

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción, Morfología y Fisiología del Pepino Injertado (*Cucumis sativus* L.) Cultivado con Nanopartículas de Plata

Por:

**ANA MARÍA CORTÉS ADÁN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción, Morfología y Fisiología del Pepino Injertado (*Cucumis sativus* L.) Cultivado con Nanopartículas de Plata

Por:

**ANA MARÍA CORTÉS ADÁN**

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 Interno

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Hortensia Ortega Ortiz  
Asesor Principal Externo

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Eduardo Alfonso Treviño López  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

**Dios:** doy gracias a Dios por la vida que me ha dado llena de bendición, bondad y fiel amor, gracias por darme sabiduría e inteligencia. Gracias por permitirme concluir un ciclo importante en mi vida, agradezco por todo lo que he recibido y todo lo que aún está por llegar...

### **A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro:**

Doy gracias a mi “alma terra mater” por brindarme conocimientos, las facilidades de lograr este proyecto de vida y por permitirme realizar uno de mis sueños más grandes que siempre anhele llegar desde hace cuatros años y medio. Gracias me forme por lo que soy ahora una profesionista y darme la oportunidad de conocer algunos lugar que nunca pensé conocerlos...

### **Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente**

Le agradezco por permitirme ser una de sus tesoras, por brindarme su apoyo, por ser paciente, su motivación y por la oportunidad de realizar este proyecto, gracias por ser esos maestro que motivan a sus alumnos por culminar sus estudios en tiempo y forma.

### **Ing. Eduardo Treviño**

Gracias por su apoyo incondicional, por dedicarme tiempo, por ser paciente y motivarme en todo momento para poder lograr realizar este sueño.

### **M.C. Roció Peralta**

Gracias por su apoyo en algún momento la requerí, por su motivación y comprensión.

### **A todos los profesores que me impartieron clases:**

Dr. Leobardo, Ing. Inocente, Dra. Fabiola, TLQ. Maria Guadalupe Pérez Ovalle, Ing. Martina De la Cruz Casillas, Dr. Armando, Dra. Rosalinda, M.C. Fidel Cabezas.

**A mis compañeros de generación Horticultura CXXIV:**

Deniss, Rubni, Silvia, Cesar, Yeira, Joel, Janine, Iván, Gaby, Soberon, Isaac, Nacho, Memo, Edith, Rosalba, Magda, Mejí, José Luis, Danielwero, libni, quever, Ricardo, José, Camarillo, Santos, Ana Guadalupe, Miguel, Lorenzo, Duarte.

El éxito en la vida no se mide por lo que logra, sino por los obstáculos que superas.

**Al internado Femenil Hidalgo:**

Gracias por brindarme apoyo durante esta etapa de mi vida y agradezco a mis compañeras del cuarto número ocho: Paty, Irám, China y Vela.

**A mis amigos:**

Le agradezco por brindarme su amistad y apoyo en todo momento, a lo largo de mi desarrollo profesional y por todos los momentos que hemos pasado juntos: Bety, Ely, Deniss-china, Juan Carlos Balderas, Chava Ramírez, Humberto, Dany-wero, Eduardo (†), Bianca, Nayeli Ramírez, Roxana, Diana, Dany Olaya, Roció Romero. En especial a Juan Carlos Jiménez por su apoyo incondicional.

Una gran amistad tiene dos ingredientes principales:

- El descubrimiento de lo que nos hace similares.
- El respeto por lo nos hace diferentes.

*Pide a Dios que bendiga tus  
planes y ellos serán un "éxito".*

*(Proverbios 16:3)*

## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres:**

A mis padres les doy gracias por haberme dado vida, les agradezco por su amor y cariño, de ser pacientes conmigo, gracias por darme siempre su apoyo incondicional en todo momento, gracias por estar siempre presentes en la buenas y en las malas sin importar las dificultades que pasáramos ustedes siempre estuvieron ahí para apoyarme, ustedes son el ejemplo a seguir ya que nunca se dejan rendir sino hasta lograr lo que uno quiere.

### **A mi madre: Maria Florencia Adan Atilano**

A ti madre querida, hermosa, le agradezco por sus regaños, consejos por su amor y cariño, todavía recuerdo aquel día que partí de casa por lograr un sueño, esas lagrimas que rodaban por tus mejillas, pero gracias a ti por tu apoyo incondicional estoy aquí logrando un sueño que hace en algún tiempo jamás pensé lograr. Gracias madre por todo y estar pendiente de mí, con amor y cariño tu hija mayor.

### **A mi padre: Santiago Pablo Cortes Alva**

A ti padre te agradezco por tu amor y cariño, tu apoyo incondicional, le agradezco por sus consejos y regaños, por confiar en mí, en mostrarte que pude lograr un sueño que hace cuatro años y medio te prometí lograr, tu padre querido eres el pilar de casa tu eres mi ejemplo a seguir sin importar los obstáculos que pases en el camino siempre con la frente en alto. Gracias padre por todo tu apoyo, con amor y cariño tu hija mayor.

### **A mis hermanas:**

Ustedes hermanas mías, siempre las veré como mis bebés consentidas, como haces cuatro años y medio las deje en casa unas

pequeñas y ahora verlas ya convirtiéndose en todas unas señoritas, a ustedes les dedico este logro para que sean mi ejemplo a seguir y en un futuro verlas unas profesionistas, con amor y cariño su hermana mayor.

**Mari Mar Cortes Adan**

**Luz Arely Cortes Adan**

**Marlen Cortes Adan**

**A mis abuel@s:**

Con ustedes comparto este logro tan especial en mi vida ya que ustedes siempre están al pendiente de mí y siempre están en la espera que cada vacación que llegue a casa para ir a verlos. Dios bendiga sus vidas.... Con amor y cariño su nieta.

**Maria Librada Alva**

**Maria Reyna Atilano**

**Modesto Cortes**

**Nieves Adan Rosales**

**A mis ti@s:**

Gracias por sus consejos, por siempre estar al pendiente de mí y por verme lograr un objetivo más en mi vida. En especial a ti **Isaías Adan Atilano** siempre fuiste mi ejemplo a seguir, por estar al pendiente de mí, te agradezco por tus consejos y regaños como un hermano mayor que Dios no me permitió tener. Gracias por motivarme siempre y nunca dejarse vencido sin importar las batallas que pases. Gracias mi Ing. Isaías.

*Así como Dios dijo: Nunca se apartará de tu boca este libro de la ley, sino que de día y de noche meditarás en él, para que guardes y hagas conforme a todo lo que en él está escrito; porque entonces harás prosperar tu camino, y todo te saldrá bien.*

*Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas.*

*(Josué 1: 8-9)*

## INDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS (APÉNDICE).....</b>	<b>IX</b>
<b>I.- Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>2</b>
1.1. Objetivo General.....	4
1.2. Objetivo Especifico.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
<b>II.- REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 origen del cultivo .....	5
2.2 Clasificación taxonómica del pepino.....	7
2.3 Morfología.....	7
2.3.1 Sistema radical.....	7
2.3.2 Tallo.....	7
2.3.3 Hojas.....	8
2.3.4 Flores.....	8
2.3.5 Fruto.....	8
2.4 Micromorfología.....	9
2.5 Fisiología.....	9
2.6 Requerimientos edafológicos.....	9
2.6.1 Temperatura.....	10
2.6.2 Humedad.....	10
2.6.3 Luminosidad.....	10
2.7 El Injerto en Hortalizas.....	10

2.7.1 Tipos de Injerto en Hortalizas.....	10
2.7.2 El injerto en la producción de Hortalizas.....	11
2.7.3 Efectos del Injerto.....	11
2.8 Nanotecnología.....	12
2.8.1 Usos de la Nanotecnología en la Agricultura.....	12
2.8.2 La Nanotecnología en los Cultivos Agrícolas.....	13
2.9 Nanofertilizantes, usos y funciones.....	14
2.10 Efectos NPs AG.....	15
2.10.1 Usos de nanopartículas de plata.....	15
2.10.2 Propiedades de nanopartículas de plata.....	16
2.11 Metabolismo de la Planta.....	16
2.12 Conductancia Estomática.....	17
2.13 Función e Importancia de los Estomas.....	18
2.14 Índice y Densidad Estomática.....	19
2.15 Eficiencia fotosintética en relación a la estoma.....	20
<b>III.- MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 Localización del experimento.....	22
3.2 Material vegetal.....	22
3.3 Establecimiento del cultivo.....	22
3.4 Fertilización.....	23
3.5 Manejo del cultivo.....	24
3.6 Variables evaluadas.....	24
3.7 Índice estomático del haz y envés.....	25
3.8 Densidad estomática del haz y envés.....	25
3.9 Índice y densidad estomática de la epidermis del fruto.....	26
3.10 Conductancia estomática.....	26
3.11 Sólidos Solubles Totales.....	27
3.12 Firmeza del fruto.....	27

3.13 Número de frutos.....	27
3.14 Longitud del fruto .....	27
3.15 Peso del fruto.....	27
3.16 Diseño Experimental.....	28
<b>IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>29</b>
4.1 Peso del Fruto.....	29
4.2 Longitud del fruto.....	30
4.3 Firmeza del fruto.....	30
4.4 SST.....	31
4.5 Índice estomático de la epidermis del fruto.....	32
4.6 Densidad estomática en el haz.....	33
4.7 Índice estomático del envés.....	34
4.8 Conductancia Estomática.....	35
V.- CONCLUSION.....	37
VI.- BIBLIOGRAFIA.....	38
VII. APENDICES.....	46

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Plántulas injertadas listas para someterlas a la cámara de prendimiento.....	23
<b>Figura 2.</b> Peso del fruto del cultivo de pepino con aplicación de con y sin injerto y nanopartículas de plata bajo invernadero.....	29
<b>Figura 3.</b> Longitud del fruto del cultivo de pepino con aplicación de con y sin injerto y nanopartículas de plata bajo invernadero.....	30
<b>Figura 4.-</b> La firmeza del fruto del cultivo de pepino en cuanto a la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.....	31
<b>Figura 5.-</b> Los Solidos Solubles Totales en el cultivo de pepino en cuanto a la aplicación de nanopartículas e injerto.....	31
<b>Figura 6.-</b> El índice estomático de la epidermis del fruto en el cultivo de pepino obtenido mediante el injerto y la aplicación de nanopartículas de plata.....	32
<b>Figura 7.-</b> Densidad estomática del haz en el cultivo de pepino aplicando nanopartículas de plata e injerto.....	33
<b>Figura 8.-</b> índice estomático del envés del cultivo de pepino con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.....	34

**Figura 9.-** Conductancia estomática en el cultivo de pepino aplicando nanopartículas de plata e injerto..... 35

## **INDICE DE TABLAS**

**Tabla 1.** Análisis de varianza para la variable de peso del fruto con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto..... 46

**Tabla 2.** Comparación de medias para el peso de fruto para la aplicación de NPs Ag e injerto..... 46

**Tabla 3.** Análisis de varianza para la variable de longitud de fruto con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto..... 46

**Tabla 4.** Comparación de medias para la longitud de fruto para la aplicación de NPs Ag e injerto..... 47

**Tabla 5.** Análisis de varianza para la variable de firmeza con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto..... 47

**Tabla 6.** Comparación de medias para la firmeza con aplicación de NPs Ag e injerto..... 47

**Tabla 7.** Análisis de varianza para la variable de solidos solubles totales con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto..... 48

**Tabla 8.** Comparación de medias para solidos solubles totales con aplicación de NPs Ag e injerto..... 48

<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza para la variable de índice estomático de la epidermis del fruto con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.....	48
<b>Tabla 10.</b> Comparación de medias para índice estomático de la epidermis del fruto con aplicación de NPs Ag e injerto.....	49
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza para la variable de densidad estomática en el haz con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.....	49
<b>Tabla 12.</b> Comparación de medias para densidad estomática en el haz con aplicación de NPs Ag e injerto.....	49
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza para la variable de índice estomático en el envés con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.....	50
<b>Tabla 14.</b> Comparación de medias para índice estomático del envés con aplicación de NPs Ag e injerto.....	50
<b>Tabla 15.</b> Análisis de varianza para la variable de conductancia estomática con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.....	50
<b>Tabla 16.</b> Comparación de medias de conductancia estomática con aplicación de NPs Ag e injerto.....	51



## RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una cucurbitácea que se cultiva mundialmente con varios propósitos: para consumo en fresco, industria del encurtido, e industria cosmética, principalmente. El pepino es una hortaliza de alto impacto económico por ser un producto de exportación. El pepino una vez recolectado en madurez comercial, empieza a experimentar rápidamente cambios metabólicos tendientes a la senescencia. Como objetivo es determinar la micromorfología y fisiología de las plantas de pepino cultivado con nanopartículas de plata e injerto. El injerto podría influir en gran medida en el comportamiento de las plantas; sin embargo, en relación a esto se dispone de muy poca información que describa los ajustes morfológicos y fisiológicos que realiza una planta después de ser injertada. En cuanto a esta investigación realizada en el pepino injertado (*Cucumis sativus* L.) cultivado con nanopartículas de plata se encontraron las siguientes interacciones, en cuanto a la aplicación de injerto tuvo un efectivo positivo en todas las variables como en peso de fruto, longitud de fruto, firmeza, sólidos solubles totales, índice estomático del epidermis del fruto y densidad estomática del haz, y las NPs Ag afecta de manera positiva solamente en la longitud de fruto, densidad estomática del haz y el índice estomático del epidermis de fruto, por lo tanto el injerto influye en la fisiología de la planta para generar mejores rendimientos.

**Palabras claves:** injerto, pepino, nanopartículas, micromorfología, estomas.

## I. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una cucurbitácea que se cultiva mundialmente con varios propósitos: para consumo en fresco, industria del encurtido, e industria cosmética, principalmente. En 2012 se cosecharon 2,1 millones de hectáreas en las que se obtuvo una producción de 65,1 millones de toneladas de frutos (FAO, 2014). En ese mismo año, en México se cosecharon 15.307 ha y se produjeron 640.508 t, correspondiendo al Estado de Sinaloa una participación mayoritaria, con 25,1% de la superficie cosechada y 44,2% de la producción obtenida (SIAP, 2014).

El pepino es una hortaliza de alto impacto económico por ser un producto de exportación que se cultiva y consume en muchas regiones del mundo. Hay variedades de alto rendimiento y prácticas de manejo que permiten optimizar su producción bajo invernadero (Vasco, 2003; Gálvez, 2004).

En México, es un cultivo importante por el consumo, producción y su valor nutrimental (Waris *et al.*, 2014), que contribuye en la generación de divisas y empleo. Los Estados de Sinaloa, Baja California, Michoacán y Morelos son los principales productores de esta hortaliza (SIAP, 2009).

El pepino una vez recolectado en madurez comercial, empieza a experimentar rápidamente cambios metabólicos tendientes a la senescencia y muerte de los tejidos (Moreno *et al.*, 2013).

La buena calidad de los frutos de pepino está principalmente representada en la uniformidad de la forma, firmeza, color verde oscuro del exocarpo, tamaño y ausencia de defectos de crecimiento o manejo, así como de pudriciones y amarillamientos (Suslov y Cantwell, 2012).

Para incrementar la producción y calidad de hortalizas en México, se deben utilizar las tecnologías modernas disponibles. Entre éstas se encuentran el injerto y la agricultura protegida (invernaderos). Los cultivos en invernadero de tecnología media ofrecen al horticultor la ventaja de controlar con precisión el agua y fertilizantes aplicados a las plantas de acuerdo con su estado fenológico. También se puede controlar temperatura, ventilación, humedad, luminosidad, disponibilidad de CO<sub>2</sub>, e incidencia de insectos plaga y de enfermedades, entre otras ventajas (Jones, 2008).

El injerto restringe la entrada de agroquímicos contra patógenos transmitidos por el suelo y es, por lo tanto, considerada una técnica de cultivo amigable con el medio ambiente, que es altamente recomendable para cultivos integrados (Rivard y Louws 2008). Sin embargo, el impacto del injerto sobre las cucurbitáceas incluye no sólo una resistencia más fuerte contra patógenos, pero también una tolerancia a condiciones de estrés abiótico tales como salinidad, metal pesado, estrés de nutrientes, estrés térmico, estrés hídrico, los contaminantes orgánicos y la alcalinidad (Colla *et al.*, 2010a, 2011; Rouphael *et al.* 2008, Savvas *et al.* 2009, 2010; Schwarz *et al.*, 2010).

Durante los dos últimos Décadas, se ha realizado una cantidad significativa de investigación en nanotecnología Centrándose en sus aplicaciones en electrónica, energía, medicina, ciencias de la vida, Ciencias de las plantas (Mnyusiwalla *et al.*, 2003, Nair *et al.*, 2010). En el campo de la agricultura, Nanotecnología se ha utilizado para mejorar los sistemas alimentarios y agrícolas Diferentes enfoques, incluido el aumento de la producción agrícola, los nuevos productos alimenticios y la conservación de los alimentos (Chen 2002). Con el transcurso del tiempo, las experiencias en el campo de la nanotecnología facilitaron el desarrollo de Cultivos modificados, productos químicos para proteger

las plantas de tensiones bióticas, y mejora de las técnicas de cultivo de precisión.

En cuanto a la anterior investigación realizada, el presente trabajo se buscó el estudio de las nanopartículas de plata sobre la calidad nutraceutica en el fruto de pepino obtenida mediante en injerto

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la micromorfología y fisiología de las plantas de pepino cultivado con nanopartículas de plata.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cuantificación del índice estomático en hojas y fruto al momento de la cosecha.
- Determinación de la densidad estomática de las hojas de pepino.
- Determinación en rendimiento y calidad comercial del cultivo de pepino.

### **1.3 HIPÓTESIS**

La micromorfología y fisiología del cultivo de pepino se comporta de manera heterogénea con la adición de nanopartículas de plata.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Origen del cultivo

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas cucurbitáceas más conocidas. Se cultiva en casi todo el mundo principalmente para consumo de sus frutos no climatéricos en estado inmaduro. En 100 g de parte comestible, los pepinos poseen alto contenido de agua (96,7%) y pocas calorías (9); además contienen vitamina A (20 UI), vitamina B1 (0,02 mg), vitamina B2 (0,02 mg), vitamina B3 (0,1 mg), vitamina C (8 mg), y minerales como calcio (7 mg), potasio (147 mg), hierro (0,3 mg), fósforo (30 mg) y magnesio (13 mg) (Caicedo, 1993; Tsuchida *et al.*, 2010; Kazemi, 2013).

El cultivo de pepino ha ido en aumento en las últimas décadas dado que es un producto que es consumido en muchas regiones del mundo. Se desarrolla en el periodo primavera-verano cuando la demanda evaporativa es alta, por lo que una de las exigencias básicas para la producción de pepino es la disponibilidad de agua en cantidades adecuadas (FAO, 2006).

Durante la postcosecha, las frutas y hortalizas presentan diversas variaciones en su calidad, tales cambios se presentan en la textura, sabor y color, como el reblandecimiento, debido particularmente por la pérdida de turgencia, la degradación del almidón y las modificaciones químicas en la pared celular (Chen *et al.*, 2011).

El estado nutricional es un factor importante para la calidad en el momento de la cosecha, así como en la vida postcosecha de frutas y

hortalizas (Crisosto y Mitchell, 2007). El equilibrio entre uno o más nutrientes afecta al crecimiento y estado fisiológico del fruto pudiendo originar desordenes fisiológicos, tanto por deficiencia como por una dosis excesiva (Soares Gomes *et al.*, 2005).

Entre otras, la actividad productiva del pepino es, sin duda, de las más importantes. Es una hortaliza de alto potencial económico por ser un producto de exportación que se cultiva y consume en muchas regiones del mundo. El sistema de producción de pepino en invernadero normalmente se practica en el norte de Europa y América y México lo ha importado (Ortiz *et tal.*, 2009).

Una vez cosechados los frutos en madurez comercial, comienzan a experimentar cambios a nivel morfológico y fisiológico, especialmente en el metabolismo, lo que influye en la apariencia y calidad integral del producto que llega al consumidor final (Gruda, 2005; Moreno *et al.*, 2013).

Según con Horticultura efectiva (2012), el pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta originaria de las regiones tropicales del sur de Asia y se ha cultivado en la India desde hace aproximadamente 3000 años. Con los posteriores movimientos humanos el pepino fue extendiéndose poco a poco por el mundo.

#### Producción Mundial

La producción mundial ha aumentado un 61.57 por ciento en los últimos diez años, pasando de 46.4 a 74.97 millones de toneladas. China produce el 75.83 por ciento del total mundial con 56.85 millones de kilos, seguida por Rusia con 1.82, Irán con 1.8, Turquía con 1.78 y Ucrania con 0.94 millones de toneladas. España es el séptimo productor mundial con 0.776 millones de toneladas. (FAO, 2014).

#### Usos del pepino

La especie se encuentra dentro de las hortalizas de mayor importancia dado su consumo per cápita como hortaliza de mesa (FAO, 2012). Se utiliza para consumo en fresco, para obtención de aceite de las semillas y actualmente, para su uso en productos de belleza como jabones y cremas corporales gracias a su riqueza en agua, vitamina E y aceites naturales, constituye uno de los mejores remedios para el cuidado externo de la piel (SIAP, 2012).

## **2.2 Clasificación taxonómica del pepino**

Según Caraballo *et al.* (1991), el pepino presenta la siguiente clasificación taxonómica.

Nombre científico: (*Cucumis sativus* L.)

División: Macrophylophyta

Subdivisión: Magdiophyta

Clase: Paenopsida

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Géneros: *Cucumis*

Especie: *sativus*

## **2.3 Morfología**

### **2.3.1 Sistema radical**

La raíz principal del pepino puede llegar hasta 1.10 m. de profundidad y medir hasta 65 cm. lateralmente, donde la mayor parte de la raíz se puede encontrar entre los 25 y 30 cm. de profundidad. Esta hortaliza posee un sistema radicular muy compactado, con lo cual aumenta los requerimientos hídricos en comparación con las demás cucurbitáceas (Veladez, 1998).

### **2.3.2 Tallo**

El tallo es anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo; en la axila de cada hoja emite un brote lateral y una o varias flores (Bolaños, 1998).

### **2.3.3 Hojas**

Las hojas son alternas, simples y acorazonadas, pero opuestas a los zarcillos, de color verde oscuro y cubierto con un bello fino, poseen de 3 a 5 lóbulos angulados y triangulares con una epidermis con cutícula que evita la pérdida de agua excesivamente (López, 2003).

### **2.3.4 Flores**

Las flores emergen de las axilas de las hojas y estas se caracterizan por tener un pedúnculo corto, cuenta con una corola que consta de 5 pétalos amarillos. El cáliz está formado por sépalos de color verde. En los inicios las plantas eran monoicas, masculinas o femeninas de polinización cruzada. Posteriormente se obtuvieron plantas con flores masculinas y femeninas que requerían polinización por insectos. En la actualidad hay híbridos comerciales de pepino que se usan intensivamente bajo cubiertas de plástico (invernadero) son del tipo ginóicos, es decir, plantas que solo producen flores femeninas (de ovario ínfero, fruto pequeño de pepino) y formados por partenocarpia. Si ocurre la polinización por insectos en este tipo de plantas, los frutos serán deformes que ya no son comerciales (Rodríguez, 1986).

### **2.3.5 Fruto**

El fruto de esta hortaliza largo, cilíndrico y carnoso, su tamaño depende mucho de la variedad o tipo de fruto (americano o europeo). EL pericarpio duro, de color verde oscuro o amarillo cuando ya está muy maduro. La pulpa que posee es de color blanquecino con un sabor refrescante. Tiene semillas repartidas en lo largo del fruto, estas son muy definidas en los frutos originarios por polinización y ausentes en los

frutos que son partenocárpicos. (Mármol, 2011). Las semillas por lo general son de forma ovoide, planas y blancas, estas varían de acuerdo a la variedad en cantidad y también en forma (Madrigal, 2006).

## **2.4 Micromorfología**

Yassin (2015 y Liu *et al.* 2016), mencionaron que el injerto podría influir en gran medida en el comportamiento de las plantas; sin embargo, en relación a esto se dispone de muy poca información que describa los ajustes morfológicos y fisiológicos que realiza una planta después de ser injertada.

## **2.5 Fisiología**

Otra respuesta fisiológica de las plantas a la salinidad se da disminuyendo la conductancia estomática; de esta forma se reduce la transpiración evitando la sequía fisiológica para mantener la turgencia de las células. La reducción de la conductancia estomática implica el cierre de los estomas y se relaciona, entre otros factores (luz, humedad, CO<sub>2</sub>, temperatura y corrientes de aire), con la disminución del potencial de agua foliar, incluso por encima de la luz intensa. El cierre de las estomas reduce el ingreso de CO<sub>2</sub> inhibiendo la fotosíntesis, dando como resultado la reducción en la síntesis de fotosintatos. En general, la consecuencia es la disminución en la producción de biomasa, como raíces, hojas, tallos y semillas, relacionados con el área foliar y la longitud de plantas (Bernstein, 1961; Porta *et al.*, 1994).

## **2.6 Requerimientos edafológicos**

Estos requerimientos son los pertenecientes o relativos al clima y suelo que serán aptos para el establecimiento y desarrollo de *cucumis sativus* L. El manejo racional de estos factores climáticos de forma

conjunta son fundamentales para el desarrollo del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de cada uno de ellos, incide sobre el resto para el desarrollo adecuado del cultivo (comisión veracruzana de comercialización agropecuaria, 2010).

### **2.6.1 Temperatura**

Durante el día las temperaturas oscilan 20°C y 30°C apenas tienen incidencia en la producción, la precocidad es mayor si la temperatura es mayor hasta 25°C. Se van a observar desequilibrio en las plantas los cuales dañan los procesos de fotosíntesis y respiración, cuando la temperatura está por arriba de 30°C y las temperaturas iguales o menos de 17°C provocan malformación en hojas y frutos (Madrigal, 2006).

### **2.6.2 Humedad**

La humedad relativa requerida para el desarrollo adecuado del pepino en condiciones de invernadero debe ser durante el día del 60 al 70% y durante la noche del 70 al 90% (Gálvez, 2004).

### **2.6.3 Luminosidad**

Datos presentados por (Bojaca & Monsalve, 2012) evidencian que el pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

## **2.7 El Injerto en Hortalizas**

El uso del injerto representa una técnica alternativa en la producción de algunas hortalizas (Maršić y Jakše, 2010) que poco a poco ha ido sobresaliendo en la agricultura, utilizada comúnmente en solanáceas cucurbitáceas principalmente, disminuyendo problemas por estrés de tipo biótico y abiótico (Schwarz, 2010).

### **2.7.1 Tipos de Injerto en Hortalizas**

El injerto de púa en hendidura se utiliza principalmente en frutales (Cruz, 1990), por lo que no se tiene gran información sobre este tipo de injerto para incrementar la producción en hortalizas, esto va de la mano con los beneficios que brinda el uso racional de la fertilización contra condiciones de estrés hídrico o salino (Schwarz, *et al*, 2010).

### **2.7.2 El injerto en la producción de Hortalizas**

Para incrementar la producción y calidad de hortalizas en México, se deben utilizar las tecnologías modernas disponibles, entre éstas se encuentran el injerto y la agricultura protegida (Jones, 2008).

### **2.7.3 Efectos del Injerto**

El impacto del injerto en cucurbitáceas incluye no sólo una mayor resistencia contra patógenos, pero también una mayor tolerancia a condiciones de estrés abiótico tales como salinidad, Metales pesados, estrés de nutrientes, estrés térmico, estrés hídrico, los contaminantes orgánicos y la alcalinidad (Colla *et al.*, 2011).

Características de plantas injertadas vs no injertadas, diferencias

El objetivo principal de cultivar plantas injertadas es controlar enfermedades provocadas por microorganismos del suelo, tales como *Fusarium* sp., *Verticillium* sp. y *Pyrenochaeta* sp., con el uso de patrones tolerantes. Con esta técnica, se aprovecha la tolerancia del sistema radical del patrón, su eficiencia para absorber agua y nutrientes, y las características productivas favorables de una variedad susceptible (Blancard *et al.*, 1991; Messiaen *et al.*, 1995).

La resistencia de las plantas injertadas está condicionada tanto por el patrón como por la variedad (Muller y Li, 2002); y aunque el vigor de la planta injertada suele ser intermedio entre el del patrón y la variedad, la influencia del patrón es mayor

Este incremento en el vigor, que generalmente proporciona el patrón sobre la variedad, permite utilizar un menor número de plantas por unidad de superficie (Miguel, 1997).

## **2.8 Nanotecnología**

Los materiales que son menores de 100 nm, al menos una dimensión, se denominan Nanomateriales. Por lo tanto, las nanopartículas pueden ser de dimensión cero (todas las dimensiones son a nanoescala), unidimensional (fino en forma de barra), bidimensional (películas ultradelgadas) o tridimensionales (de cualquier forma) basados en su manipulación de la materia (Bernhardt *et al.* 2010; Tiwari *et al.* 2012). Por lo tanto, la nanotecnología es el estudio de Nanopartículas, que están disponibles en un rango de 1-100 nm, al menos en una dimensión (Love *et al.*, 2005).

En un intervalo de tiempo relativamente corto, la nanotecnología ha tenido un impacto significativo en numerosos sectores incluyendo la agroindustria. La NT, considerada como una tecnología emergente, se orienta a la caracterización, elaboración y aplicación de materiales de dimensiones muy pequeñas, en el rango de 1 a 100 nanómetros (nm), o sea de 1 a 100 billonésimas de metro (Yadollahi, *et al.*, 2009), por lo que se ubica dentro de la escala atómica y molecular. La NT es un extenso campo de la investigación interdisciplinaria, ya que con ella se abre un amplio abanico de oportunidades en diversas áreas como la medicina, la industria farmacéutica, la electrónica y la agricultura sustentable (Prasad, *et al.*, 2014).

### **2.8.1 Usos de la Nanotecnología en la Agricultura**

Actualmente los científicos agrícolas se enfrentan a una amplia gama de desafíos como el estancamiento en el rendimientos de los cultivos, la baja eficiencia en el uso de nutrientes, la disminución de la materia

orgánica del suelo, las deficiencias de múltiples nutrientes, el cambio climático, la disminución de la superficie agrícola, la baja disponibilidad de agua para riego y la escasez de mano de obra; además del éxodo de personas desde las áreas agrícolas a las ciudades (Dubey y Mailapalli, 2016).

En el campo de la agricultura y la medicina, se encontró que el uso de nanopartículas ser eficaces para combatir las tensiones bióticas, para aumentar la eficacia de los productos agroquímicos. Incluidos los plaguicidas, y gestionar las malas hierbas de una manera mejor y respetuosa con el medio ambiente. Para el control de varios patógenos bacterianos y fúngicos, los NPs de plata (Ag NPs) fueron donde se encontró que era muy eficaz (Nair *et al.*, 2010).

En la agricultura, la investigación sobre sistemas de suministro inteligentes informó sobre el suministro de plaguicidas encapsulados en NM para la protección contra rayos UV (Li *et al.*, 2007).

Los diversos usos potenciales de la NT en la agricultura han creado un gran interés, ya que ofrecen la posibilidad de mejorar la producción agrícola mediante diversas estrategias que pueden incrementar la producción de alimentos utilizando menores insumos de energía y reduciendo los costos de producción y los desperdicios de agroquímicos (Servin y White, 2016). Las aplicaciones de la NT en la agricultura son muy diversas, destacando principalmente la elaboración de nanopesticidas encapsulados para su liberación controlada (Grillo, *et al.*, 2016), para la producción de nano, macro y micronutrientes, así como para hacer más eficiente el uso y aplicaciones de los agroquímicos (Nuruzzaman, *et al.*, 2016).

### **2.8.2 La Nanotecnología en los Cultivos Agrícolas**

La nanotecnología se considera una "plataforma tecnológica" sobre la cual se puede transformar drásticamente el actual estado del arte de casi todos los sectores industriales, incluyendo alimentación, agricultura, medicina, electrónica, informática, materiales y manufacturas, entre otras (Ribeiro, 2006).

La bioencapsulación de agroquímicos y microorganismos benéficos ha adquirido una gran relevancia porque es una manera de controlar plagas y enfermedades con bajo impacto ambiental, lo cual permite reducir la cantidad de agroquímicos que dañen los ecosistemas (Grillo, *et al.*, 2016). Es por eso que las inversiones en agricultura y alimentación nanotecnológica van en aumento, debido a que sus beneficios potenciales se enfocan a mejorar la calidad e inocuidad de los insumos agrícolas al ser utilizados en menor volumen y promoviendo mejoras en la nutrición (Razzaq, *et al.*, 2016).

Los efectos positivos de los NTC en el crecimiento y desarrollo de las plantas han sido descritos por varios grupos de investigación, habiendo reportado que incrementaron el crecimiento de las raíces en plantas de cebolla y pepino (Cañas, *et al.*, 2008).

Algunos autores mencionan que el efecto promotor o inhibidor del crecimiento de las NPs en las plantas está relacionado con su concentración, tamaño y las propiedades inherentes del elemento involucrado, así como la función fisiológica y bioquímica que desempeña en la planta, y si actúa como micronutriente tratándose de cobre, zinc, etc. (Wang, *et al.*, 2015).

## **2.9 Nanofertilizantes, usos y funciones**

El uso de nanofertilizantes conduce a una mayor eficiencia de los elementos, reduce la toxicidad del suelo, al menos alcanza los efectos negativos causados por el consumo excesivo de fertilizantes y reduce la

frecuencia de aplicación de fertilizantes (Naderi y Danesh-Shahraki, 2013).

Nanofertilizantes, es la sustitución tradicional de fertilizantes, es una forma de liberar nutrientes en el suelo de forma gradual, impidiendo así la autorregulación y la contaminación de los recursos hídricos (Moaveni y Kheiri 2011, Naderi y Abedi 2011).

Las estrategias modernas utilizadas para el manejo del agua, el uso de pesticidas químicos convencionales y el potencial de los nanomateriales en la agricultura sustentable, con un enfoque moderno en las nuevas fronteras de la agricultura no tradicional (Ali, *et al.*, 2014; Singh, *et al.*, 2015).

(Ghormade *et al.*, 2011, Wilson *et al.*, 2008) han mostrado aplicaciones potenciales de NMs en la agricultura para reducir el uso de fertilizantes ayudando en la liberación controlada y lenta de fertilizantes. El sistema de entrega inteligente de NMs ha llevado al avance de la tecnología agrícola debido a propiedades únicas tales como control de tiempo, objetivos específicos y características multifuncionales que evitan barreras biológicas para una focalización efectiva (Nair *et al.*, 2010). Además, la aplicación de NMs reduce el uso de fertilizantes y aumenta los rendimientos de la agricultura a través de un manejo optimizado de nutrientes (Srilatha, 2011; Sharon *et al.*, 2010; Bhattacharyya *et al.*, 2010; Pérez-de-Luque y Rubiales, 2009; García *et al.*, 2010; Rashidi y Khosravi-Darani, 2011).

## **2.10 Efectos NPs AG**

Desde la antigüedad la plata ha sido utilizada en medicamentos por sus efectos antibacterianos (Juan *et al.*, 2014). El efecto de las nanopartículas de plata se basa en el hecho de que el aumento de la relación área/volumen del metal de tamaño nanométrico, también incrementa la capacidad de anclaje y el efecto oligodinámico que tiene sobre las agentes microbianos, que permite que la plata sea potente.

### **2.10.1 Usos de nanopartículas de plata**

En años recientes, el desarrollo y uso de las nanopartículas de plata ha aumentado considerablemente debido a las inusuales propiedades ópticas, químicas, electrónicas, fotoelectroquímicas, magnéticas, catalíticas y antibacterianas que presentan. (Miri, *et. al.*, 2015). Por lo tanto, las nanopartículas de plata han atraído el interés de la investigación en nanociencia y nanotecnología, debido a sus aplicaciones ventajosas en: biomedicina, administración de fármacos, industria de alimentos, agricultura, industrias textiles, tratamiento de aguas, catálisis, antibacteriales y anti fúngicas. Recientemente, la síntesis biológica o verde de nanopartículas recibió una enorme atención sobre la síntesis física y química, ya que es un método limpio, no tóxico y respetuoso del medio ambiente, que incluye un diseño y desarrollo que utiliza materiales de alta eficiencia energética renovables, medios de reacción benignos y no peligrosos.

### **2.10.2 Propiedades de nanopartículas de plata**

Cuando la plata se encuentra en tamaños nanométricos las propiedades bactericidas aumentan considerablemente y además emergen nuevas e interesantes propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas y químicas. Estas propiedades hacen que las nanopartículas de plata tengan un alto potencial de aplicación en diversas áreas tecnológicas (Arroyo cuyumbaba, 2014).

## **2.11 Metabolismo de la Planta**

La producción de hortalizas con plantas injertadas, debido al uso intensivo y continuo del suelo en estos países la técnica del injerto es una herramienta importante y sostenible para la obtención de vegetales (Maršić y Osvald, 2004).

Dentro de los cultivos hortícolas existen muchos grupos de compuestos con interés nutracéutico, como pueden ser polifenoles, carotenoides,

glucosinolatos, vitaminas, folatos, fitoesteroles, y otros (Cámara, 2006; Rajarathnam *et al.*, 2014). Además, dentro de cada uno estos grupos existen diferencias importantes en la actividad de los compuestos individuales (Ignat *et al.*, 2011; Fernández-García *et al.*, 2012).

El pepino dulce es una fruta que destaca por su alto contenido en agua (>92 %) y con un bajo contenido calórico (250 kcal/kg) (Rodríguez Burruezo *et al.*, 2011). Otras características importantes son su alto contenido en potasio y vitamina C, así como en carotenoides que le otorgan ese color amarillo (Hsu *et al.*, 2011; Di Scala *et al.*, 2011).

El pimiento es una de las principales hortalizas de consumo en fresco, las razones por las que este cultivo es tan importante son por su alto nivel antioxidante y nutraceutico que aporta al ser humano, además de ser rico en minerales y vitaminas (Cachote, 2014).

El desarrollo más reciente ha consistido en la obtención de variedades cuyos frutos tienen un tiempo de conservación más largo (Thomas, 1995; 1996). Muchas variedades de tomate son de color rojo debido al carotenoide que le da su color: el licopeno. El tomate es un alimento poco energético que aporta apenas  $0.2 \text{ kcal g}^{-1}$ . Es una fuente interesante de fibra, minerales como el potasio y el fosforo, y de vitaminas, entre las que destacan la provitamina A y vitaminas del grupo B, en especial B1, B3 y la presencia de carotenos en el tomate convierten a este en una importante fuente de antioxidantes, sustancia con función protectora de nuestro organismo.

## **2.12 Conductancia Estomática**

La fotosíntesis es el proceso con el impacto fisiológico más significativo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo el pepino como uno de los cultivos hortícolas más importantes. Estas medidas incluyen la transpiración, conductancia estomática (conductancia estomática se define como la transpiración estomática dividido por la

diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire, y aumenta al aumentar la abertura de los estomas), el estado de agua de la hoja, y la eficiencia del uso del agua / eficiencia transpiración (la relación de asimilación fotosintética a la transpiración). (Rouphael *et al.*, 2012; Bi *et al.*, 2013; Alvarez-Flórez *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2013; Hernández y Kubota 2014).

Se requerirán estudios en curso sobre las posibilidades de aumentar la productividad de la planta en condiciones de vida normales, considerando que las plantas se adaptan a la acción de factores más allá del óptimo límite y la obtención de productos hortícolas de calidad. En condiciones de cultivo protegidas, una condición fisiológicamente importante es la conductancia estomática (Li *et al.*, 2012), un indicador que influye tanto en la asimilación de dióxido de carbono y la intensidad de transpiración (la eficiencia de uso de agua).

En las plantas superiores varias funciones fisiológicas importantes involucran intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja. El intercambio de gases generalmente se lleva a cabo a través de los estomas en la epidermis. Los estomas son responsables de la toma de CO<sub>2</sub> y de la pérdida de agua durante la transpiración bajo las cambiantes condiciones ambientales, por ello, la información acerca de la morfología, densidad y frecuencia de los estomas es importante para el mejor entendimiento del intercambio de gases.

### **2.13 Función e Importancia de los Estomas**

Los estomas consisten en poros microscópicos, cada uno flanqueado por un par de células guarda, dichas células pueden aumentar o disminuir el tamaño del poro a través de los cambios en su estado de turgencia, por lo tanto, regulan ambos procesos, el CO<sub>2</sub> en la hoja y la transpiración, o la pérdida de agua. La transpiración y la intensidad de la respiración está en razón directa al número y abertura de los estomas y como las hojas son los principales órganos de las plantas donde se

realiza la fotosíntesis, la cantidad y distribución de los estomas influyen directamente sobre la asimilación clorofílica (Ruiz *et al.*, 1962). Rubino *et al.* (1989) y Thakur (1990) señalan que la disminución de la cantidad de estomas por  $\text{mm}^2$  incrementa la resistencia estomática de la planta y de esta manera evita un exceso de transpiración; sin embargo, tanto la DE como el IE son tan variables que están fuertemente influenciadas por diversas condiciones estresantes como condiciones de sequía y altas concentraciones salinas además el material vegetal que se trate (Salas *et al.*, 2001; Bethke y Drew, 1992; Rubino *et al.*, 1989).

Los estomas son importantes en la fisiología de las plantas, debido a que son responsables del intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja y con ello evitan la excesiva pérdida de agua (Weeb y Baker, 2002; Fan *et al.*, 2004). Estos también desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la homeostasis de la planta, de ahí la importancia de conocer el número, forma y factores que controlan su apertura o cierre (Sánchez y Aguirreola, 1996).

## **2.14 Índice y Densidad Estomática**

La cantidad de estomas en la superficie adaxial (haz) en comparación con la abaxial (envés) es característica distintiva de diferentes especies. Las plantas con estomas en el haz son llamadas epiestomáticas, las que tienen en el envés son hipoestomáticas y aquellas con estomas en el haz y envés son anfiestomáticas (Gates, 1980; Larkin *et al.*, 1996; Serna *et al.*, 2002; Azcon-Bieto y Talón, 2008). Las anfiestomáticas es común encontrarlas en ambientes áridos, y hojas con estomas solo en el envés es más común encontrarlas en plantas de hábitats mesofíticos (Parkhurst, 1978), por otro lado es común encontrar hojas con estomas solo en la superficie adaxial en plantas acuáticas como el lirio de agua (Lawson, 2009).

El número de estomas en las diferentes especies vegetales es variable, Esau (1977) establece un rango de 100 a 300 estomas/mm<sup>2</sup> en angiospermas (Schoch *et al.*, 1980), (Cañizares *et al.*, 2003).

### **2.15 Eficiencia fotosintética en relación a la estoma**

La relación de la tasa de crecimiento total de la planta sobre la tasa de crecimiento potencial total, es usada como una medida del nivel de asimilados disponible para crecimiento. La tasa de crecimiento potencial de un fruto de pepino depende de la temperatura y el estado de desarrollo del fruto (Gijzen, 1992).

En las especies, la susceptibilidad a la fotoinhibición de la fotosíntesis varía ampliamente con la adaptación genética, el estado fisiológico y la historia de vida de las plantas y depende, además de la luz, de otras condiciones ambientales, en particular las temperaturas, la sequía o la deficiencia de CO<sub>2</sub> (Aro *et al.* 1993). Una fotoinhibición crónica, en que la eficiencia fotosintética en la planta no se recupera, provoca una disminución a largo plazo de la fotosíntesis y el crecimiento, lo que podría estar generalmente relacionado a otro estrés ambiental, por sequía o temperaturas, siendo en este caso posible que ocurra incluso a intensidades de luz moderadas (Long *et al.* 1994). En plantas bajo sequía, la reducción en la fotosíntesis resulta de una baja disponibilidad de CO<sub>2</sub> debido al cierre estomático, e incapacidad de disipar la radiación solar como calor latente, con lo que, consecuentemente, la temperatura foliar se incrementa. El estrés hídrico predispone a las hojas a sufrir fotoinhibición, debido a que en potenciales hídricos bajos, la fotosíntesis puede ser alterada por efectos no-estomáticos, principalmente por reducción en la actividad de los FSII y las reacciones de transferencia de electrones (Cornic 1994). Por lo tanto, una reducción intracelular de CO<sub>2</sub> y una disfunción bioquímica del cloroplasto, podrían reducir la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y la eficiencia cuántica del transporte de electrones fotosintéticos (Baker 1993). En

esto, la reducción en la conductancia estomática, frecuente en árboles esclerófilos durante el período más caluroso del día -incluso en ausencia de un significativo déficit hídrico- da como resultado una disminución de la fotosíntesis neta (Tenhunen *et al.* 1984). Aunque las causas de esta disminución no se comprenden y están involucrados mecanismos regulatorios a nivel de la estoma y del cloroplasto, tasas de fotosíntesis limitadas por un cierre estomático podrían provocar un daño irreversible en el aparato fotosintético por alta radiación. Bajo estas condiciones, en que el cloroplasto está sometido a un exceso de luz, se presentaría una regulación en la fotosíntesis en que intervienen las xantofilas disipando el exceso de energía, alcanzándose la protección y evitando el daño en los FSII (Demming-Adams 1990). Estos mecanismos de fotoprotección serían de una importancia mayor para la sobrevivencia en ambientes donde la planta está sometida a períodos prolongados de estrés ambiental (Ball *et al.* 1994).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del experimento

El presente experimento de investigación, se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México a los 25° 21' Latitud Norte y a los 101° 01' de Longitud Oeste y a la altura de 1790 msnm. Establecido en el departamento de horticultura. Durante el ciclo

#### 3.2 Material vegetal

El experimento establecido, se utilizó la semilla de pepino (*cucumis sativus*) de la variedad de pepino híbrido *induran* y el porta injerto *cucúrbita máxima x moschata* de la casa comercial Rijk Zwaan.

VAR INDURAN RZ F1

Variedad Blue Leaf (Hoja azul), de gran vigor y color verde intenso. Frutos lisos, sin espinas, largo de 23 a 25 cm, muy buena relación entre diámetro y tamaño. Ideal para trasplantes de frío a calor. Muy buena tolerancia al amarillamiento de hoja y al Mildiu. (Rijk Zwaan, 2016).

#### 3.3 Establecimiento del cultivo

La siembra se realizó de la variedad de pepino híbrido *induran*, el 13 de junio y el porta injerto *cucúrbita máxima x moschata* de la casa comercial Rijk zwaan en charolas de poliestireno de 60 cavidades del 100 centímetros cúbicos de volumen con una mezcla de sustrato número 3 para germinación con un pH de 6.0 mezclado con perlita (1:1 v/v). La aplicación del injerto de aproximación se realizó el 20 de junio cuando la variedad y el patrón presentaban diámetros de 4mm, se utilizó pinzas para injertar, hojas para cortar el tallo de la planta. Utilizando el método de injerto de aproximación (cruz, 1990).



**Figura 1.-** Plántulas injertadas listas para someterlas a la cámara de prendimiento.

Las plántulas ya injertadas se mantuvieron durante 6 días en una cámara de prendimiento en temperaturas de 28°C y humedad relativa en un 70% con ausencia de luz, En un invernadero tipo macro túnel con cubierta plástica difuso con temperatura promedio diurna 21°C y nocturna 20°C, humedad relativa promedio de 60%, se realizó el trasplante del injerto el 01 de julio del 2016, se sembró la variedad de pepino híbrido *induran*, en bolsas de 10 litros usando como sustrato una mezcla de peat moss y perlita con una proporción 50:50 (v/v). Los

tratamientos consistieron en aplicaciones al sustrato con la metodología siguiente; se aplicaron 2.5 litros de la mezcla de sustrato enseguida se aplicaron 0.33 gramos de nanopartículas de plata hasta completar 1 gramo de nanopartículas de AG, el sustrato en plantas sin injerto y con injerto para dar un total de 4 Tratamientos con cinco repeticiones

### **3.4 Fertilización**

Se inició con la instalación de un sistema de riego automatizado, se aplicó al cultivo una fertilización química que fue formulada la solución nutritiva en base a (Steiner 1961). Cada maceta conto con dos goteros tipo estaca de la casa comercial NETAFIM con un gasto de 1 litro por emisor por hora, la aplicación de la solución nutritiva fue dada según el desarrollo de la planta, la concentración de la solución vario durante el periodo de crecimiento: 25% en etapa vegetativa, 50% en floración, 75% en amarre y cuajado del primer fruto y 100% de llenado de frutos dando 3.33 litros de solución nutritiva en la demanda máxima de la planta.

### **3.5 Manejo del cultivo**

El pepino es una planta rastrera que puede superar los dos metros de largo fácilmente, por esta razón se hace un manejo constante de un tutorado, en este trabajo se usó un tutor para la planta donde en el tallo se colocaron anillos y una rafia para sostener la planta, además donde se colocaron líneas de alambre donde sostiene los hilos de rafia donde las plantas fueron tutorados en un sentido opuesto a las manecillas del reloj, posteriormente en cuanto al manejo del cultivo se guía el tallo principal y se hace una poda eliminando las hojas viejas para no generar alguna plaga. El manejo del cultivo se dio tipo holandés, tener un buen vigor de la planta y frutos de buen tamaño.

### **3.6 Variables evaluadas**

Se determinaron las siguientes variables evaluadas en cuanto a la micromorfología y fisiología de la planta de pepino, aplicando injerto y sin injerto con nanopartículas de plata:

Índice estomático del haz (IE HAZ); Índice estomático del envés (IE ENVES), Densidad estomática del haz (DE HAZ), Densidad estomática del envés (DE ENVEZ), Índice estomático del epidermis de fruto (IEE), Densidad estomática del epidermis de fruto (DEE), Conductancia estomática (CE), (° Brix), Firmeza, Numero de fruto (NF), Longitud del fruto (LF), Peso del fruto (PF).

### **Fórmulas:**

Índice estomático

$$IE = \frac{\text{Numero de estomas}}{\text{(Número de células epidérmicas + número de estomas)}} \times 100$$

Sugerida por (Wilkinson, 1979).

Donde;

IE= índice estomático.

NE= número de estomas por campo de observación.

CE= número de células epidérmicas en el campo de observación.

Densidad estomática

$$DE = NE * mm^2$$

mm<sup>2</sup>= área de campo visual.

### **3.7 Índice estomático del haz y envés**

Esta variable se determinó realizando tomas de la epidermis de hoja de la planta de pepino donde las impresiones se colocaron en un portaobjeto, se dejaron secar muy bien, luego se observaron en un microscopio con fotografía (AxionVision Rel. 4.8) para observar la cantidad de estomas en el haz de la hoja

### **3.8 Densidad estomática del haz y envés**

Esta variable se determinó realizando cortes de hoja de la planta de pepino donde los cortes se colocaron en un portaobjeto, posteriormente se dejaron secar muy bien, luego se observaron en un microscopio con fotografía para observar la cantidad de estomas en el envés de la hoja.

Estoma; Los estomas son aperturas en la epidermis rodeados por dos células oclusivas; mediante cambios de forma controlan el tamaño de la apertura; esta misma conduce al interior de un amplio espacio intercelular llamado cámara subestomática, que continua con los espacios intercelulares del mesófilo. En muchas plantas, dos o más células adyacentes a las oclusivas parecen estar asociadas funcionalmente a ellas y se distinguen por su morfología de otras células epidérmicas, se les llama Células anexas o adjuntas. Las células oclusivas son generalmente de forma arriñonada vistas de frente y engrosamiento de la membrana en los bordes superior e inferior. Los estomas son muy frecuentes en las partes verdes aéreas de las plantas, particularmente en las hojas y principalmente sobre la parte abaxial (Esau, 1972).

Células; La frecuencia o densidad estomática, que es el número de células por unidad de área ( $\text{mm}^2$ ), presenta una gran componente de variación ambiental, por lo que puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta y entre sectores de una misma hoja (Esau, 1972).

### **3.9 Índice y densidad estomática de la epidermis del fruto**

Se determinó en una hoja de cálculo de Excel la cantidad de estomas que hay, donde se realizaron los cortes se colocaron en un portaobjetos, posteriormente se sacaron fotografías en un microscopio compuesto VWR Vista Vision (Radnor, PA, EE.UU.) Con una cámara integrada de PVC 100C de Pixera (Chicago, IL, EE. UU.) Utilizando el objetivo 10x. Las imágenes digitales fueron capturadas y analizadas con la AxiVisionrel. 4.8 image processing software (CarlZeissAG, Oberkochen, Alemania). Para obtener el número de epidermis que hay en el campo donde se contaron los estomas.

### **3.10 Conductancia estomática**

Esta variable se determinó con un porómetro leaf porometer decagon devices mide la conductancia estomática (g), esta técnica mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja. Etapa se determinó a los 60 días, en hojas jóvenes completamente desarrollada.

### **3.11 Sólidos Solubles Totales**

Esta variable de grados brix se toma como cinco gotas de fruto al momento de la cosecha colocando una gota en el refractómetro Atago automatic y automáticamente se obtiene la lectura, esto se realizó en la parte inicia, media y final para hacer un promedio de tres mediciones por muestra y se anota el dato.

### **3.12 Firmeza del fruto**

Esta variable se determinó en el fruto con un penetrómetro con soporte marca (Frut Pressure Tester) equipado con un manómetro de fuerza de 0 a 13 kg FT-327, y puntilla de 8mm de diámetro, para esto se retiró la cutícula de cada fruto en dos puntos opuestos de la parte del ecuador del fruto, se introdujo la puntilla de un solo impulso para medir la fuerza necesaria para penetrar 1 cm del tejido de la pulpa del fruto, se tomaron las lecturas por fruto y se reportaron en (Kg/cm<sup>2</sup>).

### **3.13 Número de frutos**

El número de frutos se determinó mediante la cuantificación de los frutos por tratamiento y por cada corte se registró el número de fruto totales por planta, posteriormente se registró el dato obtenido.

### **3.14 Longitud del fruto**

Se determinó la longitud del fruto con una regla de 30 cm tomando como punto base el ápice del fruto del pepino esto se hizo con cada fruto y en cada tratamiento al ser cosechados, el resultado se registró en centímetros (cm).

### **3.15 Peso del fruto**

Esta variable se determinó al pesar el fruto en una balanza marca Ohaus Scout® digital, los frutos al ser cosechados se pesaron en cuanto a cada tratamiento este resultado se registró en gramos (gr)

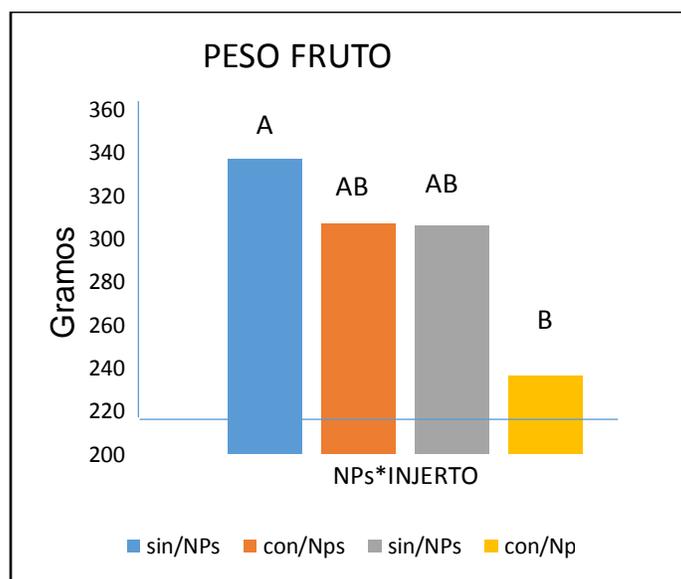
### **3.16 Diseño Experimental**

El arreglo experimental del presente trabajo fue bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2) (2) los factores fueron las plantas con y sin injerto, y la aplicación de nanopartículas de plata resultando en cuatro tratamientos y cinco repeticiones, las cuales consistieron en una planta. Conducidas a un solo tallo aplicando. Los datos se analizaron mediante un anova y posteriormente se utilizó una prueba de comparación de medias mediante la metodología de LSD ( $\alpha = 0.05$ ), para esto se empleó el paquete estadístico infoStat/L. Versión 2017.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Peso del Fruto

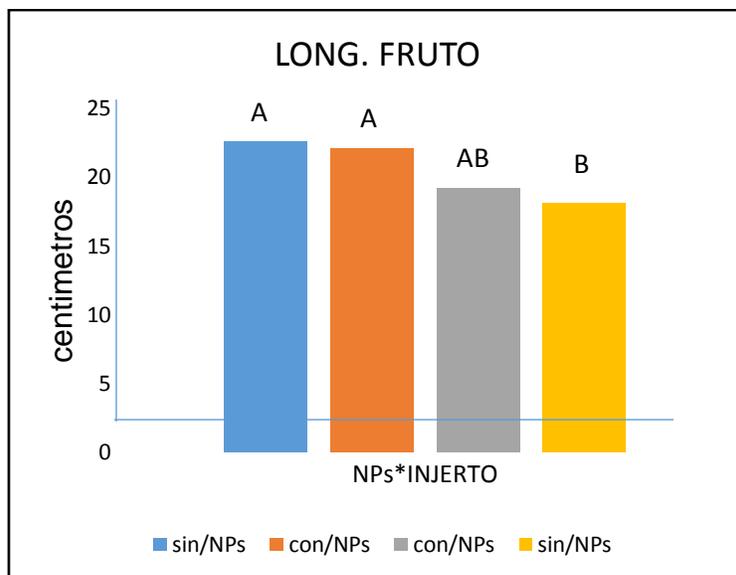
Los análisis de varianza indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los 4 tratamientos dando a conocer que la aplicación de nanopartículas e injerto, muestran un resultado diferente aportando un mejor peso aunque sea menos que el tratamiento sin nanopartículas e injerto. Pero hacer un injerto sin la aplicación de nanopartículas se obtuvo un mayor incremento en peso fruto (337.4 gr), en comparación con el testigo, estos resultados indican que hay una diferencia de 31.2 g, los cuales coinciden con Te (2008), quien menciona que el peso del fruto en pepino americano fluctúa de 300 a 400 gramos. Además la capacidad de la planta para generar el tejido conductor tiene efecto sobre las características que desarrollara la planta una vez injertada, esta compatibilidad tendrá efecto sobre el crecimiento y desarrollo de la planta influyendo en su calidad productiva (Hernández *et al.*, 2009).



**Figura 2.** Peso del fruto del cultivo de pepino con aplicación de con y sin injerto y nanopartículas de plata bajo invernadero.

#### 4.2 Longitud del fruto

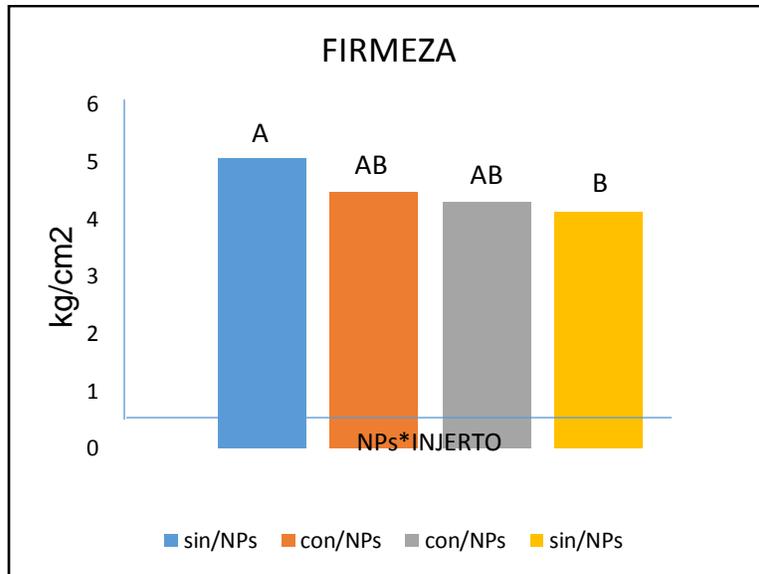
En la longitud del fruto hubo una diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) en los diferentes tratamientos se hizo una comparación aplicando con y sin NPs y otra solo injerto con y sin, donde no se obtuvo una diferencia. Por lo tanto cuando se hace una interacción de NPs e injerto arrojan los datos con una diferencia, esto indica que aumenta la longitud el fruto con 22.12 cm, esto coincide de acuerdo con Ando *et al.* (2012), donde indica que el uso de injertos propicia la ganancia en peso y volumen desde el momento de la antesis hasta que los frutos alcanzan la madurez.



**Figura 3.** Longitud del fruto del cultivo de pepino con aplicación de con y sin injerto y nanoparticulas de plata bajo invernadero.

#### 4.3 Firmeza del fruto

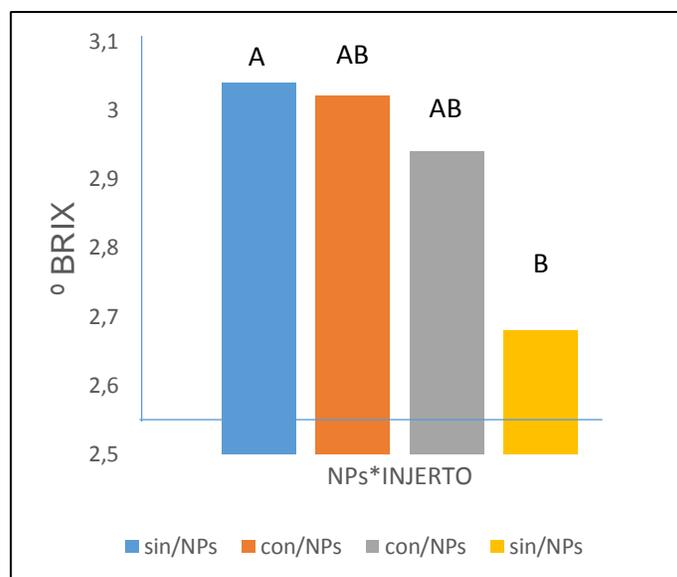
Los resultados para la variable de firmeza muestran que hay una diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), aunque esta variable fue algo incongruente ya que el testigo tuvo un mejor firmeza, que los tratamientos aplicados, tomando en cuenta que al hacer un injerto genera una mejor firmeza con un valor (4.46 kg). Se ha encontrado que los cultivos como el pepino que son cosechados inmaduros existen escasos reportes de efectos negativos del injerto sobre la calidad del fruto, aunque hubo un incremento en su firmeza. Se ha reportado que el injerto puede tener efectos adversos en la calidad de fruto, lo que depende especialmente del patrón (T-Nissini *et al.*, 2002; Traka-Mavrona *et al.*, 2000).



**Figura 4.-** La firmeza del fruto del cultivo de pepino en cuanto a la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

#### 4.4 SST

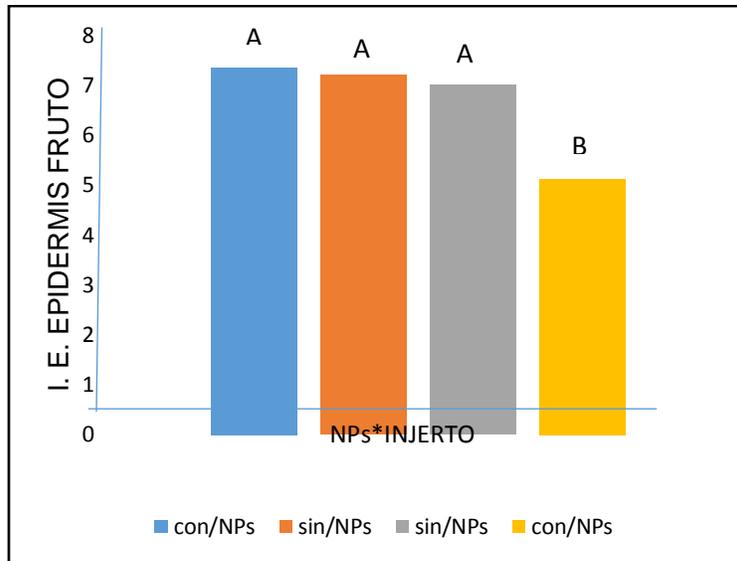
En cuanto a los grados brix, los valores obtenidos en esta variable se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, así como gráficamente se puede apreciar que los tratamientos sin nanopartículas y sin injerto tuvo un valor alto de 3.04 grados mientras que los tratamientos Con NPs y Con injerto tuvo 3.02 grados con una diferencia de 0.02 grados. En cuanto a grados Brix, para pepino como fruto no climatérico, no se han reportado altos valores una vez cosechados (Muy *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2013).



**Figura 5.-** Los Solidos Solubles Totales en el cultivo de pepino en cuanto a la aplicación de nanopartículas e injerto.

#### 4.5 Índice estomático de la epidermis del fruto

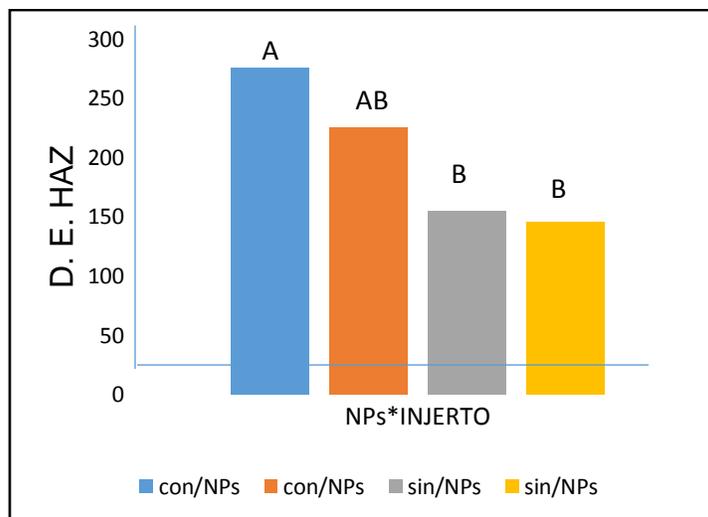
El siguiente estudio se encontró una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en cuanto a la aplicación de nanopartículas de plata en cuanto a esta variable de índice estomático de la epidermis del fruto, esto coincide con (Ovallo Serrano, 2012). Las AgNPs se destacan por presentar características muy interesantes como: coloración, reactividad química, absorción de radiación y gran relación superficie/volumen. Haciendo comparación con Voleniková y Tichá (2001); Tari (2003) que mencionan que en hojas anfiestomáticas (presencia de estomas en ambos lados de la hoja), la frecuencia estomática es usualmente más grande en la parte abaxial que en la superficie adaxial.



**Figura 6.-** El índice estomático de la epidermis del fruto en el cultivo de pepino obtenido mediante el injerto y la aplicación de nanopartículas de plata.

#### 4.6 Densidad estomática en el haz

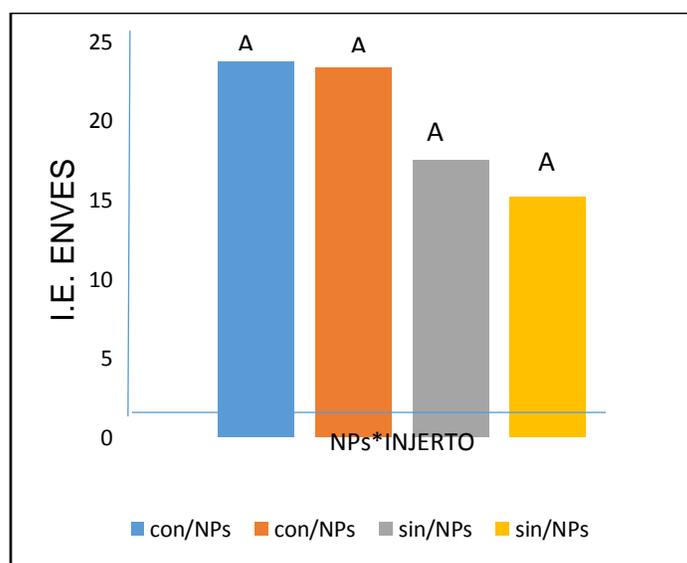
En esta variable se encontró con una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), donde la aplicación de NPs Ag e injerto tuvo un incremento estadístico de  $275.62 \text{ mm}^2$ , donde se observó un mayor número de estomas en la parte en cuanto a la densidad estomática haciendo comparación del testigo que fue sin NPs Ag y sin injerto tuvo  $145.21 \text{ mm}^2$ , teniendo una diferencia de  $130.41 \text{ mm}^2$  en el área del campo visual. Las propiedades de las NPs son dependientes de la morfología y el tamaño que adoptan una vez terminada la síntesis y se considera que la más mínima variación en el sistema de reacción puede llegar a generar cambios significativos en sus características (Argüello, 2016).



**Figura 7.-** Densidad estomática del haz en el cultivo de pepino aplicando nanopartículas de plata e injerto.

#### 4.7 Índice estomático del envés

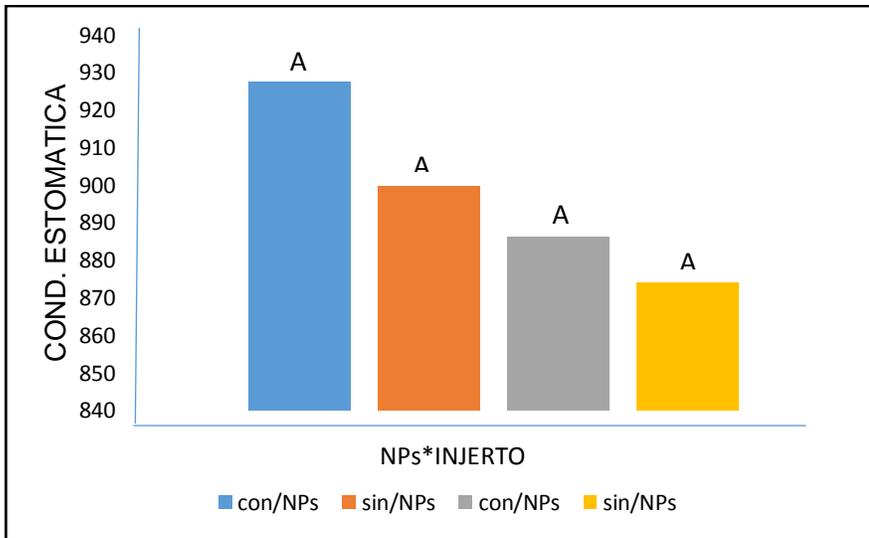
La siguiente variable no se encontró una diferencia significativa estadísticamente, pero podemos observar que numéricamente si hubo diferencia teniendo un 23.76 % de índice estomático con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto, esto significa con la aplicación de NPs Ag e injerto aumenta la cantidad de estomas y es un beneficio positivo a la planta.



**Figura 8.-** índice estomático del envés del cultivo de pepino con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

#### **4.8 Conductancia Estomática**

El siguiente estudio los resultados indican que no hubo una diferencia significativa estadísticamente, pero numéricamente si hubo diferencia, tomando en cuenta que la aplicación de nanopartículas de plata e injerto favorecen a la planta. Respecto a esto Taylor *et al.* (2012), mencionan que se ha demostrado que la máxima conductancia estomática de vapor de agua, está determinada por el tamaño y densidad de estomas. Esto es debido a que la conductancia estomática es proporcional al tamaño (relación: largo/ancho) del poro, por lo tanto, al aumentar el tamaño del poro estomático por unidad de área foliar, se incrementa la conductancia estomática. Además la conductancia estomática de las hojas puede ser considerada como un buen indicador fisiológico del estado hídrico de las plantas, esta medición es mucho más sensible a cambios en las condiciones medioambientales (luz, temperatura, humedad y viento) que las mediciones de potencial hídrico (Gil-Marín *et al.*, 2006; Toral *et al.*, 2010). Por lo tanto, es muy benéfico que las plantas tengan la capacidad de mantenerse turgentes bajo condiciones de escasez de agua en el suelo para evitar disminución en la producción, que se refleja en bajos rendimientos.



**Figura 9.-** Conductancia estomática en el cultivo de pepino aplicando nanopartículas de plata e injerto.

## V.- CONCLUSIÓN

El experimento realizado con la interacción de nanopartículas de plata e injerto fue un efecto positivo:

- Mostrando un incremento de peso de fruto al aplicar nanopartículas, esto hace mejorar la calidad y en manejo postcosecha del fruto.
- Teniendo una mejor firmeza y longitud de fruto.
- Además aplicando las NPs Ag e injerto, hay una mayor densidad de estomas tanto en las hojas haz, envés y en el epidermis del fruto.

Entonces el injerto influyo en el aspecto fisiológico relacionado con la transpiración, así como la producción de superficie foliar favoreciendo así el intercambio de gases y la tasa fotosintética.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Adamson, R. M.; Mass, E. F. 1981.** Soilless culture of seedless greenhouse cucumbers and sequence cropping. Ministerio de Servicios y Suplementos. Canadá. 20 p.
- Abdolhossein Miri, et. al., 2015.** Plant-mediated biosynthesis of silver nanoparticles using *Prosopis farcta* extract and its antibacterial properties, 141: p. 287-291.
- Ali, M.A.; Rehman, I.; Iqbal, A.; Din, S.; Rao, A.Q.; Latif, A.; Husnain, T. 2014.**  
Nanotechnology, a new frontier in Agriculture. *Advancements in Life Sciences*. 1:129-138.
- Alvarez-Flórez F., Vidal D., Simón E. 2013.** MAP-kinase activity in etiolated *Cucumis sativus* cotyledons: The effect of red and far-red light irradiation. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol.63, p. 1-7.
- Azcón-Bieto, J., y M. Talón. 2008.** *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2nd ed. Mc Graw-Hill Interamericana, ESP.
- Bernstein, L. 1961.** Osmotic adjustment of plants to saline media I. Steady state. *mer. . ot.* 8, 09-918.
- Bojaca, C., & Monsalve, O. 2012.** *Manual de producción de pepino bajo invernadero*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

- Carabollo et al. 1991.** Horticultura general edición Barcelona España  
80 p.
- Cañas, J.E.; Long, M.; Nations, S.; Vadan, R.; Dai, L.; Luo, M.; Olszyk, D. 2008.** Effects of functionalized and nonfunctionalized single walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. *Environmental toxicology and chemistry*. 27: 1922-1931.
- Cañizares, A., M.E. Sanabria, D.A. Rodríguez, y Y. Perozo. 2003.** Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia tanaka*) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Rev. Cien. UDO Agríc.* 3:59-64.
- Colla, G., Roupael, Y., Mirabelli, C., Cardarelli, M.** Nitrogen use efficiency traits of mini-watermelon in response to grafting and nitrogen fertilization doses. – *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174: 933-941, 2011.
- Cornic G 1994** Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. En: Baker NR & JR Boeyer (eds) *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field*: 297-314. BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford, United Kingdom.
- Comisión Veracruzana de comercialización Agropecuaria. 2009.** Monografía del pepino. México.
- Crinó, P., Lo Bianco, C., Roupael, Y., Colla, G., Saccardo, F., Paratore, A.:** Evaluation of rootstock resistance to fusarium wilt and gummy stem blight and effect on yield and quality of a grafted 'Inodorus' melón. – *HortSci.* 42: 521-525, 2007.
- Cruz, F. G. 1990.** Injerto en cuña. Un nuevo método de injerto para cucurbitáceas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros.* (56): 81-90.

- Dubey, A.; Mailapalli, D.R. (2016).** Nanofertilisers, nanopesticides, nanosensors of pest and nanotoxicity in agriculture. In Sustainable Agriculture Reviews. Springer International publishing. 307-330pp.
- Dunphy Guzmán, K.A., Taylor, M.R., Banfield, J.F., 2006.** Environmental risks of nanotechnology: national nanotechnology initiative funding, 2000-2004. Environ.Sci.Technol.40 (5),1401 – 1407.
- FAO (2014).** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S> (24/02/2014).
- Gálvez H. F. (2004).** El cultivo de pepino en invernadero. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero, 2a ed. R J Castellanos (ed). INTAGRI. Celaya, Guanajuato. México. Pp: 282-293.
- Ghormade, V.; Deshpande, M.V.; Paknikar, K.M. (2011).** Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. Biotechnol. Adv. 29, 792-803.
- Grillo, R.; Abhilash, P.C.; Fraceto, L.F. (2016).** Nanotechnology Applied to Bioencapsulation of Pesticides. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 16: 1231-1234.
- Guenkov, G. 1974.** Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 308 p.
- Gruda, N. 2005.** Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. Crit. Rev. Plant Sci. 24(3), 227-242. Doi: 10.1080/07352680591008628

**Gates, D.M. 1980.** Biophysical ecology. Springer-Verlag New York Inc., NY, USA

**Horticultura efectiva. 2012.** Origen del pepino. (En línea). Disponible en: <http://www.horticulturaefectiva.net/2012/01/origen-delpepino.html> (Consultado el 15 de septiembre del 2014).

**Hsu, C., Guo, Y., Wang, Z., Yin, M., 2011.** Protective effects of an aqueous extract from pepino (*Solanum muricatum* Ait.) in diabetic mice. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1517-1522.

**Infoagro. 2006.** El cultivo del pepino.

**Iacob F.C., Câmpeanu Gh., Atanasiu N. 2009.** Effect of culture technique upon pickling cucumber hybrids in solarium tunnels in the Tărtău-Úti-Răcari area (Dâmbovița County). *Lucrări ÚtiinŒifice, Seria B., Horticultură*, Vol. 53, p. 133- 136.

**Jones B. (2008).** Tomato plant culture. CRC Press. 2nd ed. New York, USA. Pp: 1-35.

**Lawson, T. 2009.** Fotosíntesis en células guarda y la función de los estomas. (En inglés) *New Phytol.* 181:13-34.

**Larkin, J., N. Young, M. Prigge, y M. Marks.1996.** El control de separación y el número de tricomas en *Arabidopsis*. (En inglés) *Development* 122:997-1005.

**Lee, J.M., Kubota, C., Tsao, S.J., Bie, Z., Hoyos Echevarria, P., Morra, L., Oda, M.:** Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. – *Sci. Hort.* 127: 93-105, 2010.

**Long SP, S Humphries & PG Falkowski (1994)** Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 45: 633-662.

- Maršić, N. K. and Jakše, M. 2010.** Growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) on different soilless substrates. *J. Food Agric. Environ.* 8(2):654-658.
- Miguel, G., A. 1997.** Injerto de hortalizas. 88 p. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia, España.
- Muller, D.S. and S. LI. 2002.** Use of aeroponic chambers and grafting to study partial resistance to *Fusarium solani* f. sp. *Glycines* in soybean. *Plant Disease* 86: 1223- 1226.
- Nel, A., Xia, T., M ä dler, L., Li, N., 2006.** Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science* 311,622 –627.
- Ortiz-Cereceres, J. Sánchez del Castillo, F. Mendoza-Castillo, M.C. Torres-García, A., 2009.** Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 32, pp. 289-294.
- Petterson R.I., Torre S., Gislerod H.R. 2010.** Effects of leaf aging and light duration on photosynthetic characteristics in a cucumber canopy. *Scientia Horticulturae*, Vol.125, p. 82–87.
- Parkhurst, D.F. 1978.** El significado adaptativo de la existencia de estomas en una o ambas superficies de las hojas. (En inglés) *J. Ecol.* 66:367-383.
- Razzaq, A; Ammara, R.; Jhanzab, H.M.; Mahmood, T.; Hafeez, A.; Hussain, S. (2016).** *Journal of Nanoscience and Technology.* *Journal of Nanoscience and Technology.* 2: 55-58.
- Rivard, C.L., Louws, F.J.:** Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. – *HortSci.* 43: 2104- 2111, 2008.

- Rouphael Y., Cardarelli M., Rea E., Colla G. 2012.** Improving melón and cucumber photosynthetic activity, mineral composition and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrids rootstock. *Photosynthetica*, Vol.50 (2), p. 180-188.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E.:** Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under déficit irrigation. – *HortSci*. 43: 730-736, 2008b.
- Ruiz, M., D. Nieto e I. Larios. 1962.** Tratado elemental de botánica. Séptima edición. Editorial E.C.L.A.L. México. 730 p.
- Rubino, P., E. Tarantino y F. Rega. 1989.** Relationship between soil water status and stomatal resistance of tomatoes. *Irrigazione e Drenaggio* 36:95- 98.
- Salas, J., M. Sanabria y R. Pire. 2001.** Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro* 13(3): 99-104.
- Serrano, C. Z. 1979.** Cultivo de Hortalizas en Invernaderos. 1ª Edición. Editorial Continental S. A España.
- Serrano, C. Z. 1979.** Invernaderos, Instalación y Manejo. Publicaciones de Extensión Agrícola. Madrid, España.
- Servin, A.D.; White, J.C. (2016).** Nanotechnology in Agriculture: Next Steps for Understanding Engineered Nanoparticle Exposure and Risk. *Nano Impact*. 1: 9-12.

- Sánchez, M., y J. Aguirreolea. 1996.** Relaciones hídricas. En: B.J. Azcón., y M. Talón, editores, Fisiología y bioquímico vegetal. Edigrafos, Madrid, ESP. p. 49-90.
- SIAP (2014).** Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/> (24/02/2014).
- SIAP,** Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2009) Avances de siembras y cosechas, año agrícola 2009. Online: <http://www.siap-sagarpa.gob.mx> (Noviembre de 2010).
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000.** Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Editorial Paraninfo, Madrid.
- Savvas, D., Papastavrou, D. Ntatsi, G., Ropokis, A., Olympios, C., Hartmann, H., Schwarz, D.:** Interactive effects of grafting and Mn-supply level on growth, yield and nutrient uptake by tomato. – HortSci. 44: 1978-1982, 2009.
- Savvas, D., Colla, G., Rouphael, Y., Schwarz, D.:** Amelioration of heavy metal and nutrient stress in fruit vegetables by grafting. – Sci. Hort. 127: 156-161, 2010.
- Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G. and Venema, J. H. 2010.** Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. Sci. Hort. 127:162-171.
- Suslov, T. y M. Cantwell. 2012.** Cucumber: Recommendations for maintaining postharvest quality. En: <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/CucumberPhotos/>; consulta: marzo de 2014.

- Srilatha, B. (2011).** Nanotechnology in agriculture. J. Nanomed. Nanotechnol. 2, 123.
- Tamaro, D. 1921.** Manual de Horticultura. Editorial Catalana S. A. Barcelona, España.
- Tsuchida, H., N. Kozukue, G. Han, S. Choi, C. Levin y M. Friedman. 2010.** Low-temperature storage of cucumbers induces changes in the organic acid content and in citrate synthase activity. Postharvest Biol. Technol. 58(2), 129-134. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.06.006
- Valadez, L. A. 1998.** Producción de Hortalizas. 7ª Reimpresión. Editorial Limusa. México D. F.
- Vasco M. R. (2003).** El cultivo del pepino bajo invernadero. In: Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. F F Camacho (ed). Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Almería, España. Pp: 691-722.
- Wang, S.; Liu, H.; Zhang, Y.; Xin, H. (2015).** Effect of CuO nanoparticles on reactive oxygen species and cell cycle gene expression in roots of rice. Environmental Toxicological Chemistry, 34: 554-561.
- Weeb, A.R., y A. Baker. 2002.** Biología estomática: nuevas técnicas, nuevos descubrimientos. (En inglés) New Phytol. 513:365-370.
- Xiong J., Grindal Patil G., Moe R., Torre S. 2011.** Effects of diurnal temperature alternations and light quality on growth, morphogenesis and carbohydrate content of Cucumis sativus L. Scientia Horticulturae, Vol.128, p. 54–60.
- Yassin, S. H. 2015.** Review on role of grafting on yield and quality of selected fruit vegetables. Global J. Sci. Frontier Res. 15(1):65-78.

## VII. APENDICES

**Tabla 1.** Análisis de varianza para la variable de peso del fruto con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

F.V.	Suma de cuadrados	GL	Cuadros de la Media	F	P-valor
<b>Modelo</b>	27586.15	3	9195.38	2.07	0.1451
<b>NPs</b>	12550.05	1	12550.05	2.82	0.1125
<b>Injerto</b>	1980.05	1	1980.05	0.44	0.5143
<b>NPs*injerto</b>	13056.05	1	13056.05	2.93	0.1061
<b>Error</b>	71203.60	16	4450.23		
<b>Total</b>	98789.75	19			

**Tabla 2.** Comparación de medias para el peso de fruto para la aplicación de NPs Ag e injerto.

APLICACION	MEDIAS	AGRUPAMIENTO
<b>Sin/NPs</b>	321.80	A
<b>Con/NPs</b>	271.70	A
<b>Sin/inj</b>	306.70	A
<b>Con/inj</b>	286.80	A

INTERACCIONES	MEDIAS	AGRUPAMIENTO
<b>Sin/NPs-con/inj</b>	337.40	A
<b>Con/NPs-sin/inj</b>	307.20	AB
<b>Sin/NPs-sin/inj</b>	306.20	AB
<b>Con/NPs-con/inj</b>	236.20	B

**Tabla 3.** Análisis de varianza para la variable de longitud de fruto con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrados de la Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	70.85	3	23.62	3.67	0.0349
<b>NPs</b>	0.54	1	0.54	0.08	0.7750
<b>Injerto</b>	2.96	1	2.96	0.46	0.5072
<b>NPs*injerto</b>	67.34	1	67.34	10.46	0.0052
<b>Error</b>	103.06	16	6.44		
<b>Total</b>	173.91	19			

**Tabla 4.** Comparación de medias para la longitud de fruto para la aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
<b>Con/NPs</b>	20.67	A
<b>Sin/NPs</b>	20.34	A
<b>Sin/inj</b>	20.89	A
<b>Con/inj</b>	20.12	A

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
<b>Sin/NPs-sin/inj</b>	22.56	A
<b>Con/NPs-con/inj</b>	22.12	A
<b>Con/NPs-sin/inj</b>	19.22	AB
<b>Sin/NPs-con/inj</b>	18.12	B

**Tabla 5.** Análisis de varianza para la variable de firmeza con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrados de la Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	2.49	3	0.83	2.04	0.1485
<b>NPs</b>	0.22	1	0.22	0.54	0.4724
<b>Injerto</b>	1.51	1	1.51	3.72	0.0718
<b>NPs*injerto</b>	0.76	1	0.76	1.87	0.1905
<b>Error</b>	6.51	16	0.41		
<b>Total</b>	9.01	19			

**Tabla 6.** Comparación de medias para la firmeza con aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Sin/NPs	4.59	A
Con/NPs	4.38	A
Sin/inj	4.76	A
Con/inj	4.21	A

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Sin/NPs-sin/inj	5.06	A
Con/NPs-sin/inj	4.46	AB
Con/NPs-con/inj	4.30	AB
Sin/NPs-con/inj	4.12	B

**Tabla 7.** Análisis de varianza para la variable de solidos solubles totales con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>de GL</b>	<b>Cuadrados de Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.41	3	0.14	1.93	0.1658
<b>NPs</b>	0.07	1	0.07	1.01	0.3297
<b>Injerto</b>	0.10	1	0.10	1.38	0.2580
<b>NPs*injerto</b>	0.24	1	0.24	3.40	0.0839
<b>Error</b>	1.14	16	0.07		
<b>Total</b>	1.55	19			

**Tabla 8.** Comparación de medias para solidos solubles totales con aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Con/NPs	2.98	A
Sin/NPs	2.86	A
Sin/inj	2.99	A
Con/inj	2.85	A

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Sin/NPs-sin/inj	3.04	A
Con/NPs-con/inj	3.02	AB
Con/NPs-sin/inj	2.94	AB
Sin/NPs-con/inj	2.68	B

**Tabla 9.** Análisis de varianza para la variable de índice estomático de la epidermis del fruto con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrados de la Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	16.26	3	5.42	3.49	0.0404
<b>NPs</b>	3.68	1	3.68	2.37	0.1431
<b>Injerto</b>	7.39	1	7.39	4.76	0.0443
<b>NPs*injerto</b>	5.18	1	5.18	3.34	0.0864
<b>Error</b>	24.84	16	1.55		
<b>Total</b>	41.09	19			

**Tabla 10.** Comparación de medias para índice estomático de la epidermis del fruto con aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
<b>Sin/NPs</b>	7.10	A
<b>Con/NPs</b>	6.24	A
<b>Sin/inj</b>	7.27	A
<b>Con/inj</b>	6.06	B

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
<b>Con/NPs-sin/inj</b>	7.35	A
<b>Sin/NPs-sin/inj</b>	7.19	A
<b>Sin/NPs-con/inj</b>	7.00	A
<b>Con/NPs-con/inj</b>	5.12	B

**Tabla 11.** Análisis de varianza para la variable de densidad estomática en el haz con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrados de la Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	57078.16	3	19026.05	4.41	0.0192
<b>NPs</b>	50501.25	1	50501.25	11.71	0.0035
<b>Injerto</b>	4474.84	1	4474.84	1.04	0.3234
<b>NPs*injerto</b>	2102.07	1	2102.07	0.49	0.4950
<b>Error</b>	68974.28	16	4310.89		
<b>Total</b>	126052.43	19			

**Tabla 12.** Comparación de medias para densidad estomática en el haz con aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Con/NPs	250.41	A
Sin/NPs	149.91	B
Con/inj	215.12	A
Sin/inj	185.21	A

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Con/NPs-con/inj	275.62	A
Con/NPs-sin/inj	225.20	AB
Sin/NPs-con/inj	154.62	B
Sin/NPs-sin/inj	145.21	B

**Tabla 13.** Análisis de varianza para la variable de índice estomático en el envés con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrados de la Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	273.53	3	91.18	1.62	0.2244
<b>NPs</b>	259.63	1	259.63	4.61	0.0475
<b>Injerto</b>	9.19	1	9.19	0.16	0.6915
<b>NPs*injerto</b>	4.70	1	4.70	0.08	0.7763
<b>Error</b>	901.08	16	56.32		
<b>Total</b>	1174.61	19			

**Tabla 14.** Comparación de medias para índice estomático del envés con aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Con/NPs	23.56	A
Sin/NPs	16.36	B
Con/inj	20.64	A
Sin/inj	19.28	A

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
Con/NPs-con/inj	23.76	A
Con/NPs-sin/inj	23.37	A
Sin/NPs-con/inj	17.52	A
Sin/NPs-sin/inj	15.19	A

**Tabla 15.** Análisis de varianza para la variable de conductancia estomática con la aplicación de nanopartículas de plata e injerto.

<b>F.V.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrados de la Media</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Modelo</b>	7885.94	3	2628.65	0.62	0.6103
<b>NPs</b>	1973.09	1	1973.09	0.47	0.5038
<b>Injerto</b>	5612.93	1	5612.93	1.33	0.2657
<b>NPs*injerto</b>	299.93	1	299.93	0.07	0.7932
<b>Error</b>	67499.11	16	4218.69		
<b>Total</b>	75385.05	19			

**Tabla 16.** Comparación de medias de conductancia estomática con aplicación de NPs Ag e injerto.

<b>APLICACION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
<b>Con/NPs</b>	906.79	A
<b>Sin/NPs</b>	886.92	A
<b>Con/inj</b>	913.61	A
<b>Sin/inj</b>	880.10	A

<b>INTERACCIONES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>AGRUPAMIENTO</b>
<b>Con/NPs-con/inj</b>	927.41	A
<b>Sin/NPs-con/inj</b>	899.80	A
<b>Con/NPs-sin/inj</b>	886.16	A
<b>Sin/NPs-sin/inj</b>	874.04	A

Nota: las medias muestran diferencias estadísticamente (LSD =  $\alpha$  0.05)