

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción y Micromorfología de Pepino Injertado (*Cucumis sativus* L.) Cultivado
con Nanopartículas de Cobre

Por:

DENISS HERNÁNDEZ CRUZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción y Micromorfología de Pepino Injertado (*Cucumis sativus* L.) Cultivado con Nanopartículas de Cobre

Por:

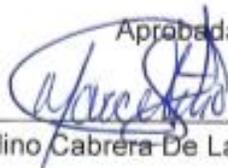
DENISS HERNÁNDEZ CRUZ

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



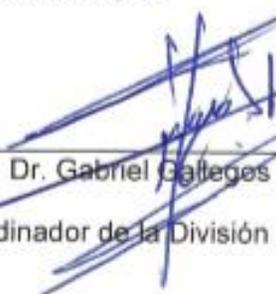
M.C. Eduardo Alfonso Treviño López

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2018.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y acompañarme día con día de la misma manera por darme una maravillosa familia y hermosas personas que me rodean hasta hoy en día, por no dejarme sola y en cada caída siempre me dio fuerzas para levantarme.

A MIS PADRES

Por darme el regalo más hermoso una carrera por su apoyo incondicional esos consejos y su confianza.

A MI ALMA TERRA MATER

Por abrirme las puertas de su casa fue y es un orgullo para mí ser parte de este nido, por darme la oportunidad de cumplir mi meta y el sueño de ser Buitre por siempre y conocer a mis hermosas amigas.

A MIS MAESTROS

Por el conocimiento que decidieron compartir conmigo, gracias por contribuir con este logro por dedicar tiempo y dar lo mejor.

AL DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE

Por su apoyo y por su tiempo por darme la oportunidad de trabajar con él y compartir sus conocimientos no solo en el trabajo como asesor sino también como catedrático en diferentes materias.

A MIS COASESORES:

A LA DRA. HORTENSIA ORTEGA ORTIZ

Por su apoyo y su tiempo para la revisión de este trabajo y así mismo con apoyo de material de trabajo para llevar acabo el trabajo experimental.

M.C. EDUARDO ALFONSO TREVIÑO LÓPEZ

Por ser paciente atento y sobre todo por ser amable conmigo por ese apoyo incondicional por cada consejo por compartir sus conocimientos y tiempo cuando fueron necesarios.

AL DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL

Por su tiempo en la revisión de este trabajo y por compartir sus conocimientos conmigo.

AL DR. VÍCTOR EDUARDO COMPARÁN PADILLA

Por su apoyo en la síntesis y dispersión de las nanopartículas de cobre y al **M.C. ALEJANDRO DÍAZ ELIZONDO** que apoyo en la síntesis de los hidrogeles de quitosám en la planta piloto del CIQA.

A MI MEJOR AMIGA

Elizabeth Hernández gracias por estar conmigo no físicamente, pero a pesar de la distancia tu apoyo fue incondicional, por los consejos por ser parte de mis buenos y malos momentos gracias por esa hermandad espero que nunca se termine: Te Quiero.

A LA MAESTRA EDITH SANDOVAL

Por estar este tiempo con mi familia por su apoyo incondicional por sus palabras de aliento por depositar su confianza en mí desde que me conoció.

SAÚL BENÍTEZ

Por su confianza, por darme ánimos cuando más lo necesitaba por buscar una manera para hacerme feliz por contribuir en este logro.

A MI CUARTO 8

Talía Alcocer, Paty García, Iram Jarillo gracias por sus consejos por su compañía, sus risas la confianza por esos abrazos cuando los necesitaba, esas platicas eternas juntas nunca las olvidare las quiero.

A MIS COMPAÑEROS DE GENERACIÓN

Rubni, Pollo, Yeira, José, Lorenzo, Joel, Miguelito, Sebas por compartir momentos maravillosos conmigo por dejarme ser parte de su vida y apoyarme en ciertos momentos

A MIS AMIGOS

Yadira, Luis Antonio (Pollo), Areli Cruz García, Kristal Ramírez, Ana María, Misael Franquez, por sus consejos por sus regaños, por darme aliento en tiempos de malas rachas por ser parte de este éxito por dejarme ser parte de su vida en ciertos momentos.

DEDICATORIAS

A MI MADRE ANGELICA CRUZ HERNÁNDEZ

Por toda la confianza depositada en mí por su amor de madre que es y será incondicional por sus sabios consejos, sus palabras de aliento cuando caía y motivarme día a día por dejarme seguir mi sueño, pero más que nada gracias por darme la vida este logro se lo debo a usted gracias por educarme y ser de mí una buena hija.

AMI PADRE JAVIER HERNANDEZ YESCAS

Por darme la oportunidad de estar en este mundo por la confianza depositada en mí por su cariño y sus sabios consejos.

AMI HERMANO CORNELIO HERNANDEZ CRUZ

Por sus llamadas inesperadas por sus regaños, por todo su cariño y animarme en llegar a esta meta gracias por todo.

AMI ABUELA ALICIA EUDELIA HERNANDEZ

Mi ejemplo a seguir gracias por darme una maravillosa madre, una hermosa familia, pero sobre todo por sus consejos, su apoyo que nunca me falto por su confianza por ser uno de mis motivos de seguir adelante y llegar al final de esta meta te adoro abuela.

A MI TIA GUADALUPE CRUZ.

Por su apoyo incondicional, sabios consejos sus palabras de aliento por formar parte de mi hermosa familia este logro también se lo debo a usted.

A MIS AMIGAS DE LA UAAAN

Silvia Uñate, Edith Hernández y Janine Molina a ustedes preciosas mujeres que hicieron estos años de universidad los mejores de mi vida por compartir cada caída y cada triunfo conmigo por su compañía incondicional por sus consejos aunque a veces no les hacía caso pero nunca dejaron de hacerlo por cada desvela juntas pero sobre todo gracias por no dejarme sola nunca y dejarme ser parte de su vida, Silvia y Edith gracias por permitirme conocer a su hermosa familia mi hermoso cuarteto las quiero y las querré por siempre

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
INDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 HIPÓTESIS	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 ORIGEN DEL PEPINO.....	3
2.2 MORFOLOGÍA DEL CULTIVO.....	3
2.2.1 Sistema radicular	3
2.2.2 Tallo	3
2.2.3 Hoja.....	3
2.2.4 Flor.....	4
2.2.5 Fruto.....	4
2.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL PEPINO.....	4
2.3.1 Producción de pepino en México	5
2.4 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	5
2.4.1 Temperatura.....	5
2.4.2 Humedad	5
2.4.3 Luminosidad.....	5
2.5 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS	6
2.5.1 Suelo.....	6
2.5.2 pH	6
2.5.3 Salinidad	6
2.6 TIPOS Y CULTIVARES.....	6
2.7 CALIDAD DEL FRUTO DEL PEPINO.....	6
2.8 DENSIDAD DE SIEMBRA Y POBLACIÓN	7
2.9 FERTILIZACIÓN.....	7
2.10 RIEGO.....	8
2.11 POLINIZACIÓN	9

2.12	PODAS DEL CULTIVO DE PEPINO.....	9
2.13	USOS Y VALOR NUTRITIVO	10
2.14	COSECHA.....	10
2.15	INJERTOS	10
2.16	MÉTODOS DE INJERTO	12
2.17	FERTILIZACIÓN QUÍMICA	13
2.18	NANOTECNOLOGÍA	13
2.18.1	Nanomateriales (NM) y nanopartículas (NPs).....	14
2.18.2	Uso de las nanopartículas en la agricultura	15
2.18.3	Nanopartículas de Cu (NPs de Cu).....	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1.	LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	18
3.2.	MATERIAL VEGETAL.....	18
3.3	SIEMBRA DEL MATERIAL VEGETATIVO	18
3.4	RIEGO.....	19
3.5	MANEJO DE PLÁNTULAS POST INJERTO.....	19
3.6	TRASPLANTE	19
3.7	MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	19
3.8	NUTRICIÓN DEL CULTIVO.....	20
3.9	MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO	20
3.10	TRATAMIENTOS EVALUADOS.....	21
3.11	VARIABLES EVALUADAS	21
3.11.1	Índice estomático del haz e índice estomático del envés.....	21
3.11.2	Índice estomático de epidermis del fruto	22
3.11.3	Sólidos solubles totales.....	22
3.11.4	Firmeza del fruto	22
3.11.5	Número de frutos	22
3.11.6	Longitud del fruto	23
3.11.7	Peso de los frutos por planta.....	23
3.11.8	Diámetro del tallo	23
3.11.9	Longitud de raíz	23
3.11.10	Área foliar.....	24
3.11.11	Rendimiento (kg).....	24
3.12	MODELO ESTADÍSTICO	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1	ÍNDICE ESTOMÁTICO DEL HAZ	25
4.2	ÍNDICE ESTOMÁTICO DEL ENVÉS.....	26
4.3	ÍNDICE ESTOMÁTICO DE LA EPIDERMIS DEL FRUTO.....	27
4.4	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES	28

4.5 FIRMEZA.....	29
4.6 NÚMERO DE FRUTOS	30
4.7 LONGITUD DEL FRUTO	31
4.8 PESO DEL FRUTO.....	32
4.9 DIÁMETRO DE TALLO	33
4.10 LONGITUD DE RAÍZ.....	34
4.11 ÁREA FOLIAR.....	35
4.12 RENDIMIENTO	36
V. CONCLUSIONES	40
VI. BIBLIOGRAFÍA	41
VII. APÉNDICE.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice estomático del haz de la hoja de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	25
Figura 2. Índice estomático del envés de la hoja de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	26
Figura 3. Índice estomático de la epidermis del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	27
Figura 4. Sólidos solubles totales del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	28
Figura 5. Firmeza del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	29
Figura 6. Número de frutos de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	30
Figura 7. Longitud del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	31
Figura 8. Peso de frutos de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	32
Figura 9. Diámetro del tallo de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	33
Figura 10. Longitud de raíz de la planta de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	34
Figura 11. Área foliar de la planta de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	35
Figura 12. Rendimiento del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.	36
Figura 13. Variación de número y tamaño de estomas en la parte adaxial.	37
Figura 14. Variación de número y tamaño de estomas en la parte abaxial.	38
Figura 15. Variación de número y tamaño de estomas en la epidermis del fruto.	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fertilización óptima en el cultivo del pepino <i>Cucumis Sativus</i> L.....	8
Tabla 2. Análisis de varianza para la variable índice estomático del haz de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.....	49
Tabla 3. Comparacion de medias para la variable índice estomático del haz de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.	49
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.	49
Tabla 4. Análisis de varianza para la variable Índice estomático del envés de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.	50
Tabla 5. Comparación de medias para la variable índice estomático del envés de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.	50
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.	50
Tabla 6. Análisis de varianza para la variable Índice de la epidermis del fruto de pepino injertado con Nps de Cu.	51
Tabla 7. Comparación de medias para la variable Índice de la epidermis del fruto de pepino injertado con Nps de Cu.	51
Tabla 8. Análisis de varianza para la variable sólidos solubles totales de pepino injertado con Nps de Cu.	52
Tabla 9. Comparación de medias para la variable sólidos solubles totales de pepino injertado con Nps de Cu.	52
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.	52
Tabla 10. Análisis de varianza para la variable firmeza del fruto de pepino injertado con Nps de Cu.	53
Tabla 11. Comparación de medias para la variable firmeza de pepino injertado con Nps de Cu.	53
Tabla 12. Análisis de varianza para la variable número de frutos de pepino injertado con Nps de Cu.	54
Tabla 13. Comparación de medias para la variable número de frutos de pepino injertado con Nps de Cu.	54
Tabla 14. Análisis de varianza para la variable longitud de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.	55
Tabla 15. Comparación de medias para la variable longitud de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.	55
Tabla 16. Análisis de varianza para la variable peso de fruto de pepino injertado con Nps de Cu.	56
Tabla 17. Comparación de medias para la variable peso de fruto de pepino injertado con Nps de Cu.	56
Tabla 18. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.	57

Tabla 19. Comparación de medias para la variable diámetro de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.	57
Tabla 20. Análisis de varianza para la variable longitud de raíz de pepino injertado con Nps de Cu.	58
Tabla 21. Comparación de medias para la variable longitud de raíz de pepino injertado con Nps de Cu.	58
Tabla 22. Análisis de varianza para la variable área foliar de pepino injertado con Nps de Cu.	59
Tabla 23. Comparación de medias para la variable área foliar de pepino injertado con Nps de Cu.	59
Tabla 24. Análisis de varianza para la variable rendimiento de pepino injertado con Nps de Cu.	60
Tabla 25. Comparación de medias para la variable rendimiento de pepino injertado con Nps de Cu.	60
Tabla 26. Contenido de sales de la solución Steiner (1961).	61

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con el objetivo de determinar los cambios morfológicos y la producción del cultivo de pepino (*Cucumis Sativus* L.) Variedad Induran RZ injertado con un patrón híbrido de calabacita criolla (*Cucúrbita máxima* x *Cucúrbita moschata*) adicionando nanopartículas de cobre (NPs de Cu), utilizando como fertilización la solución Steiner. Los tratamientos evaluados fueron: sin nanopartículas y sin injerto (T1), sin nanopartículas con injerto, (T2) con nanopartículas sin injerto (T3) y con nanopartículas con injerto (T4). Se evaluó el índice estomático del haz, índice estomático del envés de la hoja, índice estomático de la epidermis del fruto, sólidos solubles totales, firmeza, número de frutos, longitud del fruto, longitud de la raíz, diámetro del tallo, peso del fruto, área foliar, rendimiento (kg). Se realizó el injerto de aproximación y se adicionaron 0.4 mg de nanopartículas de cobre en una bolsa de 10 kg con peat moss y perlita 50:50 v/v. Se manejó un sistema de riego por goteo con fertilización química (Steiner 1961), la cual fue aumentada de acuerdo a la etapa del cultivo, se inició con una proporción del 25% al momento del trasplante, para el desarrollo vegetativo 50%, para floración se manejó 75% y para la fructificación hasta cosecha 100%. El uso del injerto de aproximación en pepino afectó en las variables índice estomático del haz como el envés, sólidos solubles totales, peso de fruto, longitud de raíz, área foliar y rendimiento por planta. Las nanopartículas de cobre mostraron resultados positivos en ciertas variables en función a los análisis estadísticos en cuanto a las variables firmeza del fruto, longitud de fruto, peso del fruto, área foliar y rendimiento por planta.

Palabras clave: pepino, morfología, injerto, nanopartículas, cobre.

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).

El uso de invernaderos representa una opción para incrementar la producción de pepino, al propiciar un ambiente poco restrictivo para el crecimiento y desarrollo de las plantas que el que ocurre a cielo abierto (Ortiz *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2012).

El consumo del pepino lo ubica como la cuarta hortaliza más importante del mundo, se utiliza tanto en estado fresco como industrial (Qureshi *et al.*, 2010; Abu *et al.*, 2013)

Las nanopartículas generadas a través de los procesos de producción o durante los procesos de combustión en la industria tienen el potencial para entrar en contacto con los cultivos y plantas silvestres (Fernández *et al.*, 2014).

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 (Liu *et al.*, 2016). 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 (Moreno *et al.*, 2013).

Debido a lo anterior mencionado en esta investigación, se busca mejorar los cambios morfológicos y la producción en el cultivo de pepino a base del injerto y nanopartículas de Cu.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los cambios anatómicos y fisiológicos en el cultivo de pepino injertado y cultivado en nanopartículas de cobre.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar el índice y densidad estomática en hojas y frutos de pepino.
- Determinar el efecto de las nanopartículas de Cu y el injerto en la producción y calidad del cultivo.
- Determinar el 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 cobre.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del pepino

El pepino se considera originario de la India, siendo domesticado en Asia y de ahí introducido a Europa, para posteriormente ser llevado a América por Cristóbal Colón. Los tipos más comunes de pepino son el americano, el europeo, el del este medio, el holandés y el pepino oriental (Wehner y Maynard, 2003).

2.2 Morfología del Cultivo

2.2.1 Sistema radicular

Está constituido por una raíz principal muy potente que se ramifica muy rápidamente para dar raíces secundarias y una cantidad abundante de pelos absorbentes muy finos, alargados de color blanco. Abundante y larga, alcanza hasta 1.2 m de longitud, se ramifica principalmente en los primeros 25 a 30 cm (Ojeda, 2011).

2.2.2 Tallo

Zamudio y Félix (2014), señalan que el tallo principal es espinoso, flexible, de sección angular, cubierto de pelos, con crecimiento indeterminado, de porte rastrero y trepador. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo en el lado opuesto a la hoja, en la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

2.2.3 Hoja

Las hojas son pecioladas, con un peciolo largo y hendido, grandes, palminervias, acorazonadas, opuestas a los zarcillos, simples, alternas, de limbo lobulado, divididas en 3-4 lóbulos más o menos pronunciados, siempre el central más puntiagudo, dependiendo de la variedad, y que a veces no se aprecian notablemente. Bordes suavemente dentados, recubiertas de una vellosidad fina, de tacto áspero sobre todo en hojas viejas y con nervios muy pronunciados por el envés. Las hojas de pepino se desarrollan en cada nudo

del tallo junto a los zarcillos, son de color verde claro cuando son jóvenes y de tono algo más oscuro y más quebradizos las más bajas de la planta (Reche, 2011).

2.2.4 Flor

Tiene flores de ambos sexos en la misma planta por lo que se considera monoica, de polinización cruzada; algunas variedades presentan flores hermafroditas. Al inicio se presentan solo flores masculinas en la parte baja de la planta, al centro en igual proporción las flores masculinas y femeninas, y en la parte superior predominan las femeninas. Las flores masculinas como las femeninas se sitúan en las axilas de las guías secundarias (López, 2003).

2.2.5 Fruto

Pepónide áspero o liso dependiendo de la variedad, que cambia desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. Dichas semillas se presentan en cantidad variable y son ovaladas, algo aplastadas y de color blanco amarillento (Casaca, 2005).

2.3 Importancia económica del pepino

El cultivo de pepino es muy importante, ya que tiene un elevado índice de consumo, pues sirve de alimento tanto en fresco como industrializado. El cultivo de esta hortaliza tiene una estabilidad de la superficie, con un aumento de la producción y exportación. Especie cuyo valor agronómico reside en su producción estacional, para lo cual necesita desarrollarse en cultivo protegido (Maroto, 2002).

La mayor utilidad es de 176,415. 76 pesos y la mayor relación beneficio/costo 1.93, por ha (Álvarez, 2014), Y los costos de producción para una ha es de 54, 484,362 pesos (Arias, 2007).

2.3.1 Producción de pepino en México

El pepino es la cuarta hortaliza de importancia para México, su relación entre cantidad exportada y cantidad producida es cercana a 90% lo cual lo convierte en un elemento clave en las políticas exportadoras de los productos hortícolas (FAO, 2003).

La superficie sembrada del cultivo de pepino en México en el año 2016 fue de 5,159 hectáreas en la cual se obtuvo una producción de 9,247 toneladas (SIAP, 2016).

2.4 Requerimientos Ambientales

El pepino es una planta que pertenece al clima templado a cálido. Debido a esto requiere menos calor que otras cucurbitáceas como el melón (Carpio, 2008).

2.4.1 Temperatura

Las semillas requieren de una temperatura óptima de 20 a 25° durante el día y de 18 a 22°C durante la noche, para su germinación.

La temperatura optima la noche, para el crecimiento y desarrollo de las plantas oscila entre 18 y 30 °C. A temperaturas menores de 14°C cesa el crecimiento, helándose a -1°C (Reyes, 2012).

2.4.2 Humedad

Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa optima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción. Para humedades superiores al 90% y con atmosfera saturada de vapor de agua, las consideraciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, puede originar enfermedades fúngicas (Góngora, 2008).

2.4.3 Luminosidad

El pepino es una planta exigente en luminosidad que pese a todo crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con 12 horas de

luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción (Zamudio y Félix, 2014).

2.5 Requerimientos Edáficos

2.5.1 Suelo

El pepino se puede cultivar en cualquier suelo, pero responde mejor en suelos arcillo-arenosos a francos bien drenados. Si el suelo no es ideal, hay que proveer las condiciones adecuadas para prevenir el exceso de agua (encharcamiento) que en cualquier cultivo es un gran problema (Arias, 2007).

2.5.2 pH

En cuanto a pH, el cultivo se adapta a un rango de 5.5-6.8, soportando incluso pH hasta de 7.5; Se deben evitar los suelos ácidos con pH menores de 5.5 (Casaca, 2005).

2.5.3 Salinidad

A través de la investigación con el paso de los años se dice que el cultivo de pepino está considerado como medianamente tolerante con valores de 3,840 a 2,560 ppm. (6 a 4 mmhos/cm) (Adame, 2001).

2.6 Tipos y Cultivares

Los tipos más comunes de pepino son el americano, el europeo, el de este medio, el holandés y el pepino oriental (Wehner y Maynard, 2003).

2.7 Calidad del Fruto del pepino

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) que son características que dependen de las condiciones de manejo dadas al cultivo, y que 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 (Cruda, 2005; Moreno ,*et al.*, 2013).

El pepino es un cultivo de rápido crecimiento y sus frutos son los principales centros de demanda e influyen en gran medida en la acumulación y partición de materia seca (Gómez *et al.*, 2006; Barraza, 2012).

2.8 Densidad de Siembra y Población

La densidad óptima de plantación es un factor importante para maximizar la producción en muchos de los cultivos. En la actualidad, el espaciamiento comúnmente usado en pepino es de 1.5-2.0 metros entre hileras y 0.2-0.3 metros entre plantas. Pocos estudios se han realizado evaluando los efectos de la densidad de plantación de nuevas variedades, siendo necesario optimizar la densidad de plantación en la producción de pepino, especialmente en aquellas variedades con costos de semilla elevados (López *et al.*, 2011).

2.9 Fertilización

Para que las plantas del pepino (*Cucumis sativus* L.), crezcan sin limitaciones nutricionales, la solución nutritiva debe tener un pH entre 5.5 y 6.5, una conductibilidad eléctrica (CE) entre 1.5 y 3 dS m⁻¹, y los nutrientes minerales deben estar condicionados en proporciones y concentraciones que eviten precipitaciones y antagonismos (Adams, 2004).

Tabla 1. Fertilización óptima en el cultivo del pepino *Cucumis Sativus* L.

Parte de la planta	Rendimiento (ton/ha)	N	P	K	Ca	Mg
		(kg*ha ⁻¹)				
Frutos	14.87	13.44	4.48	23.52	2.24	2.24
Hojas y tallos	7.94	33.6	8.96	41.44	32.48	6.72

La planta modifica el consumo de nutrientes en función de sus fases de crecimiento y desarrollo, condiciones climáticas y características de la solución nutritiva como la C.E, pH y oxígeno disuelto (Terabayasho *et al.*, 2004; Jones, 2005; Sonneveld y Voogt, 2009).

La aportación de CO₂ permite compensar el consumo de las plantas y garantizar el mantenimiento de una concentración superior a la media en la atmosfera del invernadero; así la fotosíntesis se estimula y se acelera el crecimiento de las plantas. Para valorar las necesidades de CO₂ de los cultivos en invernadero necesitamos realizar, en los diversos periodos del año, un balance de las pérdidas derivadas de la absorción por parte de las plantas, de las renovaciones de aire hechas en el invernadero y las aportaciones proporcionales por el suelo a la atmosfera del mismo (Maroto, 2002).

2.10 Riego

Los pepinos no necesitan tanta agua. No obstante, se debe tener cuidado, porque un estrés hídrico prolongado provocara un amargor desagradable, es recomendable regarlos evitando mojar el follaje (Xavier, 2013).

El riego por goteo en cultivo de pepino con un periodo de crecimiento de 70 días para un rendimiento meta de 25 ton/ha. Cantidad total de agua de riego: 175 mm número de riegos: 16 riegos cantidad de agua de riego al momento

del trasplante: 35 mm. A los 9 días después del trasplante: 10 mm, segundo y tercer riego: regar cada 6 días, 10 mm. Después de los 20 días del trasplante: regar cada 4 días, 10 mm (en pleno crecimiento reducir el intervalo a 3 días). Fines de la etapa de la cosecha: regar cada 6 días (García *et al.*, 2001).

2.11 Polinización

La polinización es principalmente a través de insectos, aunque también existe algo de tendencia a la partenocarpia (Maroto, 2002). Las abejas son los mejores agentes de polinización, ya que son especializadas en esta labor y normalmente se puede disponer de ellas, son fáciles de manejar y se pueden ubicar donde se desean. Con el objeto de cuajar las primeras flores del cultivo y no retrasar las cosechas, las abejas se deben introducir cuando aparecen las primeras flores (Casaca, 2005).

Las flores hembras de estas plantas sólo son activas para ser preñadas durante determinadas horas del día. Si la polinización no sucede durante ese tiempo, aunque la fruta crezca no servirá para exportar o vender en el mercado local por su malformación (Arias, 2007).

Es necesario tener presente que ningún cultivar de polinización cruzada da buenos resultados en condiciones de temperaturas muy altas o demasiadas bajas porque el desarrollo de las plantas no se comporta igual en todos los lugares (López *et al.*, 2011).

2.12 Podas del cultivo de pepino

La forma de poda más comúnmente usada en pepino bajo condiciones de invernadero consiste en eliminar por debajo de los 40 a 50 cm del tallo principal todos los brotes que salgan, al igual que las hojas y los frutos que se vayan formando. A partir de los 40 a 50 cm se eliminan todos los brotes laterales que aparecen en el tallo principal, dejando un fruto en cada axila, hasta que este alcance el alambre superior usado para el estrenado de la planta. Una vez que de una o dos hojas se han desarrollado por arriba del

alambre, el punto terminal del tallo principal debe ser eliminado, dejando crecer libremente en el extremo superior de la planta dos brazos laterales, eliminando la yema terminal cuando la planta está cerca del suelo (López *et al.*, 2011).

2.13 Usos y Valor nutritivo

Tiene amplio uso en cosmetología y salud, en la fabricación de jabones, cremas y productos que aprovechan sus propiedades como emoliente, diurético, depurativo, laxante y calmante, además tiene efectos en tratamientos de aclaramiento de la piel y manchas, reducción de ojeras y nutrición del cuero cabelludo (Qureshi *et al.*, 2010; Abu *et al.*, 2013) en 100g 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 (0,1mg) vitamina C (8 mg) y minerales como calcio (7mg), potasio (147 mg), de hierro (0,3 mg), fósforo (30 mg) y magnesio (13 mg) (Caicedo, 1993; Tsuchida *et al.*, 2010; Kazemi, 2013).

2.14 Cosecha

Ando y Grumet (2010), mencionan que esta actividad ocurre a mediados o al final de la fase exponencial de crecimiento, lo que podría depender del genotipo y las condiciones ambientales.

El primer corte se lleva a cabo a los 43 días después del trasplante, prosiguiendo con cortes semanales; cuando el fruto presente características de 20 a 30 cm de largo, una superficie cilíndrica lisa y recta, color verde oscuro y uniforme, sin amarilleo. Y el fin de cosecha aproximadamente a los 82 ddt, dependiendo el ciclo y las condiciones ambientales (Hernández *et al.*, 2014).

2.15 Injertos

El uso de injertos en los cultivos aumenta la absorción de agua y nutrientes debido a la ayuda de la raíz de los portainjertos, al tener más raíces se facilita

más la asimilación y eficiencia del recurso agua y así mismo se le facilita la absorción de nutrientes que se les proporciona al cultivo (Camacho y Fernández, 2000).

El injerto de hortalizas se encuentra dentro de las alternativas no químicas para ayudar a reducir la necesidad de fumigación del suelo con bromuro de metilo para control de patógenos en muchos cultivos (Bello *et al.*, 2001).

El injerto es una técnica de propagación en la cual dos porciones de planta de textura orgánica similar, son unidas de manera que puedan continuar su desarrollo como una sola planta. Es una técnica respetuosa con el ambiente, no genera residuos y se emplea como una alternativa a la desinfección de suelos con ciertos productos químicos. El injerto de frutales y cultivos anuales como solanáceas y cucurbitáceas ha sido difundido en muchos países porque trae consigo una serie de ventajas comerciales, entre éstas pueden citarse la resistencia a enfermedades, tolerancia a estreses abióticos, vigor, incremento a la producción y mejora en la calidad de los frutos (Camacho, 2006).

El principal objetivo de trabajar con injertos es tener un control de enfermedades provocadas por microorganismos del suelo, como *Fusarium sp.*, *Verticillium sp.* y *Pyrenochaeta sp.* Con uso de patrones tolerantes. Con el uso de injertos, se aprovecha la tolerancia en el sistema radicular del patrón, ya que tienen eficiencia para la absorción de agua y nutrientes, y sus 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. El incremento en el vigor, que generalmente proporciona el patrón a la variedad, permite utilizar un menor número de plantas por unidad de superficie (Miguel, 1997). Algunas ventajas adicionales que se atribuyen 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 y los gastos de operación. El valor de una plántula injertada lista para el trasplante representa un incremento de 125 % en costo en relación con una plántula sin injertar (Kubota *et al.*, 2008).

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 CO₂, e incidencia de insectos plaga y de enfermedades, entre otras ventajas (Jones, 2008).

2.16 Métodos de injerto

Los injertos en hortalizas se manejan de acuerdo a la familia, en el caso de las cucurbitáceas el injerto de aproximación es uno de los más comunes, sin embargo, hay otros métodos tales como: injerto de púa en hendidura, de brote, doble injerto de cuña y adosado (Mascorro *et al.*, 2013).

2.16.1 Injerto de aproximación

La característica más notable de este tipo de injerto es que los sistemas radiculares del patrón y de la variedad se mantienen durante la mayor parte del tiempo que dura la producción de la planta injertada, por lo que es un sistema más seguro, las plantas sufren menos estrés, lo que permite que sea realizado por personal menos especializado y con instalaciones menos sofisticadas que los otros sistemas (Lee *et al.*, 2010)

2.17 Fertilización Química

Los fertilizantes químicos son productos industriales elaborados de diversas formas expresando el contenido de los nutrientes en base a porcentaje existente en un porcentaje de la calidad total, siendo esta la que determina la calidad de un fertilizante químico (Castillo, 2009).

La cantidad y diversidad de soluciones nutritivas formuladas es considerable, difiriendo entre sí en la relación de concentración y combinación de sales (Steiner, 1961; Sonneveld *et al.*, 1999; Rangel *et al.*, 2006). Esta gran variabilidad no permite el diseño de una gran solución nutritiva adecuada común a todos los cultivos (Hernández *et al.*, 2006; Rangel *et al.*, 2006).

2.18 Nanotecnología

La nanotecnología ha sido definida como toda aquella tecnología que se relaciona con nuevos materiales, sistemas y procesos que operan a una escala de 100 nanómetros (nm) o menos, supone la manipulación de materiales y la creación de estructuras y sistemas a escala de átomos y moléculas, esto es, a nana escala. (Somasundaran *et al.*, 2010).

Las propiedades y efectos de las partículas y materiales a nanoescala difieren considerablemente de las partículas más grandes con igual composición química. Las nanopartículas pueden tener una mayor reactividad química y ser más bioactivas que las partículas más grandes, por su tamaño, tienen mejor acceso a cualquier cuerpo y tienen probabilidad de entrar en células, tejidos y órganos. Estas propiedades ofrecen nuevas aplicaciones en casi todas las áreas de la industria (Lugo *et al.*, 2010).

La nanotecnología tiene aplicación en sistemas de alimentación y agricultura sustentable, mientras que los nanomateriales ofrecen innovación de productos a la industria de alimentos, en forma de colorantes, saborizantes, aditivos nutricionales e ingredientes antibacterianos para el envasado, así como agroquímicos y fertilizantes más potentes. Por ejemplo, compuestos de nanoarcilla (plásticos a los que se les ha agregado plaquetas de arcilla

nanoscópicas) tanto en el envasado de alimentos y bebidas como en plásticos de uso agrícola que permiten la liberación controlada de herbicidas; también se está estudiando su empleo como revestimientos de fertilizantes de liberación controlada (Lugo *et al.*, 2010).

La posibilidad que tienen las nanotecnologías de aplicarse a múltiples sectores permite a las compañías ampliar sus actividades comerciales incursionando en otras industrias en nuevos segmentos de mercado (Fernández *et al.*, 2014).

2.18.1 Nanomateriales (NM) y nanopartículas (NPs)

Según Fages (2013), los nanomateriales se pueden clasificar conforme a su naturaleza química en tres grandes familias:

- Nanomateriales derivados del silicio: nanoarcillas, nanoesferas de sílice, nanoesferas de silicio y nanocompuestos de tipo oligomérico, poliédrico silsesquioxano (POSS).
- Nanopartículas metálicas y derivados de estas: plata, oro, cobre, titanio, zinc, dióxido de titanio, óxido de zinc, cerio, etc.
- Nanopartículas poliméricas: dendrimeros

Las nanopartículas son materiales que son lo suficientemente pequeños como para caer dentro del rango nanométrico (10^{-9} a 10^{-12} m) teniendo sus dimensiones de menos de unos pocos cientos de nanómetros (Srilatha, 2011).

Dentro de las NPs se encuentran las NPs metálicas que tienen la capacidad potencial de viajar en el interior del organismo que otros materiales o partículas más grandes no pueden hacer, por lo tanto, se pueden evaluar diversas interacciones de las NPs con fluidos, células y tejidos (Bhattacharyya *et al.*, 2014).

Ferrer (2012), menciona que las nanopartículas metálicas presentan una gran aplicabilidad debido a sus propiedades electrónicas. Estos pequeños

agregados metálicos no pueden ser tratados como el grueso del material, ya que la banda de conducción presente en un metal voluminoso está ausente en este tipo de sistemas, y en su lugar se darán estados discretos en la banda. Los electrones están confinados en pequeñas partículas de metal, mostrando así las propiedades ópticas y electrónicas inesperadas, resultado de confinamiento de los electrones a un número de estados energéticos cuánticos disponibles.

2.18.2 Uso de las nanopartículas en la agricultura

La agricultura es un área donde las nuevas tecnologías se aplican para mejorar el rendimiento de los cultivos. El uso de las NPs puede tener soluciones concretas contra muchos de los problemas relacionados con la agricultura como el control de plagas de insectos utilizando los métodos tradicionales, los efectos adversos que provocan las sustancias químicas que contienen los pesticidas y la transferencia de genes mediana por NPs que sería útil para el desarrollo de variedades mejoradas en cultivos resistentes a plagas de insectos (Azeredo *et al.*, 2009).

Específicamente a las nanopartículas se les define como un material en partículas discretas generalmente menos de 100 nm, en al menos una dimensión que tiene nuevas propiedades que las diferencian de las formas de partículas del material a granel (Hobsom, 2011).

Principalmente la agricultura ha sido testigo de cambios radicales desde el siglo pasado con un giro basado en la investigación, desarrollando su industrialización con monocultivos a gran escala, la irrigación, el uso de fertilizantes artificiales, (Ingeborg y Kare, 2014).

Los NPs también se usan en la agricultura y la industria alimentaria. Comparados con los materiales a granel, las NPs ejercen efectos sobre los organismos a umbrales de concentración muy bajos, interactúan con proteínas transportadoras de membrana y, debido a su pequeño tamaño, pueden ingresar al citoplasma celular directamente a través de la membrana (Adhikari *et al.*, 2013).

Las NPs pueden tener una mayor reactividad química y ser más bioactivas que las partículas más grandes, por su tamaño, tienen mejor acceso a cualquier cuerpo y tienen probabilidad de entrar en células, tejidos y órganos. Estas propiedades ofrecen nuevas aplicaciones en casi todas las áreas de la industria (Záyago y Foladori, 2010).

La nanotecnología en la agricultura es sumamente beneficioso para la humanidad, ya que ayuda a la germinación de los cultivos más rápidamente, a tener cultivos libres de plagas, a que los cultivos absorban de mejor manera los nutrientes que proporciona la tierra y muchas otras ventajas más que en el pasado sin poseer la nanotecnología se les hubiera hecho imposible tener este tipo de cultivos (Quispe y Carmen, 2010)

2.18.3 Nanopartículas de Cu (NPs de Cu)

Las NPs de Cu han atraído mucho la atención en los últimos años por ser un metal semiconductor, por sus propiedades físicas, químicas, antimicrobianas, así como por su abundancia (Betancourt *et al.*, 2013). Las NPs de Cu ya han demostrado su acción antibacterial en patógenos humanos y enfermedades nosocomiales (Baba, 2006).

Dada la efectividad del cobre contra organismos patógenos asociados con enfermedades de plantas y animales, ha sido utilizado ampliamente en el sector agropecuario como pesticida desde hace miles de años y últimamente como promotor de crecimiento vegetal (Jaiswal *et al.*, 2012).

El cobre se convierte en un metal tóxico cuando se encuentra en los tejidos a concentraciones más altas a las necesarias para el crecimiento vegetal (30 mg/kg) Entre los mecanismos bioquímicos de defensa que se induce en respuesta al daño oxidativo causado por cobre está el incremento de las actividades de enzimas antioxidantes tales como catalasa, superóxido dismutasa, glutatión reductasa, ascorbato y guaiacol peroxidasas (León y Sepúlveda, 2012).

Las NPs de cobre se han aplicado en diversas industrias como la agricultura. La ganadería, los electrodomésticos, la milicia y la medicina humana debido

a sus propiedades antimicrobianas (Borkow y Gabbay, 2009). Por ejemplo, son eficaces en la eliminación de una amplia gama de microorganismos como: *Aspergillus carbonatus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* y *Saccharomyces cerevisiae* (Vagabov *et al.*, 2008).

Los estudios en la agricultura sobre las NPs de Cu son muy escasos, las investigaciones realizadas son dirigidas hacia fines antisépticos (Kalatehjarl *et al.*, 2015), evaluaron los efectos antimicóticos de las NPs de Cu sobre el crecimiento del hongo *Saprolegnia sp.* Los efectos antimicóticos de las NPs de Cu están correlacionados positivamente a la concentración y tiempo de exposición. La actividad antimicrobiana de nanoestructuras a base de cobre depende de la especie y el montaje experimental (Longano *et al.*, 2011).

Hoy en día la falta de conocimiento suficiente sobre los efectos de NPs de Cu en otras plantas, sistemas ecológicos o la salud humana no hacen aconsejable el uso comercial de este material. Se necesitan más estudios que incluyan la evaluación de los efectos de Nps de Cu en otras especies y sistemas agrícolas (Juárez *et al.*, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El siguiente trabajo se llevó a cabo en el año 2016 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México en el departamento de Horticultura con las coordenadas geográficas 101°2' longitud Oeste y 25°21' latitud Norte del meridiano de Greenwich y con una altitud de 1763 metros sobre el nivel del mar.

3.2. Material vegetal

Se utilizó la variedad de pepino Induran RZ", y como portainjerto el híbrido calabaza criolla (*Cucúrbita máxima*).

Variedad Induran RZ F1

Planta de gran vigor, con muy buen diámetro de hojas y de color verde intenso (Blue leaf). Frutos lisos, sin espinas y con muy buena relación entre diámetro y tamaño. Ideal para planteos de frío a calor. Muy buena tolerancia al amarillamiento de hoja y al *Mildiú*, mide 23 a 25 cm de longitud (Rijk Swaan, 2014).

3.3 Siembra del material vegetativo

La variedad del pepino se sembró el 13 de junio de 2016 en charolas de polietileno de 60 cavidades de 100 centímetros cúbicos de volumen con una mezcla de sustrato para germinar de peat moss y perlita relación 2:1, el portainjerto (calabaza criolla se sembró el 20 de junio de 2016 en vasos de unicel de 8 onzas utilizando la misma relación de sustrato, esto con la finalidad de que los grosores del tallo fueran uniformes.

3.4 Riego

En el transcurso de la germinación los riegos se realizaron diariamente de forma manual aplicando 2.5 litros de agua por charola una vez al día por la mañana hasta llegar a la etapa de plántula posteriormente al realizar el trasplante se inició con la instalación de un sistema de riego automatizado riego con la cual se aplicó una fertilización química nutritiva en base a (Steiner 1961). En la etapa vegetativa se realizaban 2 riegos por día de 10 minutos con gasto de 1.5L por planta, en la etapa de floración los riegos se aumentaron a 15 minutos con un gasto de 2L por planta haciendo un riego en la mañana y otro por la tarde, en la etapa de producción se hacían riegos de 30 minutos con un gasto de 3.2L por planta.

3.5 Manejo de plántulas post injerto

Las plántulas ya injertadas se mantuvieron durante 6 días en una cámara de prendimiento en temperatura de 25 °C y humedad relativa en un 80% con ausencia de luz (Peralta *et al.*, 2016), posteriormente se colocaron durante cuatro días en una cámara de aclimatación cubierta con polietileno transparente manejando con condiciones de humedad relativa del 80% las 24 horas por 3 días.

3.6 Trasplante

Después las plantas injertadas fueron trasplantadas a bolsas de 10 kg con sustrato de “peat moss” y perlita agregándole 0.4 mg de NPs de Cu absorbidas en hidrogeles de quitosán.

3.7 Manejo de plagas y enfermedades

En cuanto a plagas y enfermedades la única plaga que afectó al cultivo en etapa de producción fue la mosquita blanca la cual se controló con extracto de ajo y azufre.

3.8 Nutrición del cultivo

La fertilización fue de acuerdo a la etapa fenológica de la planta aplicando la solución Steiner.

La concentración de la solución se modificó durante el periodo de crecimiento de la siguiente manera 25% en la primera semana, 50% en la segunda y en la tercera semana de 75% a partir de la cuarta semana la concentración fue de 100% esto debido al rápido crecimiento del cultivo La conductividad eléctrica de la solución Steiner se mantuvo en $3.0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

3.9 Manejo Agronómico del cultivo

En el cultivo de pepino es indispensable el manejo del tutoreo para ello se usó hilo de rafia y anillos en el cual el tallo fue enrollado y sostenido, así se fueron acomodando conforme iban creciendo las plantas se agregaba más hilo.

De igual manera se realizaron podas: al mes del trasplante se realizó la primera poda, que consistió en la eliminación de los tallos secundarios dejando solo el tallo principal, de igual manera se eliminaron los frutos y flores que aparecieron antes de que la planta llegara a los 60 cm, durante la producción se eliminaban las frutas mal formadas y hojas amarillas.

En el control de plagas y enfermedades solo se usó el extracto de ajo que es una sustancia orgánica y azufre.

La cosecha fue realizada a los 70 días después del trasplante del cultivo, el segundo corte se realizó 11 días después del primero, a los 10 días más se dio un tercer corte y a los 9 días más se dio un último corte teniendo así 4 cortes durante el ciclo.

3.10 Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados fueron distribuidos en el invernadero, teniendo un total de 4 tratamientos como se muestra a continuación, teniendo 5 repeticiones por tratamiento.

T1.- sin NPs de Cu y sin Injerto

T2.- sin NPs de Cu y con Injerto

T3.- con NPs de Cu y sin Injerto

T4.- con NPs de Cu y con Injerto

3.11 Variables evaluadas

Se determinaron las variables de producción y calidad de fruto, como a continuación se describen:

3.11.1 Índice estomático del haz e índice estomático del envés

Se tomaron 4 plantas por tratamiento y una hoja joven completamente desarrollada de cada una quitando los bellos posteriormente agregamos esmalte y con cinta de pegar retiramos el esmalte en el cual se le adhirieron los estomas, luego la cinta se pegó en un porta objeto esta actividad se realizó a mitad del ciclo del cultivo, posteriormente se observó en el microscópico y se capturó la imagen. A continuación, se hizo un conteo de estomas en el campo de observación y usando la fórmula para el cálculo esta actividad se hizo para el haz y envés. La Fórmula sugerida por (Wilkinson, 1979).

$$IE = ((NE)/(CE+NE))*100$$

Dónde, IE = Índice estomático.

NE = Número de estomas por campo de observación.

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

3.11.2 Índice estomático de epidermis del fruto

Se tomaron 4 frutos por tratamiento de la cual posteriormente agregamos esmalte y con cinta de pegar retiramos el esmalte en el cual se le adhirió los estomas, la cinta se pegó en una porta objeto esta actividad se realizó a mitad del ciclo del cultivo, enseguida se observó en el microscopio y se capturó la imagen con los estomas con el conteo de estos mismos se hizo un cálculo usando la siguiente fórmula para obtener nuestro índice estomático (Wilkinson, 1979).

$$IE = ((NE)/(CE+NE))*100$$

Dónde:

IE = Índice estomático.

NE = Número de estomas por campo de observación.

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

3.11.3 Sólidos solubles totales

Para obtener esta variable se utilizó un refractómetro portátil marca ATAGO en el cual se agregó una gota del fruto en completa maduración fisiológica y se tomó la lectura correspondiente para verificar la cantidad de sólidos solubles totales en fruto.

3.11.4 Firmeza del fruto

La firmeza del fruto se determinó con un penetrómetro de la marca FRUIT PRESSURE TESTER FT 327 utilizando una puntilla de 8 mm de diámetro, para esto se retiró la cutícula.

3.11.5 Número de frutos

Esta variable se determinó mediante el conteo acumulado de frutos por planta se tomaron cuatro por tratamiento en cada cosecha cuando la fruta llegaba a su maduración fisiológica.

3.11.6 Longitud del fruto

Se determinó la longitud del fruto con una cinta métrica tomando como primer punto la base culminando en el ápice del fruto de pepino esto se hizo con cada fruto y cada tratamiento al ser cosechados, y el resultado fue registrado en centímetros (cm) esta actividad se realizó en cada cosecha.

3.11.7 Peso de los frutos por planta

Se determinó al pesar cada uno de los frutos en una báscula digital de 4 dígitos, este resultado se registró en gramos. Los datos fueron tomados cada cosecha por tratamiento.

3.11.8 Diámetro del tallo

Se midió el tallo de cuatro plantas por cada uno de los diferentes tratamientos con un vernier, lo obtenido se expresó en milímetros (mm) la variable se tomó al finalizar el ciclo del cultivo.

3.11.9 Longitud de raíz

La longitud se midió con una cinta métrica de 1 metro con la finalidad de verificar el crecimiento de la raíz y el desarrollo de las mismas con cada tratamiento expresado en centímetros al culminar el ciclo del cultivo.

3.11.10 Área foliar

Para determinar esta variable se usó un aparato medidor de área foliar marca El LI-3000C combina una consola de lectura fácil de usar con la tecnología de escaneo comprobada del sensor en el cabezal, para proveer un sistema potente para realizar mediciones de área foliar no destructivas. Utilizando un método electrónico de aproximación rectangular para brindar una resolución de 1 mm². El área foliar, la longitud de las hojas, el ancho promedio y el ancho máximo se registran en la consola mientras se pasa el cabezal de escaneo sobre la hoja se tomaron los datos de la variable al culminar el ciclo.

3.11.11 Rendimiento (kg)

El rendimiento se determinó con el peso de cada uno de los frutos en una báscula digital, posteriormente se una suma total de los frutos de cada planta se multiplicó por los metros cuadrados que fue 1.2m² esto por el rendimiento por m². Para el rendimiento por ha-1 se tomó el rendimiento por m² y se multiplicó por los 10,000 m² que equivale una hectárea este resultado se expresó en kg/ha-1 esta actividad se realizó en cada cosecha

3.12 Modelo Estadístico

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (2X2) donde el factor 1 es (con y sin injerto), factor 2 (aplicación de NPs de Cu y sin NPs de Cu), con un total de 4 tratamientos con 5 repeticiones, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias mediante metodología de LSD Fisher con un nivel de significancia de ≤ 0.05 utilizando el programa InfoStat 2017.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Índice Estomático del Haz

Acorde a la variable índice estomático del haz de la hoja de la planta de pepino se observa estadísticamente que existe diferencia significativa (LSD Fisher 0.05), como se muestra en la Figura 1, el uso de injerto sin NPs de Cu muestra mayor índice estomático, estos resultados coinciden con (Pares *et al.*, 2003) quienes sostienen que la técnica de injerto causa modificaciones en los estomas de la epidermis de las hojas, con respecto a nanopartículas de Cu se coincide con Gonzales (2017) al no obtener respuesta significativa al usar Nps de Cu en sandía y agrego que la variación puede ser promovida en respuesta ante el estrés por el cobre que desencadena la modificación de procesos bioquímicos.

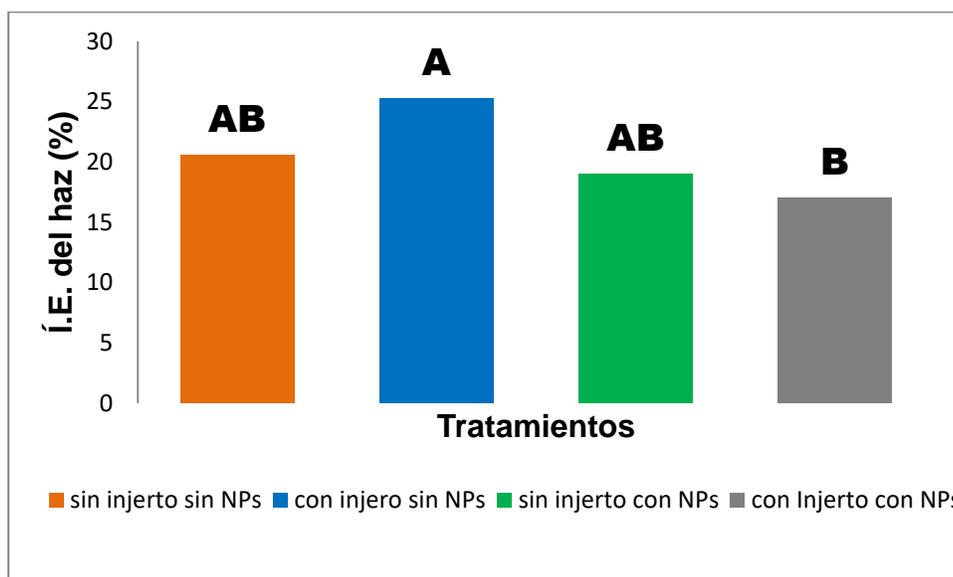


Figura 1. Índice estomático del haz de la hoja de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.2 Índice Estomático del Envés

Mediante el análisis estadístico se muestra que no hubo diferencia significativa (LSD Fisher 0.05), como se observa en la figura 2, sin embargo, numéricamente el uso de injerto sin Nps de Cu sobresalió en cuanto al resto de los tratamientos, esto concuerda con (Cañizares *et al.*, 2003), quien menciona que el índice estomático se afecta en porta injertos de frutales como lima persa injertadas en citrange carrizo. Los resultados que se obtuvieron en base al uso de Nps de Cu concuerdan con González (2017) quien no encontró diferencia significativa en cuanto índice estomático en la parte abaxial de la hoja de sandía al aplicar NPs de Cu, usualmente el índice estomático es mejor en la parte abaxial que en la superficie adaxial (Voleniková y Tichá, 2001).

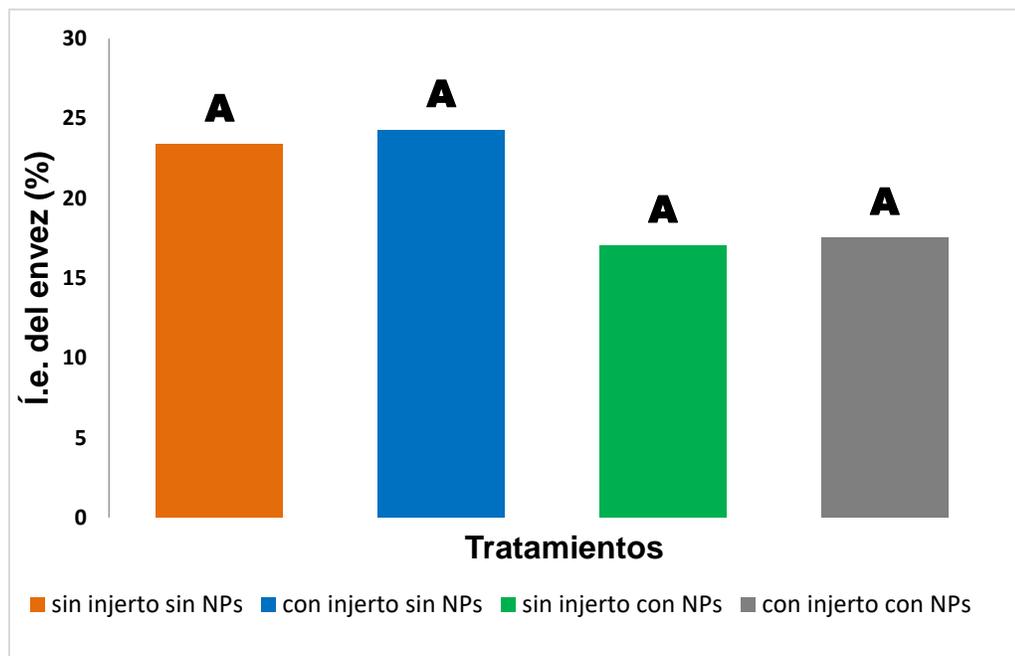


Figura 2. Índice estomático del envés de la hoja de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.3 Índice Estomático de la Epidermis del Fruto

Los resultados del índice estomático de la epidermis del fruto nos muestran que no hubo diferencia estadística sin embargo numéricamente el mayor fue el uso de injerto sin Nanopartículas de Cu, Pares y colaboradores (2004), han encontrado en varias especies de cítricos y anona, que el número de estomas varía en la superficie de la lámina con respecto al patrón o porta injerto utilizado. Las diferencias posiblemente se debieron a la presencia de glándulas de aceite en el envés de la hoja, que modifican la distribución y relación de estomas con células epidérmicas en lima (Cañizares *et al.*, 2003).

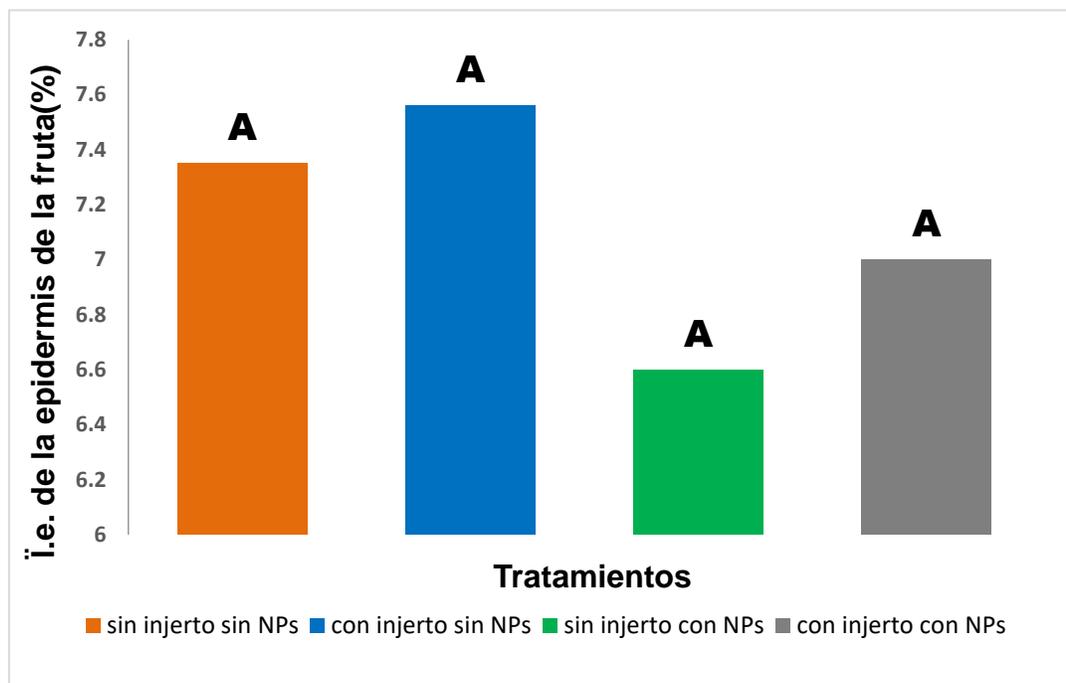


Figura 3. Índice estomático de la epidermis del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.4 Sólidos Solubles Totales

En cuanto la variable sólidos solubles totales los resultados muestran estadísticamente que 3 de los tratamientos son similares, sin embargo, numéricamente sobresale el correspondiente al uso de injerto sin Nps de Cu a diferencia del que corresponde al uso de injerto con NPs de Cu como se muestra en la figura 4. Esto concuerda con Rodríguez (2016) que encontró un mayor incremento en sólidos, solubles totales en plantas de pepino injertado, Kleinhenz y Bumgamer (2012) reportaron que los valores obtenidos están en los rangos indicados es decir entre el 3 y el 4. En cuanto el uso de nanopartículas los resultados concuerdan con Corrales (2014) en la cual no apreció diferencia estadística entre tratamientos, pero si una clara diferencia numérica, ya que el tratamiento con NPs Cu comercial, fue el que generó mayor concentración de sólidos solubles totales.

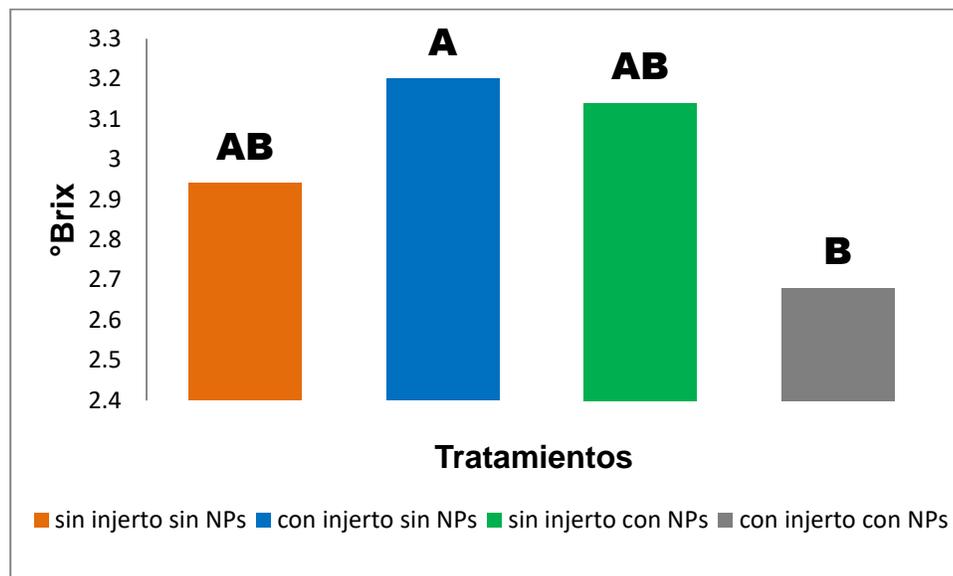


Figura 4. Sólidos solubles totales del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.5 Firmeza

En cuanto al análisis estadístico podemos ver que, si se observa diferencia significativa para la variable firmeza en cuanto el uso de NPs, Corrales (2014) no encontró diferencia estadística, sin embargo, si existe diferencia numérica entre los tratamientos de NPs de Cu y NPs de ZnO los que registraron mayor firmeza con valores de 0.681 Kg/cm² cada uno, en contraste con el testigo que mostró un valor de 0.583 Kg/cm². Sin embargo, el uso de injerto no afecta, se ha reportado que el uso de injerto puede tener efectos adversos en calidad del fruto (Nissini *et al.*, 2002; Traka-Mavrana, 2000).

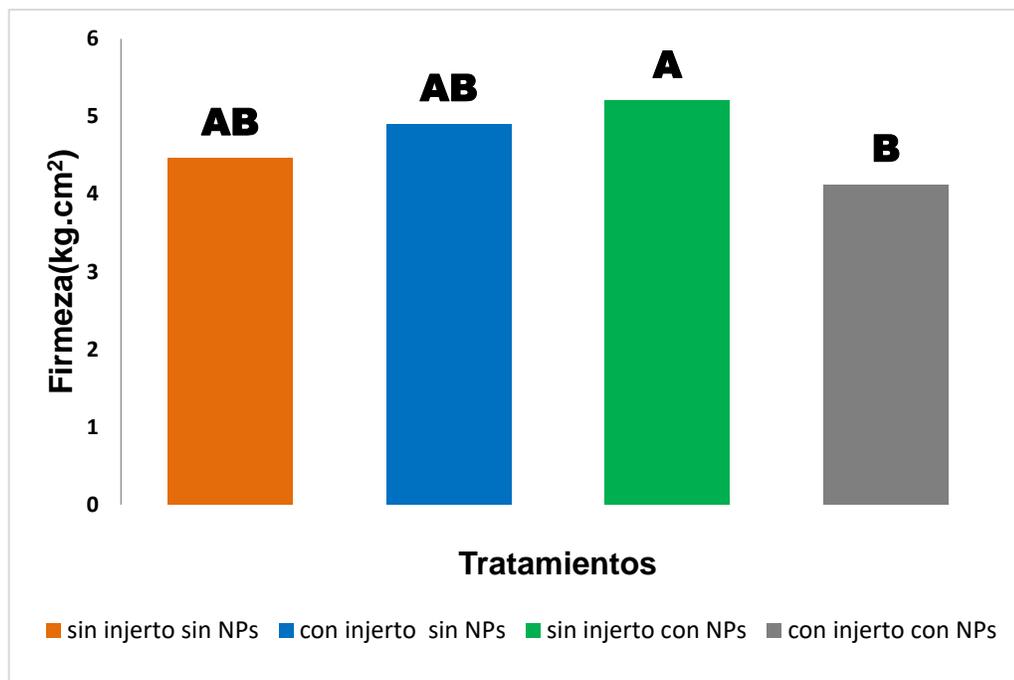


Figura 5. Firmeza del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.6 Número de frutos

Los resultados en la figura 6 muestran que estadísticamente sobresale el tratamiento que corresponde a sin NPs sin injerto (testigo), a diferencia numérica de 2 frutos en relación a la técnica de injerto de aproximación con adición de NPs, Tabares y Alamo (2002) no encontraron diferencias entre plantas injertadas y no injertadas en cuanto al número de frutos., en razón al uso de NPs no coinciden con (Juárez *et al.*, 2016), que reportan que las NPs de Cu a una concentración de 0.06 mg L incrementaron en un 22.84% el número de frutos en plantas de tomate.

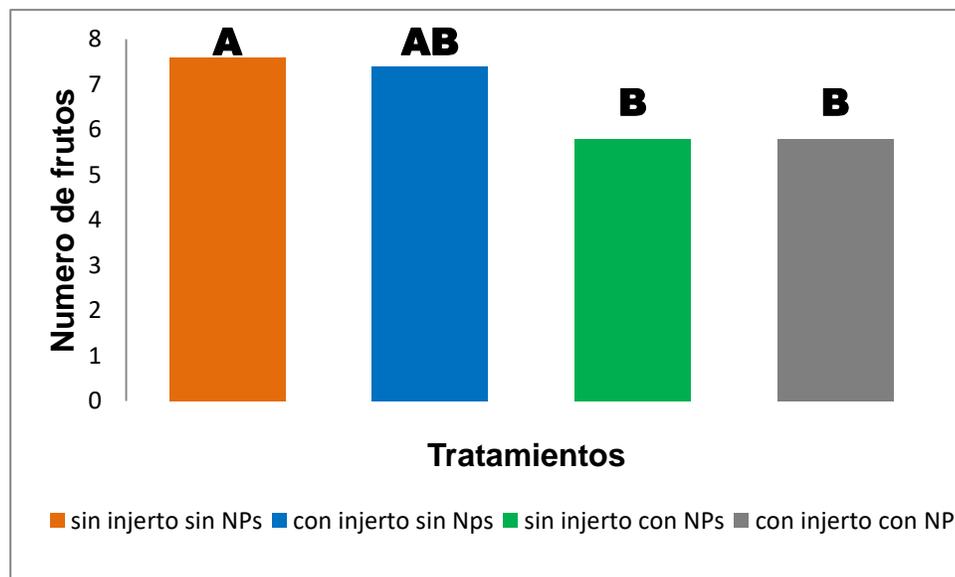


Figura 6. Número de frutos de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.7 Longitud del Fruto

En la variable longitud de fruto se observa una diferencia significativa estadísticamente (LSD 0.05) donde se hizo una comparación entre los 4 tratamientos como se observa en la figura 7, resultando como mayor el uso de Nps de Cu sin injertar nuestros resultados no coinciden con (Ando *et al.*, 2012) quienes indican que el uso de injerto aporta ganancia de peso y aumento de volumen desde el momento de la antesis hasta que el fruto alcance madurez.

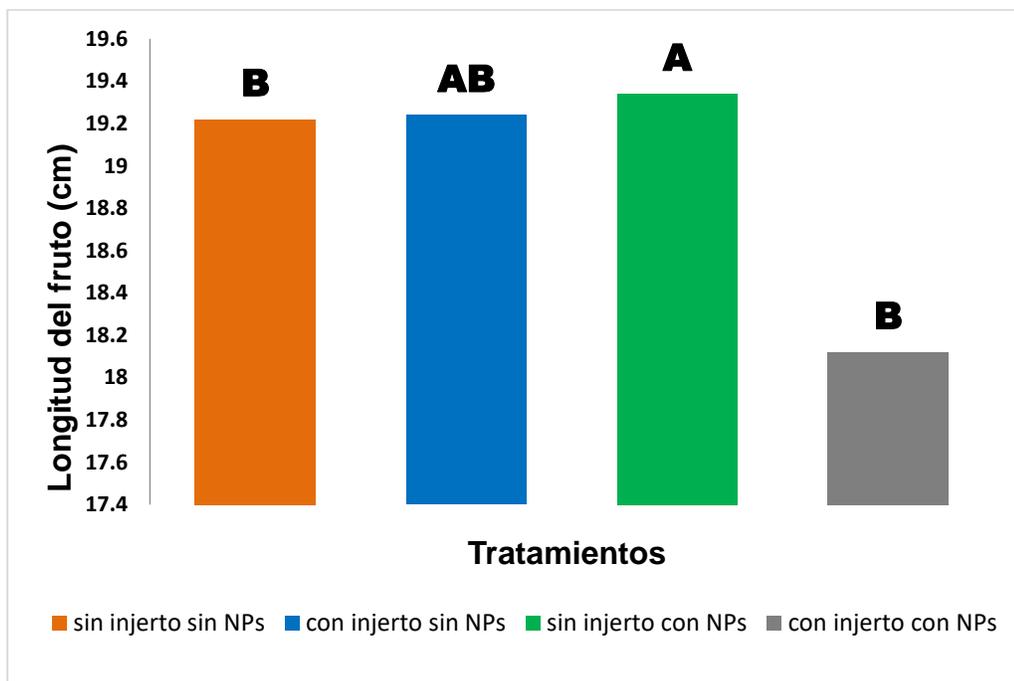


Figura 7. Longitud del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.8 Peso del Fruto

Los análisis de varianza indican que 2 de nuestros tratamientos fueron estadísticamente similares en cuanto al uso de NPs. El uso o no de injerto no afecta. En cuanto al resultado respecto al uso de Nanopartículas no coincide con Corrales (2014) quien menciona que al usar NPs de Cu en uno de sus tratamientos registró menor peso de frutos con promedio de 91.27 g. En cuanto al injerto se debe considerar algunas combinaciones de injertos para obtener mejores respuestas (Edelstein *et al.*, 2014).

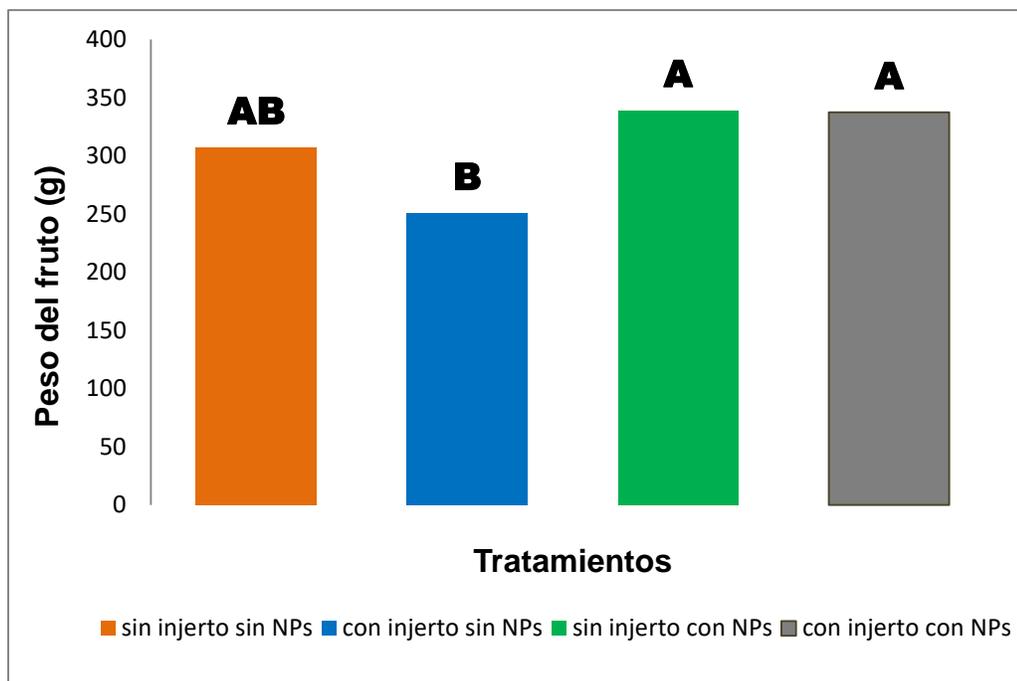


Figura 8. Peso de frutos de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.9 Diámetro de Tallo

En el diámetro de tallo se observa que no hay diferencia significativa en los tratamientos sin embargo numéricamente el mejor tratamiento fue el uso de injerto sin nanopartículas (Jifon *et al.*, 2008) encontraron que los diámetros basales de tallo en sandía injertada, fueron significativamente más grandes que en las plantas no injertadas. La diferencia en la relación diámetro del tallo está asociada a la diferencia en vigor de los portainjertos, al igual que al crecimiento de la planta (González *et al.*, 2003; y López *et al.*, 2008).

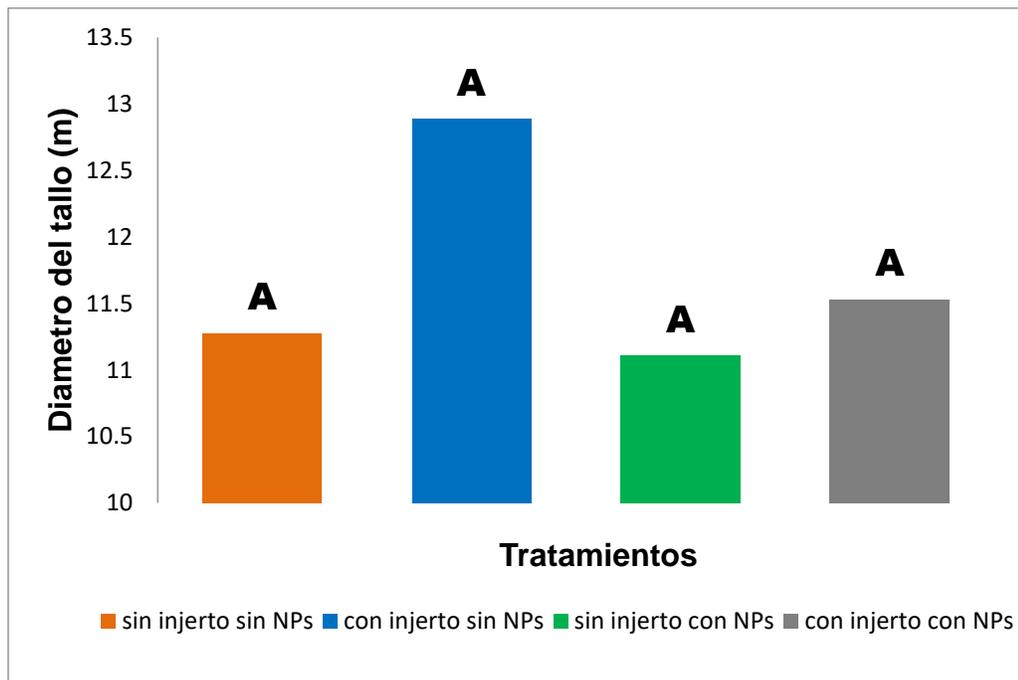


Figura 9. Diámetro del tallo de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.10 Longitud de Raíz

En la figura 10 podemos observar que, si hay diferencia significativa en la variable longitud de raíz, el mayor tratamiento fue el uso de injerto sin nanopartículas. (Nhan *et al.*, 2014) reportaron un efecto negativo en la biomasa de la raíz de algodón transgénico., Lin y Xing (2008), señalan que la aplicación de 1000 mg L de NPsZnO en zacate rye grass (*Lolium perenne*), causa una reducción en la biomasa; al afectar el crecimiento apical de la raíz. En cuanto el injerto se obtuvo un resultado el cual concuerda con Giles (2009) quien nos menciona que al usar la técnica de injerto en hortalizas favorece al desarrollo de la raíz. Trotin (2011) menciona que al tener un buen desarrollo radicular hay mejor absorción de agua y de nutrientes ya que el patrón demanda más estos elementos.

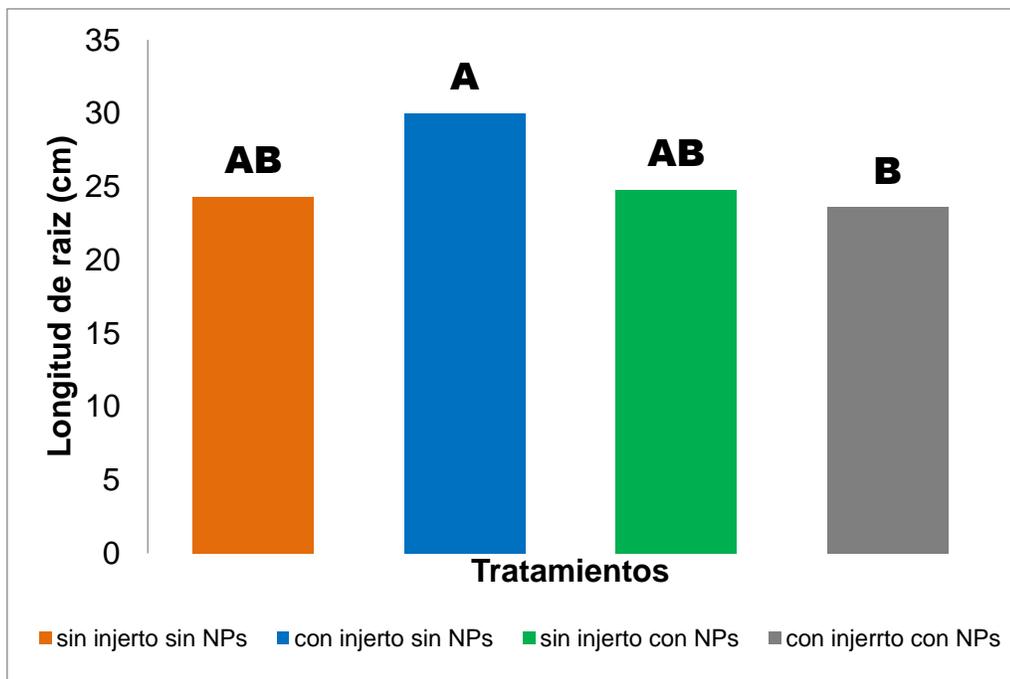


Figura 10. Longitud de raíz de la planta de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.11 Área Foliar

Se observa que en la variable Área foliar encontramos diferencia significativa teniendo como mejor resultado el uso de injerto con adición de nanopartículas de Cu, (Hernández *et al.*, 2014) observaron que se produce mayor área foliar en plantas injertadas sobre calabaza que las no injertadas. La hoja y las características de ésta juegan un papel particular y muy importante en la asimilación de carbono, las relaciones hídricas y el equilibrio energético de la planta, esto permite atribuir a que con el uso del injerto se puede obtener un área foliar específica óptima, que permite a la planta tener una mayor eficiencia fotosintética (Amaro *et al.*, 2012).

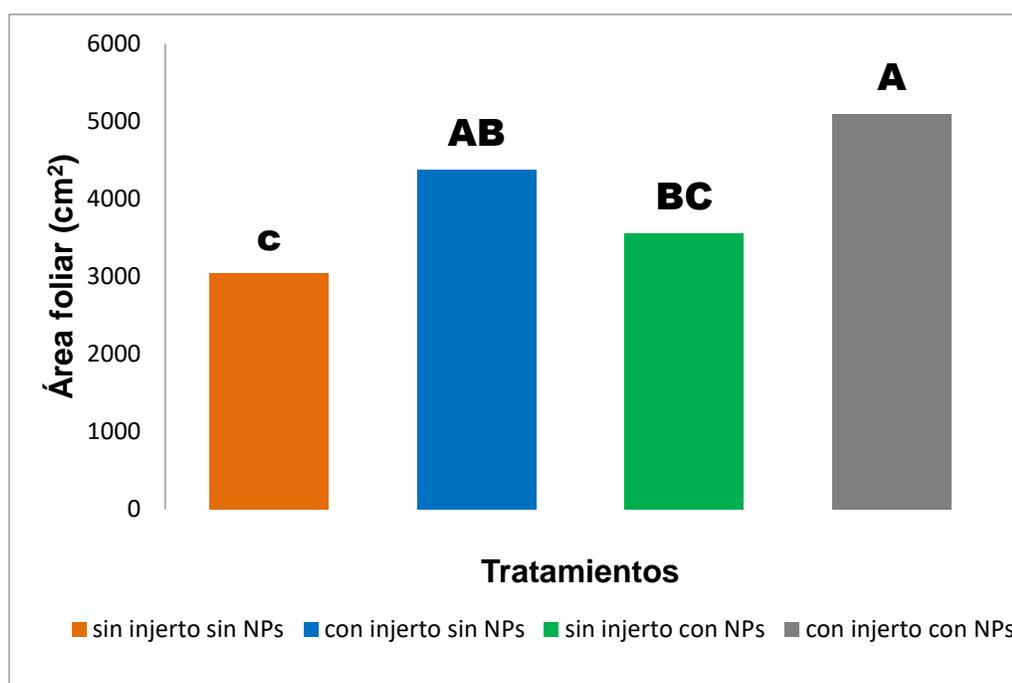


Figura 11. Área foliar de la planta de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

4.12 Rendimiento

Podemos observar que estadísticamente el mejor tratamiento fue el uso de NPs de Cu con injerto, las NPs incrementan la actividad de ciertas enzimas como la fitasa, fosfatasa ácida y alcalina, las que pueden estar contribuyendo a la solubilización de un nutriente como el fósforo orgánico y su absorción por las plantas (Tarafdar *et al.*, 2014). Estos resultados concuerdan con Acevedo y Sánchez (2017) quienes describen los resultados obtenidos en el rendimiento entre las variedades evaluadas de pimiento morrón, principalmente entre plantas injertadas y no injertadas.

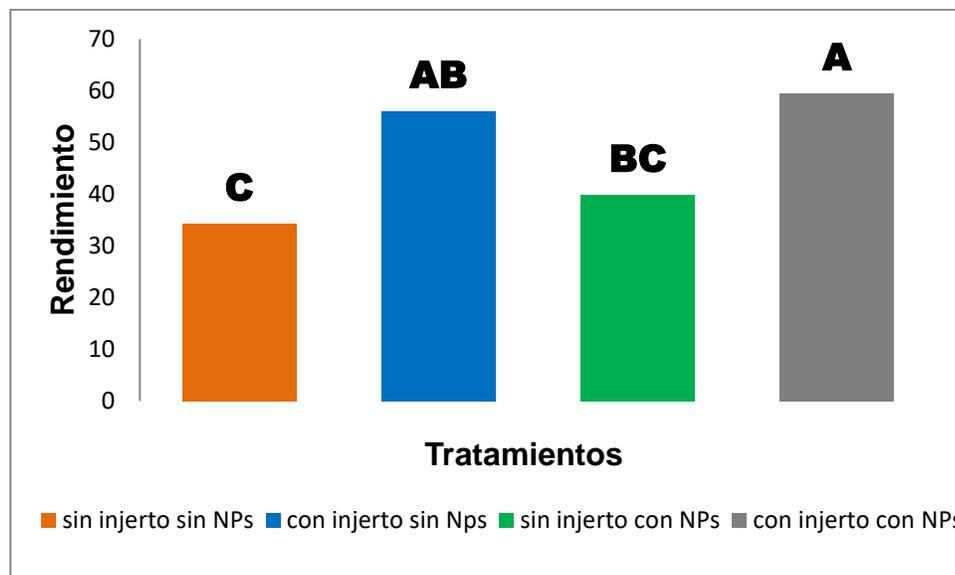


Figura 12. Rendimiento del fruto de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

En las siguientes figuras se muestran los estomas del haz de los tratamientos evaluados de la hoja del pepino injertado en presencia de NPs de Cu.

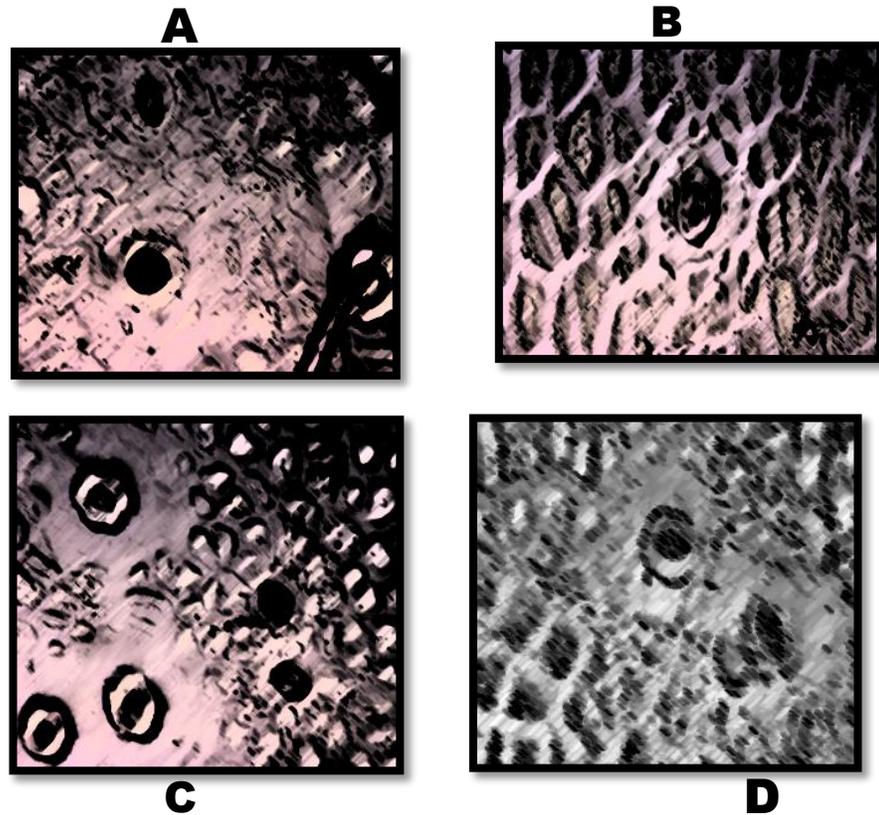


Figura 13. Variación de número y tamaño de estomas en la parte adaxial.

A) Estomas en la superficie adaxial de variedad Induran sin NPs de Cu y sin injerto; B) estomas en la superficie adaxial de variedad Induran sin NPs de Cu y con injerto; C) estomas en la superficie adaxial de variedad Induran con NPs de Cu y sin injerto; D) estomas en la superficie adaxial de variedad Induran con NPs de Cu y con injerto.

En la Figura 14 se muestran los estomas del envés de la hoja del pepino injertado con adición de NPs de Cu.

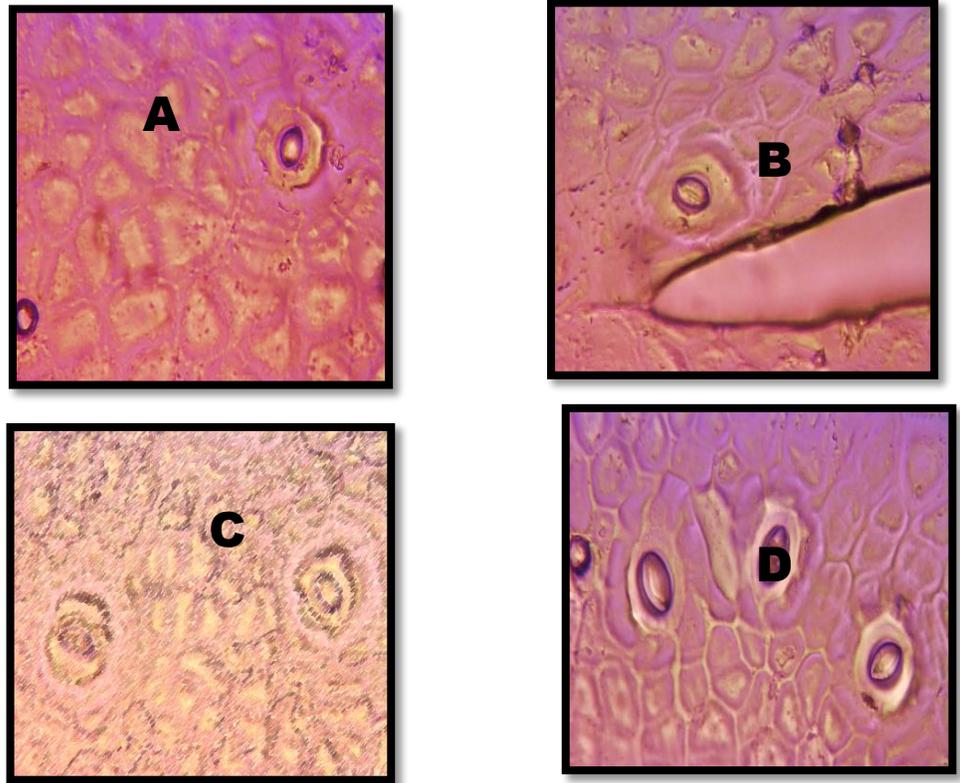


Figura 14. Variación de número y tamaño de estomas en la parte abaxial.

A) Estomas en la superficie abaxial de variedad Induran sin NPs de Cu y sin injerto; B) estomas en la superficie abaxial de variedad Induran sin NPs de Cu y con injerto; C) estomas en la superficie abaxial de variedad Induran con NPs de Cu y sin injerto; D) estomas en la superficie abaxial de variedad Induran con NPs de Cu y con injerto.

En la figura número 15 se muestran fotografías de los estomas de la epidermis del fruto de los tratamientos evaluados del cultivo de pepino injertado con adición de NPs de Cu.

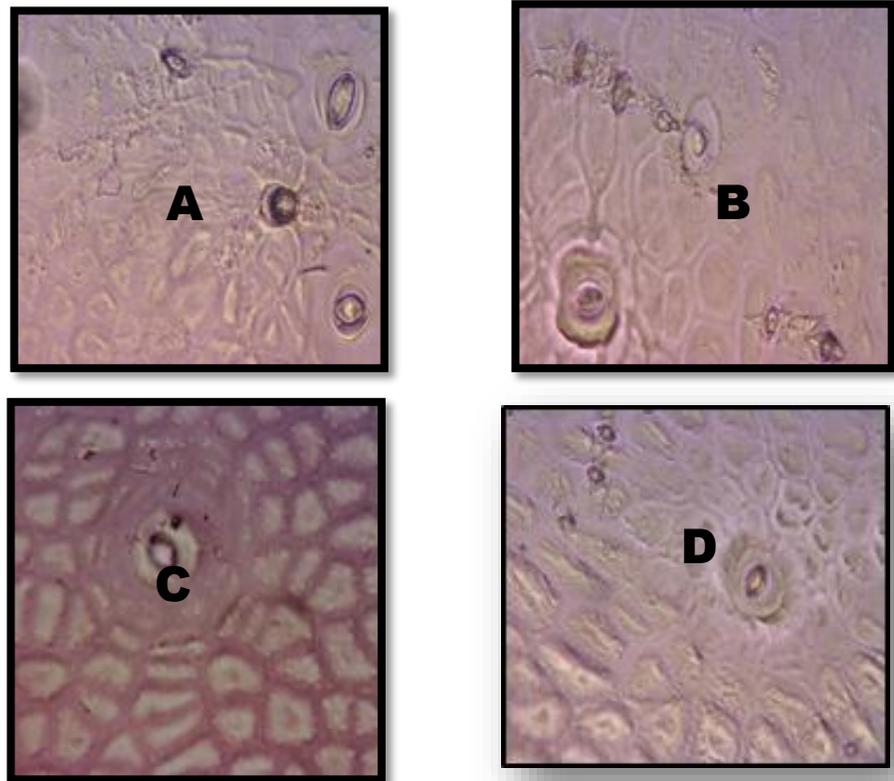


Figura 15. Variación de número y tamaño de estomas en la epidermis del fruto.

A) Estomas en la superficie de la epidermis del fruto de la variedad Induran sin NPs de Cu y sin injerto; B) estomas en la superficie de la epidermis del fruto variedad Induran sin NPs de Cu y con injerto; C) estomas de la epidermis del fruto de variedad Induran con NPs de Cu y sin injerto; D) estomas en la superficie de la epidermis del fruto de variedad Induran con NPs de Cu y con injerto.

V. CONCLUSIONES

En cuanto a la morfología, el injerto influyó favorablemente en el aumento del diámetro, longitud de raíz y área foliar en el cultivo de pepino, por lo que se asume que las Nps de Cu no influyen en la morfología de este cultivo.

Se obtuvo una respuesta positiva en cuanto el uso de Nps de Cu para las variables longitud del fruto, peso del fruto y rendimiento de la planta.

En la interacción de los factores injerto-Nps de Cu, se obtuvieron niveles menores de índice estomático a diferencia del uso de injerto sin Nps de Cu en donde el índice estomático fue mayor.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abu, S. M., Suwwan E. A. (2013).** The influence of plant growth regulators on callus induction from hypocotyls of cucumber (*Cucumis Sativus L.*). Adv. Environ. Biol. 7(2), 339-343
- Acevedo, J., Sánchez, E. (2017).** Eficiencia del uso de portainjerto sobre el rendimiento y dinámica nutricional foliar de macronutrientes en pimiento morrón, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.8 Núm.3 01 de abril 15 de mayo, 2017 Pp.5
- Adams, P. (2004).** Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. *In: Tratado de Cultivo sin Suelo.* G. M. Urrestarazu (ed). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:81-111
- Adhikari, T., Kundu, S., Subba, A. (2013).** Impact of SiO₂ and Mo nano particles on seed germination of rice (*Oryza sativa L.*). Int. J. Agr. Food Sci. Technol. 4, 809-816.
- Álvarez, J. (2014).** Comportamiento agronómico de pepino (*Cucumis sativus L.*) Bajo invernadero, usando dos métodos de poda en el cantón Chambo provincia de Chimborazo. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Chimborazo: Unidad de Estudios a Distancia, 2014. pág. 1 y 49, Tesis de grado.
- Amaro, J. A. P.; Moya, E. G.; Quiroz, J. ². E.; Carrillo, A. R. Q.; Pérez, J. P. y Garay, A. H. (2012).** Análisis de crecimiento, área foliarespecífica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria híbrido, cv.*). Rev. Mex. Ciencia. Pec.42(3): 447-458.
- Arias, S. (2007).** Producción de pepino. USAID-RED. La Lima, Cortes, Honduras. Pp.31
- Azeredo, H., Mattoso, L.C., Wood, D., Williams, T.G., Avena, R.J., and McHugh, T.H. (2009).** Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. Journal of food science.74(5):31-35
- Baba, I. (2006).** Nanotechnology in medicine, Nihon Rinsho 64: 189-98.

- Barraza A., V. (2012).** Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Temas Agrarios* 17(2), 18-29.
- Bello, A. J., López, L. D., Viruliche, J., T. (2001).** Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. In: R. Labrada (Ed.) Report on Validated Methyl Bromide Alternatives. FAO, Rome, 13 pp.
- Betancourt, G. R., Reyes, P. Y., Puente, A., Ávila, O. C., Rodríguez, O. S., Cadenas, P.G., Lira, S.R., and García, L. A. (2013).** Synthesis of Copper Nanoparticles by Thermal Decomposition and Their Antimicrobial Properties. *Journal of Nanomaterials* 5.
- Bhattacharyya, A. R., Chandraseker, C. A., Kumar, T. T., and Shetty, R. P. (2014).** Application of nanoparticles in sustainable agriculture: its current status. The international mission of the book. Kansas City.USA.448.
- Blancard, D. H., y Lecoq, M. P. (1991).** Enfermedades de las Cucurbitáceas: Observar, identificar, Luchar Mundi-Prensa. Madrid , España 301p.
- Borkow, G. J., Gabbay. (2009).** Cooper, an ancient remedy returning to fight microbial, fungal and viral infection *Curr.Chemistry Biology* 3(3):272-278.
- Camacho, F. (2006).** Control de Patógenos telúricos en cultivos hortícolas intensivos. Ed. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España.
- Cañizares, M.E., Sanabria, D. A., Rodríguez, 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.
- Carpio, J. (2008).** Usos de Vermicompost y Humus Líquido de Lombriz en la producción de plántula de pepino (*Cucumis Sativus L.*) variedad poinsett 76 bajo condiciones de invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Saltillo, Coahuila, México
- Casaca, A. D. (2005).** El cultivo del pepino (*Cucumis Sativus L.*). Guías tecnológicas de frutas y verduras, volumen 15.13p.
- Domínguez, E.(1999).** Cultivo en invernadero, Actual orientación científica y técnica 3ª ediciones Mundi-Prensa, Pp: 183-197.
- Fages, S.E. (2013).** Investigación de fibras de polipropileno aditivas con nanoparticulas de plata para la mejora de propiedades bioactivas en

el sector textil Tesis Doctoral. Universidad politécnica De Valencia. España. 399pp.

FAO. (2003). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S> .

FAO. (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>

Fernández, L. F., López, V. F, Valerio, R. M., Pariona, N, H., López, J.L., García, O, L., López, B. J., Vega, Sánchez. M.C., Espinosa, Z. R., y Acosta, J.A. (2014). Efectos de nanofertilizers sobre el crecimiento de la planta y el desarrollo, y su interrelación con el medio ambiente . En : López- Valdez, F. & Fernández- Luqueño , F. (Eds .) . Fertilizantes: componentes , usos en la agricultura y el impacto ambiental .NOVA Science. New York, USA. 211-224

Ferrer, T. E. (2012). Investigación en nanotecnología con aplicaciones en microbiología, biotecnología y ciencias. Revista 360 de la universidad Interamericana de Puerto Rico. 7: 1-10.

Gálvez, H. F. (2004). El cultivo de pepino en invernadero. Pp 282-293 En: J.Z. Castellanos (Ed).Manual de Producción Hortícola en invernadero 2ºda Ed. INTAGRI. México.

García, F., Pérez, J., Gaona, C., Koichi, H., Toshiaki, S. (2001). Normas de riego en los cultivos de pepino, calabacita y tomate de cascara.

Godoy, H., Castellanos, J., Alcántar, G., Sandoval, M., y Muñoz, J. (2008). Efectos del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. Terra Latinoam. 27:1-45

Gómez, M.D., Baille, M.M., González, R., y Mercader, M. J. (2006). Dry matter partitioning of greenhouse cucumber crops as affected by fruit load. Acta Hort. 614, 573-578.

González, H. (2017). Nanopartículas de cobre en hidrogeles de quitosán-pva en el desarrollo y calidad nutracéutica de sandía injertada (*Citrullus lanatus*) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Saltillo, Coahuila, México

- González, J. M, Radillo, F. F, Martínez, M. B. (2003).** Evaluación de diferentes portainjertos en el desarrollo vegetativo del cultivo de la sandía (*Citrullus lanatus*) variedad Tri-x 313. *In: Memorias del X Congreso Nacional de la Sociedad de Ciencias Hortícolas.* Chapingo, México. pp:43-49.
- 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.
- Hartmann, H. Kester D., y Genève R. (2002).** Plant propagation, principles and practices. 7th ed. Prentice Hall. NJ. USA. Pp 411-460.
- Hernández, González. Z.; Sahagún, C.J.; Espinosa, Robles, P.; Colinas M. T., y Rodríguez, J. E. (2014).** Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(1):41-47
- Jaiswal, M., Chauhan, D and Sankararamakrishnan, N. (2012).** Copper chitosan nanocomposite: synthesis, characterization, and application in removal of organophosphorous pesticide from agricultural runoff. *Environmental Science and Pollution Research* 19: 2055-2062.
- Jifon, J., Crosby, K. M.; Leskovar, D. I., y Miller, M. (2008).** Diseases in Grafted Watermelons. *Proc. IVth IS on Seed, Transplant and Stand Establishment of Hort. Crops. Acta Hort.* 782:68-72.
- Jones J. B. (2005).** The plant root: its roles and functions. *In: Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower.* J. B. Jones (ed.). Ed. CRS Press. USA. pp:19-28.
- Jones B, (2008).** Tomato plant culture. CRC Press. 2nd ed. New York, USA. pp:1-35.
- Juárez, M A., Ortega, O. H., Pérez, L. F., Cadenas, P. G., y Benavides, M. A. (2016).** Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato *Journal of Applied Botany and Food Quality* 89, 183 - 189
- Kubota C. M., N. McClure, M. G., Kokalis, B. and Roskopf (2008)** Vegetable grafting: history, use and current technology status in North America. *HortScience* 43:235-239.

- Lee, S G. (2007).** Production of high quality vegetable seedling grafts. *Acta Horticulturae* 759:169-174.
- Leon, J.M., Y G.J. Sepúlveda. (2012).** El daño por oxidación causada por cobre y la respuesta cantioxidante de las plantas. *Interciencia*, 37(11),805
- Longano, D. N., Ditaranto, L., Sabbatini, L. Torsi, N., Ciofi. (2011).**synthesis and antimicrobial activity of nanopaterials.*Nano-Antimicrobials* 85-117
- López, E. J., Romo R. F., y Domínguez. J.G. (2008).** Evaluación de métodos de injerto en sandía (*Citrulluslanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) sobre diferentes patrones de calabaza. *IDESIA*.
- López, C. (2003).** Guía técnica; cultivo del pepino. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- López, J. (2011).** Producción y calidad de pepino (*Cucumis Sativus.*) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería. México MX. Pág. 27.
- Lugo, E., C. García, G. R., Ruelas, A. (2010).** Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Revista Ra Ximhai*. 6(1): 63-67.
- Maroto, J. V. (2002).** Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi-Prensa, 5ta. Edición. Madrid, España.
- Moreno, D., W. Cruz., E. García, A., Ibáñez, J., Barrios, B. (2013).** Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(6), 909-920.
- Miguel, A. (1997).** Injerto de Hortalizas. Generalitat Valenciana. Federico Doménech S. A. Valencia, España 88p.
- 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* 86:1223-1226.
- Ojeda, T., C. (2011).** Producción y calidad de genotipos de pepino (*Cucumis Sativus* L.) bajo un sistema orgánico a campo abierto. Tesis. UAAAN UL. Torreón Coahuila, México .Pp 1-47.

- Ortiz, C. J., Sánchez, C. F., Mendoza C., Torres, G. (2009).** Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 289-294.
- Pares, J. M., Arizaleta, M. E., Sanabria, G., García. (2008).** Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. *Acta Bot. Venez.* 31(1):27-34.
- Peralta, M R., Cabrera, De la F. M., Morelos, M. A., Benavides M A., Ramírez G. F, y González F J. (2016).** Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.* Núm. 17 p. 3453-3463
- Pérez, Miguel G. (1997).** Fertirrigación NPK en pepino (*Cucumis Sativus* L.) con sin espaldera usando cintilla de goteo, bajo acolchado plástico. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 1997. UAAAN. Tesis.
- Qureshi, R. G., Raza, R. A. (2010).** Ethnomedical uses of herbs from northern part of Nara desert, Pakistan. *Pak. J. Bot.* 42 (2), 839-851.
- Ratoi, I., Toma, V., Croitoru, M., Vladu, C. E. (2015).** Research on fertigation culture watermelons on Sandy soils. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology.* 19(1): 221-225.
- Reche, M. J. (2011).** Cultivo de pepino en invernadero .Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.Madrid.Pp.50.1-70.
- Romero, E. Rodríguez, A., Rázuri, L.; Suniaga, J., y Montilla, E. (2009)** Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*Cucumis Sativus* L.), durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. *Agricultura andina / volumen 16.*
- Rivera, M. R. (2004).** Evaluación de la interacción entre dos tipos de acolchados plásticos y diferentes fuentes de fertilización en el cultivo de la calabacita. Tesis UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P5
- Salas, J. M., Sanabria, R. P. (2001).** Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro* 13:99-104.

- Serna, L. J., Torres, C., y. Fenoll, C. (2002).** Análisis clonal del desarrollo y patrones de los estomas en hojas de *Arabidopsis*. (En inglés) *Dev. Biol.* 241:24- 33.
- SIAP. (2014).** Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/> (24/02/2014).
- SIAP. (2016).** Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual>.
- Somasundaran, P. Fang, X., Ponnurangam, S. B. (2010).** Nano- particles: characteristics, mechanisms and modulation of biotoxicity. *KONA Powder Part. J.* 28, 38-49.
- Sonneveld, C. and Voogt, W. (2009).** Substrates chemical characteristics and preparation. *In: Plant Nutrition of Greenhouse Crops.* C. Sonneveled and W. Voogt (eds.). Springer. pp:227-252.
- Suslov, T. y Cantwell, M. (2012).** Cucumber: Recommendations for maintaining postharvest quality.
- Srilatha, B. (2011).** Nanotechnology in Agriculture. *Jaunal Nanomedic Nanotechnology* 2: 123-128.
- Steiner, A.A. (1961).** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- Tabares, J. M., Álamo. (2002).** Influencia de la práctica del injerto en cultivo de tomate. Granja Agrícola Experimental, Cabildo de Gran Canaria.
- Tari, I. (2003).** Densidad estomática abaxial y adaxial, conductancias estomáticas y estatus del agua en las primeras hojas de frijol como es afectado por paclobutrazol. (En inglés) *Biol. Plant.* 47:215-220.
- Góngora, E. (2008).** Producción orgánica de tres variedades de pepino bajo condiciones de invernadero. Tesis Universidad Autónoma de Querétaro. C.U Santiago de Querétaro, Qro.Pp.1-68.
- Terabayashi S. I., Muramatsu, S., Tokutani, M., Ando, E., Kitagawa, T., Shigemori, S. D., Y. Fujime. (2004).** Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown hydroponically. *Journal of the Japanese Society for Horti-cultural Science* 73:324-329.

- Vegabov, V. M., Ivanov, T. V., Kulakovskaya, E. V., Kulakovskaya, V. V., Petrov, I. Kulaev. (2008).** Efflux of Potassium ions from cells and spheroplasts of *Sacharomyces cerevistae* yeast treated with silver and copper ions. *Bochemistry* 73(11):1224-1227.
- Verheul, M.J., Slimestad, L.R., Johnsen, Y. (2013).** Physicochemical changes and sensory evaluation of slicing cucumbers from different origins. *Europ. J. Hort. Sci.* 78(4), 176-183.
- Voleniková, M., y. Tichá, I. (2001).** Perfiles de inserción en densidad y tamaño de estomas en *Nicotiana tabacum*. (En inglés) *Biol. Plant.* 44:161-165.
- Weeb, A. A., Baker, A. J. (2002).** Stomatal biology: New techniques, new challenges. *New Phytologist* 153: 365-370.
- Wehner, T.C., Maynard, D.N. (2003).** Cucumbers, melons, and other cucurbits. Volumen 1. *Encyclopedia of food and culture.* New York, USA. 474-479.
- Xavier, M. (2013).** Tratado de variedades de hortalizas. OMEGA. Barcelona. Pp.448. ISBN:978-84-282-1601-2.
- Yang, X., Wang, X., Wang, L., Wei, M. (2012).** Control of light environment: A key technique for high-yield and high-quality vegetable production in protected farmland. *Agricultural Sciences* 3: 923-928.
- .Zamudio, G. B, Félix, R. A. (2014).** Producción de pepino bajo invernadero en valles Altos del Estado de México. INIFAP.

VII. APÉNDICE

Análisis de varianza y medias de las variables medidas en Producción y Micromorfología en el Pepino Injertado originados por la Adición de NPs de Cobre.

Tabla 2. Análisis de varianza para la variable índice estomático del haz de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.

.F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	184.67	3	61.56	1.84	0.1814
Nps de cu	120.44	1	120.44	3.59	0.0763
Injerto	9.25	1	9.25	0.28	0.6067
Nps de cu*injerto	54.98	1	54.98	1.64	0.2187

Tabla 3. Comparacion de medias para la variable índice estomático del haz de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	22.9	10	1.83 A
Con	17.99	10	1.83 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	21.13	10	1.83 A
Con	19.77	10	1.83 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	25.24	5	2.59 A
sin	sin	20.56	5	2.59 AB
con	sin	18.97	5	2.59 AB
con	con	17.02	5	2.59 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 4. Análisis de varianza para la variable Índice estomático del envés de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	216.52	3	72.17	1.12	0.3695
Nps de cu	213.92	1	213.92	3.33	0.0869
Injerto	2.39	1	2.39	0.04	0.8496
Nps de cu*injerto	0.21	1	0.21	3.03	0.9551
Error	1028.89	16	64.31		
Total	1245.42	19			

Tabla 5. Comparación de medias para la variable índice estomático del envés de la hoja de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	23.82	10	2.54 A
Con	17.28	10	2.54 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	20.89	10	2.54 A
Con	20.2	10	2.54 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	24.27	5	3.59 A
sin	sin	23.37	5	3.59 A
con	sin	17.52	5	3.59 A
con	con	17.03	5	3.59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable Índice de la epidermis del fruto de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.65	3	0.88	0.82	0.5008
Nps de cu	2.16	1	2.16	2.01	0.1756
Injerto	0.45	1	0.45	0.42	0.5281
Nps de cu*injerto	0.04	1	0.04	0.04	0.8435
Error	17.19	16	1.07		
Total	19.84	19			

Tabla 7. Comparación de medias para la variable Índice de la epidermis del fruto de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	7.46	10	0.33 A
Con	6.8	10	0.33 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	7.28	10	0.33 A
Con	6.98	10	0.33 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	7.56	5	0.46 A
sin	sin	7.35	5	0.46 A
con	sin	7	5	0.46 A
con	con	6.6	5	0.46 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 8. Análisis de varianza para la variable sólidos solubles totales de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.83	3	0.28	6.37	0.0048
Nps de cu	0.13	1	0.13	2.96	0.1047
Injerto	0.05	1	0.05	1.16	0.2982
Nps de cu*injerto	0.65	1	0.65	14.98	0.0014
Error	0.69	16	0.04		
Total	1.52	19			

Tabla 9. Comparación de medias para la variable sólidos solubles totales de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	3.07	10	0.07 A
Con	2.91	10	0.07 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	3.04	10	0.07 A
Con	2.94	10	0.07 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	3.2	5	0.09 A
sin	sin	3.14	5	0.09 A
con	sin	2.94	5	0.09 AB
con	con	2.68	5	0.09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 10. Análisis de varianza para la variable firmeza del fruto de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.4	3	1.13	2.24	0.123
Nps de cu	2.03	1	2.03	4.03	0.9507
Injerto	0.51	1	0.51	1.01	0.3295
Nps de cu*injerto	2.89	1	2.89	5.7	0.0296
Error	8.1	16	0.51		
Total	11.5	19			

Tabla 11. Comparación de medias para la variable firmeza de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	4.68	10	0.23 A
Con	4.66	10	0.23 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	4.83 A	10	0.23 A
Con	4.51 A	10	0.23 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	5.2	5	0.32 A
sin	sin	4.9	5	0.32 AB
con	sin	4.46	5	0.32 AB
con	con	4.12	5	0.32 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 12. Análisis de varianza para la variable número de frutos de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.55	3	4.85	2.98	0.0624
Nps de cu	14.45	1	14.45	8.89	0.0088
Injerto	0.05	1	0.05	0.03	0.863
Nps de cu*injerto	0.05	1	0.05	0.03	0.863
Error	26	16	1.63		
Total	40.55	19			

Tabla 13. Comparación de medias para la variable número de frutos de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	7.5	10	0.40 A
Con	5.8	10	0.40 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	6.7	10	0.40 A
Con	6.6	10	0.40 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	7.6	5	0.57 A
sin	sin	7.4	5	0.57 AB
con	sin	5.8	5	0.57 B
con	con	5.8	5	0.57 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 14. Análisis de varianza para la variable longitud de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.98	3	1.66	0.55	0.655
Nps de cu	1.26	1	1.26	0.42	0.5273
Injerto	1.79	1	1.79	0.59	0.4526
Nps de cu*injerto	1.93	1	1.93	0.64	0.435
Error	48.27	16	3.02		
Total	53.25	19			

Tabla 15. Comparación de medias para la variable longitud de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	19.23	10	0.55 A
Con	18.73	10	0.55 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	19.28	10	0.55 A
Con	18.68	10	0.55 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	19.34	5	0.78 A
sin	sin	19.24	5	0.78 A
con	sin	19.22	5	0.78 A
con	con	18.12	5	0.78 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 16. Análisis de varianza para la variable peso de fruto de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25542.95	3	8514.32	3.03	0.0599
Nps de cu	17582.45	1	17582.45	6.26	0.0236
Injerto	4234.05	1	4234.05	1.51	0.2374
Nps de cu*injerto	3726.45	1	3726.45	1.33	0.2664
Error	44955.6	16	2809.73		
Total	70498.55	19			

Tabla 17. Comparación de medias para la variable peso de fruto de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	338.3	10	16.76 A
Con	279	10	16.76 B

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	323.2	10	16.76 A
Con	294.1	10	16.76 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	339.2	5	23.71 A
sin	sin	337.2	5	23.71 A
con	sin	307.2	5	23.71 AB
con	con	250.8	5	23.71 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 18. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.74	3	3.25	1.56	0.2384
Nps de cu	2.84	1	2.84	1.36	0.26
Injerto	5.12	1	5.12	2.46	0.1365
Nps de cu*injerto	1.78	1	1.78	0.85	0.3696
Error	33.34	16	2.08		
Total	43.08	19			

Tabla 19. Comparación de medias para la variable diámetro de tallo de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	12.07	10	0.46 A
Con	11.32	10	0.46 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	12.2	10	0.46 A
Con	11.19	10	0.46 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	12.88	5	0.65 A
sin	sin	11.53	5	0.65 A
con	sin	11.27	5	0.65 A
con	con	11.11	5	0.65 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 20. Análisis de varianza para la variable longitud de raíz de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	128.34	3	42.78	2.35	0.1106
Nps de cu	43.51	1	43.51	2.39	0.1413
Injerto	25.31	1	25.31	1.39	0.2552
Nps de cu*injerto	59.51	1	59.51	3.27	0.0892
Error	290.8	16	18.18		
Total	419.14	19			

Tabla 21. Comparación de medias para la variable longitud de raíz de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	27.15	10	1.35 A
Con	24.2	10	1.35 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	26.8	10	1.35 A
Con	24.55	10	1.35 A

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	30	5	3.59 A
sin	sin	24.8	5	1.91 AB
con	sin	24.3	5	1.91 AB
con	con	23.6	5	1.91 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 22. Análisis de varianza para la variable área foliar de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12301881.33	3	4100627.11	4.22	0.0224
Nps de cu	1905333.49	1	1905333.49	1.96	0.1806
Injerto	10347734.71	1	10347734.71	10.64	0.0049
Nps de cu*injerto	48813.13	1	48813.13	0.05	0.8255
Error	15556122.47	16	972257.65		
Total	27858003.8	19			

Tabla 23. Comparación de medias para la variable área foliar de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	4327.28	10	311.81 A
Con	3709.98	10	311.81 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	4737.92	10	311.81 A
Con	3299.33	10	311.81 B

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	5095.98	5	440.97 A
sin	sin	4379.87	5	440.97 AB
con	sin	3558.58	5	440.97 BC
con	con	3040.08	5	440.97 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 24. Análisis de varianza para la variable rendimiento de pepino injertado con Nps de Cu.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2255.15	3	751.72	3.8	0.0313
Nps de cu	101.58	1	101.5	0.51	0.4842
Injerto	2147.75	1	2147.75	10.05	0.0046
Nps de cu*injerto	5.02	1	5.02	0.03	0.866
Error	3160.2	16	190.01		
Total	5423.35	19			

Tabla 25. Comparación de medias para la variable rendimiento de pepino injertado con Nps de Cu.

Nps de Cu	Medias	n	E.E.
Sin	46.67	10	4.45 A
Con	45.16	10	4.45 A

Injerto	Medias	n	E.E.
Sin	57.78	10	4.45 A
Con	37.05	10	4.45 AB

Nps de Cu	Injerto	Medias	n	E.E.
sin	con	5095.98	5	440.97 A
sin	sin	4379.87	5	440.97 AB
con	sin	3558.58	5	440.97 BC
con	con	3040.08	5	440.97 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 26. Contenido de sales de la solución Steiner (1961).

Elementos (mg L)	Fertilizantes	Concentración (mg/L)			
		25%	50%	75%	100%
Nitrógeno 167	Nitrato de potasio	75.75	15.15	227.5	303
Fosforo 31	Fosfato de potasio	34	68	102	136
Potasio 277	Acido –etilen – diamindihidroxifenil	12.5	25	37.5	50
Magnesio 49	Sulfato de magnesio	123	246	369	492
Calcio 183	Nitrato de calcio	265	530	795	1060
Azufre 67	Sulfato de potasio	65.25	130.5	195.75	261
Hierro 3	Quelato de fierro	12.5	25	37.5	50
Manganeso1.97	Sulfato de manganeso	0.543	1.086	1.629	2.172
Boro o.44	Ácido bórico	0.7	1.4	2.1	2.8
Zinc 0.11	Sulfato de zinc	0.098	0.196	0.298	0.392
Cobre 0.02	Sulfato de cobre	0.02	0.04	0.06	0.08
Molibdeno0.007	Molibdato de sodio	0.023	0.046	0.069	0.092