

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Aplicación de Nanopartículas de Cobre y su Efecto sobre el Crecimiento y Desarrollo del Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) Inoculado con Cenicilla (*Sphaerotheca fuliginea*).

Por:

ROBERTO JR CHAGOLLA GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aplicación de Nanopartículas de Cobre y su Efecto sobre el Crecimiento y Desarrollo del Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) Inoculado con Cenicilla (*Sphaerotheca fuliginea*).

Por:

ROBERTO JR CHAGOLLA GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Asesor Principal



Dr. Alonso Méndez López
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor



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



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2019

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

ROBERTO CHAGOLLA RAMÍREZ

GLORIA GARCIA HERNANDEZ

Por darme apoyo incondicionalmente en la parte moral y económica para la construcción de mi vida profesional, por haberme forjado como la persona que soy actualmente, confiando en mí en lo que he logrado, por brindarme sus consejos y por los que siguen en la vida, porque me han enseñado a valorar cosas importantes como la familia, quiero dedicarles esto a mis padres porque ellos me han dado la vida y quiero que sean parte de mis nuevas etapas.

A MIS HERMANOS

ERICK GUADALUPE CHAGOLLA GARCIA

MARY KAREN CHAGOLLA GARCIA

Por a verme apoyado y estar en todo momento en que los necesite, confiando en mí para lograr una nueva etapa en mi vida y darme palabras de aliento al hablar con ellos, al estar conmigo en mis logros que al igual son de ellos, por ser grandes hermanos, porque junto a ellos hay convivencia muy agradecida.

A MIS ABUELOS

J. JESÚS GARCIA GUERRA (+)

CIRILA HERNANDEZ BANDA (+)

MA. ELENA RAMIREZ LINARES (+)

Por a ver confiado en mí en todo momento y ser grandes personas conmigo, y aunque no estén conmigo físicamente mis logros son sus logros, porque los llevo en mi corazón y porque sé que ellos me están cuidando desde el cielo, gracias abuelitos.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Quiero agradecer a dios por a verme permitido vivir, por darme la oportunidad de seguir adelante con mis logros, dando un paso más como persona y darme fuerzas para cumplir mis metas junto a mi familia que es lo máspreciado en mi vida.

***A MI ALMA MATER:** A mi grande institución la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, gracias por abrirme las puertas, siendo mi segunda casa y darme la oportunidad de formalizarme de manera profesional para seguir adelante en la vida, gracias por la oportunidad de sentir el orgullo de una gran institución con gran prestigio y ser un **Buitre de la Narro**.*

***A MI ASESOR:** Al **Dr. Antonio Juárez Maldonado** por a verme permitido trabajar en este proyecto y por compartirme su conocimiento a lo largo del proyecto.*

*Al **Dr. Alonso Méndez López** por la importante orientación para fortalecer el trabajo.*

*Al **Dr. Alberto Sandoval Rangel** por su importante y valiosa orientación y consejos que sirvieron para fortalecer este trabajo.*

A MIS TIOS

Poncho, Tere, Javi, Lalo, Chuy, Ángel, Chava, Lena, Lupe, Juana, Reyna, Candé, Güera por motivarme en seguir estudiando.

A MI NOVIA

Karla Bibiana Martínez Rojas por apoyarme en las buenas y malas situaciones y siempre estar a mi lado brindándome su compañía, paciencia, su comprensión y su amor (Te Amo).

A todos mis compañeros durante el nivel de licenciatura y compañeros del dormitorio la colorada por su amistad y compañerismo ya que fue mi segunda casa y formar parte de ella.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del cultivo en México.....	4
Origen e Historia.....	4
Clasificación taxonómica.....	5
Descripción botánica.....	5
Requerimientos ambientales.....	6
Tutorado.....	7
Enfermedades del cultivo de pepino.....	7
Plagas del cultivo de pepino.....	8
Nanotecnología.....	8
Nanopartículas.....	10
Tipos de Nanopartículas.....	10
Nanopartículas Metálicas.....	11
Uso de Nanopartículas en la Agricultura.....	13
Efectos adversos de los agroquímicos agrícolas.....	15
Nps de plata (Ag).....	16
NPs de ZnO.....	16
NPs de cobre (CU).....	17
METODOLOGÍA	19
Ubicación del experimento.....	19
Descripción del experimento y tratamientos.....	19
Variables evaluadas.....	22

Diseño experimental y análisis estadístico.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Variable de Severidad	24
Variable de Rendimiento.....	25
Variables de Abortos totales, número frutos cortados y peso por frutos.....	27
Número de hojas, peso seco de hoja, peso fresco de hojas y peso fresco total	31
Diámetro de tallo y altura final.....	35
CONCLUSIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura moderna de precisión y en aspectos relacionados con la producción de alimentos.	10
Figura 2. Las nanopartículas pueden aplicarse foliarmente mediante aspersión y en el agua de riego a la zona de las raíces, pudiendo luego transportarse a diversos sitios de las plantas por las rutas del xilema y el floema.	15
Figura 3. Localización del Departamento de Horticultura.	19
Figura 4. Establecimiento del experimento y labores culturales.	22
Figura 5. Severidad al final del cultivo de pepino.	25
Figura 6. Rendimiento del cultivo de pepino.	27
Figura 7. Número de abortos totales del cultivo de pepino.	28
Figura 8. Número de frutos cosechados del cultivo de pepino al final del experimento.	30
Figura 9. Peso promedio de Frutos del cultivo de pepino.	31
Figura 10. Números de hojas y el peso fresco de hoja del cultivo de pepino.	33
Figura 11. Peso seco de las hojas y el peso seco total del cultivo de pepino. ...	34
Figura 12. Diámetro de tallo del cultivo de pepino.	36
Figura 13. Altura final del cultivo de pepino.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño de la distribución del experimento y las concentraciones de cada tratamiento (15 repeticiones de c/u).....	22
Tabla 2. Escala de valoración de porcentaje de severidad en infección de hojas.	23

RESUMEN

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Ubicada en Saltillo, Coahuila. Se estableció un cultivo de pepino de variedad Vítaly SYNGENTA® con el objetivo de evaluar las diferentes concentraciones de Nanopartículas de Cobre (CuNPs) para conocer los efectos en el control de Cenicilla, el rendimiento del cultivo y mejoras en el cultivo tal como fisiológicas e morfológicas. Las dosis fueron 50, 100, 150, 200, 250 ppm CuNPs + PA (Patógeno). Las variables evaluadas fueron: rendimiento, severidad, abortos totales, número de frutos cortados, peso por frutos, números de hojas, peso fresco de hoja, peso seco de hoja, peso seco total, altura final y diámetro de tallo superior e inferior. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar conformado por 7 bloques con 15 repeticiones o unidades experimentales. Siendo una planta una unidad experimental. En los resultados que se arrojaron con el análisis estadístico (ANOVA) se observó que el tratamiento de patógeno presento el mejor rendimiento aun 25% superando al testigo absoluto, por otro lado, los tratamientos con las dosis de 150 y 250 ppm CuNPs + PA presentaron mayor incidencia de abortos y el tratamiento que menos abortos presento fue el de patógeno, esto puede deberse a que no se le aplico CuNPs, sin embargo, el mejor tratamiento para evitar el aborto es la dosis de 100 pmm CuNPs + PA. Para variable número de frutos cortadas el tratamiento mejor fue el de patógeno, pero para mayor aumento de frutos fue la dosis de 250 ppm CuNPs + PA, de igual manera dicha dosis tuvo mayor peso por frutos al ser 2% mejor que el testigo. El tratamiento 250 ppm CuNPs + PA aumento el número de hojas a un 9% sobre el testigo, por otro parte, el peso seco de hojas va aumentando

a más altas concentraciones de 50, 150, 200, 250 ppm CuNPs + PA. En la variable peso seco y seco total el mejor tratamiento fue el patógeno, aunque las mejores dosis al aumentar el peso seco son 50, 200, 250 ppm CuNPs + PA. El tratamiento con la dosis 200 ppm CuNPs + PA aumento el diámetro de tallo aun 11% mejor que el testigo. Los tratamientos 50, 100, 150, 250 ppm CuNPs + PA favorecen la altura sin dañar su crecimiento y no ayudo a contra restar el ataque de la cenicilla en el cultivo de pepino. La aplicación de Nanoparticulas de cobre (CuNPs) tienen efecto negativo como positivo sobre la planta ya que pueden tener efectos en su crecimiento y desarrollo de las mismas, es recomendable utilizar concentraciones bajas que puedan ser aprovechadas y puedan fortalecer al cultivo.

Palabras claves: rendimiento, nanoparticulas de cobre (CuNPs), control de abortos, variables agronómicas, control de cenicilla.

INTRODUCCIÓN

En México, el pepino (*Cucumis sativum* L.) es una hortaliza que se ha difundido rápidamente entre los agricultores y consumidores del país, llegando a obtener el reconocimiento de ocupar el primer lugar como proveedor de las importaciones americanas de pepino, esto se debe al alto porcentaje de producción total nacional el 80% es exportado. El 85 % de esta exportación es dirigida específicamente a EUA, esto debido a los factores abióticos (humedad del suelo, temperaturas, vientos etc.), y a las restricciones causadas por factores bióticos (plagas, enfermedades) que presentan, por lo que la producción de pepino se hace más costoso (SAGARPA-CONACYT, 2009).

Las Nanopartículas muestran una amplia gama de propiedades químicas, ópticas, eléctricas y biológicas, en este aspecto se ha reportado que las nanopartículas de cobre (CuNPs) presentan un amplio espectro de actividad antibacterial y antifúngica (Ramírez *et al.*, 2018). Su aplicación ha fortalecido sistemas de control de enfermedades, sistemas de suministro de nutrientes, estrés ambiental, cambios morfológicos, aumento de valor nutritivo etc (Figueroa-López *et al.*, 2015).

En un estudio con las nanopartículas de cobre donde se evaluaron las propiedades antimicrobiales in vitro, de CuNPs y NPsZnO + Ag contra las cepas de *Xanthomonas axonopodis*, *Clavibacter michiganensis* y *Curtobacterium flaccumfaciens*, así como en los hongos fitopatógenos *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora capsici*. El trabajo se ejecutó en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) de Saltillo,

Coah. Se realizó la síntesis de nanopartículas mediante el método de descomposición térmica usando cloruro de cobre y reacción de hidrólisis de acetato dihidratado. La formación de nanopartículas se evidenció por la difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión. Para evaluar la actividad antimicrobiana se utilizó el método de difusión con disco en el medio de cultivo KB y PDA con cada una de las CuNPs a valorar. Los resultados preliminares son muy alentadores, ya que las nanopartículas de cobre resultaron ser agentes de control antimicrobiano estadísticamente superiores que las NPsZnO, ya que mostraron un efecto inhibitorio significativo contra las tres cepas bacterianas ya que provocaron halos de inhibición de 7.83 a 11.83 mm; este mismo efecto inhibitorio altamente significativo se detectó en los hongos evaluados. Con base en estos resultados es factible que las CuNPs y ZnO pudiesen ser agentes antimicrobianos para empleo en la agricultura sustentable; por lo tanto, estos datos requieren ser validados con experimentos in planta con cultivos agrícolas (Esparza-Rivera *et al.*, 2014)

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de las Nanopartículas de cobre (CuNPs) en el control de cenicienta en el cultivo de pepino.

Objetivos específicos

- 1) Determinar las respuestas de la planta después de la aplicación de Nanopartículas de cobre.
- 2) Evaluar si la aplicación de CuNPs genera cambios adversos en el cultivo de pepino.

HIPÓTESIS

La aplicación de Nanopartículas de cobre vía foliar puede disminuir la severidad de la cenicienta, además puede mejorar las variables agronómicas del cultivo de pepino.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del cultivo en México

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) tiene mucha importancia económica por qué tanto en el mercado mexicano como internacional es una hortaliza con gran demanda pues tienen un elevado índice de consumo, esto se debe a su gran adaptabilidad, y a su facilidad de ser consumido en fresco como industrializado (Alonzo-Torres, 2007).

México ocupa el primer lugar como proveedor de las importaciones a diferentes países de América, ya que de su producción total el 80% va destinado a la exportación. De esto, el mercado de Estados Unidos de América importa el 85% del total de exportación mexicana lo que lo hace un cultivo de importancia para nuestro país. Este alto porcentaje de exportaciones se le atribuye a que el pepino es una hortaliza muy difícil de producir en aquel país, aunque en México el costo de producción sea más alto (SAGARPA-CONACYT, 2009).

Origen e Historia

El origen del pepino de acuerdo a estudios con secuenciación de ADN y marcadores moleculares, se ha demostrado que el género *Cucumis* tiene su origen en el sureste de Asia, aunque es incierto, ya que hay teorías que aseguran que es originario de la india y que su cultivo es de hace más de 3 mil años y posteriormente llegó a China (Sebastian *et al.*, 2010). Al parecer se empezó a cultivar en el suroeste y este de Asia por los países de China y Japón, expandiéndose a los territorios cercanos donde se producía el cultivo para su alimentación (Reche, 2011). Sean cuales fueron sus orígenes, lo cierto es que hace más de 3,000 años, fue adoptado como

alimento Por los griegos y por los romanos como una delicadeza culinaria poseedora de numerosas y excelentes cualidades, este cultivo fue extendido en toda Europa por los romanos y posteriormente en América por Cristóbal Colon (Zamudio *et al.*, 2014).

Clasificación taxonómica

El pepino pertenece a la familia de Cucurbitaceae su especie se denomina *Cucumis sativus* L. es una planta herbácea anual con un sistema radicular muy potente, dada por su gran productividad (Flores *et al.*, 2017).

El pepino ha sido clasificado de la siguiente manera (Lara, 2013):

Reino: *Metaphyta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Violales*

Familia: *Cucurbitacea*

Género: *Cucumis*

Especie: *sativus* L.

Descripción botánica

Plata: Herbácea anual trepadora.

Raíces: Sistema radicular muy potente. Consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de

color blanco. El pepino posee la facultad de emitir raíces adventicias por encima del cuello.

Tallo: Los tallos son angulosos y espinosos, de porte rastrero y trepador, llegando a alcanzar hasta 3 metros de longitud. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

Hoja: Simple de largo pecíolo y gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino. Las hojas son alternas y opuestas a los zarcillos.

Flor: Flores de corto pedúnculo y pétalos amarillos que aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales (Quinchiguango-Peñañiel, 2017).

Requerimientos ambientales

Clima: El cultivo para el desarrollo oscila entre 18° y 30 °C, siendo la óptima de 25 °C, ya que se pueden presentar temperaturas elevadas y menores que pueden afectar el crecimiento de la planta, y si suele pasar las flores presentan problemas de fecundación o abortos (Guenko, 1983).

Suelo: recomienda ser cultivado en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado y con suficiente materia orgánica, es tolerante a la salinidad, la alta concentración de sales hace que las planta absorban el agua de riego con dificultad, su crecimiento es lento, se debilita el tallo, hojas pequeñas y frutos torcidos. La baja

concentración de sales el resultado se invertirá. El pH óptimo es de 5,5 y 7 (Siovm, 2009).

Humedad: La planta de pepino es exigente con requerimientos de humedad, esto se debe a su gran superficie de foliar, pero si se excede la humedad puede disminuir la producción, ya que esto puede causar enfermedades en el cultivo (Góngora, 2008).

Tutorado

Hace ya varios años que se comenzó a emplear el en tutorado en el cultivo del pepinillo. Con este sistema se puede conseguir aumentar la producción por unidad de superficie entre tres y cinco veces, si bien permanece casi constante la producción por planta (Villa, 1979). Esto se recomienda hacer antes de la siembra para evitar un daño que sea irreversible en la planta, esto se hace mantener la planta erguida aprovechando aireación, mayor aprovechamiento de radiación solar y labranzas culturales con mayor facilidad. Se recomienda utilizar rafia de color blanco para repelar las plagas, enfermedades o virus que puedan ocasionar un daño en el rendimiento del cultivo, amarrando ambos extremos y con una altura de 2 metros para tener buen sostén (Arias, 2007).

Enfermedades del cultivo de pepino

Las enfermedades son alteraciones ocasionadas por agentes patógenos que afecta la síntesis de sus alimentos disminuyendo los rendimientos, hasta llegar a la muerte de la planta, estas enfermedades atacan principalmente a las plantas jóvenes, ya que son más susceptibles que una planta fisiológicamente sana (Arcaya *et al.*, 2004). Todas las enfermedades son causadas por hongos, virus, bacterias que

atacan a las plantas susceptibles dejando un daño irreversible, y de las principales enfermedades son virus del mosaico de las cucurbitáceas (*Cucumber Mosaic Virus* CMV), antracnosis (*Coniothyrium fuckelii*), mildiu lanoso (*Peronospora destructor* (Berk.) Casp. en Berk), mildiu polvoriento (*Erysiphe cichoracearum* y *Sphaerotheca fuliginea*), además del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y temprano (*Alternaria solani*) estas afectan diferentes partes de la planta, ya sea las hojas o frutos (Casaca, 2005; Sanchez *et al.*, 2004; Pozo *et al.*, 2004).

Plagas del cultivo de pepino

Son organismos vivos (patógeno) que ocasionan alteraciones fisiológicas en otro, normalmente con síntomas visibles o daños económicos, los organismos se denominan o se llaman plagas. Las plagas principalmente se alimentan de las hojas y frutos dañando el funcionamiento adecuado del cultivo (Garza, 2001; Jiménez y Mejía, 2010), por mencionar algunas ya que son las principales y causan mayor daño como el minador de la hoja (*Liriomiza* spp.), pulgones (*Aphididae* spp.), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (*Frankliniella occidentalis*) lo cual se caracterizan por alimentarse de la sabia de la planta transmitiendo un hongo o virus (Franco *et al.*, 2014; Vázquez *et al.*, 2014; Cabello y Cañero, 1994).

Nanotecnología

La nanotecnología trata sobre las diferentes estructuras de la materia con dimensiones del orden de una milmillonésima parte de metro. Aunque la palabra nanotecnología es nueva, la existencia de dispositivos y estructuras funcionales de dimensiones nanométricas, tales estructuras han existido desde el mismo origen de la vida (poole *et al.*, 2007). La estructura electrónica de las nanopartículas es

también regulable mediante el enlace con diferentes tipos de moléculas. El enlace, más o menos, fuerte con moléculas es necesario para preservar la precipitación y aglomeración de las NPs y para que así, cada una de ellas, mantenga su unidad aislada del resto de las NPs. Este enlace es fundamental en un campo de aplicaciones de enorme interés actual como es el de la biomedicina. Se pretende que nanopartículas metálicas transporten moléculas como ácidos nucleicos, aminoácidos, azúcares o ADN enlazadas a los átomos de la superficie y que puedan viajar por el organismo hasta depositarse en dianas bien definidas y En su lugar de anclaje liberarían las moléculas transportadas dando lugar a una quimioterapia selectiva que reduciría al máximo los efectos colaterales (Ávalos *et al.*, 2013). La nanotecnología tiene muchas aplicaciones en la medicina, alimentación e agricultura sustentable donde se ofrecen grandes productos para la industria, así como fertilizantes y agroquímicos muy potentes para combatir daños bióticos y abióticos, por ejemplo, en el uso agrícola que permite una liberación controlada de herbicidas, al igual se está empleando revestimientos de fertilizantes de liberación controlada (Lugo *et al.*, 2010). Todas las posibilidades que tiene la nanotecnología en la aplicación de muchos sectores que permiten solucionar problemas e ampliar actividades y abrir nuevos mercados en el procesamiento de alimentos, la agricultura y los agrocombustibles (Foladori *et al.*, 2006).

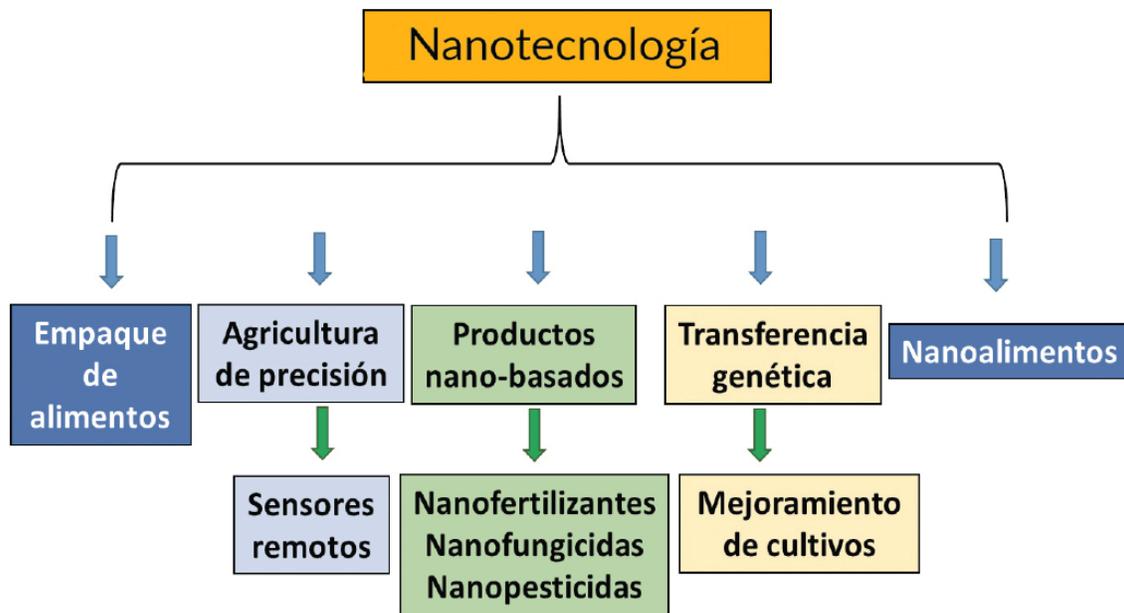


Figura 1. Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura moderna de precisión y en aspectos relacionados con la producción de alimentos Lira et al., (2018).

Nanopartículas

Las nanopartículas son entidades ultrafinas de tamaño nanométrico. "Nano" es un prefijo que denota la potencia 10^{-9} m, es decir, una milmillonésima parte del metro. Esta definición de nanopartículas varía dependiendo de la morfología y dimensión de los materiales, los campos y las aplicaciones en cuestión. En sentido estricto, las partículas mayores a 10nm son consideradas nanopartículas, donde las propiedades físicas de los materiales sólidos cambian drásticamente, y por debajo de ellas se encuentran los puntos cuánticos que dependen de las propiedades cuánticas (Aguilar *et al.*, 2012)

Tipos de Nanopartículas

Cuatro son las principales clases en las que en general son clasificados los nanomateriales según (Guzmán, 2013):

- Materiales de base de carbón con formas esféricas, elipsoidales o tubulares. Sus propiedades fundamentales son su reducido peso y su mayor dureza, elasticidad y conductividad eléctrica.
- Materiales de base metálica: pueden ser quantum dots (puntos cuánticos o transistores de un solo electrón) o nanopartículas de plata, oro, cobre, titanio, zinc, dióxido de titanio, óxido de zinc, cerio, entre otras.
- Dendrímeros: polímeros nanométricos construidos a modo de árbol en el que las ramas crecen a partir de otras y así sucesivamente; las terminaciones de cada cadena de ramas pueden diseñarse para ejecutar funciones químicas específicas (una propiedad útil para los procesos catalíticos).
- Composites: combinan ciertas nanopartículas con otras o con materiales de mayor dimensión; el caso de arcillas nanoestructuradas es un ejemplo de uso extendido.

En base a sus características particulares y el efecto que generan las nanopartículas son de gran importancia, ya brindan nuevas herramientas de manipulación genética se extienda a la ingeniería genética de cultivos (Zanella, 2014).

Nanopartículas Metálicas

Las Nanopartículas metálicas se basan en la oscilación colectiva de electrones de conducción libres como resultado de su interacción con la radiación electromagnética. El campo eléctrico de la radiación electromagnética induce la formación de un dipolo en la nanopartícula creándose una fuerza restauradora en la nanopartícula que intenta compensar ese efecto, resultando en una longitud de

onda de resonancia que confiere el color característico a las disoluciones coloidales de nanopartículas de metales nobles. En relación con esta propiedad se han desarrollado interesantes aplicaciones relacionadas principalmente con la detección de especies químicas, orgánicas o inorgánicas, o biológicas (Oroz,2009).

Existen diferentes formas de obtener nanopartículas, las cuales se clasifican en dos grandes grupos, el método top-down, que es el continuo rompimiento de un material y las de bottom-up que consiste en la construcción de nanomateriales a partir de sus constituyentes. Por otro lado, la obtención de nanopartículas se puede clasificar en métodos de síntesis físicas, químicas o biológicas (Villagarra, 2012), Entre estas se encuentran los siguientes métodos (Fica y Andrés, 2015):

- Métodos físicos: condensación con un gas inerte, descarga al arco eléctrico, corte por láser, pirólisis y pirólisis por aerosol.
- Métodos químicos: reducción del metal, síntesis solvotermal, síntesis fotoquímica, síntesis electroquímica, rutas termolíticas, rutas sonoquímicas, micelas y micro emulsiones, interfaces líquido-líquido.
- Métodos biológicos: microorganismos son los reactores y realizan la síntesis de las nanopartículas.
- Métodos híbridos: es una mezcla de los métodos anteriores; como la síntesis láser, el procesamiento selectivo de tamaño post sintético y la dispersión atómica de metal solvatados (DAMS).

Hay reportes de actividades antimicrobiana de distintas nanopartículas metálicas como el oro, plata, cobre, titanio y zinc Pese a esto, los mecanismos bactericidas

de estas aún no se entienden completamente. Tres mecanismos hipotéticos son los más aceptados y reportados en la literatura (Fica y Andrés, 2015):

- Acumulación y disolución de nanopartículas metálicas en la membrana plasmática generan un cambio en su permeabilidad, con la consecuente liberación de lipopolisacáridos, proteínas de membrana y biomoléculas intracelulares.
- Generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) generando daños oxidativos a las estructuras celulares como el DNA, la membrana plasmática y las proteínas de membrana.
- Adsorción de iones metálicos derivados de las nanopartículas o las mismas nanopartículas en el interior de las células, seguido por el agotamiento de la producción de ATP intracelular y la interrupción de la replicación del ADN.

Uso de Nanopartículas en la Agricultura

La agricultura es considerada como la segunda área de aplicación nanotecnológica, después del área energética. Los proyectos actualmente en desarrollo se basan en la “agricultura sin pérdidas”; los principales componentes que se adicionarán en forma óptima y controlada son fertilizantes, plaguicidas y agua (Tirira Vinueza, 2019)

En los recientes años muchos esfuerzos se han venido realizando en centros de investigación e instituciones de educación superior de todo el mundo, para impulsar la investigación de nuevas tecnologías para mejorar la calidad de los cultivos, ya que en la agricultura es una de las nuevas áreas de aplicación con la finalidad de encontrar novedosas aplicaciones de esta emergente ciencia en la producción sustentable de alimentos y cultivos. En este contexto, la bioencapsulación de

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

Ya que las nanopartículas pueden tener mayor reactividad química por su tamaño, ya que tiene mejor acceso a cualquier tejido, órganos y células de un cuerpo determinado al que se aplican.

La nanotecnología en la agricultura como en el comercio es de suma importancia, ya que está introduciendo nueva variedad de plaguicidas, reguladores de crecimiento vegetal y fertilizantes químicos potencialmente más eficientes que los usados actualmente. Asimismo, es probable que la nanotecnología, al brindar nuevas herramientas de manipulación genética se extienda a la ingeniería genética de cultivos y que 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, ya que ayudan mucho en daños biótico y abióticos (Arias-Ortiz *et al.*, 2019).

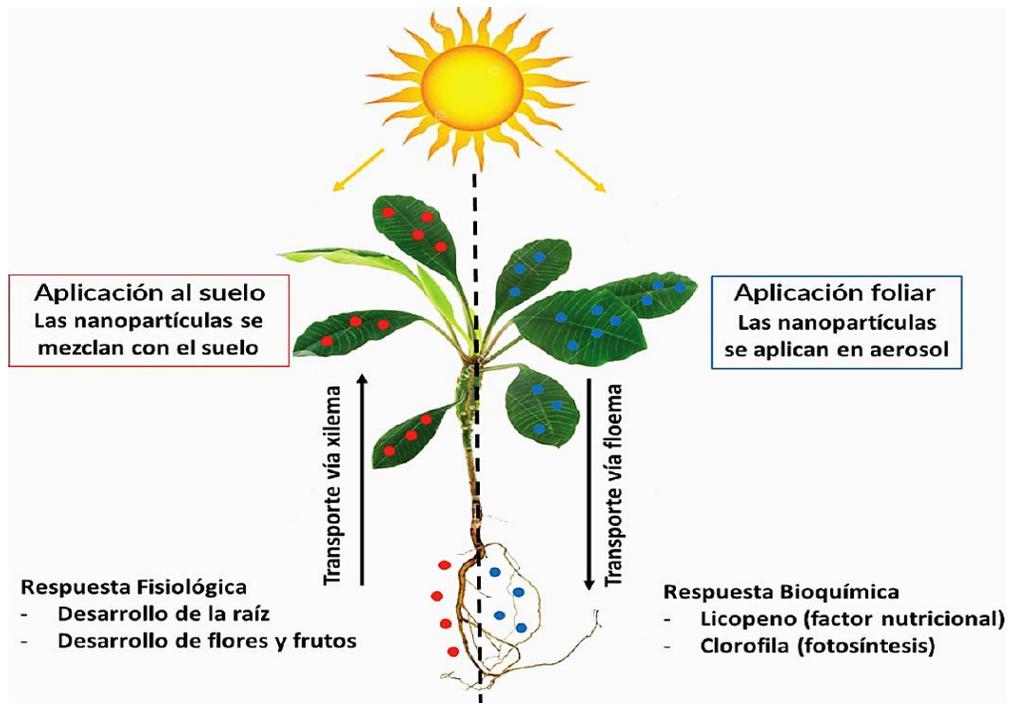


Figura 2. Las nanopartículas pueden aplicarse foliarmente mediante aspersion y en el agua de riego a la zona de las raíces, pudiendo luego transportarse a diversos sitios de las plantas por las rutas del xilema y el floema.

Efectos adversos de los agroquímicos agrícolas

Las formulaciones tradicionales de plaguicidas, pesticidas, herbicidas y fertilizantes actualmente en uso, por lo general tienen ingredientes activos con baja solubilidad en agua y, como tales, la disponibilidad para cultivos específicos puede ser bastante baja. Por necesidad, el productor debe usar volúmenes y cantidades mayores de estas formulaciones para controlar eficazmente los patógenos y obtener un rendimiento aceptable. Además, las formulaciones de plaguicidas basadas en fertilizantes y metales actualmente en uso están sujetas a lixiviación, precipitación por componentes del suelo y volatilización.

El resultado final ha sido un enfoque altamente ineficiente que no asegura el control adecuado de patógenos y la buena fertilización de las plantas, pero además resulta

económicamente muy costoso para el productor y los agroecosistemas. La pregunta clave entonces es si la solubilidad y la efectividad de estas formulaciones agroquímicas podrían mejorarse mediante el uso de aditivos o incorporando NPs, así como también usando a estas mismas como ingredientes activos (Naderi y Danesh-Shahraki, 2013). Los NMs tienen propiedades significativamente diferentes de sus contrapartes de tamaño micrométrico, pudiendo interactuar de manera diferente con otros productos químicos en relación con su tamaño (Liu et al., 2018).

Nps de plata (Ag)

Las NPs de Ag se han sintetizado con éxito mediante extractos de plantas, bacterias hongos (Lateef y Adeeyo, 2015), e incluso empleando telarañas y nidos de avispas (Lateef et al., 2016). La eficacia antimicrobiana de las NPs Ag se debe a su capacidad de ionizarse en medio acuoso a iones de plata con acción antimicrobiana pronunciada (Choi et al., 2008). Se ha señalado además que NPs Ag de tamaño entre 1 a 10 nm se unen a la membrana celular de las bacterias, provocando modificaciones en la permeabilidad y en la respiración bacterial y pueden penetrar al interior de la bacteria dañando compuestos que poseen grupos funcionales basados en azufre o fósforo, como por ejemplo el ADN (Monge, 2009).

NPs de ZnO

Las NPs ZnO muestran una actividad antibacteriana significativa en un amplio espectro de especies bacterianas exploradas por un gran cuerpo de investigadores. El ZnO está siendo investigado actualmente como un agente antibacteriano en microescala y nanoescala, ya que puede interactuar con la superficie bacteriana y/o entrar a la célula, y posteriormente muestra distintos mecanismos de acción

bactericida (*Sirelkhatim et al.*, 2015). Las NPs de CuO y ZnO ofrecen un buen potencial como fertilizantes, ya que son microelementos esenciales para las plantas y proporcionan metales biodisponibles, pero también pueden ser utilizadas como pesticidas. Estas NPs en dosis de ≥ 10 ppm cambian

la producción de metabolitos clave implicados en la protección de las plantas. Estas formulaciones se pueden integrar en las prácticas de desarrollo agrícola para garantizar un menor impacto ambiental en la producción de cultivos (*Anderson et al.*, 2017).

NPs de cobre (CU)

Estas nanopartículas como todo compuesto nano, tienen una gran área superficial con respecto a su volumen lo que hace resaltar las propiedades del cobre y favorece la liberación de iones cobre siendo aún más nocivo para microorganismos patógenos, algún estudio mencionado evidencia las propiedades bactericidas de nanopartículas de cobre Se ha probado su poder antimicrobiano frente *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella choleraesuis* y *Candida albicans*. Sin embargo, en la literatura disponible, no hay evidencia de la actividad antimicrobiana que pudiesen tener estas nanopartículas frente a *Streptococcus mutans* (Fica y Andrés, 2015).

Dada la efectividad del cobre contra agentes patógenos relacionados 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 (Ricardo, 2016).

Actualmente en unos estudios en semilla de melón, al evaluar CuNPs y MPsCuSO₄ (ambos a 0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 y 50 ppm), se obtuvieron resultados diferentes, ya que mayor longitud de radícula se observó con 10 y 50 ppm MPsCuSO₄ (14.61 y 14.91 cm, respectivamente) con relación al testigo que obtuvo 9.75 cm en promedio. Por otra parte, al ensayar semilla de pepino con CuNPs y MPsCuSO₄ (0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 y 50 ppm), se observó mayor longitud de radícula con 1.0 y 5.0 ppm CuNPs (14.68 y 14.73 cm, respectivamente) en comparación al testigo que obtuvo 11.25 cm (Torres *et al.*, 2016).

METODOLOGÍA

Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, con coordenadas exactamente en una longitud norte $25^{\circ} 21'$ y longitud oeste $101^{\circ} 03'$, con una elevación de 1781 msnm (Figura 3).

El experimento se estableció en un invernadero tipo multitúnel, cubierto por polietileno de color blanco, implementado con cortinas móviles y estructura de metal, haciéndolo un invernadero de media tecnología.

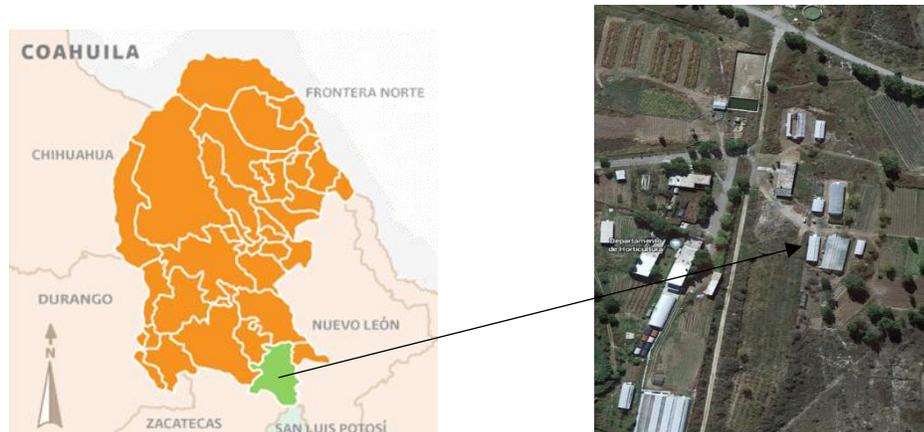


Figura 3. Localización del Departamento de Horticultura.

Descripción del experimento y tratamientos

Se utilizó peat moss y perlita como sustrato, como contenedores se utilizaron bolsas de plástico con un volumen de 4 L. como características particulares del suelo es que tiene elevada capacidad de retención de humedad, suministro de aire, elevada porosidad y una estructura estable que impida la contracción. Se sembró una

semilla de pepino de la variedad de Vítaly SYNGENTA® por cada maseta; además se instaló un sistema de riego por goteo. Con un temporizador(timer), donde se programó con una duración de cinco minutos y tres veces por el transcurso del día, así mismos, las duraciones de los riegos se incrementaron de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo. Para la nutrición del cultivo de pepino se utilizó la solución nutritiva Steiner al 75% que contenía; nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)$, sulfato de magnesio (MgSO_4), nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de potasio (K_2SO_4), fosfato monopotásico (KH_2PO_4) y un producto comercial llamado “Ultrasolmicro” para proporcionar macronutrientes

Se realizó tutorado con rafia color blanco para evitar el acame de la planta, el cual consistió en enredar el tallo de forma que no resultara dañino para la planta y sus estructuras vegetativas, además de la eliminación de yemas axilares para el crecimiento de la guía principal del cultivo, evitando la distribución de nutrientes y requerimientos de la planta para estos tallos. Por último, se realizó la eliminación de los 3 primeros frutos para la estimulación de crecimiento de la planta y la formación de nuevos frutos.

para la inoculación de cenicilla en el cultivo, primero se llevó acabo la identificación de la enfermedad, ya identificada se tomó una muestra para llevarla al laboratorio a un medio de cultivo de agar con una solución equilibrada de nutrientes y factores de crecimiento necesarias para la multiplicación y desarrollo de la enfermedad, ya sembrada la enfermedad en el cultivo de agar se cubre con plástico film, para después pasar a la incubadora donde se dejara de 1 a 3 meses para su reproducción.

Para el inóculo se realizó un raspado con aza de platina dentro de una campana de flujo laminar del crecimiento del hongo en el medio de cultivo llevándolo a agua milli. Después se realizó un conteo de esporas en microscopio electrónico dentro de una cámara de Neubauer. Para esto tomamos un mililitro del inóculo con una micropipeta. Se realizaron diluciones para obtener una concentración de 1×10^6 unidades formadoras de colonia (UFC).

Después ya transcurrido el tiempo se extrae la enfermedad dejándola en un atomizador, para después inocular a los tratamientos. Las cuales se asperjaron con un atomizador de mano sobre el cultivo, de forma que todas las partes vegetativas de la planta quedaran cubiertas por dicha enfermedad para infectarla.

La aplicación de los tratamientos se llevó acabo haciendo soluciones con las nanopartículas de cobre en diferentes dosis para revertir el daño ocasionado por la inoculación de la enfermedad de cenicilla, de igual manera se asperjaron con un atomizador de mano sobre el cultivo, de forma que todas las partes vegetativas de la planta quedaran cubiertas por dicha solución.

La prueba incluyó los tratamientos distribuidos de la siguiente manera:

Se consideraron 15 repeticiones para cada tratamiento.

Tabla 1. Diseño de la distribución del experimento y las concentraciones de cada tratamiento (15 repeticiones de c/u).

PA	50 pmm CuNPs + PA	100 pmm CuNPs + PA	150 pmm CuNPs + PA	200 pmm CuNPs+ PA	250 pmm CuNPs + PA	TO
----	-------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------	--------------------------	----

PA= Patógeno, **CuNPs=** Nanopartículas de Cobre(pmm), **T=** Testigo



Figura 4. Establecimiento del experimento y labores culturales.

Variables evaluadas

En las variables evaluadas en el cultivo de pepino se encuentra el rendimiento, De este se determinó el peso de cada fruto de pepino cosechado en una balanza digital, así mismo se tomó el registro de cada fruto cosechado por planta. Se determinó el peso fresco de hojas y las demás partes vegetativas de la planta para la determinación del peso seco total. Se utilizó un vernier digital para medir el diámetro

del fruto y diámetro del tallo, así mismo un flexómetro para determinar la altura final de la planta. Finalmente se contabilizó el número de hojas, frutos cortados, la variable de abortos totales y la severidad (Daño por la cenicilla) que presentó el cultivo durante el experimento.

Tabla 2. Escala de valoración de porcentaje de severidad en infección de hojas Estrada (2007).

Rango	% de infección
0	0 sin ataque
1	1 a 15 del área atacada
2	16 a 30 del área atacada
3	30 a 50 del área atacada
4	50 a 75 del área atacada
5	75 a 100 del área atacada

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones o unidades experimentales, siendo una planta una unidad experimental. Para el análisis de datos se realizó un ANOVA y prueba de comparación de medias de LSD Fisher con el paquete estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación de las variables agronómicas relacionadas con el cultivo del pepino y el control de la enfermedad de cenicilla son presentados en las siguientes figuras.

Variable de Severidad

Para la variable de severidad, se muestra que hay diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el análisis estadístico demostró que los tratamientos entre mayor cantidad de CuNPs, no ayudan a las plantas de pepino a contrarrestar el ataque de cenicilla, siendo los mejores tratamientos el testigo y patógeno dejando abajo las concentraciones altas de CuNPs estadísticamente, los resultados obtenidos se pueden comparar con los el trabajo reportado por Usman *et al.*, (2013), donde se ha destacado el eficaz efecto antimicrobial de NPs metálicas de cobre bajo condiciones in vitro contra varios hongos y levaduras causantes de graves enfermedades como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella choleraesuis* y *Candida albicans*, al igual siendo los segundos mejores tratamientos habiendo diferencias significativas, los tratamientos con concentraciones de 200, 250 CuNPs + PA, de acuerdo a los resultados del análisis estadístico que se muestra en la figura 5.

Donde Lira *et al.*, (2014) también señalan el claro efecto antifúngico de CuNPs obtenidas mediante la técnica de descomposición térmica contra el hongo fitopatógenos *Botrytis cinerea*

Los resultados que se expresan es que las altas concentraciones de CuNPs no son favorables como el uso de fungicida sobre enfermedades que presentan los cultivos.

En otros resultados señalan que las nanopartículas de cobre por ellos producidas también tuvieron un efecto inhibitorio muy claro contra tres bacterias causantes de graves enfermedades en humanos e intrahospitalarias Betancourt *et al.*, (2013).

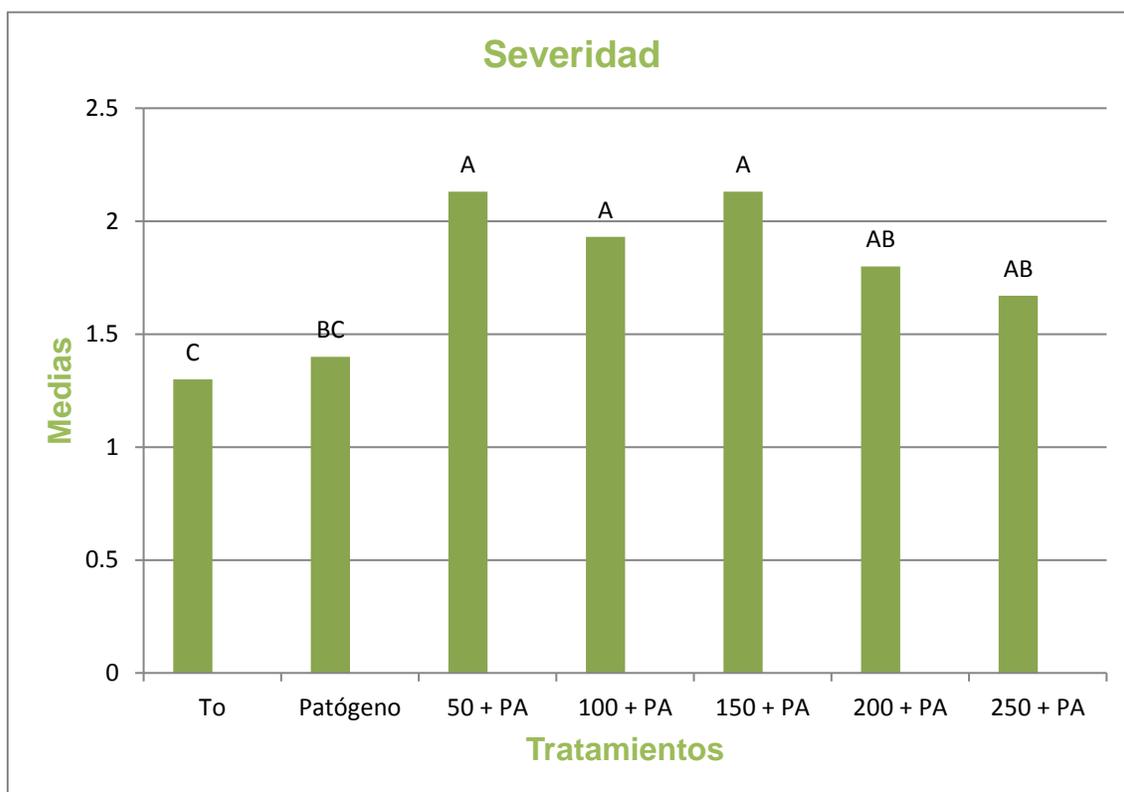


Figura 5. Severidad al final del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

Variable de Rendimiento

Para la variable de rendimiento en el cultivo de pepino los resultados que se obtuvieron en el experimento se muestran en la figura 6, donde la tabla muestra que se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. El valor más alto de rendimiento se obtuvo con el tratamiento de patógeno superando al testigo por 25%. Los segundos mejores tratamientos fueron las dosis de 50 y 250 CuNPs + PA, ya que los tratamientos muestran diferencias estadísticas a comparación del testigo.

En estudios similares por Juárez *et al.*, (2016) indican que el uso de CuNPs en la agricultura puede ser favorable, mejorando el crecimiento de plántulas, rendimiento y calidad del fruto.

Por otro lado, el peor tratamiento fue la dosis de 100 CuNPs + PA al ser 5% peor que el testigo. Estos resultados muestran que a bajas concentraciones de CuNPs incrementa el rendimiento del cultivo de pepino, ya que el tratamiento de patógeno fue el que obtuvo mejor valor.

Los resultados obtenidos se pueden relacionar con lo mencionado por Torres *et al.*, (2016), que indican en estudios obtenidos han mostrado que las CuNPs en altas concentraciones afectan el rendimiento, crecimiento y calidad de los cultivos agrícolas, al igual se menciona que altera la nutrición mineral, fotosíntesis y causan estrés oxidativo e induce genotoxicidad en los cultivos.

Por otra parte, se estudiaron los efectos de las NPs cobre (Cu) para dos especies frijol (*Phaseolus vulgaris*) y trigo (*Triticum sativum*), utilizando concentraciones que van de 450 a 722 mg L⁻¹. Los resultados indican que *Phaseolus vulgaris* fue más sensible al incremento de las CuNPs, teniendo efectos significativos desde la germinación, crecimiento de planta y rasgos toxicidad Woo-Mi *et al.*, (2008).

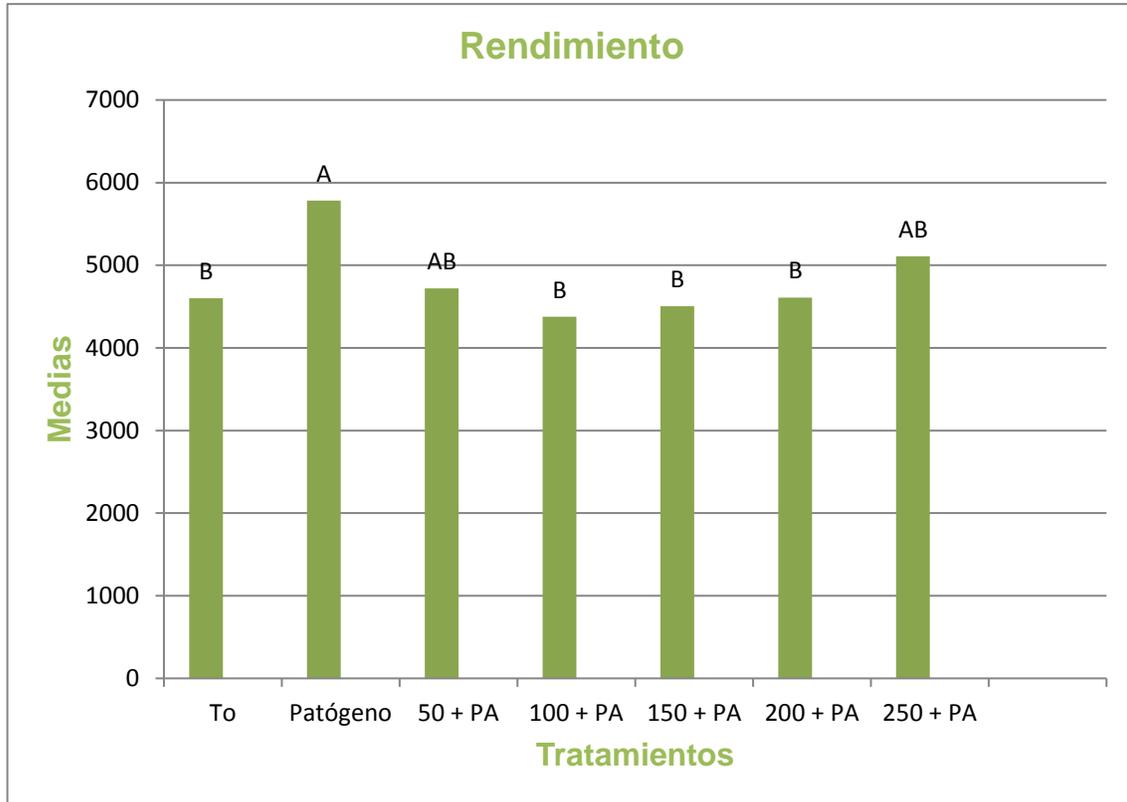


Figura 6. Rendimiento del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

Variables de Abortos totales, número frutos cortados y peso por frutos

Lo que se muestra en la variable de abortos totales, los tratamientos que más abortos presentaron fueron los tratamientos de 150 y 250 CuNPs + PA, los cuales superan al testigo por 10%, ya que tuvieron la caída de flores y frutos jóvenes, lo cual atribuye a la alta cantidad de CuNPs. En comparación a los resultados obtenidos es posiblemente que se deba a la capacidad del CuNPs para inducir respuestas de ajuste fisiológico o bioquímico debido a su tamaño, área superficial y capacidad para atravesar fácilmente las barreras celulares para interactuar con las estructuras intracelulares Shobha *et al.*, (2014). Por otro lado, el tratamiento que menos abortos presento fue el tratamiento de patógeno, siendo inferior al testigo

con un 8%, esto se puede deber que la planta del tratamiento de patógeno no se la aplicaron CuNPs, ya que no sufrieron una intoxicación y no detuvieron su productividad al punto de desarrollar sus frutos adecuadamente. El tratamiento con la dosis de 100 CuNPs + PA fue la mejor al presentar menor número de abortos que el testigo. En comparación con el experimento con los resultados de Adhikari *et al.*, (2012), quienes reportan más biomasa en la raíz y brotes de frijoles de soya y garbanzos después del tratamiento de semillas con NPs de CuO a 60 mg L⁻¹ y 100 mg L⁻¹, respectivamente. Estos resultados obtenidos en el experimento quieren decir que entre menos cantidades de CuNPs puede a ver un control de abortos y tener mayor número de frutos desarrollados, aunque entre los tratamientos estadísticamente no ya una diferencia significativa con el testigo, como se muestra en la figura 7.

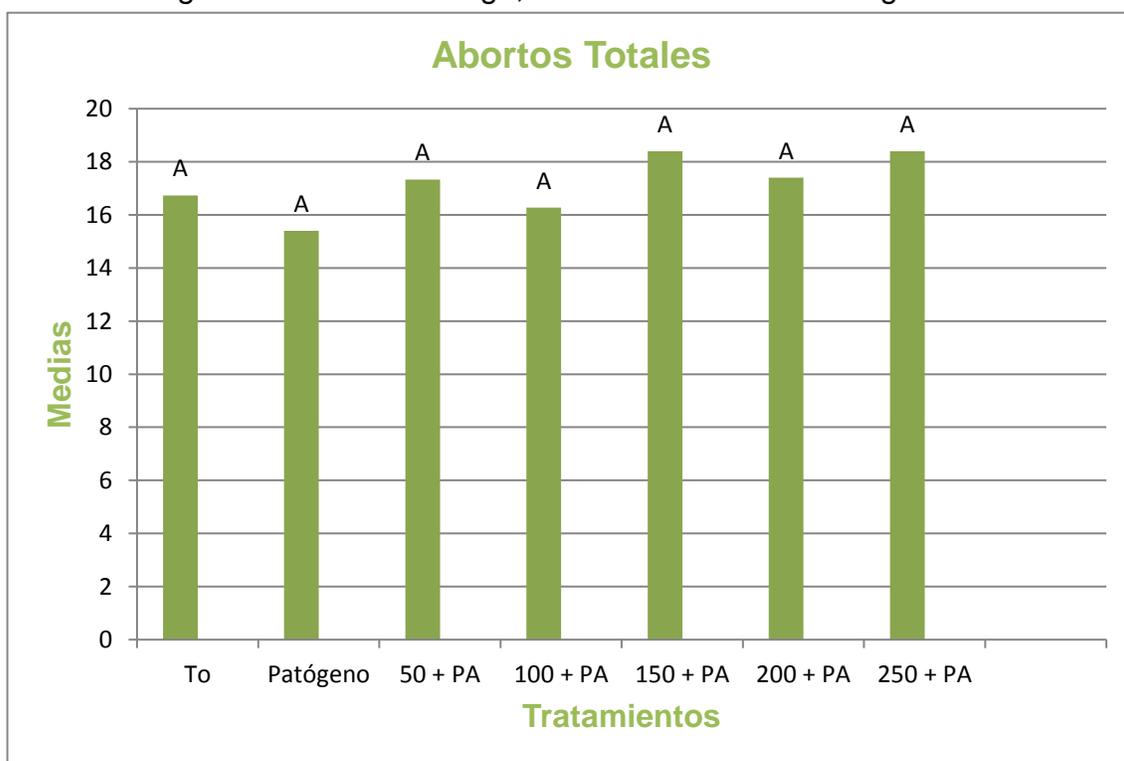


Figura 7. Número de abortos totales del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

En la figura 8, se muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos de la variable número de frutos cortados, sin embargo, el análisis estadístico muestra que el número de frutos cortados en los tratamientos aumento la cantidad de frutos al final del experimento, del cual el mejor tratamiento fue el de patógeno, el cual supero al testigo por 28%. Juárez-Maldonado *et al.*, (2016), donde reporta que las CuNPs a una concentración de 0.06 mg L^{-1} incrementaron en un 22.84 % el número de frutos por planta de tomate.

El segundo mejor tratamiento fue la dosis de 250 CuNPs + PA, ya que muestra diferencias significativas mejores que el testigo. Por otra parte, el peor tratamiento fue la dosis de 100 CuNPs + PA al ser inferior al testigo con el 2%.

En otros resultados el Np de quitosano- PVA + CU al ser aplicado a plantas de tomate muestran mayor número de frutos al 20% de tomate en comparación con el control absoluto sin estrés salino Hernández-Hernández *et al.*, (2018).

Se puede observar que entre más altas las concentraciones de Nanoparticulas de cobre se obtuvo la menor cantidad de frutos, donde se reafirma el grado de intoxicación de la planta que se aplica el tratamiento, ya que no hubo crecimientos de las partes vegetativas y en causa a esto no genero nuevos brotes para la formación de nuevos pepinos, excepto una dosis alta de un tratamiento tubo mayor número de frutos (Figura 8).

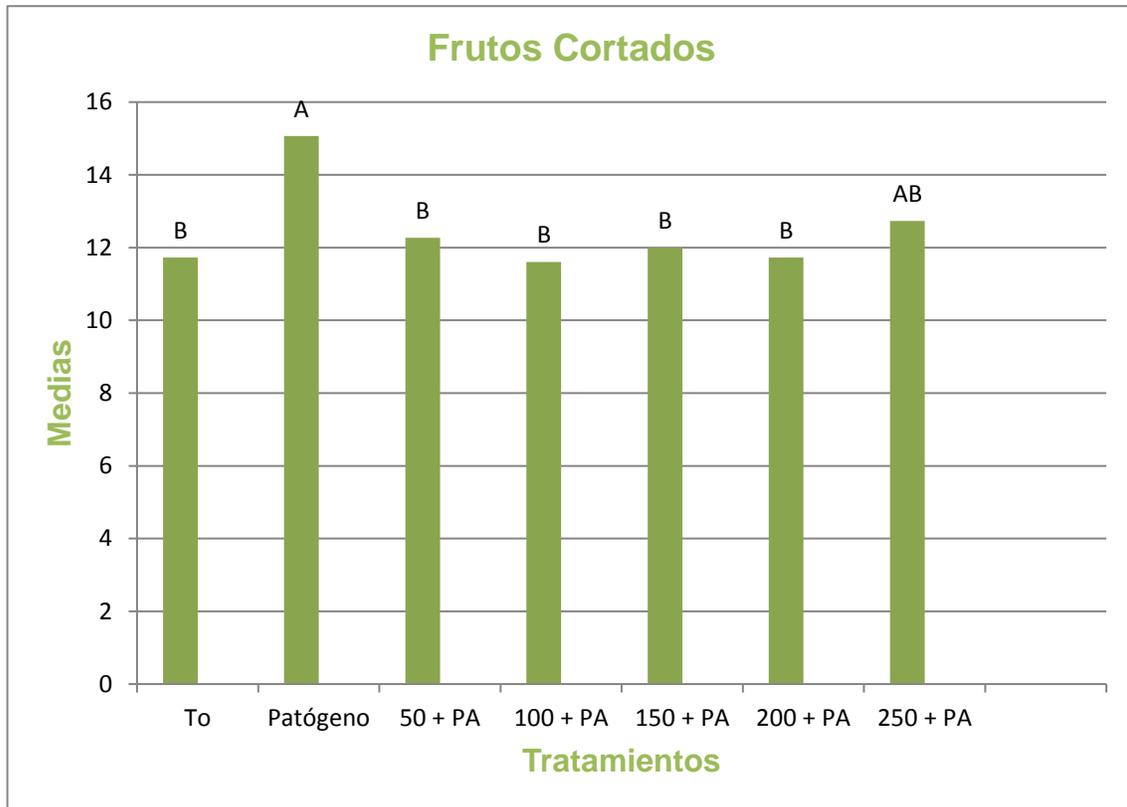


Figura 8. Número de frutos cosechados del cultivo de pepino al final del experimento (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

Para la variable de peso por frutos los resultados se presentan en la figura 9, donde no se observaron diferencias estadísticamente entre los tratamientos. El tratamiento que obtuvo mejor peso por frutos fue la dosis de 250 CuNPs + PA, el cual superó al testigo con la diferencia del 2%. Los segundos mejores tratamientos fueron el patógeno, 50 y 200 CuNPs + PA, aunque no fueron diferentes que el testigo. El peor de los tratamientos fue la dosis de 150 CuNPs + PA al ser el 6% peor que el testigo. Los resultados mostrados indican que al ir aumentando la dosis de CuNPs el peso del fruto va aumentando, al tener mayor volumen específico. En comparación con los resultados obtenidos por Juárez *et al.*, (2016), la comparación con el control, el

tratamiento de hidrogel de quitosano con CuNPs mostró los siguientes aumentos significativos: 11% más de racimos, 29% más de frutas, 25% más de peso de fruta, 20% más de peso fresco de brote, 29% más de peso seco de brote, 7 % más de conductancia estomática y valore de unidades SPAD 9% más altos. Las aplicaciones que usan hidrogeles de quitosano sin CuNPs nunca fueron mayores que el control.

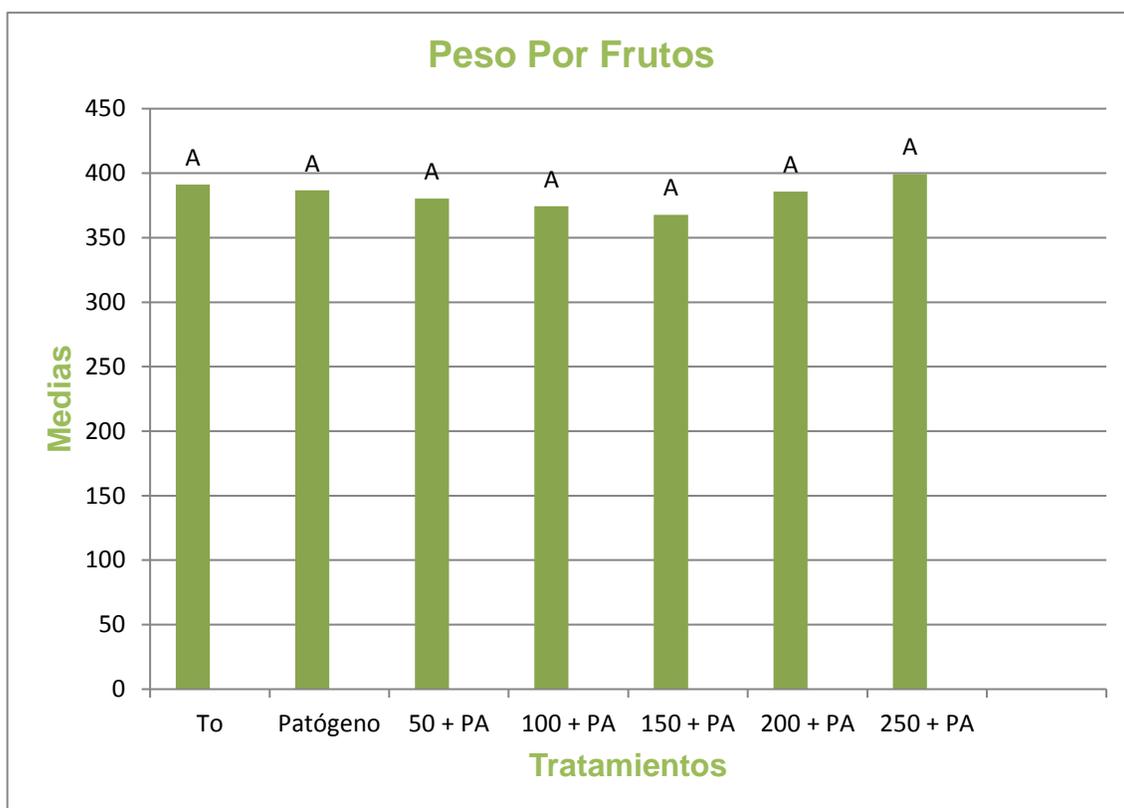


Figura 9. Peso promedio de Frutos del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

Número de hojas, peso seco de hoja, peso fresco de hojas y peso fresco total

Para la variable número de hojas del cultivo de pepino los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Donde se demostró que el

tratamiento 250 CuNPs + PA genero mayor cantidad de hojas, donde fue estadísticamente mejor al testigo con 9%. Como segundos mejores tratamientos con mayor cantidad de hojas fueron patógeno, 150, 50 y 200 CuNPs + PA demostrando que son mejores estadísticamente diferentes al testigo. Trujillo-Reyes *et al.*, (2014) informaron que la aplicación de 20 mg L⁻¹ de NP de Cu / CuO aumentó la cantidad de Cu en las raíces y hojas de lechuga. Esta diferencia entre los dos estudios puede deberse a la diferencia en las concentraciones de CuNPs utilizadas y a la presencia de hidrogeles de quitosano.

El tratamiento que tuvo la menor cantidad de hojas fue la dosis de 100 CuNPs + PA, donde se demostró que fue peor que el testigo de 2%. Se demostró que los tratamientos con altas cantidades de CuNPs tienen mayor cantidad de hojas, ya que fueron superiores al testigo se muestra en la figura 10. Por otra parte, en otros trabajos realizados donde la interacción entre injerto y aplicaciones de Cs-PVA-CuNPs tuvieron los mejores resultados en longitud de guía, diámetro de tallo, longitud de raíz y área foliar. El uso del injerto en el cultivo de la sandía modifica la micromorfología foliar ya que se disminuyó en un 18% y 9% la DE e IE respectivamente y aumento un 18% el área transversal de los vasos de xilema, también repercute favorablemente en la productividad del cultivo mediante el incremento de la longitud de guía en un 20%, diámetro de tallo 17%, peso fresco 25%, peso seco 7%, longitud de raíz 15% y área foliar específica un 39%, las modificaciones producidas por el uso de injerto afecta de manera favorable el desarrollo de las plantas Cabrera *et al.*, (2017).

En la figura 10, se muestra la variable de peso fresco de hoja en la cual se muestra estadísticamente diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos que mayor peso fresco de hoja se obtuvieron fueron el patógeno, 50, 150, 200 y 250 CuNPs + PA, ya que fueron superiores al testigo al tener diferencias. Como el peor tratamiento al ser superado con 10% por el testigo fue la dosis de 100 CuNPs + PA. Se muestra que entre mayor CuNPs aumenta el peso por hojas, mostrando diferencias con el testigo. En un ensayo realizado por Fernandois (2003), orientado a evaluar la eficiencia en el control de *Pyrenochaeta lycopersici* mediante distintas cepas de *Trichoderma spp.* y *Paenibacillus lentimorbus* en tomate producido bajo invernadero, se obtuvieron resultados similares en relación al peso fresco de las plantas, donde no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, lo que en este caso se explicaría por el efecto de la temperatura y luminosidad sobre el desarrollo vegetativo de las plantas.

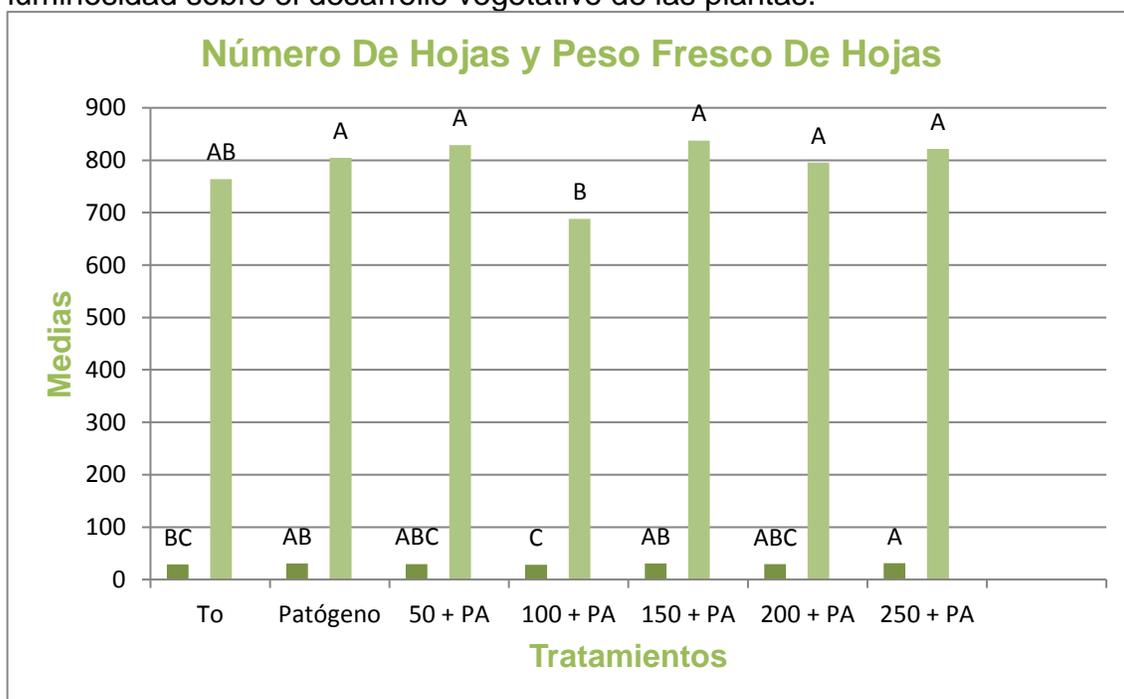


Figura 10. Números de hojas y el peso fresco de hoja del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

En la figura 11, se muestra que no hay estadísticamente diferencias entre los tratamientos en la variable de peso seco al igual que la variable de peso seco total. El valor más alto en las variables fue para el tratamiento de patógeno superando al testigo con mayor volumen de hojas secas y peso seco total, en comparación a los estudios de Trujillo-Reyes *et al.*, (2014), informaron que la aplicación de CuNPs disminuyó el contenido de agua, la longitud de la raíz y la biomasa seca en plantas de lechuga cultivadas en solución con los NP. sin embargo, los segundos mejores tratamientos que no mostraron diferencias significativas al testigo siendo las dosis de 50, 200 y 250 CuNPs + PA. El tratamiento menos sobresaliente fue la dosis de 100 CuNPs + PA al ser inferior con el 10% que, al testigo, por otra parte, se muestra estadísticamente que entre mayor sea las dosis de CuNPs la planta sufre una intoxicación.

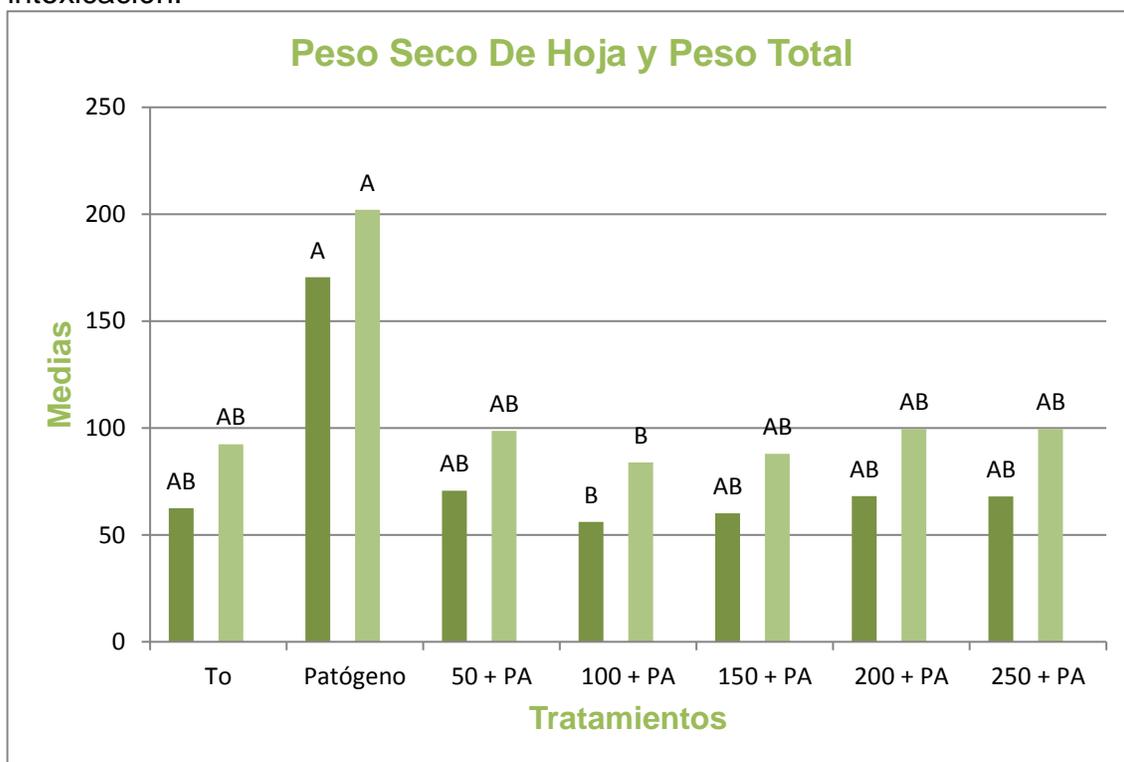


Figura 11. Peso seco de las hojas y el peso seco total del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

Diámetro de tallo y altura final

Para la variable diámetro de tallo, se muestran la existencia en los tratamientos que favorece el desarrollo del tallo, las cuales el tratamiento de 200 CuNPs + PA, siendo mejor al testigo por un 11%, ya que se muestran diferencias de acuerdo al análisis estadístico. Los resultados obtenidos son comparados con los que obtuvo Torres *et al.*, (2016), donde actualmente tienen estudios en proceso realizándose en el CIQA y la UAAAN con semillas de tomate, en donde se aplicaron tratamientos por 24 h en cajas Petri y sobre papel filtro, con diferentes niveles de CuNPs y MPsCuSO₄ (micro partículas de CuSO₄) en concentraciones de: 0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 y 50 ppm, donde el tratamiento con 10 ppm incrementó la longitud del tallo y el tratamiento con 5 ppm la longitud de radícula, en ambas variables los resultados mostraron diferencias estadísticas con respecto al testigo.

Los segundos mejores tratamientos que superan al testigo, ya que hay diferencias entre los tratamientos son las dosis de 50 y 250 CuNPs + PA y el peor tratamiento fue la dosis de 100 CuNPs + PA al ser inferior que el testigo, como se muestran en la figura 12.

Por su parte en otro estudio, Ramírez *et al.*, (2018), el tallo en las plántulas de arándano azul control fue de 7.99 cm, en el grupo con la concentración de 0.125 y 2 g/L CuNPs fue un promedio de 8.43 y 7.96 cm respectivamente; indicando que no existe una diferencia significativa en la longitud del tallo.

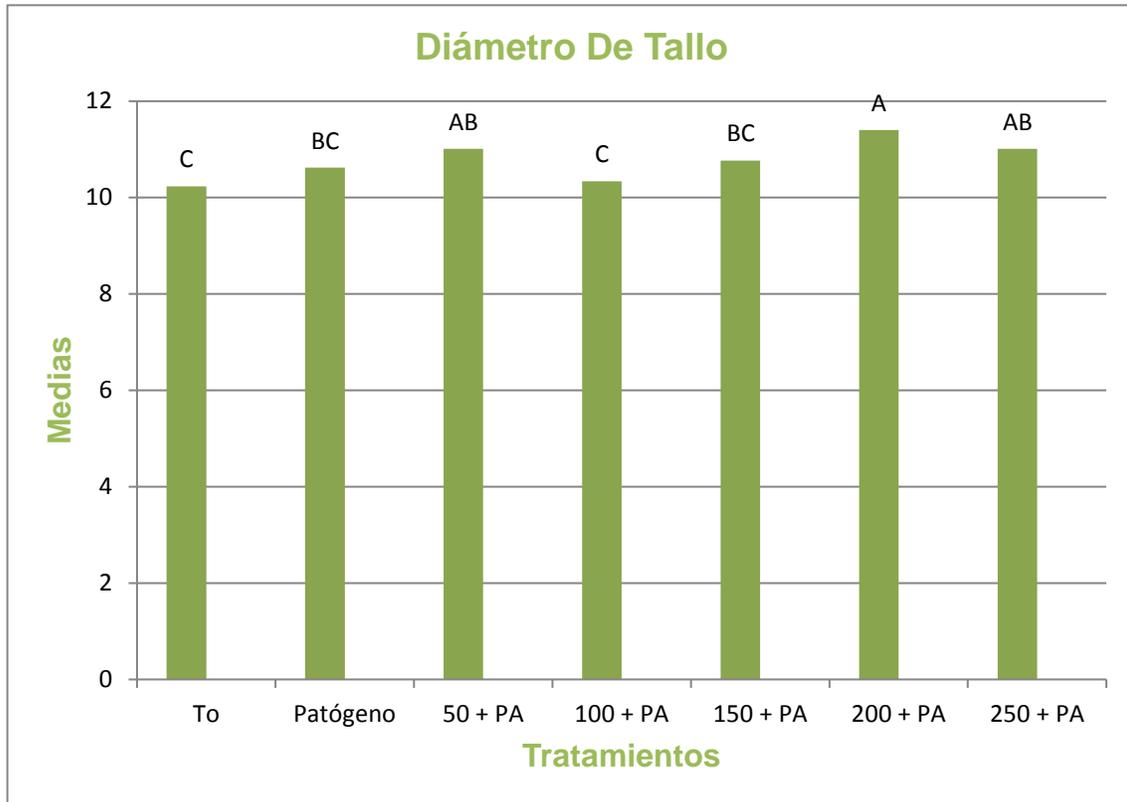


Figura 12. Diámetro de tallo del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

En la figura 13, se observan diferencias significativas para la variable de altura final de la planta entres los tratamientos, donde los mejores resultados fueron para las dosis de 50, 100 y 250 CuNPs + PA, siendo superiores al testigo estadísticamente. Por otra parte, resultados obtenidos que son similares a los del experimento reportados por Juárez-Maldonado *et al.*, (2015), donde se obtuvieron que las CuNPs absorbidas en hidrogeles de quitosán a una concentración de 0.06 g L^{-1} en plantas de lechuga, presentaron diferencias significativas en cuanto a la altura de las plantas en relación con el testigo. Cabe referir que los tratamientos menos sobresalientes resultaron ser el patógeno, 150 y 200 CuNPs + PA, en este caso para la variable de

altura son mejores estadísticamente que el testigo, ya que la alta dosis de CuNPs no afectaron el crecimiento de la planta.

En otros resultados obtenidos donde obtuvieron para la altura de planta, el tratamiento con 0.015 mg L^{-1} fue el más bajo, y los tratamientos restantes con CuNPs fueron mayores o iguales a ese tratamiento por Juárez-Maldonado *et al.*, (2016),

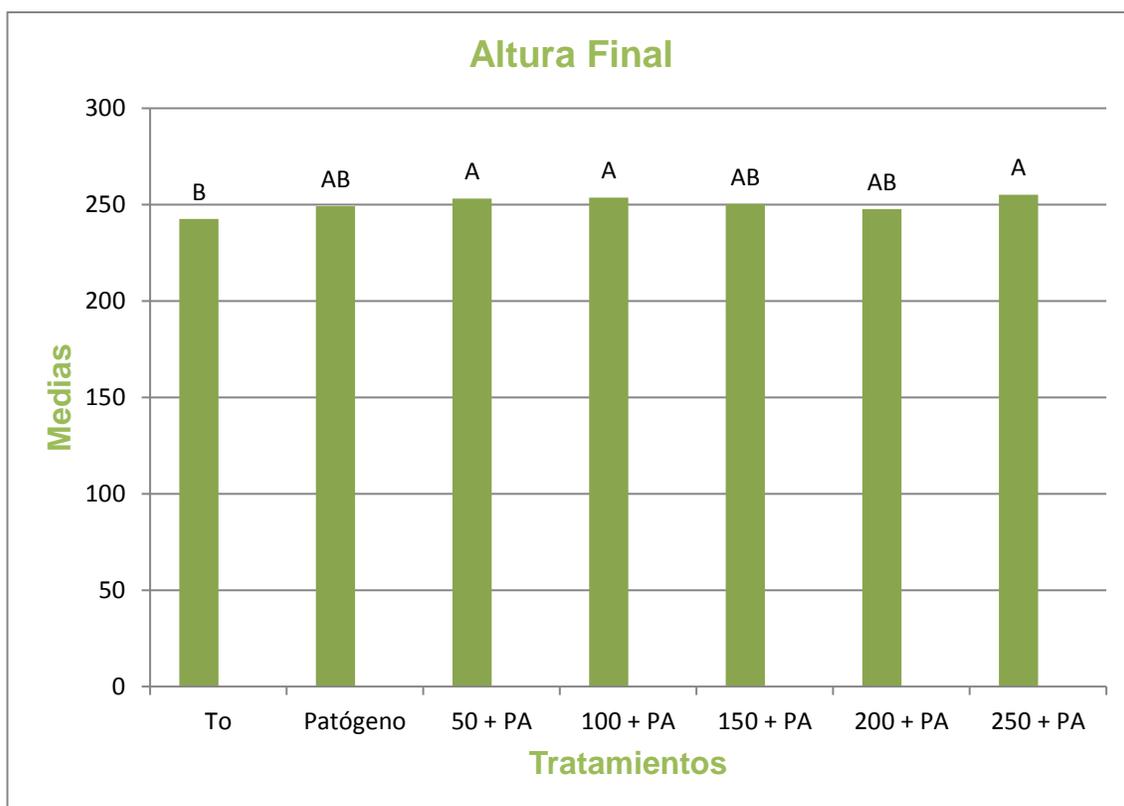


Figura 13. Altura final del cultivo de pepino (Medias con una letra común por columna no son significativamente diferentes según LSD $p > 0.05$).

CONCLUSIONES

La aplicación de CuNPs no intervienen de manera directa en el crecimiento y desarrollo en las plantas de pepino, ya que en variables agronómicas evaluadas no presentan diferencias, sin embargo, en la variable de rendimiento del cultivo de pepino fue incrementando al ir aplicando dosis de 50 y 250 CuNPs + PA.

La aplicación de altas concentraciones de CuNPs tienen efectos que puedan mejorar la planta o se puedan intoxicar, ya que pueden detener el crecimiento y el desarrollo del cultivo de pepino.

En el experimento se mostró que en altas concentraciones de CuNPs 150 y 250 CuNPs + PA, provocan un mayor número de abortos en el cultivo de pepino, aunque en altas dosis el peso de pepino aumento por unidad.

El uso de CuNPs a diferentes concentraciones no afecta el crecimiento del cultivo como en área foliar, pero en altas puede tener efectos en formación de nuevos frutos por planta.

En el uso de CuNPs se puede a ver un efecto negativo en el control de enfermedades de origen fúngico, ya que durante el experimento en las concentraciones de CuNPs de 50, 100 y 150 CuNPs + PA, no ayudaron en la disminución de la enfermedad de cenicilla, sin embargo, en lo visto en el trabajo es recomendable la aplicación de dosis bajas, ya que disminuye el rendimiento y cantidad de frutos por planta.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonzo-Torres, M. (2007). Producción de hortaliza todo el año. Módulo II: Producción de hortalizas de frutas. Boletín 10: Producción de pepino. Trabajando por el Desarrollo Rural de la Provincia de Sofala. República de Moçambique DPA Sofala.
- Arias, S. (2007). Producción de pepino. Manual de Producción. Proyecto De Diversificación Económica Rural. Usaid-Red. Oficinas de la Fhia, La Lima, Cortes, Honduras.
- Arcaya, E., Díaz, F., & Paz, R. (2004). Primer registro de *Diaphania indica* (Saunders, 1851) (Lepidoptera: Crambidae) en el cultivo de pepino en Venezuela. *Bioagro*, 16(1), 73-74.
- Anderson A, McLean J, Jacobson A, Britt D. 2017. CuO and ZnO Nanoparticles Modify Interkingdom Cell Signaling Processes Relevant to Crop Production. *Journal of Agricultural and Food*. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b01302.
- Arias Ortiz, J. D., & Palma Holguín, M. I. (2019). Elaboración de un compuesto antimicrobial con nanopartículas de plata sintetizadas a partir del extracto de hojas de romero (*rosmarinus officinalis*), para ser aplicado en frutas Frescas (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química.).
- Ávalos, A., Haza, A. I., Mateo, D., & Morales, P. (2013). Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio

ambiente/Silver nanoparticles: applications and toxic risks to human health and environment. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(2), 1.

Aguilar, M. D. S., & Rosas, G. Síntesis de Nanopartículas de Cu por Reducción Química (2012).

Adhikari, T., Kundu, S., Biswas, A.K., Tarafdar, J.C., RAO, A.S., 2012: Effect of copper oxide nano particle on seed germination of selected crops. *J. Agr. Sci. Technol. A*. 2, 815-823

Betancourt, R. Reyes, P.Y., Puente, B., Ávila-Orta, C., Rodriguez, O., Cadenas, G., LiraSaldivar, H., Garcia-Cerda, L.A. 2014. Synthesis of copper nanoparticles by thermal decomposition and their antimicrobial properties. *Journal of Nanomaterials*. Volume 2013, Article ID 980545, 5 pages

Casaca, A. G. (2005). El cultivo del pepino. Documento Técnico 15. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. SAG. Costa Rica.

Esparza-Rivera, E., Lira-Saldivar, R. H., Hernández-Suárez, M., Rebeca, B. G., García-Cerda, L. A., & Puente-Urbina, B (2014). Actividad antimicrobial de nanopartículas de cobre y óxido de zinc contra bacterias y hongos fitopatógenos.

Estrada, R. S. (2007). Alternativas de Bajo Impacto Ambiental para el Control de Cenicilla [*Sphaerotheca fuliginea* (Schlechtend.:Fr) Pollaci] en Pepino. Culiacan Sinaloa: CIAD.

Foladori, G., & Invernizzi, N. (2006). La nanotecnología: una solución en busca de problemas. *Comercio Exterior*, 56(4), 326-335.

- Fica, T., & Andrés, D. (2015). Síntesis de suspensiones de nanopartículas de cobre y quitosano, y evaluación de sus propiedades antimicrobianas frente a *Streptococcus mutans*.
- Fernandois, C., 2003. Control biológico en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), cultivado bajo invernadero frío en suelo naturalmente infectado con *Pyrenochaeta lycopersici*. Memoria de Título Ing. Agr. Valparaíso, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ciencias Agronómicas, 71.
- Figueroa-López, K. J., Vargas, O. L. T., Prías-Barragán, J. J., & Ariza-Calderón, H. (2015). Caracterización óptica y estructural de nanopartículas de *Allium sativum* L. impregnadas en lomo de bovino. *Acta Agronómica*, 64(1), 54-60.
- Flores, E., & Jazmín, G. (2017). Análisis económico de la producción de pepino (*Cucumis Sativus* L.) Híbrido Thunder, en el Centro de Prácticas Manglaralto Provincia de Santa Elena (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2017.).
- Garza, U. E. (2001). El minador de la hoja *Liriomyza* spp y su manejo en la Planicie Huasteca. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Ebano. Folleto técnico, (5).
- Gongora, E.(2008). Producción orgánica de tres variedades de pepino bajo condiciones de invernadero . tesis universidad autónoma de queretaro . C.U de queretaro, Qro.Pp.1-68.
- Guenko, G. 1983.fundamentos de la agricultura cubana. Editorial pueblo y educación. La habana, cuba .

Guzmán, M. (2013). Tecnólogos buscan aumentar durabilidad de la madera mediante aplicación de nanotecnología. *Investiga. TEC*, (18), ág-10.

Hipólito Hernández-Hernández, Susana González-Morales, Adalberto Benavides-Mendoza, Hortensia Ortega-Ortiz, Gregorio Cadenas-Pliego, Antonio Juárez-Maldonado., 2018: *Molecules*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, volumen 23, número 1, paginas 178.

Juárez, A., H. Ortega-Ortíz, F. Pérez-Labrada, G. Cadenas-Pliego y A. Benavides-Mendoza. (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.

Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Cadenas-Pliego, G., and Pérez-Labrada, F. (2015). Efecto en el rendimiento, contenido de minerales y compuestos antioxidantes en lechuga con aplicación de nanopartículas de Cu absorbidas en hidrogeles de quitosano. XV congreso iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura, 318 pp. Saltillo, Coahuila, México. 28-30 octubre 2015.

Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortiz, H., Pérez-Labrada, F., Cadenas-Pliego, G., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89.

- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Villarreal, S., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.
- Lira-Saldivar, R.H., Corrales-Flores, J., Hernández-Suárez, M., Betancourt-Galindo, R., García-Cerda, L.A., Puente-Urbina, B. 2014. Actividad antifúngica de nanopartículas de cobre y óxido de zinc-plata contra *Botrytis cinerea*. VII Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales. Monclova, Coah. Abril 3-5 de 2014.
- Lara, I. V. C. (2013). Evaluación de la resistencia a mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) (Berk. y Curt.) Rostw. de cuatro híbridos de pepino (*Cucumis sativus* L.). Trabajo de experiencia recepcional. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Xalapa. Xalapa de Enrique, Veracruz.
- Liu J, Dhungan B, Cobb GP. 2018. Environmental behavior, potential phytotoxicity, and accumulation of copper oxide nanoparticles and arsenic in rice plants. *Environmental and Toxicology Chemistry*. 37, 11-20.
- Lateef A, Azeez MA, Asafa TB, Yekeen TA, Akinboro A, Oladipo IC, Azeez L, Ajibade SE, Ojo SA, Gueguim-Kana EB, Beukes LS. 2016a. Biogenic synthesis of silver nanoparticles using a pod extract of *Cola nitida*: antibacterial, antioxidant activities and application as a paint additive. *Journal of Taibah University of Science* 10:551-562.

Lugo, E., C. García, G. R., Ruelas, A. (2010). Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Revista Ra Ximhai*. 6(1): 63-67.

Marcelino Cabrera De la Fuente*, Homero González Gómez, Hortensia Ortega Ortiz y Adalberto Benavides Mendoza Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Productividad y Micromorfología De Sandía Injertada Y Cultivada Con Nanopartículas De Cobre Y Quitosán (2017). *Aportaciones Científicas Para La Horticultura Mexicana* 2017.

Monge M. 2009. Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Anales de Química*. 105(1), 33-41.

Naderi MR, Danesh-Shahraki A. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Science*. 5(19):2229-2232.

Oroz, M. M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. In *Anales de la Real Sociedad Española de Química* (No. 1, pp. 33-41). Real Sociedad Española de Química.

Pozo, E., Valdús, R., Mora, E., & Cárdenas, M. (2004). Consumo de área foliar del pepino y umbral económico y señalización de *Diaphania hyalinata* (Linn.) (Lepidoptera: Pyralidae) y control con nematodos entomopatógenos en organopónicos. In *Revista de Protección Vegetal*. (No. 2132).

Poole, C. P., & Owens, F. J. (2007). *Introducción a la nanotecnología*. Reverté.

- Quinchiguango Peñafiel, E. P. (2017). Evaluación del rendimiento de dos híbridos de pepinillo (*Cucumis sativus* L.) sometidos a tres niveles de fertilización química en la zona de Monte Olivo, Cantón Bolívar, Provincia del Carchi (Bachelor's thesis, El Ángel: 2017).
- Ramírez, T. V. J., Villavicencio, L. L. F., Ortiz, N. G., Corona, M. L., Molina, J. L. P., Ramos, S. S., ... & Domínguez, J. P. C. (2018). Susceptibilidad in Vitro De *Pestalotiopsis* spp. A Nanopartículas De Cobre. *Jóvenes en la Ciencia*, 3, 362-367.
- Reche, J. M. (2011). Cultivo del pepino en invernadero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaria General Técnica. Centro de Publicaciones. V.A. Impresores, S.A. Madrid, España.
- Ricardo, H. L. S. (2016). *Agronano Tecnología: Nueva frontera de la revolución verde*
- Ricardo, H. L. S., Arguello, B. M., Reyes, I. V., & Gladys, d. I. S. V. (2016). Potencial de la nanotecnología para el desarrollo de la agricultura sustentable.
- SAGARPA-CONACYT. (2009). "Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegido con energías alternativas de bajo costo". Centro de Investigación Biológica del Noreste S.C. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México. 1º edición.
- Shobha, G., Moses, V., Ananda, S., 2014: Biological synthesis of copper nanoparticles and its impact – a review. *Int. J. Farmaceut. Sci. Invent.* 3, 28-

- 38 Sirelkhatim A, Mahmud S, Seeni A. 2015. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Letters*. 7, 219-242.
- Sebastian, P., Schaefer, H., Telford, I. R., & Renner, S. S. (2010). Cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*C. melo*) have numerous wild relatives in Asia and Australia, and the sister species of melon is from Australia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), 14269-14273.
- Siovm, 2009. Características ecogeográficas del cultivo de pepino, Mexico: Conabio.
- Tirira Vinueza, M. E. (2019). Estrategias de bioseguridad en agricultores que usan plaguicidas en la comunidad Chután bajo de la ciudad San Gabriel, 2018 (Bachelor's thesis).
- Torres, N. A. R., Lopez, J. I. G., Ricardo, H. L. S., Reyes, I. V., & Arguello, B. M. (2016). Efecto de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de semillas.
- Torres, N. A. R., Lopez, J. I. G., Ricardo, H. L. S., Reyes, I. V., & Arguello, B. M. (2016). Efecto de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de semillas.
- Trujillo-Reyes, J., Majumdar, S., Botez, C.E., Peralta, J.R., Gardea, J.L., 2014: Exposure studies of core-shell Fe/Fe₃O₄ and Cu/CuO NPs to lettuce (*Lactuca sativa*) plants: Are they a potential physiological and nutritional Hazard. *J. Hazard. Mater.* 267, 255-263

- Usman, M., Zowalaty, M., Shameli, K., Zainuddin, N., Salama, M., Ibrahim, N., 2013. Synthesis, characterization, and antimicrobial properties of copper nanoparticles. *Int J Nanomedicine*, 8: 4467–4479.
- Vila, F. C. (1979). Cultivo del pepinillo. Ministerio de Agricultura, Publicaciones de Extensión Agraria.
- Vázquez, M. C., Magaña, N., y López, G. (2014). Cultivo del pepino. Programa Integral de Desarrollo Rural. Componente de Agricultura Familia Periurbana y de Traspatio. SAGARPA. Carta Tecnológica. Número 13. Estado de México.
- Villarraga, F. G. (2012). Nanopartículas Metálicas Y Sus Aplicaciones.
- Woo-Mi, L., Y. Joo, H. Yoon, and H. Seok. (2008). Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): plant agar test for water-insoluble nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27(9):1915-1921
- Zanella, R. (2014). Aplicación de los nanomateriales en catálisis. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 7(12).
- Zamudio, B. G. & Félix R. A. (2014). Producción de pepino bajo invernadero en valles altos del Estado de México. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Sitio experimental Metepec, folleto técnico.