40 a 50 dias despues de la germinacion, este lapso depende de la variedad y las condiciones del cultivo
Termino de desarrollo de fruto	60 a 90 dias despues de la germinacion este periodo depende de la maduracion que se requiera para la cosecha de este fruto
	(Záccari, 2002).

**Cuadro 3.** Estados fenológicos del pepino.

## Requerimientos ambientales

### Temperatura

El pepino es un cultivo de clima templado-cálido que no tolera heladas, La temperatura ideal para la germinación oscila entre 20 a 25° durante el día y de 18 a 22°C durante la noche, la temperatura óptima de desarrollo oscila entre los 20°C a 30°C, cuando las temperaturas rondan los 25°C expresa una mayor producción. Los limitantes térmicos ocurren cuando se sobrepasan los 30°C ya que sufren daños en los procesos fotosintéticos y respiratorios de igual manera cuando se exponen a temperaturas menores a 17°C ya que sufren malformaciones en hojas y frutos. Es un cultivo susceptible a heladas si se expone a temperaturas igual o menor a 1°C (Madrigal, 2006; Reyes, 2012).

## **Luminosidad**

la planta de pepino se desarrolla perfectamente, tal es así que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos menores a 12 horas luz, además de soportar alta intensidad lumínica de tal manera que, a mayor cantidad de radiación solar, mayor es su producción (Ortiz, 2010).

## **Requerimientos edáficos**

### **Suelo**

Para este cultivo son recomendados los suelos ligeros de buen drenaje con el objetivo de prevenir el estrés salino debido a las sales solubles, Durante el riego y la fertilización, el pH en la solución nutritiva deberá ser mantenido en el rango de 5.5 a 6, mientras que la conductividad eléctrica deberá estar entre 1.5 – 2.5 dS/m. (Zamora, 2017).

### **Humedad**

Es una planta con altos requerimientos de humedad debido a su gran desarrollo vegetativo, el rango optimo durante el día es de 60-70% y para la noche de 70-90% (López, 2008).

### **Nutrición**

Aproximadamente del 95% al 98% del peso total de las plantas se conforma de C, H, O y N, los cuales son elementos organogénicos que se asimilan principalmente de la atmosfera. El resto de los nutrimentos minerales representan el 2% al 5% del peso total. Aunque las plantas están constituidas por muchos no todos son indispensables de los cuales los más importantes para lograr un buen desarrollo son, nitrógeno(N), fosforo (P), potasio (K), calcio(Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y azufre (S) (Steiner, 1968).

El aporte de nutrientes a las plantas mediante la fertilización mineral es fundamental ya que en esta se aportan los elementos que son esenciales para brindar la sustentabilidad de las plantas durante el ciclo del cultivo (Porras, 2005; Gómez et. al., 2002). una fertilización balanceada incrementa la eficiencia del uso de los nutrientes y por esta razón, existe menor riesgo de que los nutrientes se pierdan por lixiviación o precipitación. (Steward, 2001).

### **Importancia del pepino en México y en el mundo**

El cultivo del pepino se encuentra dentro de los más importantes dentro de la producción agrícola, Esto se debe a la gran demanda dentro del mercado nacional mexicano e internacional, su gran nivel de adaptabilidad le permite ser cultivado en regiones cercanas a: Sinaloa, Michoacán, Baja California, Morelos y Veracruz. A México le pertenece el octavo lugar a nivel mundial ya que registra una media de 700000 toneladas al año en 16000 hectáreas destinadas para su producción (Hernández et. al., 2020).

### **Producción de pepino en México**

Dentro de la agricultura protegida en México se cuenta con 47% cubiertas plásticas, 50% malla sombra, 2% vidrio y 1% en otros tipos de cubiertas. Y en ellas el cultivo del tomate ocupa el 70 % del volumen producido, el cultivo de pepino el 10%, el de pimiento 5% y un 15% para el resto de hortalizas (Destenave, 2007). En el año 2017 en México se registró una superficie sembrada de 20 mil hectáreas, donde se logró cosechar 956 mil toneladas, los estados con mayor producción fueron Sinaloa, Sonora, Michoacán, Baja california y Guanajuato siendo los primeros lugares dentro del ranking nacional (SIAP, 2018).

## **El injerto**

El uso del injerto en hortalizas se desarrolló para resolver diversos problemas de suelo, plagas, enfermedades y factores abióticos como la sequía o la salinidad, todo ello para incrementar la producción y las tolerancias (Mascorro,2013; Schware et. al., 2010). La producción de plantas injertadas se inició en Japón y Corea a fines de los años 20 con sandía (***Citrullus lanatus***). injertada sobre patrón de calabaza (Lee, 1994). Posteriormente, en los 50 se injertó berenjena (***Solanum melongena L.***) sobre berenjena (***Solanum integrifolium Poir***). Desde entonces, la superficie de hortalizas que utiliza plantas injertadas se ha incrementado considerablemente (Oda, 1993).

## **Ventajas y desventajas del injerto**

El injerto de pepino se emplea principalmente con el objetivo de solucionar problemas relacionados a los cultivos y así las plantas injertadas puedan tolerar enfermedades provocadas por organismos del fitopatogenos como: Fusarium, Verticillium y Pseudomonas, estas resistencias vanean de acuerdo al portainjerto (Maroto, 2002; Lee et. al. 2010). Gracias a las resistencias que esto aporta se reduce el uso de productos químicos al suelo (Lopez et. al., 2015). La resistencia de las plantas injertadas está condicionada tanto por el patrón como por la variedad y aunque el vigor de la planta injertada suele ser equitativa entre el del patrón y la variedad, la influencia del patrón es mayor (Muller et. al., 2002). El uso del injerto es otra alternativa para reducir el posible daño causado por patógenos del suelo, además de mejorar el rendimiento y la calidad del fruto (Echeverría, 2012).

Algunas de las ventajas más importantes atribuidas a los injertos, son: mayor vigor radical y foliar, mayor aprovechamiento de agua y nutrientes por tener sistema radical más eficiente, resistencia a la salinidad y tolerancia a temperaturas bajas y altas (Lee, 2007). Sin embargo, también presenta desventajas, como el alto costo de las semillas de los portainjertos, variedades y los gastos de operación como la mano de obra especializada, el espacio de trabajo y mayor cantidad de sustrato para los cepellones que requiere el portainjerto (Hoyos, 2012).

El uso del injerto en comparación de plantas sin injertar representa el 125% por encima de una planta común (Kubota et al., 2008). Para tener éxito en los injertos no debe haber diferencias genéticas entre el patrón y la variedad, es necesario que ambos pertenezcan a la misma familia botánica ya que un sistema fisiológico y bioquímico diferente puede afectar en la interacción patrón-injerto-variedad (Pina, 2007).

## **Tipos de injerto**

### **Injerto de aproximación:**

En este método se unen dos plantas independientes, cada una con su raíz correspondiente (Hartam et. al., 1984). Ambos materiales vegetales deberán tener un diámetro aproximado, además de tener por lo menos una hoja verdadera, al portainjerto se le realiza un corte con Angulo de 45° hacia abajo y a la variedad un corte de 45° hacia arriba en la base del tallo posteriormente se unen y se aseguran con un broche (Miles, 2014).

### **Injerto de Hendidura:**

Consiste en captar ambos materiales vegetales, al portainjerto se le realiza un corte transversal próximo a la base Posteriormente se le realiza un corte longitudinal por el centro procurando cortar de 1 a 1.5 cm de profundidad. Al injerto o variedad se le realiza un corte en forma de V por debajo de los cotiledones para formar una punta de flecha procurando que sea de 1 a 1.5 cm de longitud, las dos partes injerto y portainjerto deberán ser unidos y asegurados con el fin de que sus tejidos coincidan y se dé lugar a la cicatrización (Lee et. al., 2003: Nuñez et. al., 2017).

### **Injerto de empalme:**

En la variedad o injerto consiste en realizar un corte a 45° por debajo de los cotiledones al igual que en el portainjerto, posteriormente se unen asegurando que tengan el mismo diámetro y se unen asegurándolos con un broche (Johnson, 2011).

### **Compatibilidad de los portainjertos**

Los injertos en hortalizas también se han utilizado para la producción bajo condiciones desfavorables en la producción. Como el caso del pepino injertado sobre (*Cucurbita ficifolia*) obteniendo tolerancia al frío. Se ha encontrado que la sandía injertada sobre Shintosa (*Cucurbita maxima x C. moschata*) adquiere tolerancia a la sequía, Shintosa también al ser utilizado como portainjerto en pepino ha mostrado crecimiento estable en varias temperaturas del suelo y mejora el rendimiento y calidad de fruto en condiciones de salinidad (Oda, 2002) La selección de un portainjerto eficiente para la extracción de nutrimentos es poco frecuente, casi siempre se selecciona con el criterio de resistencia al estrés biótico y abiótico, este último causado por el medio ambiente (Ruiz et al., 1997; Rivero et al., 2003).

### **Nanotecnología**

La nanotecnología Es una rama de la ciencia donde se busca mejorar productos o desarrollar tecnologías nivel microscópico dando lugar a miles de aplicaciones, en este ámbito de la nanociencia se busca llegar a sectores multidisciplinarios como la industria textil sanitaria mecánica alimentaria electrónica química farmacéutica agronómica etc. (Gonzalez et. al., 2011) (Prasad et. al. (2014).

### **Uso de la nanotecnología en la agricultura**

Dentro de la nanoinvestigacion uno de los campos de mayor crecimiento está en el sector agroalimentario (Dasgupta et. al., 2015). En el sector agrícola se ha incorporado la nanotecnología, por ejemplo: con la creación, diseño, y desarrollo de nanofertilizantes, para aumentar la productividad y rendimiento de los cultivos por medio de una mejor asimilación de los nutrientes (Zulfigar et. al., 2019).

Los campos de desarrollo dentro de la agricultura se aplican principalmente en el control de plagas a través de la formulación de pesticidas e insecticidas basándose en nanomateriales aumenta la mejora de la productividad agrícola (Rai et. al. 2012).

## **Nanopartículas metálicas en las plantas**

Las nanopartículas de óxido metálico, en comparación con sus equivalentes granel como lo son los fertilizantes, son más estables en condiciones extremas, presentan una actividad antimicrobiana a bajas concentraciones y una baja o nula toxicidad para los humanos (Król et al., 2017). Las nanopartículas de óxido de cobre (CuO) ofrecen una promesa perspectivas para el desarrollo de nuevas formulaciones agroquímicas de pesticidas y fertilizantes, Sin embargo, su impacto potencial en el funcionamiento del agroecosistema aún sigue siendo investigado (Simonin, (2018). Las nanopartículas que contienen plata (Ag) han demostrado ejercer una amplia gama de actividad antimicrobiana contra bacterias, hongos y virus (Huang et al., 2018). Las nanopartículas que contienen zinc (ZnO-NP) son agentes antibacterianos muy efectivos contra un amplio espectro de especies bacterianas, propiedades fisicoquímicas (Sun et al., 2018). Varios estudios han demostrado el potencial fungistático de las nanopartículas de ZnO contra los hongos patógenos, incluidos ***Fusarium sp.***, ***Botrytis cinerea***, ***P. expansum***, ***Aspergillus niger*** y ***Rhizopus stolonifer*** (He et al., 2011; Król et al., 2017; Ashajothi et al., 2016).

En lo que respecta a las nanopartículas metálicas, en la última década se han realizado amplias investigaciones para evaluar su impacto en agentes patógenos del suelo (Simonin et. al., 2015; McKee et. al., 2016).

## **Aplicación de nanopartículas de cobre en las plantas**

el cobre es un elemento esencial para plantas, forma parte de varios procesos orgánicos como síntesis de proteínas o enzimas vitales para el metabolismo vegetal, participa en múltiples funciones, como el transporte de electrones durante el proceso de fotosíntesis y respiración, detección de etileno, metabolismo de la pared celular, protección contra estrés oxidativo y biogénesis del cofactor de molibdeno. El cobre también es utilizado ampliamente como fungicida contra ciertos patógenos. Debe ser suministrado a los cultivos en baja concentración, ya que puede causar toxicidad en la planta (Hernandez et. al.,2019; Ambrosini et. al., 2016).

Los compuestos de cobre como fertilizantes y pesticidas, han sido explotados para proteger los cultivos agrícolas de muchas plagas, incluidas aquellos que causan una amplia gama de infecciones bacterianas y fúngicas, debido a su bajo costo, actividad protectora y riesgo reducido para el desarrollo de resistencia controlado por su modo de acción contra patógenos (Keller et al., 2017)

Múltiples estudios han demostrado que las nanopartículas aplicadas en altas concentraciones (hasta 2000 mg L<sup>-1</sup>) causan efectos negativos en morfología, fisiología, bioquímica y también podría causar genotoxicidad en plantas (Hernandez et. al., 2019), esto se debe a que pueden inhibir significativamente el desarrollo de las raíces de las plantas, dificultar el crecimiento de las hojas y reducir la germinación de las semillas (Tang et al. 2016).

Por otra parte, la asimilación de nanopartículas de cobre incrementa la cantidad de antioxidantes en las plantas y por lo tanto tendrá mayor capacidad de tolerar algún tipo de estrés biótico y/o abiótico. Los compuestos asociados con esta capacidad antioxidante son la catalasa, peroxidasa, vitamina c, entre otros (Ríos, 2003).

### **Antioxidantes**

Los antioxidantes son conjunto de moléculas reconocidas por su capacidad para neutralizar los radicales libres, estos han surgido como una alternativa para combatir las deficiencias asociadas al estrés oxidativo, como las enfermedades cardiovasculares, reumáticas y la vejez (López et. al., 2007). Dentro de estos antioxidantes podemos encontrar grupos de vitaminas, minerales, pigmentos, enzimas y otros compuestos vegetales, además de ser sustancias que intervienen en los procesos metabólicos de los organismos (Bracco et. al. 1981). Estos antioxidantes facilitan la prevención de la degradación de las biomoléculas como proteínas, lípidos de las membranas, carbohidratos y ácidos nucleicos, además previene el ataque de los radicales libres, los cuales son agentes oxidantes que se generan cuando una molécula pierde un electrón (Fridovich, 1978; Cox, 2001).



La neutralización de los radicales libres ocurre cuando el antioxidante transfiere su átomo de electrones o hidrógeno al radical (Dawidowicz et. al., 2012; Marković et al., 2013)

### **Antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos**

“los antioxidantes pueden ser enzimáticos o no, clasificándose así en endógenos aquellos que se encuentran naturalmente en el organismo, y exógenos, que ingresan en el organismo a través de la dieta, es importante destacar a ciertos oligoelementos (cofactores) cuya incorporación al organismo es necesaria por constituir parte del núcleo activo de las enzimas antioxidantes” (Mayor, 2010).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del experimento**

El presente trabajo de investigación se desarrolló bajo un invernadero tipo túnel, en área agrícola experimental del Departamento de Horticultura. De la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Con coordenadas 25° 22” Latitud Norte y 101°00” Longitud Oeste, altitud 1742 msnm, durante el ciclo primavera-verano 2019.

### **Material vegetal**

En este experimento se utilizaron semillas de pepino (*Cucumis sativus L.*) tipo americano de la variedad “Esparon” y como porta injerto se utilizó semilla de calabaza criolla (*Cucúrbita máxima D. x Cucúrbita moschata*), ambos de la casa semillera Rijk Zwaan, The Netherlands.

### **Siembra del Material Vegetal**

Se utilizaron charolas de poliestileno de 60 cavidades de 100cc de volumen, como sustrato para germinar se utilizó peat moss y perlita en relación 1:1, La variedad de pepino se sembró el 10 de enero de 2019 y el portainjerto el 20 de enero de 2019. El portainjerto se sembró 10 días después para empatar el desarrollo de la plántula.

### **Riego y fertilización**

Se utilizó un sistema de riego por goteo y para fertilización del cultivo se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1968), utilizando diferente concentración de las soluciones nutritivas durante el periodo de crecimiento: 25% en etapa vegetativa, 50% en floración, 75% en amarre de fruto, y 100% en llenado de fruto. El pH de la solución nutritiva se ajustó a 6.8 con ácido sulfúrico en cada preparación y para todas las etapas.

### **Realización del injerto**

Se utilizó el método de injerto de hendidura, que consistió en eliminar la zona terminal del portainjerto arriba del cotiledón y se hizo una incisión hacia abajo en la zona central, después se cortó la parte terminal de la variedad a injertar en forma de "v" con dos cortes, de la misma longitud que la incisión del patrón. Se unieron patrón y cultivar, entre ambos cortes para formar una sola planta, y se colocó una pinza de madera que sujetó la zona de unión permitiendo que las dos porciones de planta quedaran en contacto directo.

### **Manejo de plántulas post injerto**

Las plántulas una vez injertadas se colocaron en una cámara de prendimiento durante 6 días con ausencia de luz, humedad relativa arriba del 80% y temperatura de 25° C. Posteriormente se mantuvieron por cuatro días en cámaras con cubierta transparente manteniendo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura.

## **Trasplante**

las plántulas una vez injertadas fueron sacadas de la cámara y trasplantadas en invernadero en bolsas de polietileno con capacidad de 10 kilogramos utilizando como sustrato la mezcla de peat moss y perlita con una proporción 1:1 v/v.

## **Manejo de plagas y enfermedades**

Durante el ciclo del cultivo se realizó un manejo integrado de plagas y enfermedades en donde se aplicó extracto de ajo a razón de (2.5 ml/L) para la prevención de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*).

## **Manejo agronómico del cultivo**

El cultivo fue conducido a un tallo, para lo cual se realizó el tutoreo atando con hilo rafia desde la base del tallo hasta el alambre superior de soporte, conforme la planta presentaba elongación se iba enredando girándola en el hilo rafia.

Además de realizaron diferentes tipos de podas, tal es así que después del trasplante se realizó la primera poda, que consistió en la eliminación de tallos secundarios dejando solo el tallo principal, también fueron eliminados los frutos, flores y yemas axilares que aparecieron antes de que la planta llegara a una altura de 60 cm. Posteriormente en la etapa de producción se eliminaron frutos malformados y hojas viejas.

## Tratamientos evaluados

Tratamientos	Variables				
	sin injerto	con injerto	sin Nps	Nps foliar	Nps sustrato
T1	x		x		
T2	x			x	
T3	x				x
T4		x	x		
T5		x		x	
T6		x			x

**Cuadro 4.** Tratamientos evaluados.

Para las aplicaciones al sustrato se utilizó una dosis de 5 mg de NPs de Cu (dividida en 3 estratos del sustrato de la maceta).

Para la aplicación foliar de NPs de Cu se preparó la dilución de la solución acuosa para obtener una concentración de  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y se asperjó sobre las plantas de pepino a los 10, 30 y 60 días después del trasplante.

Las NPs de Cu fueron proporcionadas por el centro de investigación de química aplicada (CIQA), tenían morfología esférica, pureza del 99.8% y diámetro promedio de 25 nm las cuales fueron sintetizadas siguiendo la metodología descrita por Ortega *et al.*, 2013

### Preparación de las muestras

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

Para la evaluación de las variables longitud, peso y diámetro se analizaron un total de 5 repeticiones por tratamiento y para las variables Firmeza, Color, Contenido de sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), Ácido ascórbico, Clorofilas totales y Capacidad Antioxidante Total (CAoxT) se tomaron tres repeticiones por tratamiento.

## **VARIABLES EVALUADAS**

### **Calidad comercial**

#### **Peso del fruto**

Se registraron los datos en gramos (g) y como herramienta se utilizó una balanza digital de la marca OHAUS, modelo YA501E.

#### **Diámetro y longitud del fruto**

Se tomaron las medidas en centímetros (cm) con cinta métrica para la longitud y vernier para el diámetro.

#### **Firmeza del fruto**

Se determinaron los datos expresados en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y se midió con un penetrómetro (FRUIT PRESSURE TESTER FT 327 con una puntilla de 8 mm).

#### **Peso seco del fruto**

Los datos se determinaron en gramos por cada 100 g de peso fresco, se pesó 100 g de fruto fresco y se deshidrato a  $60^{\circ}\text{C}$  en una estufa de secado (Yamato DX-602) por 48 horas para posteriormente ser pesado en seco en una balanza digital (OHAUS, modelo YA501E).

#### **Color del fruto**

se midió con un colorímetro HunterLab (marca: Minolta, modelo:CM508d) en el cual se obtuvieron los parámetros: **L** (indica un valor de la luminosidad), **a** (indica la variación entre el color rojo y verde del espectro) y **b** (indica la variación entre el color amarillo y azul del espectro), para determinar un valor del color a través del índice de color ( $\text{IC}^*$ ) utilizable como medida de control de la calidad organoléptica

que define un color en una escala general de productos hortofrutícolas (Vignoni *et al.*, 2006), utilizando la siguiente ecuación:

$IC^* = a \cdot 1000 / L \cdot b$ , en donde sí:

- a)  $IC^* = -40$  a  $-20$ , el valor relaciona colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- b)  $IC^* = -20$  a  $-2$ , el valor relaciona colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- c)  $IC^* = -2$  a  $+2$ , se relaciona con el color amarillo verdoso.
- d)  $IC^* = +2$  a  $+20$ , el valor se relaciona con colores que van del amarillo pálido al naranja intenso.
- e)  $IC^* = +20$  a  $+40$ , el valor se relaciona con colores que van del naranja intenso al rojo profundo.

### **Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)**

Estos datos se obtuvieron por lectura refractométrica, en un refractómetro digital (marca: Hanna, modelo: HI 96801, a 20°C); la acidez se determinó por titulación con NaOH 0.1N (AOAC, 2000); el valor de acidez titulable se expresó en porcentaje (%) de ácido cítrico.

### **Calidad nutracéutica**

Para la evaluación de los compuestos nutraceuticos, se tomaron 20 g de fruto de cada tratamiento, se congelaron a -80 ° C y luego se liofilizaron durante 72 horas en un liofilizador (marca: Labconco, modelo: FreeZone 6) a una temperatura de -84°C y 0.060 mbar. Las muestras se molieron en mortero para realizar las determinaciones de calidad nutraceutica.

### **Ácido ascórbico**

La cual se realizó de acuerdo con un método de Dürüst, et al., (1997) con modificaciones. Se mezclaron 0.1 g de tejido liofilizado con 10 ml de solución de ácido tricloroacético al 10% (v / v). Las muestras fueron sonicadas en un baño de ultrasonidos durante 15 minutos a una frecuencia de 40 kHz. Las muestras se centrifugaron a 10,000 xg durante 10 min. Se agregaron 2 ml de sobrenadante a 1.5 ml de agua y 0.2 ml de de Folin-Ciocalteu diluido 1:10, y se mezclaron vigorosamente y reposar por 10 minutos. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro UV/Vis (marca: LabX, modelo: Varian CARY 100BIO) a 520 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico por g de peso seco.

### **Clorofilas totales**

Para tomar los datos de esta variable se pesaron 2 g de cada muestra y se colocaron en vasos de precipitado de 25 ml con acetona al 85% los cuales se cubrieron con papel aluminio y se almacenaron por 24 horas a una temperatura de 5°C. Transcurrido el tiempo se maceraron las muestras en un mortero con 20 ml de acetona realizando este paso tres veces y agregando el líquido filtrado en un matraz de aforación de 100 ml, por último, se realizaron dos lecturas por cada muestra en un espectrofotómetro (marca: Jenwaw, modelo: 6320D) a 643 y 660 nm.

Para el cálculo de clorofila total se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Clorofila total (mg/g)} = \frac{(7.12 \times \text{abs } 660 \text{ nm}) + (16.8 \times \% \text{abs } 643 \text{ nm})}{10 \times P}$$

Donde:

% de Abs 643 nm = a la lectura obtenida en el espectrofotómetro a dicha absorbancia (643 nm)

% de Abs 660 nm = a la lectura obtenida en el espectrofotómetro a dicha absorbancia (660 nm)

### **Capacidad Antioxidante Total (CAoxT)**

Se utilizaron dos radicales metaestables, con fuentes de absorción en el espectro visible para determinar su capacidad estabilizadora de radicales libres, uno fue el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), desarrollado por Brand et. al. (1995) con modificaciones, se mezcló 0.1 g de muestra seca con 10 ml de metanol. El extracto metabólico se agitó en un vórtex por un minuto se centrifugó a 15000 rpm durante 10 minutos a 4° C. Posteriormente se tomó una alícuota de 300 µl con 2.7 ml de DPPH al  $6.1 \times 10^5$  mol L<sup>-1</sup>. La mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 minutos, y la absorbancia se registró a 517 nm en un espectrofotómetro (marca: Varian, modelo: CARY 100BIO). Los resultados se expresaron en µM equivalentes de Trolox por g de peso seco (PS).

### **Análisis estadístico**

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2X3. Los factores fueron los estados de injerto (con y sin injertar), y la aplicación de NPs de Cu (vía radicular, vía foliar y sin aplicación), resultando en seis tratamientos y diez repeticiones por tratamiento y una planta de pepino por repetición. Para los análisis de calidad se seleccionaron los frutos al azar (5 frutos para calidad comercial y 3 frutos para calidad nutraceútica) de cada tratamiento.

### **Paquete estadístico**

Se utilizó el paquete estadístico InfoStat en el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA), y comparación de medias LSD (Diferencias Mínimas Significativas), al 95% de probabilidad ( $p \leq 0.05$ ).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

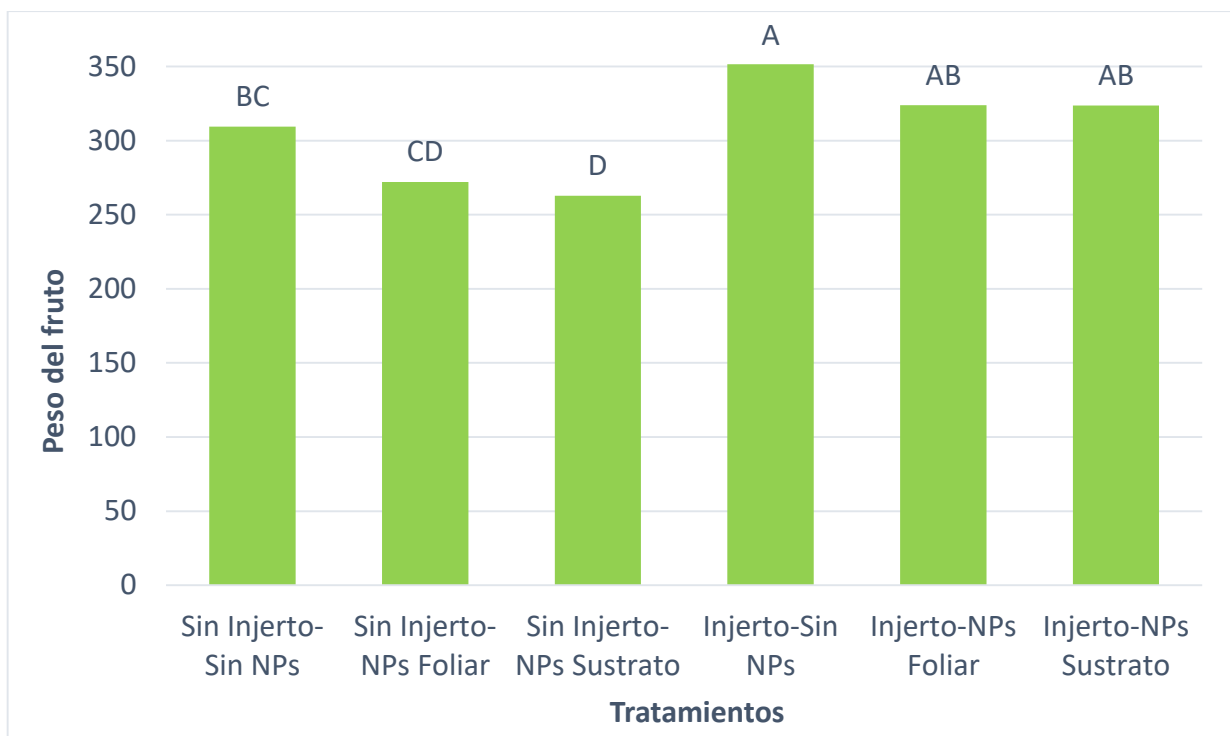
### **Peso del fruto**

Para esta variable se observó un efecto positivo en el factor injerto, donde el peso de los frutos en los tratamientos Con injerto fue 18.34% superior a los no injertados con un valor de significancia de ( $p \leq 0.0001$ ), esto concuerda con lo reportado por Lara, (2019) que en plantas de berenjena injertada el rendimiento de frutos aumento prácticamente el doble con respecto a plantas no injertadas.

Por otra parte, en el factor de Nanoparticulas de Cobre se encontró que hubo un efecto positivo entre los tratamientos Sin NPs Cu siendo este mayor en un 11 % respecto a la aplicación de NPs de Cu vía foliar y un 12.7% con respecto a la aplicación de NPs de Cu al sustrato ( $p \leq 0.01$ ); sin embargo esto no concuerda con lo planteado por Pradhan et al., (2015), mencionan que “el Cobre es un nutriente activador de enzimas en los tejidos vegetales que aumentan la tasa fotosintética y por ende aumentan el rendimiento de los cultivos”.

En la interacción de los factores no se observó diferencia significativa, donde el tratamiento Con injerto y Sin NPs de Cu fue superior en un 34% al tratamiento Sin injerto - Con NPs de Cu al sustrato el cual presento menor peso de fruto. Por lo tanto, la diferencia del incremento del peso de los frutos se debe al efecto del injerto.

**Figura 1.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Peso del fruto de pepino.



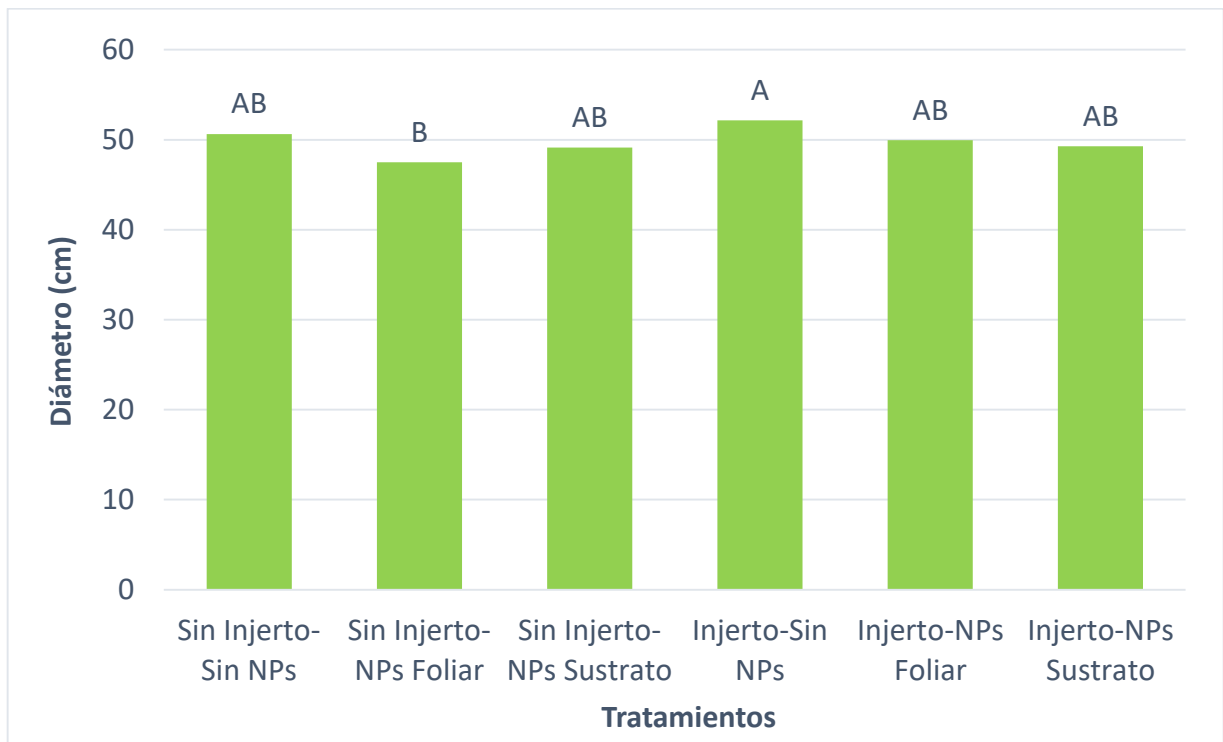
## **Diámetro**

Dentro de la variable diámetro de fruto no se encontró un efecto significativo en el factor injerto ya que el incremento de esta interacción fue solo del 3% con respecto a las no injertadas el valor de significancia fue de  $p \geq 0.1307$ . Hernández et. al., (2014). Mencionan que diversas especies de cucurbitáceas no favorecen el diámetro del fruto cuando se utiliza pepino como injerto.

Por otro lado, en las interacciones del factor de NPs de Cu se tuvo un efecto positivo ( $p \geq 0.0475$ ), en los tratamientos donde no se aplicaron NPs de Cu en las cuales se encontró un incremento de 5.5% con respecto a los tratamientos donde se aplicaron NPs de Cu vía foliar y con los tratamientos donde se aplicaron NPs de Cu al sustrato demostró ser similares estadísticamente. En el cultivo de tomate se observó un efecto negativo en cuanto al diámetro de fruto en plantas tratadas con Nps de Cu respecto a plantas sin Nps de Cu, donde la tendencia fue que a mayor concentración de NPs de Cu menor el diámetro de frutos (Lopez, 2019). Lo que nos refiere que para esta variable la dosis de NPs de Cu fue alta.

En la interacción de los factores se observó diferencia significativa, donde el tratamiento Con injerto - Sin NPs de Cu fue superior en un 10% al tratamiento Sin injerto - Con NPs de Cu vía foliar el cual presento menor diámetro de fruto. Los demás tratamientos estadísticamente demostraron ser similares entre ellos. Por lo tanto, la diferencia del incremento del Diámetro de los frutos se debe al efecto del injerto.

**Figura 2.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Diámetro del fruto de pepino



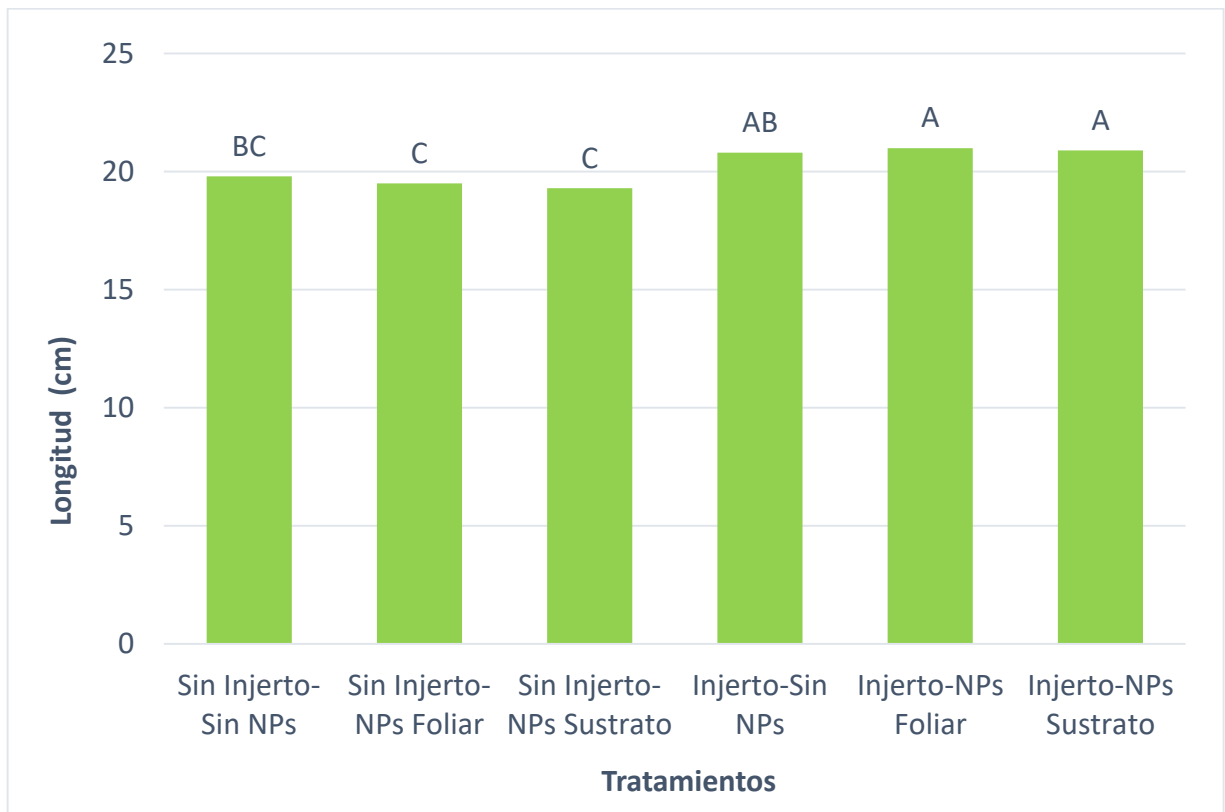
## Longitud

Dentro de la variable Longitud de fruto se encontró un efecto positivo con un incremento del 7% en el factor injerto con respecto a las plantas no injertadas ( $p \geq 0.0001$ ). López et. al. (2008). Mencionan que la longitud de los frutos, el diámetro, el peso etc., se deben a la buena absorción y asimilación de los nutrientes y agua por parte del patrón o portainjerto.

Por otro lado, en las interacciones del factor de NPs de Cu no tuvo un efecto positivo ( $p \geq 0.8559$ ), en respuesta a la interacción de NPs de Cu. En un estudio realizado por Kole et. al., 2013. Con NPs a base de carbono en semillas de melón amargo (*Momordica charantia*), demostraron un valor positivo en la longitud del fruto incrementando un 20% con respecto al testigo.

En la interacción de los factores se observó un efecto positivo, donde el tratamiento Con injerto – NPs Cu vía foliar fue superior en un 7.7% al tratamiento Sin injerto - Con NPs de Cu vía foliar, El tratamiento Con injerto – NPs de Cu al sustrato fue superior al tratamiento Sin injerto – NPs de Cu al sustrato en un 8.3% y los demás tratamientos demostraron ser estadísticamente similares. Por lo tanto, la diferencia del incremento de la longitud de los frutos se debe al efecto del injerto.

**Figura 3.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la Longitud del fruto de pepino



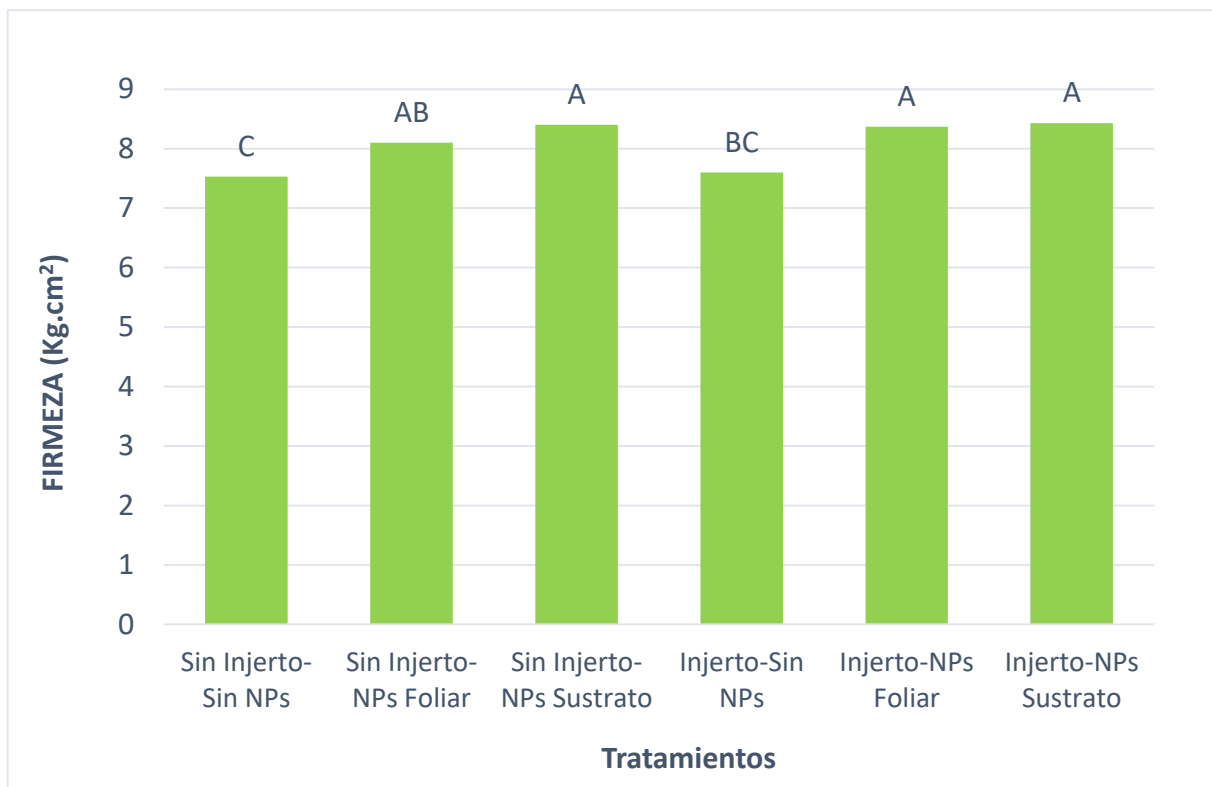
## **Firmeza**

Para esta variable no se observó efecto positivo en el factor injerto, donde la firmeza de los frutos en los tratamientos con injerto fue apenas 1% superior a los no injertados con un valor de significancia de  $p \geq 0.4245$ . lo cual no concuerda con Rodríguez, (2016). Donde demuestra que el uso del injerto en cultivos de pepino, acompañado de diversas fuentes de fertilización, favorece a la calidad del fruto en cuanto a firmeza.

Por otra parte, en el factor de Nanopartículas de Cobre se encontró que hubo un efecto positivo entre los tratamientos con NPs Cu al sustrato siendo superiores en un 11.2% a los tratamientos Sin NPs de Cu y similares a los tratamientos con aplicación de NPs de Cu vía foliar ( $p \geq 0.0013$ ). el cobre es un nutriente que participa en la absorción de potasio, que en niveles altos provoca su inhibición y desequilibrios nutricionales afectando la turgencia de las células (Genet et. al., 2004). Lo que nos indica que la concentración de NPs de Cu fue adecuada para esta variable.

En la interacción de los factores se observaron efectos positivos donde el tratamiento con Injerto - NPs de Cu al sustrato tuvo un incremento de 11.9% con respecto al tratamiento sin injerto – sin NPs y demostrando ser estadísticamente similar al resto de los tratamientos con aplicación de NPs de Cu. El aumento de la firmeza del fruto se vio relacionada ampliamente a la aplicación de Nanopartículas de Cu.

**Figura 4.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la Firmeza del fruto de pepino.





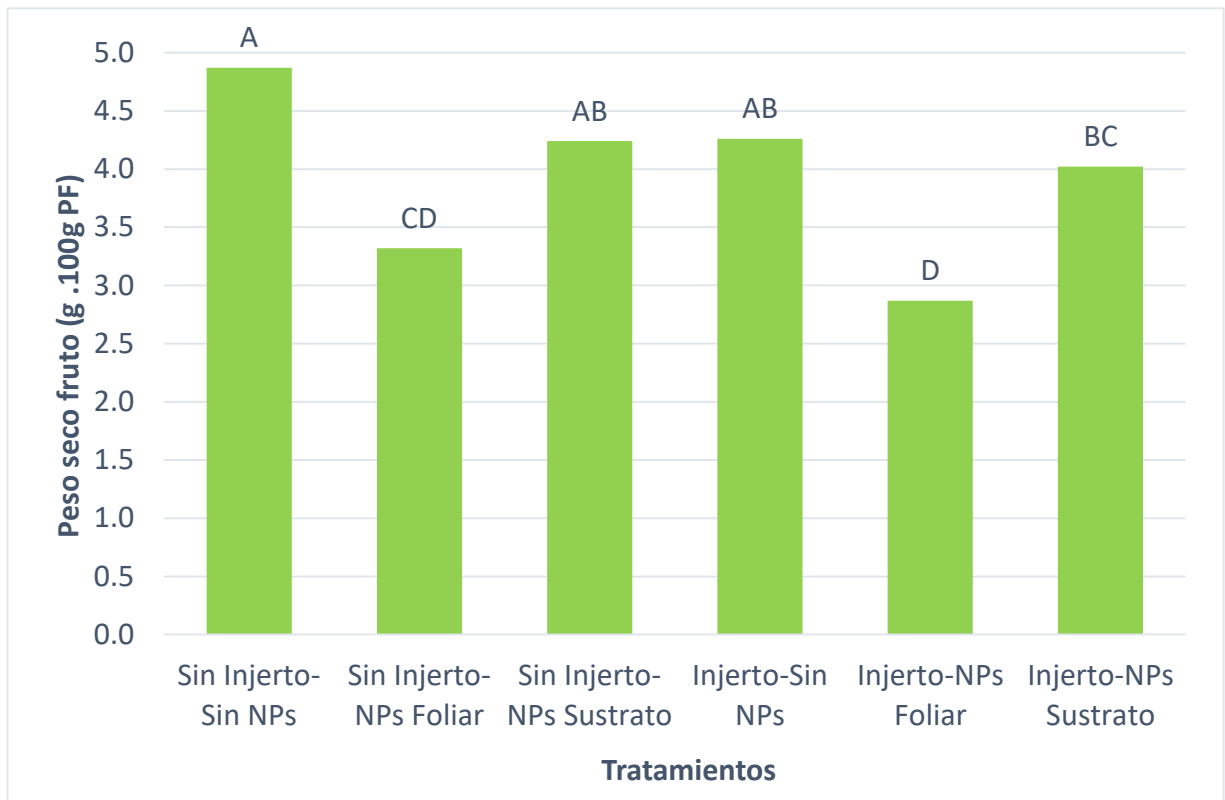
### **Peso seco del fruto**

Dentro de la variable Peso seco del fruto no se encontró efecto positivo para el factor injerto ya que esta interacción incremento 1.5% con respecto a las no injertadas, se observó que estadísticamente son iguales ( $p \geq 0.0549$ ). lo cual no concuerda con Cardona, (2015). Donde menciona que la absorción de los nutrimentos por parte del patrón propicia una buena acumulación de minerales en la parte aérea de la planta (frutos, hojas, flores, tallos, etc.), por lo tanto, las plantas serán vigorosas favoreciendo una mayor cantidad de biomasa.

Por otro lado, en las interacciones del factor de NPs de Cu no se tuvo un efecto positivo ( $p \geq 0.0002$ ), ya que los tratamientos sin aplicación de NPs de Cu tuvieron un incremento 10.6% superior a los tratamientos de NPs de Cu vía foliar, y estadísticamente demostró ser similar a la interacción de NPs de Cu al sustrato. En un estudio realizado por Sharma et. al. 2021. Se demostró que en plántulas y granos de arroz (***Oryza sativa***), se obtuvo un incremento del 50% en el peso seco al ser tratadas con NPs de ZnO.

En la interacción de los factores se observó diferencia significativa, donde el tratamiento Sin injerto - Sin NPs de Cu fue superior en un 69.7% al tratamiento Con injerto - Con NPs de Cu vía foliar el cual presento menor Peso seco del fruto. Por otra parte, el resto de los tratamientos resultaron ser estadísticamente similares entre ellos, Por lo tanto, la diferencia del incremento del peso seco de los frutos fue mejor al no aplicar NPs de Cu ni al injerto de las plantas.

**Figura 5.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Peso seco del fruto de pepino.



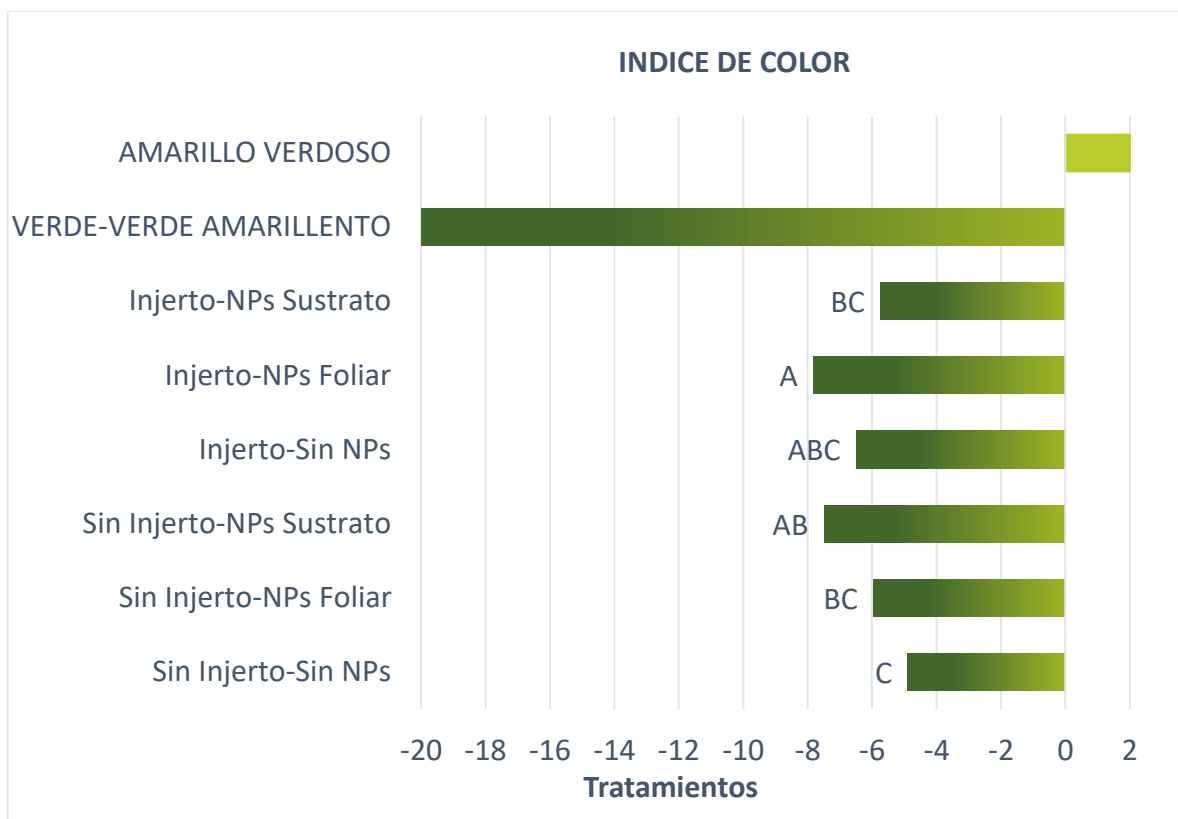
### **Color del fruto**

Para esta variable se observó que no hay efecto positivo en el factor injerto ya que los tratamientos estadísticamente son similares, aunque el color de los frutos en los tratamientos con injerto fue 9.3% superior a los no injertados con un valor de significancia de  $p=0.2452$ . Suarez et. al., 2019. Mencionan que los frutos de sandía injertada demostraron tener un efecto positivo en la colorimetría de pulpa, ya que esta se presentó más rojiza y brillante.

Por otra parte, en el factor de Nanopartículas de Cobre (NPs Cu) se encontró que no hubo un efecto positivo entre los tratamientos Con NPs de Cu ( $p \geq 0.1356$ ) ni entre las interacciones de este factor, se observaron estadísticamente iguales.

En la interacción de los factores se observó diferencia significativa, donde el tratamiento Con injerto - Con NPs de Cu vía foliar fue superior en un 59.7% con respecto al tratamiento Sin injerto - Sin NPs de Cu el cual presentó menor color del fruto, los demás tratamientos fueron estadísticamente similares. Por lo tanto, la diferencia del incremento en color se debe al efecto de la aplicación de NPs de Cu.

**Figura 6.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre el Color del fruto de pepino



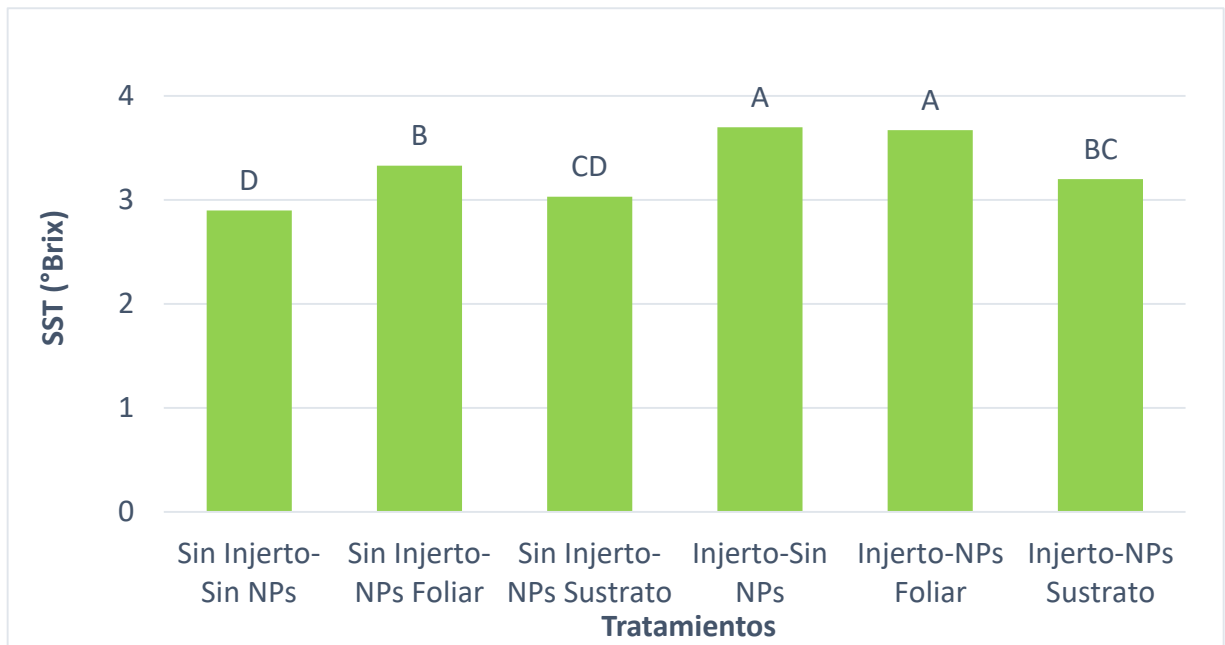
### **Solidos Solubles Totales (°Brix)**

Para esta variable se observó efecto positivo en el factor injerto, donde los °Brix de los tratamientos obtuvieron un incremento de 14% superior a los no injertados con un valor de significancia de ( $p \geq 0.0001$ ). los frutos de pepino pertenecen al tipo no climatéricos los cuales se caracterizan por tener niveles de °Brix bajos, aunque se ha demostrado que con el uso de plantas injertadas y con buena nutrición estos niveles de solidos solubles podrían incrementar (Rodríguez, 2016; Gil, 2016).

Por otra parte, en el factor de Nanoparticulas de Cobre (NPs Cu) se encontró que hubo un efecto positivo entre los tratamientos con NPs Cu vía foliar con un incremento de 6% con respecto a Sin NPs de Cu y un 12.2% con respecto a con aplicación de NPs de Cu al sustrato ( $p \geq 0.0026$ ) estos 2 últimos factores demostraron ser estadísticamente iguales. En el cultivo de pimiento morrón se observó un incremento positivo de solidos solubles totales al aplicar NPs de Cu en una concentración de  $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Nieto, 2019).

En la interacción de los factores se observó incremento entre los tratamientos, donde el tratamiento Con injerto - Sin NPs de Cu fue superior en un 27.6% al tratamiento Sin injerto - Sin NPs de Cu, el tratamiento Con injerto – NPs via foliar fue superior en 10.2% al tratamiento Sin injerto – NPs via foliar, los tratamientos Con injerto - NPs de Cu al sustrato y Sin injerto – NPs de Cu al sustrato demostraron ser estadísticamente iguales. Por lo tanto, esto atribuye que el factor injerto proporciona el aumento de los °Brix.

**Figura 7.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la cantidad de Solidos Solubles Totales (°Brix del fruto de pepino).



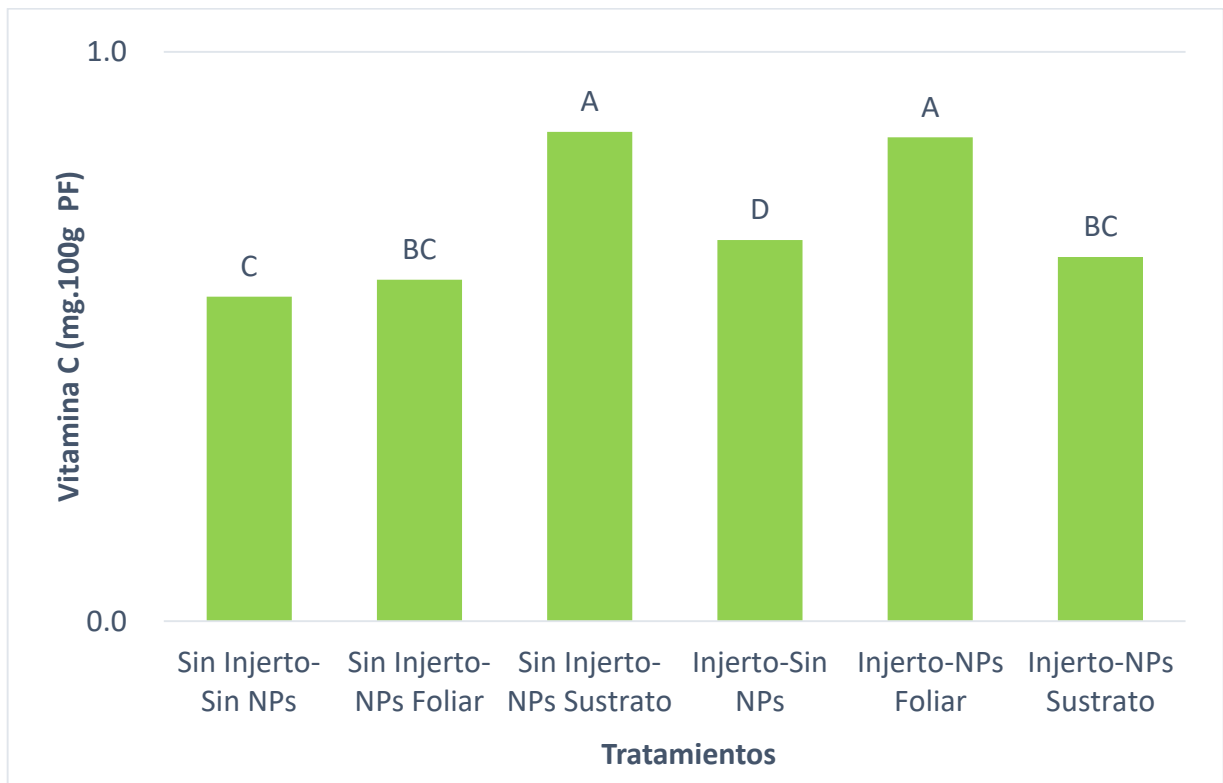
### **Ácido ascórbico (Vitamina C)**

Dentro de la variable Ácido ascórbico no se encontró un efecto positivo en el factor injerto ya que el incremento fue de 5.8% en las plantas injertadas con respecto a las no injertadas el valor de significancia fue de  $p \geq 0.0763$  lo que nos indica que no son significativamente diferentes. El contenido de ácido ascórbico se ve influenciado por cambios edafoclimaticos, entre otros factores como la variedad, fertilización, cosecha y poscosecha, los cuales llegan a afectar la composición química de los productos del campo (Deepa et. al., 2006).

Por otro lado, en las interacciones del factor de NPs de Cu se observó un efecto positivo para la interacción de NPs de Cu al sustrato siendo este superior en 20.9% con respecto a sin NPs de Cu y estadísticamente igual a la interacción de aplicación de NPs vía foliar ( $p \geq 0.0011$ ), se demuestra que en este factor se tuvo respuesta a la interacción de NPs de Cu. de acuerdo a Hernández et. al., (2017), en plantas de tomate se demostró que en los tratamientos donde se aplicaron NPs de Cu se observó un incremento positivo en la cantidad de Ácido Ascórbico de los frutos.

En la interacción de los factores se observó un efecto positivo, donde el tratamiento sin injerto – NPs Cu al sustrato fue superior en un 50.9% con respecto al tratamiento Sin injerto - Sin NPs de Cu, el cual presento menor cantidad de ácido ascórbico. Por otra parte, el tratamiento Con injerto – NPs de Cu vía foliar demostró ser estadísticamente igual al primero. Por lo tanto, la diferencia del incremento de °Brix se debe al efecto de las NPs aplicadas al sustrato como vía foliar.

**Figura 8.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la cantidad de Vitamina C del fruto de pepino.





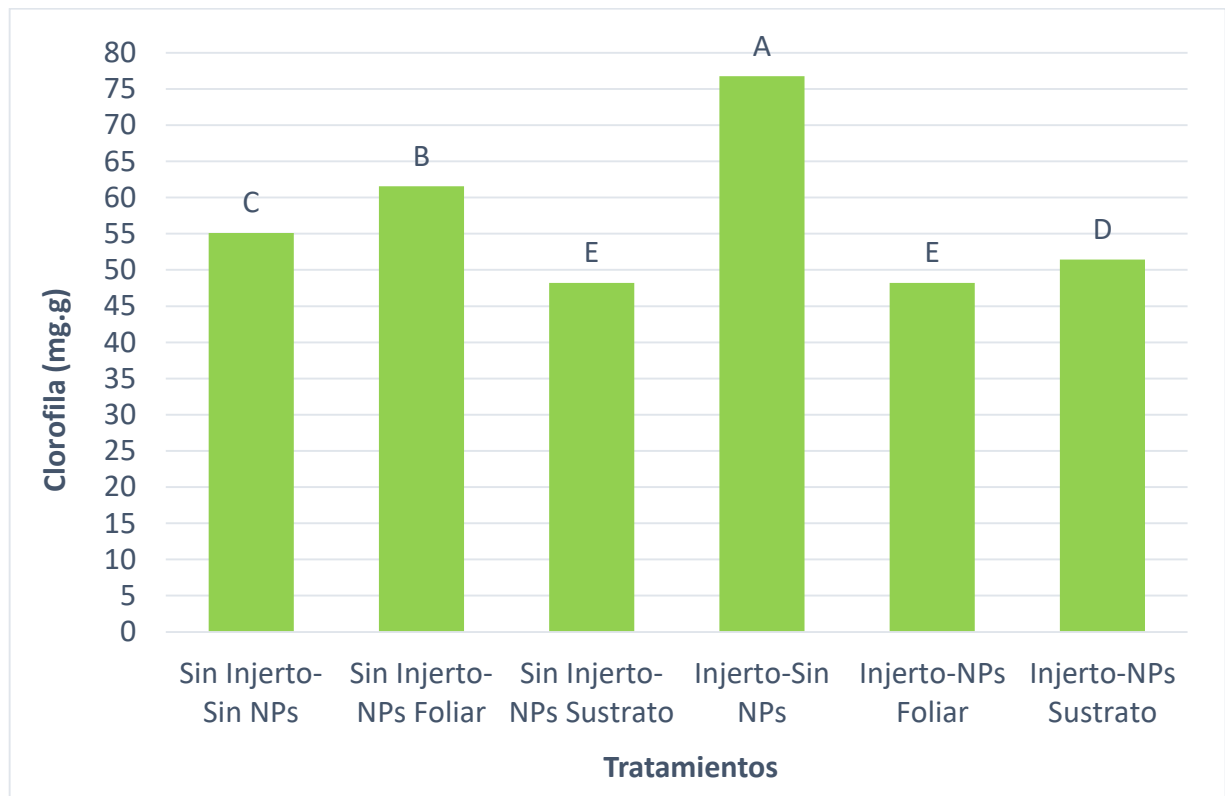
## **Clorofila**

Para la variable Clorofila se encontró un efecto positivo en el factor injerto con un incremento del 7% respecto a las no injertadas ( $p \geq 0.0001$ ) lo que nos indica que la interacción del injerto es positiva. En una investigación realizada por Rodríguez, (2016), se tuvo como resultado en plantas de pepino de la variedad Esparon injertado y manejado con fertilización química la cantidad de clorofila en fruto fue mayor en comparación con los demás tratamientos.

Por otro lado, en las interacciones del factor de NPs de Cu no se observó un efecto positivo para la interacción de NPs de Cu, ya que al no aplicar NPs de Cu se superó el incremento de clorofila en 20.1% a la aplicación de NPs vía foliar y 32.4% a la aplicación de NPs de Cu al sustrato ( $p \geq 0.0001$ ), se demuestra que en este factor no hubo respuesta a la interacción de NPs de Cu. Concuerda con lo descrito por Nair et. al., 2015, Donde en el cultivo de mostaza india se redujo la cantidad de clorofila en plantas tratadas con NPs, además que con el uso de NPs de CuO en altas concentraciones se sufren alteraciones en la membrana de las clorofilas (Nagwa et. al. 2019).

En la interacción de los factores se observó un efecto positivo, donde el tratamiento Con injerto – Sin NPs de Cu fue superior en un 39.3% con respecto al tratamiento Sin injerto – Sin NPs de Cu, el tratamiento Sin injerto – NPs de Cu via foliar 27.7% con respecto a Con injerto – NPs de Cu via foliar, el tratamiento Con injerto – NPs de Cu al sustrato 6.7% respectivamente a Sin injerto – NPs de Cu al sustrato. Por lo tanto, la respuesta al incremento de Clorofila se debe al efecto del injerto sobre las plantas de pepino.

**Figura 9.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la cantidad de Clorofila del fruto de pepino.



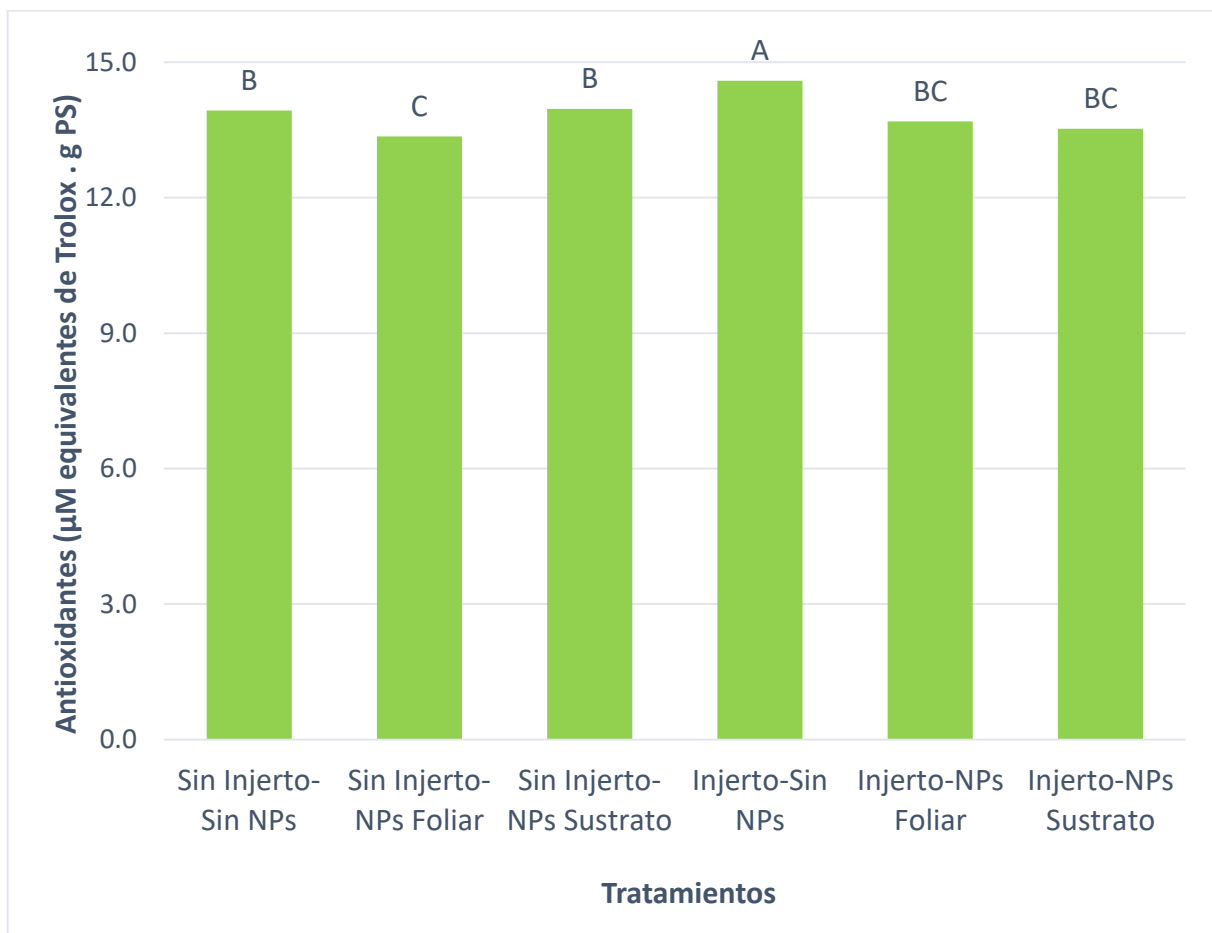
### **Capacidad antioxidante total**

Para esta variable no se obtuvo efecto positivo en el factor injerto, ya que el incremento fue de 1.2% superior a los no injertados con un valor de significancia de  $p \geq 0.1844$ , estadísticamente ambas interacciones demostraron ser similares entre ellas.

Por otra parte, en el factor de Nanopartículas de Cobre (NPs Cu) se encontró que hubo un efecto positivo entre los tratamientos sin NPs Cu con un incremento de 3.7% con respecto a NPs de Cu al sustrato y un 5.4% con respecto a con aplicación de NPs de Cu vía foliar ( $p \geq 0.0014$ ), ambas interacciones donde se aplicó NPs de Cu demostraron ser estadísticamente iguales entre sí. Lo cual no concuerda con Perez, et. al. 2019, donde mencionan que el Cu al ser aplicado como NP favorece a que los mecanismos antioxidantes funcionen de manera más eficiente. Además, en un estudio realizado por Hernández et. al., 2017. Mencionan que en hojas de tomate la CAT aumenta considerablemente cuando las NPs de Cu se aplican recubiertas de hidrogeles de quitosano-PVA.

En la interacción de los factores se observó incremento entre los tratamientos, donde el tratamiento con injerto – Sin NPs de Cu fue superior en un 4.7% con respecto al tratamiento Sin injerto – Sin NPs de Cu, el tratamiento Sin injerto - NPs de Cu al sustrato 3.3% superior al tratamiento Con injerto - NPs de Cu al sustrato y el tratamiento Con injerto - NPs de Cu vía foliar 2.5% respecto a Con injerto - NPs de Cu vía foliar, Por lo tanto, esto atribuye que el factor injerto incrementa capacidad antioxidante total del fruto de pepino.

**Figura 10.** Efecto de la interacción de injerto y NPs de Cu sobre la Capacidad antioxidante total CAoxT del fruto de pepino.



## CONCLUSIONES

- El uso del injerto en plantas de pepino incremento la calidad nutraceutica y organoléptica de los frutos de pepino en las variables evaluadas. Peso del fruto, Longitud del fruto, Solidos solubles totales (°Brix) y Clorofila.
- En lo que respecta a los tratamientos sin injertar se observó que en las variables: Diámetro del fruto, Firmeza, Peso seco del fruto, Color del fruto, Ácido ascórbico (Vitamina C), Capacidad antioxidante total. Se obtuvo un mejor resultado.
- En la aplicación foliar de Nanopartículas de Cobre en plantas de pepino se obtuvo la mejor repuesta en la variable Solidos solubles totales (°Brix), al evaluar los frutos.
- Al evaluar el efecto de la aplicación de nanopartículas de cobre al sustrato, los mejores resultados se encontraron en las variables; Firmeza y Ácido ascórbico (Vitamina C).
- Por otra parte, en las plantas donde no se aplicaron Nanoparticulas de Cobre se observaron los mejores resultados en las variables: Diámetro de fruto, Longitud, Peso seco del fruto, Color del fruto, Clorofila y Capacidad antioxidante total.

## LITERATURA CITADA

**Ambrosini V., Soriani H., Rosa D., Tiecher T., Giroto E., Simao D., Melo G., Zalamena J., Brunetto G., (2016).** Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. Calagem, adubacao e contaminacao em solos cultivados com vireidas.

**Antón M. A., (2004).** Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Projectes D'Enginyeria. España.

**Ashajyothi, C., Prabhurajeshwar, C., Handral, H.K., Kelmani, C.R., (2016).** Investigation of antifungal and anti-mycelium activities using biogenic nanoparticles: an eco-friendly approach. Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.

**Bracco U., Loliger J., Viret J. L., (1981).** Production and use of natural antioxidants, J. Am. Oil chem

**Cardona M. B., (2015).** Efecto del potasio sobre la calidad y el rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L) desarrollado en un sistema hidropónico Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Casaca A. D., (2005).** El cultivo del pepino (*Cucumis sativus*), guías tecnológicas de frutas y vegetales. Guia tecnica.

**Cox E. S., (2001).** Lycopene analysis an horticultural attributes of tomatoes. Thesis the Degree of Master of Science. Colorado State University. Fort Collins, Colorado U.S.A.

**Dasgupta N., Ranjan S., Mundekkaad D., Ramalingam C., Sharker. R., Kumar A., (2015).** Nanotechnology in agro\_food: From field to plate. Food Research International.

**Dawidowicz A.L., Olszowy M., (2012).** Mechanism change in estimating of antioxidant activity of phenolic compounds. *Talanta*

**Deepaa N., Kaura C., Singhb B., Kapoor A. C., (2006).** Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of food composition and Analysis.*

**Destenave J. C., (2007).** La producción de cultivos en invernaderos la mejor alternativa para invertir en México. *El Campo Avanza. Órgano Informativo de la Secretaria de Fomento Agropecuario.*

**Echeverría, P.; Rollón M.; Gálvez R. (2012).** Influencia del injerto en el rendimiento y la calidad de los cultivares de tomate cultivadas en invernadero en el centro de España.

**Fridovich I., (1978).** The biology of oxygen radicals. *Science.*

**Gálvez H. F., (2004).** El cultivo del pepino en invernadero. In: *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*, 2da ed. R J Castellanos (ed). INTAGRI. Celaya, Gto. Mexico.

**Gaytan M. A., Chew M. Y. I., (2014).** Injerto en melón y sandía. Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

**Genet P., Badr A. S., Dunand F. V., Toussaint M. L., Epron D., Badot P. M., (2004).** Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Laboratoire de Biologie et Ecophysiologie, Université de Franche-Comté, Place Leclerc, 25030 Besançon Cedex, France.*

**Gil O. R., (2016).** Conducta estomática, producción y calidad de pepino injertado cultivado en dos sistemas de fertilización. Tesis De Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Gomez P. A., Carmelo A. F. L. (2002).** Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmosferas controladas. *Hort Brasil.* pp. 38-43

**Gonzalez F., Zarzuela E., Lama j., (2011).** Nanotecnología y nanoquímica. Sevilla técnica No. 36

**Grubben, G. J. H. & Denton, O. A., (2004).** Plant resources of Tropical Africa 2 (pg. 253).

**Hartam H. T., Kester D. E., (1984).** Propagación de Plantas. Continental S.A de C.V., México. 915 p

**Haz Villamar, H. F., (2021).** Influencia de la fertilización potásica en el rendimiento del pepino (*Cucumis sativus* L.). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Manabí.

**He, L., Liu, Y., Mustapha, A., Lin, M., (2011).** Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. Microbiol.

**Hernandez F. A., Lopez V. E., Pineda E. J., Campos M. R., Valdez R. J., Juarez M. A., (2017).** Postharvest Behavior of Bioactive Compounds in Tomato Fruits Treated with Cu Nanoparticles and NaCl Stress

**Hernández F. E., Espinosa L. E., (2020).** Análisis de la producción de pepino y pepinillo en México. Diseminación de conocimientos, descubrimientos y reflexiones - Oaxaca 2020. Trabajo de investigación del congreso internacional de investigación académica journals Oaxaca 2020

**Hernández G. Z., Sahagun C. J., Espinosa R. P., Colinas L. M. T., Rodríguez P. J. E., (2014).** Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño del fruto en pepino injertado. Revista de Fitotecnia Mexicana.

**Hernandez H. H., Gonzales M. S., Benavides M. A., Ortega O. H., Cardenas P. G., Juarez M. A., (2017).** Effects of Chitosan–PVA and Cu Nanoparticles on the Growth and Antioxidant Capacity of Tomato under Saline Stress

**Hernández H., Quiterio G., Cadenas P., Ortega O., Hernández F., Cabrera F., Juárez M. (2019).** Impact of Selenium and Copper Nanoparticles on Yield, Antioxidant System, and Fruit Quality of Tomato Plants. Plants,



**Hoyos E., (2012).** El injerto en pepino corto tipo español (cucumis sativus L.). Recomendaciones para su empleo en la zona central española. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

**Huang, W., Wang, C., Duan, H., Bi, Y., Wu, D., Du, J., Yu, H., (2018).** Synergistic antifungal effect of biosynthesized silver nanoparticles combined with fungicides. Int. J. Agric. Biol.

**ITIS, (2023).** Integrated Taxonomic Information System – Report, **Cucumis sativus L.**, Taxonomic serial No. 22364. [www.ITIS.gov](http://www.ITIS.gov)

**Johnson, S., C. Miles, P. Kreider, y J. Roozen. (2011).** Injerto de Verduras: berenjena y tomate. Publicación de la Extension de la Universidad Estatal de Washington

**Keller, A. A., Adeleye, A. S., Conway, J. R., Garner, K. L., Zhao, L., Cherr, G. N., et al. (2017).** Comparative environmental fate and toxicity of copper nanomaterials. NanoImpact.

**Kole C., kole p., randunu K. m., choudhary P., Podila R., Chun k. p., rao A. m., marcus k. r., (2013).** Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytochemistry content in bitter melon (**Momordica charantia**). Department of Genetics and Biochemistry and Institute of Nutraceutical Research, Clemson University, Clemson, SC, USA.

**Król, A., Pomastowski, P., Rafińska, K., Railean-Plugaru, V., Buszewski, B., (2017).** Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. Adv. Colloid Interf.

**Kubota C., McClure N., Kokalis M. y Roskopf E. (2008).** Vegetable grafting: history, use and current technology status in North America.

**Lara F. (2019).** Comportamiento Agronómico de la Berenjena (Solanum melongena L.) Injertada y Cultivada con Nanoparticulas de Óxido de zinc.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Buenavista Saltillo, Coah.

**Lee J. (1994).** Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. HortScience. pg. 235-239.

**Lee J. M., Kubota C., Tsao S.J., Bie Z., Hoyos Echevarría P., Morra L. y Oda M., (2010).** Current status of vegetable grafting: Difusión, grafting techniques, automation. Scientia Horticulturae

**Lee J. M., Oda M., (2003).** Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops, Korea Masayuki Oda Osaka Prefecture University Graduate School of Agriculture and Biological Science Sakai, Osaka, 599-8531, Japan

**Lee S., (2007)** Production of high quality vegetable seedling grafts.

**López C., (2008).** Guía técnica del cultivo de pepino.

**López E. J., Francisco Romo A. F., Domínguez G. J., (2008).** Evaluación de métodos de injerto en sandía (*Citrullus lanatus* (thunb.) Matsum. & Nakai) sobre diferentes patrones de calabaza. IDESIA

**Lopez J., Gorza S., Huez M., Rueda E., Amador. B., (2015).** Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.). En función de la densidad de Plantación en Condiciones de Invernadero.

**Lopez R. R., Echeverri F., (2007).** ¿Son seguros y efectivos los antioxidantes? Scientia Et Tehnica. pp. 41-44

**Lopez V. j., (2019).** Efecto de Nanopartículas de Cobre Sobre el Cultivo de Tomate Bola (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo Condiciones de Invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coah.

**López Z. C. M., (2003).** GUIA TECNICA: Cultivo del pepino. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

**Madrigal A. A., (2006).** Diseño de un manual de buenas prácticas agrícolas para ser utilizado en la producción de pepino en un invernadero de alta tecnología en Zarcero, Alajuela. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería agropecuaria administrativa, Cartago, 2006. pg 10.

**Malepszys, (1988).** Cucumber (*Cucumis sativus* L.). Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 6 cots II. (ed. By Y.P.S. Bajaj). Springer-verlag. Berlin Heidelberg.

**Marković Z., Amić D., Milenković D., Dimitrić-Marković J.M., Marković S., (2013).** 2 Examination of the chemical behavior of the quercetin radical cation towards some bases. 3 Physical Chemistry Chemical Physics 15

**Maroto J. V., (2002).** Horticultura Herbacea Especial. 5° edición. Mundi-Prensa España. Pp 533-562.

**Mascorro A. G., Chew Y. I., Reta D. G., Espinoza J. J., Juarez I. R., (2013).** Uso de injertos en hortalizas. 25° semana internacional de agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Venecia, Durango, México. pp. 37-49

**Mayor R., (2010).** Oxidative stress and antioxidant defense system. Rev. Ints Med Trop,

**McKee, M. S., and Filser, J. (2016).** Impacts of metal-based engineered nanomaterials on soil communities. Environ.

**Miles C., (2014).** Horticultura en vegetales, dept. de horticultura, centro investigativo y de Extensión en el área del noroeste, Universidad estatal de Washington, Mount Vernon.

**Monje P. J. K., Chacon P. K., Cruz C. J. A., Loria C. M., (2021).** Guía Ilustrativa de Tipos de Pepino (*Cucumis sativus*). Producción de Hortalizas Ante el Calentamiento Global.

**Muller D. S., Li S., (2002).** Use of aeroponic chambers and grafting to study partial resistance to *Fusarium solani* f. sp. *Glycines* in soybean. Plant Disease

**Nagwa I. A., Reda E. A. H., (2019).** Copper ferrite nanoparticles as nutritive supplement for cucumber plants grown under hydroponic system.

**Nair, P. M. G., Chung M., (2015).** Study on the correlation between copper oxide nanoparticles induced growth suppression and enhanced lignification in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*.

**Nieto L. U., (2019).** Aplicación de Nanopartículas de Selenio, Silicio y Cobre en el Crecimiento y Desarrollo del Cultivo de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L). Tesis De Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Núñez J. E., Quiala E., Feria M., Mestanza S., Gómez R., Cuadrado F., Leiva M., (2017).** Establecimiento de un banco clonal de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz mediante selección de árboles plus e injerto. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Riobamba. Chimborazo, Ecuador.

**Oda M. (1993).** Present state of vegetable production using grafted plants in Japan. *Agr. Hort.*

**Oda M. (2002).** Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agr. and Biol. Sci.* Osaka Pref. Univ.

**Ortega O. H., Jiménez R. E., Ávila O., Sierra Á. R., Cadenas P. G., Betancourt G. R., Pérez A. M., Barriga C. E., Palacios M. I. M., (2013).** Proceso de Síntesis de Nanopartículas Metálicas Mediante el Uso de Moléculas Bifuncionales; Expediente:

**Ortiz D., Moran J., (2010).** Estudio comparativo de dos distancias de siembra de pepino (*Cucumis sativus* L.). alzado en huertos orgaoponicos. *Revista Científica Agraria*.

**Perez L. F., Lopez V. E.,Ortega O. H., Benavides M. A., Juarez M. A., (2019).** Responses of Tomato Plants under Saline Stress to Foliar Application of Copper Nanoparticles

**Pina A., (2007).** Compatibilidad de injerto en frutales. Unidad de Fruticultura. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. pg. 22

**Porras P. (2005).** Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos. In: fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Cevipapa, Bogotá. pg.99

**Pradhan, S., Patra, P., Mitra, S., Dey, K. K., Basu, S., Chandra, S., Goswami, A. (2015).** Copper nanoparticle (CuNP) nanochain arrays with a reduced toxicity response: a biophysical and biochemical outlook on vigna radiata. J. Agric. Food Chem.

**Prasad R., Kumar V., Prasad K., (2014).** Nanotechnology in sustainable agricultura: Precent concerns and future aspects. African Journal of Biotechnology. pp. 705-713

**Rai M., Ingle A., (2012).** Role of nanotechnology in agricultura with special reference to management of insect pest. Applied Microbiology and Biotechnology pp. 287-293.

**Ríos M. M., (2003).** El estrés oxidativo y el destino celular. Revista científica QuimicaViva

**Rivero, M. R., Ruiz J. M., Romero L., (2003).** Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. Food Agric.

**Rodríguez B. Y., (2016).** Calidad Comercial y Producción de Frutos de Pepino Injertado y Cultivado en dos modalidades de Fertilización. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Ruiz J. M., Belakbir A., López-Cantarero I., Romero. L. (1997).** Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype.

**Schware D., Roupael Y., Colla G., Venema J., (2010).** Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses. Themal stress, wather stress and organic pollutans.

**Serrano, C., (1979).** Cultivo de Hortalizas en Invernaderos. 1ra edición. Editorial AEDOS S.A., Barcelona, España.

**Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, (2018).** Pepino. Atlas Agroalimentario 2012-2018. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Pg. 124-125

**Sharma D., Shadma A., Nand K. S., (2021).** Nanopriming with phytosynthesized zinc oxide nanoparticles for promoting germination and starch metabolism in rice sedes.

**Simonin, M., and Richaume, A. (2015).** Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities: a review. Environ. Sci. Pollut. Res. 2015,

**Simonin, M., Cantarel, A. A. M., Crouzet, A., Gervais, J., Martins, J. M. F., & Richaume, A. (2018).** Negative Effects of Copper Oxide Nanoparticles on Carbon and Nitrogen Cycle Microbial Activities in Contrasting Agricultural Soils and in Presence of Plants. *Frontiers in Microbiology*, 9.

**Somasundaran P., Fang X., Ponnurangam S., Li B., (2010),.** Nanoparticles: Characteristics; Mechanisms and Modulation of Biototoxicity. KONA Powder and Particle.

**Steiner A. A. (1968).** Soilless culture. Proceedings of the 6th colloquium of the International Potash Institute. pp. 324-341

**Steward, (2001).** Fertilizantes y el ambiente. Artículo de consulta

**Suárez H. A. M., Vázquez A. J. C., Duran C. C., Grimaldo J. O., González M. D., Bazante G. I., Mendoza G. A., (2019).** Producción y calidad de sandía injertada en suelo salino, El injerto en sandía.

**Sun, Q., Li, J., Le, T., (2018).** Zinc oxide nanoparticle as a novel class of antifungal agents: current advances and future perspectives. *J. Agric. Food Chem.*

**Tang Y., He R., Zhao J., Nie G., Xu L., Xing B., (2016).** “Oxidative Stress-Induced Toxicity of CuO Nanoparticles and Related Toxicogenomic Responses in *Arabidopsis thaliana*.” Environmental Pollution

**Veladez L. A., (1998).** Producción de hortalizas, Editorial Limusa. México, D.F.

**Vignoni L. A., Cesari, Ricardo M, Forte, Marcela, Mirabile, Mónica L., (2006).** Determinación De Índice De Color En Ajo Picado. Ficha tecnológica

**Zamora E., (2017).** EL CULTIVO DE PEPINO TIPO SLICER - AMERICANO (*Cucumis sativus L.*) BAJO CUBIERTAS PLÁSTICAS. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. México. Revisión bibliográfica

**Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N.A., Munné-Bosch, S. (2019).** Nanofertilizer use for sustainable agriculture: advantages and limitations.

## ANEXOS

Efecto De Dos Formas De Aplicación De Nanopartículas De Cobre Sobre La Calidad Organoléptica Y Nutraceútica Del Fruto De Pepino Injertado.

**Tabla 1.** Análisis de varianza para la variable peso del fruto, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28662.97	5	5732.59	6.49	0.0006
INJERTO	19981.59	1	19981.59	22.61	0.0001
NPs Cu	8226.61	2	4113.30	4.65	0.0196
INJERTO*NPs Cu	454.78	2	227.39	0.26	0.7752
Error	21209.27	24	883.72		
Total	49872.25	29			

**Tabla 2.** Diferencia mínima significativa para la variable peso del fruto al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=22.40345**

Error: 883.7196 gl: 24

INJERTO	Medias	n	E.E.	
INJERTO	333.02	15	7.68	A
SIN INJERTO	281.41	15	7.68	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 3.** Diferencia mínima significativa para la variable peso del fruto al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=27.43851

Error: 883.7196 gl: 24

NPs Cu	Medias	n	E.E.	
SIN NPs	330.48	10	9.40	A
FOLIAR	297.93	10	9.40	B
SUSTRATO	293.24	10	9.40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 4.** Diferencia mínima significativa para la variable peso del fruto al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=38.80392**

Error: 883.7196 gl: 24

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.	
T4 CON INJERTO SIN NPs		351.47	5	13.29	A
T5 CON INJERTO FOLIAR		323.82	5	13.29	A B
T6 CON INJERTO SUSTRATO		323.77	5	13.29	A B
T1 SIN INJERTO SIN NPs		309.48	5	13.29	B C
T2 SIN INJERTO FOLIAR		272.04	5	13.29	C D
T3 SIN INJERTO SUSTRATO		262.70	5	13.29	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



**Tabla 5.** Análisis de varianza para la variable diámetro por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62.06	5	12.41	2.11	0.0993
INJERTO	14.42	1	14.42	2.45	0.1307
NPs Cu	40.84	2	20.42	3.47	0.0475
INJERTO*NPs Cu	6.79	2	3.40	0.58	0.5692
Error	141.32	24	5.89		
Total	203.38	29			

**Tabla 6.** Diferencia mínima significativa para la variable diámetro al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.82875**

Error: 5.8883 gl: 24

INJERTO	Medias	n	E.E.
CON INJERTO	50.47	15	0.63 A
SIN INJERTO	49.08	15	0.63 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 7.** Diferencia mínima significativa para la variable diámetro al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.23975**

Error: 5.8883 gl: 24

NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN NPs	51.40	10	0.77 A
SUSTRATO	49.20	10	0.77 A B
FOLIAR	48.72	10	0.77 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 8.** Diferencia mínima significativa para la variable diámetro al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.16748**

Error: 5.8883 gl: 24

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.
CON INJERTO SIN NPs		52.16	5	1.09 A
SIN INJERTO SIN NPs		50.64	5	1.09 A B
CON INJERTO FOLIAR		49.96	5	1.09 A B
CON INJERTO SUSTRATO		49.28	5	1.09 A B
SIN INJERTO SUSTRATO		49.12	5	1.09 A B
SIN INJERTO FOLIAR		47.48	5	1.09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 9.** Análisis de varianza para la variable longitud, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.74	5	2.95	4.26	0.0065
INJERTO	14.01	1	14.01	20.25	0.0001
NPs Cu	0.22	2	0.11	0.16	0.8559
INJERTO*NPs Cu	0.52	2	0.26	0.37	0.6923
Error	16.60	24	0.69		
Total	31.34	29			

**Tabla 10.** Diferencia mínima significativa para la variable longitud al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.62677**

Error: 0.6917 gl: 24

INJERTO	Medias	n	E.E.	
CON INJERTO	20.90	15	0.21	A
SIN INJERTO	19.53	15	0.21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 11-** Diferencia mínima significativa para la variable longitud al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.76763**

Error: 0.6917 gl: 24

NPs Cu	Medias	n	E.E.	
SIN NPS	20.30	10	0.26	A
FOLIAR	20.25	10	0.26	A
SUSTRATO	20.10	10	0.26	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 12.** Diferencia mínima significativa para la variable longitud al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.08559**

Error: 0.6917 gl: 24

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.	
CON INJERTO FOLIAR		21.00	5	0.37	A
CON INJERTO SUSTRATO		20.90	5	0.37	A
CON INJERTO SIN NPs		20.80	5	0.37	A B
SIN INJERTO SIN NPs		19.80	5	0.37	B C
SIN INJERTO FOLIAR		19.50	5	0.37	C
SIN INJERTO SUSTRATO		19.30	5	0.37	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 13.** Análisis de varianza para la variable firmeza, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.52	5	0.50	5.12	0.0096
INJERTO	0.07	1	0.07	0.68	0.4245
NPs Cu	2.40	2	1.20	12.21	0.0013
INJERTO*NPs Cu	0.05	2	0.02	0.24	0.7881
Error	1.18	12	0.10		
Total	3.70	17			

**Tabla 14.** Diferencia mínima significativa para la variable firmeza al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.32208**

Error: 0.0983 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.
CON INJERTO	8.13	9	0.10 A
SIN INJERTO	8.01	9	0.10 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 15.** Diferencia mínima significativa para la variable firmeza al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.39447**

Error: 0.0983 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.
SUSTRATO	8.42	6	0.13 A
FOLIAR	8.23	6	0.13 A
SIN NPs	7.57	6	0.13 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**tabla 16.** Diferencia mínima significativa para la variable firmeza al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.55786**

Error: 0.0983 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.
CON INJERTO SUSTRATO		8.43	3	0.18 A
SIN INJERTO SUSTRATO		8.40	3	0.18 A
CON INJERTO FOLIAR		8.37	3	0.18 A
SIN INJERTO FOLIAR		8.10	3	0.18 A B
CON INJERTO SIN NPs		7.60	3	0.18 B C
SIN INJERTO SIN NPs		7.53	3	0.18 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 17.** Análisis de varianza para la variable peso seco, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.79	5	1.56	8.65	0.0011
INJERTO	0.81	1	0.81	4.52	0.0549
NPs Cu	6.87	2	3.43	19.06	0.0002
INJERTO*NPs Cu	0.11	2	0.06	0.31	0.7401
Error	2.16	12	0.18		
Total	9.96	17			

**Tabla 18.** Diferencia mínima significativa para la variable peso seco al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.43596**

Error: 0.1802 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.
SIN INJERTO	4.14	9	0.14 A
CON INJERTO	3.72	9	0.14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 19.** Diferencia mínima significativa para la variable peso seco al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.53394**

Error: 0.1802 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN NPs	4.57	6	0.17 A
SUSTRATO	4.13	6	0.17 A
FOLIAR	3.09	6	0.17 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 20.** Diferencia mínima significativa para la variable peso seco al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.75511**

Error: 0.1802 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN INJERTO	SIN NPs	4.87	3	0.25 A
CON INJERTO	SIN NPs	4.26	3	0.25 A B
SIN INJERTO	SUSTRATO	4.24	3	0.25 A B
CON INJERTO	SUSTRATO	4.02	3	0.25 B C
SIN INJERTO	FOLIAR	3.32	3	0.25 C D
CON INJERTO	FOLIAR	2.87	3	0.25 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 21.** Análisis de varianza para la variable color, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18.16	5	3.63	3.70	0.0295
INJERTO	1.47	1	1.47	1.49	0.2452
NPs Cu	4.66	2	2.33	2.37	0.1356
INJERTO*NPs Cu	12.03	2	6.02	6.12	0.0147
Error	11.80	12	0.98		
Total	29.96	17			

**Tabla 22.** Diferencia mínima significativa para la variable color al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.01833**

Error: 0.9830 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.
SIN INJERTO	-6.11	9	0.33 A
CON INJERTO	-6.68	9	0.33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 23.** Diferencia mínima significativa para la variable color al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.24719**

Error: 0.9830 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN NPs	-5.69	6	0.40 A
SUSTRATO	-6.61	6	0.40 A
FOLIAR	-6.88	6	0.40 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 24.-** Diferencia mínima significativa para la variable color al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.76380**

Error: 0.9830 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN INJERTO SIN NPs		-4.89	3	0.57 A
CON INJERTO SUSTRATO		-5.74	3	0.57 A B
SIN INJERTO FOLIAR		-5.95	3	0.57 A B
CON INJERTO SIN NPs		-6.49	3	0.57 A B C
SIN INJERTO SUSTRATO		-7.48	3	0.57 B C
CON INJERTO FOLIAR		-7.81	3	0.57 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 25.** Análisis de varianza para la variable solidos solubles totales (°Brix), por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.61	5	0.32	14.86	0.0001
INJERTO	0.85	1	0.85	39.00	<0.0001
NPs Cu	0.44	2	0.22	10.18	0.0026
INJERTO*NPs Cu	0.32	2	0.16	7.46	0.0078
Error	0.26	12	0.02		
Total	1.87	17			

**Tabla 26.** Diferencia mínima significativa para la variable solidos solubles totales al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.15119**

Error: 0.0217 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.	
CON INJERTO	3.52	9	0.05	A
SIN INJERTO	3.09	9	0.05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 27.** Diferencia mínima significativa para la variable solidos solubles totales al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.18516**

Error: 0.0217 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.	
FOLIAR	3.50	6	0.06	A
SIN NPs	3.30	6	0.06	B
SUSTRATO	3.12	6	0.06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 28.** Diferencia mínima significativa para la variable solidos solubles totales al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.26186**

Error: 0.0217 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.	
CON INJERTO SIN NPs		3.70	3	0.08	A
CON INJERTO FOLIAR		3.67	3	0.08	A
SIN INJERTO FOLIAR		3.33	3	0.08	B
CON INJERTO SUSTRATO		3.20	3	0.08	B C
SIN INJERTO SUSTRATO		3.03	3	0.08	C D
SIN INJERTO SIN NPs		2.90	3	0.08	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 29.** Análisis de varianza para la variable ácido ascórbico, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.24	5	0.05	21.22	<0.0001
INJERTO	0.01	1	0.01	3.76	0.0763
NPs Cu	0.06	2	0.03	12.67	0.0011
INJERTO*NPs Cu	0.18	2	0.09	38.49	<0.0001
Error	0.03	12	2.3E-03		
Total	0.27	17			

**Tabla 30.** Diferencia mínima significativa para la variable ácido ascórbico al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.04917**

Error: 0.0023 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.
CON INJERTO	0.72	9	0.02 A
SIN INJERTO	0.68	9	0.02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 31.** Diferencia mínima significativa para la variable ácido ascórbico al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.06022**

Error: 0.0023 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.
SUSTRATO	0.75	6	0.02 A
FOLIAR	0.73	6	0.02 A
SIN NPs	0.62	6	0.02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 32.** Diferencia mínima significativa para la variable ácido ascórbico al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.08517**

Error: 0.0023 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN INJERTO SUSTRATO		0.86	3	0.03 A
CON INJERTO FOLIAR		0.85	3	0.03 A
CON INJERTO SIN NPs		0.67	3	0.03 B
CON INJERTO SUSTRATO		0.64	3	0.03 B C
SIN INJERTO FOLIAR		0.60	3	0.03 B C
SIN INJERTO SIN NPs		0.57	3	0.03 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 33.** Análisis de varianza para la variable clorofila, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1804.18	5	360.84	174.79	<0.0001
INJERTO	66.36	1	66.36	32.14	0.0001
NPs Cu	816.15	2	408.07	197.67	<0.0001
INJERTO*NPs Cu	921.68	2	460.84	223.23	<0.0001
Error	24.77	12	2.06		
Total	1828.96	17			

**Tabla 34.** Diferencia mínima significativa para la variable clorofila al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.47574**

Error: 2.0644 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.	
CON INJERTO	58.79	9	0.48	A
SIN INJERTO	54.95	9	0.48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 35.** Diferencia mínima significativa para la variable clorofila al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.80740**

Error: 2.0644 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.	
SIN NPs	65.94	6	0.59	A
FOLIAR	54.88	6	0.59	B
SUSTRATO	49.81	6	0.59	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 36.** Diferencia mínima significativa para la variable clorofila al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.55605**

Error: 2.0644 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.	
CON INJERTO	SIN NPs	76.77	3	0.83	A
SIN INJERTO	FOLIAR	61.57	3	0.83	B
SIN INJERTO	SIN NPs	55.10	3	0.83	C
CON INJERTO	SUSTRATO	51.42	3	0.83	D
SIN INJERTO	SUSTRATO	48.19	3	0.83	E
CON INJERTO	FOLIAR	48.19	3	0.83	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



**Tabla 37.** Análisis de varianza para la variable capacidad antioxidante total, por efecto de los factores injerto y NPs de Cu y su interacción.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.81	5	0.56	7.91	0.0017
INJERTO	0.14	1	0.14	1.98	0.1844
NPs Cu	1.70	2	0.85	12.00	0.0014
INJERTO*NPs Cu	0.96	2	0.48	6.78	0.0107
Error	0.85	12	0.07		
Total	3.66	17			

**Tabla 38.** Diferencia mínima significativa para la variable capacidad antioxidante total al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: injerto y sin injerto.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.27365**

Error: 0.0710 gl: 12

INJERTO	Medias	n	E.E.
CON INJERTO	13.93	9	0.09 A
SIN INJERTO	13.76	9	0.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 39.** Diferencia mínima significativa para la variable capacidad antioxidante total al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para las interacciones: sin NPS, NPs al sustrato y NPs via foliar.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.33515**

Error: 0.0710 gl: 12

NPs Cu	Medias	n	E.E.
SIN NPs	14.26	6	0.11 A
SUSTRATO	13.75	6	0.11 B
FOLIAR	13.53	6	0.11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Tabla 40-** Diferencia mínima significativa para la variable capacidad antioxidante total al 95% de significancia (LSD  $P \leq 0.05$ ) para interacciones de los tratamientos.

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.47398**

Error: 0.0710 gl: 12

INJERTO	NPs Cu	Medias	n	E.E.
CON INJERTO	SIN NPs	14.59	3	0.15 A
SIN INJERTO	SUSTRATO	13.97	3	0.15 B
SIN INJERTO	SIN NPs	13.93	3	0.15 B
CON INJERTO	FOLIAR	13.69	3	0.15 B C
CON INJERTO	SUSTRATO	13.53	3	0.15 B C
SIN INJERTO	FOLIAR	13.36	3	0.15 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )