

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



La Aspersión Foliar de Nanopartículas de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y Óxido de Zinc ( $\text{ZnO}$ )  
Afecta al Pepino de Invernadero

Por:

**IRINEO REYES CAÑEDO**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

La Aspersión Foliar de Nanopartículas de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y Óxido de Zinc ( $\text{ZnO}$ )  
Afecta al Pepino de Invernadero

POR:

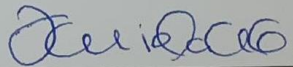
**IRINEO REYES CAÑEDO**

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el título de:

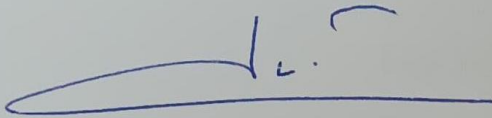
**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por el Jurado Examinador:



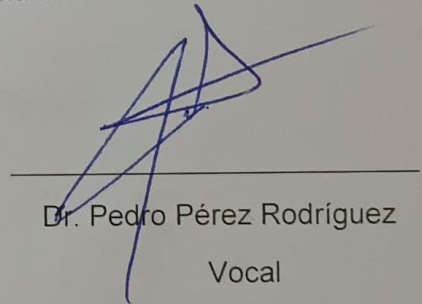
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Presidente



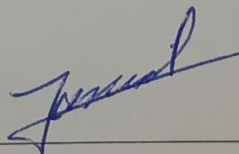
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Vocal



Dr. Pedro Pérez Rodríguez

Vocal



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

La Aspersión Foliar de Nanopartículas de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y Óxido de Zinc ( $\text{ZnO}$ )  
Afecta al Pepino de Invernadero

POR:

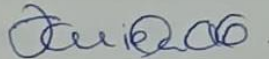
**IRINEO REYES CAÑEDO**

TESIS

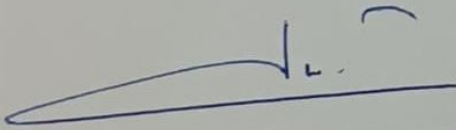
Presentada como Requisito Parcial para Obtener el título de:

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

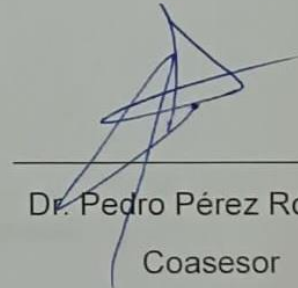
Aprobada por el Comité de Asesorías:



\_\_\_\_\_  
Dra. Daniela Alvarado Camarillo  
Asesor principal



\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Coasesor



\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Pérez Rodríguez  
Coasesor

### **Derechos de Autor y Declaración de no plagio.**

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente.

Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor. Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Pasante



---

**Irineo Reyes Cañedo**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MI ALMA MATER**

Infinitamente agradecido con la institución que me permitió formar parte de su alumnado, y de la misma forma sostenerme durante los diez semestres que duró mi carrera, por brindarme una educación de calidad, y que gracias a ella conocí personas entre compañeros y maestros que me ayudaron durante todo el proceso y mi estancia en la universidad.

### **A mis asesores.**

Dra. Daniela Alvarado Camarillo. Por brindarme las herramientas necesarias para cuando saliera al mundo laboral, pese que hubo un tiempo difícil por la pandemia, los conocimientos trasmitidos por ella han sido de mucha ayuda para enfrentarme a situaciones en las que se requiere de ello.

Así mismo por sus asesorías que me dio durante el tiempo en que se llevó a cabo este proyecto, ya que invirtió tiempo de calidad para que saliera lo mejor posible.

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar. Por ser y formar parte del complemento de los conocimientos que se me trasmitieron en los cursos que llevé con él, que incluso debido a la pandemia el esfuerzo que hizo por dejar claros y sin dejar a dudas los conocimientos e ideas no fue en vano.

De igual forma por sus asesorías que me brindó durante la realización de este proyecto.

Dr. Pedro Pérez Rodríguez. Por enseñarme un poco de lo que se, guiarme para ser una mejor persona y profesional, por apoyarme con el tiempo dedicado a la supervisión a este proyecto, durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

### **A mis profesores**

Por poner su granito de arena, al hacerme adquirir sus conocimientos y herramientas que serían de gran ayuda una vez que mi estancia en la universidad culminara.

## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres Juana Cañedo Ramírez y Jesús Reyes Vásquez**

Por darme la vida, cuidarme y guiarme por un buen camino, así como todos los sacrificios que hicieron para que yo tuviera una estadía en este mundo lo mejor posible, y que gracias a ello una etapa más pero no menos importante en mí, se está llevando a cabo.

Este logro no es solo mío, también es de ustedes, porque sin su apoyo que me brindaron en todos los sentidos, esto no sería posible, los consejos que me dieron una vez no han quedado en saco roto, he aquí la prueba de que hicieron un buen trabajo en la crianza de esta persona que tienen por hijo.

Disfruten este logro tanto como yo lo haré.

### **A mis hermanos y hermanas**

El apoyo que ustedes me brindaron y la compañía que me han hecho en el trayecto de mi vida ha sido de las mejores, gracias por estar ahí durante todo el tiempo, por compartir alegrías, y darme momentos inolvidables.

También este triunfo es por y para ustedes.

### **A mis tíos Alfonso Mendiola y Estela**

Pusieron un poco de esfuerzo, consejos y enseñanzas, que me ayudaron durante mis estudios.

### **A mi novia Monserrat Flores Mendieta**

Gracias por formar parte de esta etapa, durante la estancia en la universidad y un poco más, todo lo que me has brindado, tu apoyo incondicional y cariño, ha sido de gran importancia para mí, momentos buenos y malos por los cuales atravesamos no fueron obstáculo para lograr nuestras metas.

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	1
INDICE DE FIGURAS.....	4
INDICE DE CUADROS.....	4
RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
HIPÓTESIS.....	8
REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
BOTÁNICA DEL PEPINO.....	9
ORIGEN.....	9
TAXONOMÍA.....	9
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	9
MORFOLOGÍA DE LA PLANTA.....	10
RAÍZ.....	10
TALLO.....	10
HOJA.....	10
FLOR.....	11
FRUTO.....	11
SEMILLAS.....	11
REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS.....	11
TEMPERATURA.....	11
HUMEDAD.....	11
LUMINOSIDAD.....	12
PRECIPITACIÓN.....	12
MANEJO CONVENCIONAL DEL CULTIVO DEL PEPINO.....	12

SUELO.....	12
SIEMBRA .....	12
CULTIVOS SIN SUELO.....	13
CLASIFICACIÓN DE LOS CULTIVOS SIN SUELO.....	13
CULTIVO EN SUSTRATO .....	13
CULTIVO EN AGUA (HIDROPÓNICO) .....	13
CLASIFICACIÓN COMERCIAL DEL PEPINO .....	13
PEPINOS TIPO HOLANDÉS .....	14
PEPINOS TIPO BEIT ALPHA .....	14
PEPINOS TIPO AMERICANO (SLICER) .....	14
PEPINO CORTO O PEPINILLO (TIPO ESPAÑOL) .....	14
PEPINO MEDIO LARGO (TIPO FRANCÉS).....	15
CULTIVO DE PEPINO EN MÉXICO .....	15
PRODUCCIÓN DE PEPINO EN MÉXICO .....	16
PRODUCCIÓN DE PEPINO A NIVEL MUNDIAL .....	18
BIOESTIMULANTES EN LA AGRICULTURA .....	19
CLASIFICACIÓN DE LOS BIOESTIMULANTES .....	19
ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS.....	19
AMINOÁCIDOS Y MEZCLA DE PÉPTIDOS .....	20
EXTRACTOS DE ALGAS .....	20
QUITOSANOS Y OTROS BIOPOLÍMEROS .....	20
CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES.....	20
NANOTECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA.....	21
TIPOS DE NANOPARTÍCULAS .....	21
MAGNETITA.....	21
ÓXIDO DE ZINC .....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
SITIO EXPERIMENTAL.....	23
MATERIAL VEGETATIVO.....	23
PREPARACIÓN DE SUSTRATO .....	23



SIEMBRA .....	24
RIEGO .....	24
PODA .....	24
TUTOREO .....	25
COSECHA DE FRUTOS.....	25
TRATAMIENTOS .....	26
APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	27
MUESTREO DE SUSTRATO PARA DETERMINAR PH Y CE .....	27
CONTROL DE TEMPERATURA .....	27
VARIABLES EVALUADAS .....	28
VARIABLES DE CALIDAD DE FRUTO .....	28
VARIABLES DE RENDIMIENTO .....	28
VARIABLES NUTRIMENTALES.....	29
VARIABLES AGRONÓMICAS .....	29
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Diámetro Basal de Fruto.....	30
Longitud de Fruto .....	31
Índice Basal de Fruto.....	31
Rendimiento de Fruto .....	32
Peso Seco Total .....	32
Eficiencia de Cosecha .....	33
Peso Seco de Hoja.....	34
Peso Seco Tallo .....	35
Variables Nutrimientales.....	36
CONCLUSIONES .....	38
BIBLIOGRAFIA .....	39

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales entidades productoras de pepino en México en el año 2019...	17
<b>Figura 2.</b> Preparación del sustrato utilizado. ....	23
<b>Figura 3.</b> Poda de chupones en el cultivo. ....	25
<b>Figura 4.</b> Cosecha del fruto. ....	26

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del cultivo de pepino.....	9
<b>Cuadro 2.</b> Composición nutritiva del pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) (100 g de producto). .....	16
<b>Cuadro 3.</b> Principales estados productores en México, ordenados de acuerdo al ranking que ocupa.....	18
<b>Cuadro 4.</b> Tratamientos utilizados en el experimento. ....	26
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO y Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> sobre el diámetro basal, longitud e índice basal del fruto. ....	30
<b>Cuadro 6.</b> Efecto de la aplicación foliar con nanopartículas de ZnO y Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> sobre el rendimiento de fruto, peso seco total e índice de eficiencia de cosecha en base seca. .....	34
<b>Cuadro 7.</b> Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO y Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> sobre el peso seco de hoja y peso seco de tallo. ....	35
<b>Cuadro 8.</b> Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO y Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> sobre la concentración K <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /K <sup>+</sup> y K <sup>+</sup> /Ca <sup>++</sup> . ....	36

## RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza cultivada bajo condiciones tropicales y subtropicales. Sin embargo, la producción del cultivo requiere condiciones factibles para expresar su máximo potencial de rendimiento. La nanotecnología (NT) se refiere a una amplia área de la actividad tecnológica enfocada en la agricultura, la cual implica la producción de nanopartículas (NPs) derivado de las cuales aparecen lo que hoy en día conocemos como nanofertilizantes (NF).

Es por esto que, a través de la presente investigación, fueron evaluados la aplicación de nanopartículas de zinc (ZnO) y magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) de forma foliar en plantas de pepino en cultivo sin suelo, donde se compararon 10 tratamientos con las siguientes concentraciones: NPs de ZnO a 0 ppm, 750 ppm, 1500 ppm, y 2500, además de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm y 3000 ppm. La aplicación foliar de estos fue cada 15 días, iniciando el día 11 de mayo de 2021.

El experimento tuvo lugar en el invernadero del Departamento de Horticultura, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro el cual tiene como objetivo evaluar el efecto NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y ZnO en el cultivo de pepino cuyas plantas fueron trasplantadas el 01 de abril del 2021 bajo invernadero durante el ciclo verano-otoño del año 2021 y se mantuvieron mediante riegos con la solución nutritiva Steiner desde la primera semana de trasplante.

Los resultados indican que no hubo efecto significativo en las variables del tamaño de fruto con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , aunque con NPs de ZnO se aumentó el tamaño de estos con 2500 ppm. Similarmente, las NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  no afectaron el rendimiento, pero con NPs de ZnO este se redujo con la aplicación de 750 y 1500 ppm. La biomasa seca de la planta no fue afectada por ninguna de los dos tipos de NPs, así como tampoco el balance nutrimental de  $\text{K}^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , aunque con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  vía foliar solo se tuvo diferencia significativa con el balance de  $\text{NO}_3^-$  con  $\text{K}^+$ .

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) es muy importante ya que tiene un elevado índice de consumo y sirve de alimento tanto en fresco como industrializado. El pepino es una planta dicotiledónea, herbácea y anual, que pertenece a la familia Cucurbitaceae; es uno de los cultivos hortícolas de mayor consumo a nivel mundial por su valor nutrimental (Waris *et al.*, 2014)

En 100 g de parte comestible, los pepinos poseen un alto contenido de agua (96,7%) y pocas calorías (9 cal); además, contienen vitamina A (20 UI), vitamina B1 (0,02 mg), vitamina B2 (0,02 mg), vitamina B3 (0,1 mg), vitamina C (8 mg), y minerales como calcio (7 mg), potasio (147 mg), hierro (0,3 mg), fósforo (30 mg) y magnesio (13 mg) (Caicedo, 1993).

Los estados de Sinaloa, Michoacán, Sonora y Morelos destacan como principales productores de esta hortaliza. En el año agrícola 2019, a nivel nacional fueron sembradas 16,200 ha de pepino, de las cuales se obtuvieron 826,402 toneladas que generaron 5,496,036 millones de pesos por su comercialización (SIAP, 2020).

En México, el pepino es muy importante ya que nuestro país es el principal exportador mundial de esta hortaliza y es relevante también para el consumo nacional (López, 2011). En México, el cultivo del pepino ocupa el segundo lugar en importancia entre las hortalizas exportadas, superado solamente por el tomate (Siller, 2000). El principal problema postcosecha del pepino es la pérdida de turgencia, causada por la pérdida de agua a través de la transpiración y respiración del fruto; en consecuencia, ocurre marchitamiento y pérdida de consistencia del fruto (Walter, 1990).

La producción de hortalizas como el pepino en ambientes protegidos se ha convertido en alternativa para muchos productores; el uso de invernaderos ofrece beneficios que hacen que la producción en regiones no tradicionales se facilite, ya que permite su cultivo durante todo el año (López, 2011)

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. Los cultivos en invernadero de tecnología media ofrecen al horticultor la

ventaja de controlar con precisión el agua y fertilizantes aplicados a las plantas de acuerdo con su estado fenológico. También se puede controlar temperatura, ventilación, humedad, luminosidad, disponibilidad de CO<sub>2</sub> e incidencia de insectos plaga y de enfermedades, entre otras ventajas (Hernández *et al.*, 2014).

El uso adecuado de nanopartículas (NPs) fomenta el crecimiento de las plantas al actuar como nanofertilizantes, además de contar con actividades antimicrobianas, lo que permite reducir el uso de pesticidas químicos. Las NPs son promotores del crecimiento, pero también pueden proteger contra ciertos hongos y bacterias fitopatógenos y reducir la aplicación de pesticidas químicos que afectan las plantas, es decir, las NPs protegen y ayuda al cultivo (CONACYT/DICYT, 2016).

En el presente estudio se evaluó el efecto de la aplicación de NPs a base de magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) y óxido de zinc (ZnO) en el cultivo de pepino en invernadero para determinar si estas presentaban algún efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas, así como en el rendimiento y calidad de fruto

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Definir el efecto de NPs de ZnO y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, en el rendimiento, calidad y estatus nutrimental en el cultivo del pepino bajo condiciones de invernadero.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la aplicación foliar de NPs de ZnO en el rendimiento del cultivo de pepino bajo la producción de cultivo sin suelo.
- Determinar la concentración óptima de NPs de ZnO en el peso seco de la planta de pepino bajo condiciones de cultivo sin suelo.
- Determinar el efecto de la aplicación foliar de NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> en las variables de rendimiento y calidad del cultivo de pepino bajo la producción de cultivo sin suelo.

### **Hipótesis**

La aplicación foliar de NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y ZnO se verá reflejado en el rendimiento, calidad de fruto y calidad de planta de pepino bajo la producción de cultivo sin suelo en condiciones de invernadero.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Botánica del Pepino

#### Origen

El pepino es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3,000 años, el cultivo se extendió a Grecia y de Grecia a Roma y posteriormente se introdujo a China. El cultivo de pepino fue introducido por los romanos en otras partes de Europa; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América; el primer híbrido apareció en 1872 (Gálvez, 2004).

#### Taxonomía

De acuerdo a Infoagro el pepino tiene la siguiente taxonomía (Cuadro 1) (Santillán, 2016).

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

<b>REINO:</b>	<b>Plantae</b>
<b>DIVISIÓN:</b>	Magnoliophyta
<b>CLASE:</b>	Magnoliopsida
<b>ORDEN:</b>	Cucurbitales
<b>FAMILIA:</b>	Cucurbitaceae
<b>GÉNERO:</b>	<i>Cucumis</i>
<b>ESPECIE:</b>	<i>Sativus</i>
<b>NOMBRE CIENTÍFICO:</b>	<i>Cucumis sativus</i> L.

#### Descripción botánica

La planta se caracteriza por presentar tallos trepadores o rastreros muy ramificados en la base, con cuatro ángulos marcados y zarcillos sencillos (no ramificados) (Maroto,

1995). Las flores del pepino son unisexuales, de localización axilar y color amarillento. Las flores femeninas son solitarias, produciéndose en las axilas de las hojas mientras que las masculinas nacen en grupo (Valdez, 2004). La polinización se hace generalmente a través de insectos, aunque es una planta que posee una cierta tendencia a la partenocarpia (no producción de semillas).

Las hojas tienen forma palmeada, son largamente pecioladas, fuertemente cordadas en la base, con el ápice acuminado, en cuyo limbo se aprecian de 3 a 5 lóbulos angulados, triangulares y de borde dentado, y presentan también vellosidades blancas (Maroto, 1995).

Los frutos son de tamaño y forma variables (oblongos, cilíndricos o globulosos), pudiendo alcanzar una longitud de 5 a 40 cm. El color de su corteza puede ser verde, amarillo o blanco, mientras que la carnosidad siempre es blanca y acuosa (Valdez, 2004).

## **Morfología de la planta**

### **Raíz**

Este cultivo posee una raíz principal, capaz de ramificarse rápidamente dando origen a raíces secundarias con abundante cantidad de pelos absorbentes finos, alargados y de color blanco (Méndez, 2016).

### **Tallo**

Está constituido por un tallo principal leñoso que puede dar origen a varios tallos secundarios entre cada nudo, principalmente en la base, así mismo, son de color verde, flexibles, son angulosos y espinosos, de porte rastrero y trepador, llegando a alcanzar hasta 3.5 metros de longitud. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores (ULSA, 2010).

### **Hoja**

Esta se caracteriza por tener el peciolo largo, limbo acorazonado con tres lóbulos, con el central terminado en punta, de color verde oscuro y cubierto de un bello muy fino (InfoAgro, 2017).



## **Flor**

Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales; Las flores son de corto pedúnculo y pétalos amarillos. El porcentaje de inducción de flores femeninas y masculinas pueden variar de acuerdo a las condiciones climáticas (González, 2009).

- Inducción de flores femeninas: Días cortos, temperaturas bajas y suficiente agua.
- Inducción de flores masculinas: Días largos, temperaturas altas e insuficiente agua.

## **Fruto**

Los frutos son pepónides que pueden ser ásperos o lisos según la variedad, presenta colores desde tonalidades verde claro, verde oscuro y hasta un color amarillo cuando llega a su etapa de madurez, cuando llega a su etapa de madurez, un fruto de pepino criollo puede llegar a obtener un peso máximo de 508 g (Galván, 2007).

## **Semillas**

Las semillas son ovaladas, un poco aplastadas y de color blanco amarillento, la cantidad y peso de las semillas difiere según la variedad, la capacidad de germinación de las semillas está basado en las condiciones de preservación que se les proporcione por lo general pueden durar hasta 5 años (Ormaza, 2016).

## **Requerimientos Climáticos**

### **Temperatura**

El pepino se adapta a temperaturas entre los 18 a 25°C con un máximo de 32°C, también a climas cálidos y templados; en las zonas costeras se cultiva hasta los 1,200 metros sobre el nivel del mar. En caso de prolongarse esta temperatura, se caen las flores femeninas; este es un cultivo de clima templado, que al aire libre no soporta los fríos cuando la planta se encuentra en el periodo de desarrollo (Peña, 1992).

### **Humedad**

El pepino requiere entre 70 y 90 % de humedad relativa. Es un cultivo con alto requerimiento de agua. El cultivo se favorece con suelos de textura-areno-arcillosa,

bien drenados y con un pH entre 5.5 y 6.7. Los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis, aunque esta situación no es frecuente (Casaca, 2005).

### **Luminosidad**

El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas (Sierra, 2005), a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción. En alta luminosidad se estimula la fecundación de flores mientras en baja luminosidad se reduce (Arias, 2007).

### **Precipitación**

Es un factor importante en el cultivo de pepino la precipitación al igual que la humedad deben ser relativamente bajas de tal manera que se reduzcan las incidencias de enfermedades; la calidad de los frutos en áreas húmedas es más baja que en zonas secas (Sierra, 2005).

## **Manejo Convencional del Cultivo del Pepino**

### **Suelo**

Los suelos francos que poseen abundante materia orgánica son los más ideales para el desarrollo de este cultivo, aunque también se pueden cultivar en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados; desde los arenosos hasta el franco arcilloso. El cultivo se adapta a un pH de 5.5 a 6.8, incluso puede llegar a soportar pH hasta de 7.5 pero no suelos ácidos con pH menor a 5.5 (Casaca, 2005).

### **Siembra**

El pepino se siembra en lomillos, montículos o directamente en el suelo, la distancia entre surcos varía de 1.20 a 1.50 m y la distancia entre plantas es de 20 cm, la siembra se realiza de 2 a 3 cm de profundidad en los que se colocan de tres a cuatro semillas por golpe, posteriormente, se ralea dejando solo uno o dos plantas. En México las fechas de siembra varían dependiendo de la región donde se cultive y de la variedad a utilizar, durante la temporada primavera-verano se siembra de abril a septiembre y durante la temporada otoño-invierno de octubre a marzo (Bravo, 2013).

## **Cultivos sin Suelo**

Por cultivo sin suelo se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutritiva (Aguilar, 2002). El cultivo sin suelo permite un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes utilizados y un mayor control de las condiciones climáticas, repercutiendo sobre el rendimiento productivo, tanto en cantidad como en calidad de cosecha. Además, el uso irracional de fertilizantes y agroquímicos y la utilización de aguas de riego contaminadas salinizan los suelos llegando a hacerlos tóxicos. La sobreexplotación de los suelos provoca su erosión y, por tanto, la pérdida de fertilidad de los mismos (InfoAgro, 2016).

### **Clasificación de los cultivos sin suelo**

#### **Cultivo en sustrato**

Se caracterizan por tener mejor aireación que en agua, pero al mismo tiempo, los sustratos empleados no disponen de reserva de agua. Por tanto, el flujo de agua debe ser continuo estableciendo un correcto equilibrio agua-aire para conseguir la máxima producción. Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo que colocado en un contenedor permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando por tanto un papel de soporte para la misma (InfoAgro, 2016).

#### **Cultivo en agua (hidropónico)**

Un cultivo hidropónico se conoce como el método de cultivar plantas por medio del uso de agua en vez del tradicional uso del suelo agrícola. Con este procedimiento lo más importante es depositar en el agua los nutrientes necesarios para que la planta crezca sin inconvenientes. El sistema radicular permanece de manera continua inmerso en la solución nutritiva, es necesaria la incorporación de un sistema de oxigenación al conjunto para favorecer el óptimo desarrollo radicular (InfoAgro, 2016).

### **Clasificación Comercial del Pepino**

El fruto de pepino puede ser clasificado de distintas maneras, por su morfología (color, forma, tamaño, etc.) o de acuerdo con los diferentes grupos varietales. Hay casi 100 variedades diferentes de pepinos. Algunas se encuentran habitualmente en el supermercado o en los mercados de productores, como los pepinos ingleses, persas

y Kirby, mientras que otras son más raras, como los pepinos blancos. Los tipos más comunes de pepino son el americano, el europeo, el del este medio, el holandés y el pepino oriental (Wehner *et al.*, 2003).

Las empresas semilleras y mejoradores los clasifican según el origen, forma de consumo (conserva o fresco) y tamaño, el más común y más utilizada es por su tamaño ya que es más fácil de aplicar (INTAGRI, 2021).

### **Pepinos tipo holandés**

Posee un sabor muy suave, carece de semillas y son cosechados cuando alcanzan una longitud de 30 a 36 cm; tiene una cascara delgada, lisa y sin espinas por lo que no es necesario pelarlo para su consumo, principalmente son cultivadas en invernadero (Cruz *et al.*, 2020).

### **Pepinos tipo Beit Alpha**

Estos tipos de pepinos son delgados, carece de espinas, su cascara es lisa y delgada por lo que se debe de proteger de los insectos y de la deshidratación, su color es verde claro uniforme y se cosechan cuando el fruto alcanza una longitud de 8 a 13 cm; este híbrido puede producir varios frutos por nudo implicando un aumento en el rendimiento de la planta, por lo general son utilizados para invernadero (Cruz *et al.*, 2020).

### **Pepinos tipo americano (slicer)**

Tiene una cascara gruesa de color verde oscuro, con capacidad para tener una vida larga de anaquel, se cosechan de 18 a 23 cm de longitud, aunque sus tamaños oscilan entre los 22 a 25 cm destinados a mercados de exportación y nacional (Cruz *et al.*, 2020).

### **Pepino corto o pepinillo (tipo español)**

De pequeño tamaño, con una longitud máxima de 15 cm. Presentan piel verde con rayas de color amarillo o blanco y se utilizan para consumo en fresco o para la elaboración de encurtidos; las variedades pueden ser monoicas, ginoicas con polinizador y ginoicas partenocárpicas (InfoAgro, 2017).

### **Pepino medio largo (tipo francés)**

Variedades de longitud media (20-25 cm), monoicas y ginoicas. Dentro de estas últimas se diferencian las variedades cuyos frutos tiene espinas y las de piel lisa o minipepinos (similares al “tipo Almería”, pero más cortos), de floración totalmente partenocárpica (InfoAgro, 2017).

### **Cultivo de Pepino en México**

El pepino ha tenido una alta demanda en el mercado nacional e internacional, esto ha hecho que la producción de esta planta sea muy importante en México al producir más de 700 mil toneladas al año, el pepino es un cultivo altamente rentable en México, pues en la última década se ha incrementado la importancia de este cultivo debido principalmente a las exportaciones hacia Estados Unidos de América, ocupando un segundo lugar en importancia entre las hortalizas exportadas, superado por el tomate (Ross, 2013).

Se utiliza para consumo en fresco, para obtención de aceite de las semillas y actualmente, para su uso en productos de belleza como jabones y cremas corporales gracias a su riqueza en agua, vitamina E y aceites naturales, constituye uno de los mejores remedios para el cuidado externo de la piel (González, 2012).

El 95,7% del pepino está compuesto por agua, por lo que la concentración de nutrientes es muy baja, siendo lo único destacable una presencia de vitamina K (16% de la cantidad diaria recomendada). La composición nutritiva del pepino se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Composición nutritiva del pepino (*Cucumis sativus* L) (100 g de producto).

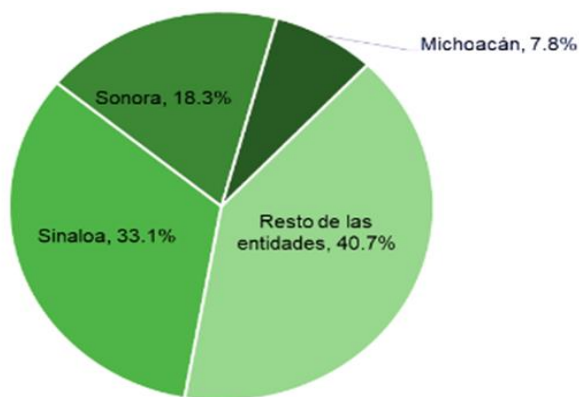
<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Calorías</b>	12
<b>Agua</b>	96.01 g
<b>Carbohidratos</b>	2.50 g
<b>Grasas</b>	0.16 g
<b>Proteínas</b>	0.57 g
<b>Fibra</b>	0.7 g
<b>Cenizas</b>	0.28 g
<b>Calcio</b>	14 mg
<b>Fosforo</b>	21 mg
<b>Hierro</b>	0.16 mg
<b>Potasio</b>	148 mg
<b>Tiamina</b>	0.021 mg
<b>Riboflavina</b>	0.011 mg
<b>Niacina</b>	0.104 mg
<b>Ácido ascórbico</b>	2.8 mg

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA) 2012.

### **Producción de Pepino en México**

Debido a este nivel de producción, México se ha colocado como el octavo lugar mundial en producción de pepino, siendo sus principales competidores España y Holanda. Actualmente, México es el segundo exportador mundial de esta hortaliza y el primer proveedor del mercado americano de pepino. Esta hortaliza ha tomado relevancia en entidades como Sinaloa, Sonora y Michoacán siendo entidades muy reconocidas en el sector agrícola (Figura 1).

Principales entidades productoras de pepino, 2019



**Figura 1.** Principales entidades productoras de pepino en México en el año 2019.

Fuente: SAGARPA, 2019

El estado de Sinaloa en el noroeste del país, reúne cualidades climatológicas que han permitido un desarrollo perdurable de la actividad hortícola aprovechando las ventajas que le proporciona la cercanía del mercado estadounidense y la explotación de un nicho para hortalizas de invierno (Barreiro, 2018).

Sinaloa es el principal estado productor de pepino. En 2019 este estado obtuvo mayores ingresos comparados con el año previo debido al incremento del precio medio rural (Cuadro 3). Las ganancias que generaron sumaron un promedio de mil 860 millones de pesos. En tanto a exportaciones, Estados Unidos es el principal cliente de pepino mexicano. En 2019, esta nación tuvo una disminución en la cosecha de la cucurbitácea, lo que influyó para un gran repunte en las ventas totales de México durante este año (SIAP, 2020).

**Cuadro 3.** Principales estados productores en México, ordenados de acuerdo al ranking que ocupa.

<b>Entidad federativa</b>	<b>Volumen (toneladas)</b>
<b>Sinaloa</b>	268,878
<b>Sonora</b>	152,457
<b>Michoacán</b>	67,653
<b>Morelos</b>	52,103
<b>Guanajuato</b>	43,539
<b>Yucatán</b>	36,062
<b>Baja california</b>	29,622
<b>San Luis Potosí</b>	27,530
<b>Zacatecas</b>	22,679
<b>Jalisco</b>	20,454

Fuente: (SIAP 2020).

### **Producción de Pepino a Nivel Mundial**

La producción mundial de pepino fue de 91,258,272 toneladas, obtenidas en una superficie cosechada de 2,261,318 hectáreas, por lo que el rendimiento promedio quedó en 40.4 toneladas por hectárea, según la información presentada en FAOSTAT para el año 2020. En 2021, se produjeron un total de más de 93,5 millones de toneladas de pepinos a nivel mundial, lo que supone la cifra más alta hasta la fecha y un aumento de 3 millones de toneladas respecto al año anterior (Orús, 2023).

En 2020 China Continental fue el principal productor de pepino en el mundo con 72,779,781 toneladas (79.8%), seguido por Turquía con 1,926,883 toneladas (2.1%) y Federación de Rusia con 1,686,976 toneladas (1.8%), por lo que estas 3 naciones representaron el 83.7% de la producción mundial. Para el caso de la superficie cosechada, se pasó de 2,210,939 a 2,261,318 toneladas de 2019 a 2020, por lo que la variación interanual fue de 2.3%, mientras que, en cuanto al rendimiento, ha pasado



de 19.5 a 40.4 toneladas por hectárea entre 2001 y 2020, respectivamente (Bastida, 2022).

Mientras tanto, Países Bajos, Islandia y Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte fueron los países con el mayor rendimiento promedio, con 705.2, 602.7 y 531.0 toneladas por hectárea, respectivamente, por lo que superaron en 1,745%, 1,491% y 1,314% el rendimiento promedio mundial, que fue de 40.4 toneladas por hectárea (HORTO INFO. 2022).

### **Bioestimulantes en la Agricultura**

Un bioestimulante es cualquier sustancia o microorganismo que, al aplicarse a las plantas, es capaz de mejorar la eficacia de éstas en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico o abiótico o mejorar alguna de sus características agronómicas, independientemente del contenido en nutrientes de la sustancia (Du Jardín, 2015). Los bioestimulantes agrícolas actúan sobre los procesos bioquímicos naturales de la planta, ayudando a impulsar el crecimiento, la calidad y la productividad de las cosechas. A diferencia de los biofertilizantes, los bioestimulantes no incrementan el aporte de nutrientes a la planta, sino que estimulan sus procesos naturales, promoviendo el crecimiento y desarrollo de la planta (Symborg, 2022).

### **Clasificación de los Bioestimulantes**

Los bioestimulantes son una categoría de productos novedosos que a nivel mundial aún no están completamente cerrada; existe cierto consenso entre científicos, reguladores, productores y agricultores en la definición de las categorías principales de productos bioestimulantes (Du Jardín, 2015).

#### **Ácidos húmicos y fúlvicos**

El humus está formado por dos ácidos: húmico y fúlvico; la principal diferencia entre ambos, es su comportamiento en soluciones ácidas: Los ácidos húmicos no son solubles en soluciones básicas y por tal motivo se precipitan, mientras que los ácidos fúlvicos se mantienen solubles todo el tiempo (Noboa *et al.*, 2019).

### **Aminoácidos y mezcla de péptidos**

Estos compuestos pueden ser tanto sustancias puras como mezclas (lo más habitual). Otras moléculas nitrogenadas también consideradas bioestimulantes incluyen betaínas, poliaminas y aminoácidos no proteicos, que son muy diversas en el mundo vegetal y muy poco caracterizados sus efectos beneficiosos en los cultivos (García, 2019).

### **Extractos de algas**

Los extractos de algas marinas pueden ser utilizados como suplementos nutricionales, bioestimulantes o fertilizantes en la agricultura y horticultura, como biofertilizantes se pueden utilizar en extracto líquido o granular (polvo), el cual se puede aplicar vía foliar o al suelo (Hernández *et al.*, 2014). El uso de algas como fuente de materia orgánica y con fertilizante es muy antiguo en la agricultura, pero el efecto bioestimulante ha sido detectado muy recientemente (Du Jardin, 2015).

### **Quitosan y otros biopolímeros**

En el área agrícola, el quitosano es muy útil para ser utilizado como potenciador del crecimiento radicular de las plantas, como agente antimicrobiano para combatir patógenos en los suelos, como un gel controlador del deterioro de los productos post cosecha durante su almacenamiento y durante el proceso de exportación y en la elaboración de diseños de fertilizantes para su liberación controlada (Bauer, 2019).

### **Concentración de nutrientes**

Es importante conocer el desarrollo del cultivo además de las etapas de mayor requerimiento de nutrientes ya que permite ofrecerle las condiciones óptimas y obtener rendimientos adecuados. Uno de los factores más importantes que afectan a los cultivos es la interacción de los nutrientes en las plantas que puede ser medida durante el crecimiento del cultivo. Con altas concentración de sales (elementos minerales) en la rizosfera, se eleva el potencial osmótico de la solución nutritiva y aumenta la conductividad eléctrica en el sustrato, causando problemas en el desarrollo normal de los cultivos, además, como consecuencia de un incremento del potencial osmótico de las células en la rizosfera (Moreno *et al.*, 2017).

## **Nanotecnología en la Agricultura**

La nanotecnología aplicada al sector agrícola se utiliza como herramienta de diagnóstico para la detección de enfermedades, la liberación controlada de moléculas funcionales y el mejoramiento de los empaques que garanticen una mayor duración de los alimentos, sin que estos pierdan sus características organolépticas y sanitarias.

El término nanotecnología se refiere a una amplia área de la actividad tecnológica enfocada en la ingeniería y la manipulación de objetos en nanoescala, hasta 100 nanómetros en tamaño (Castro *et al.*, 2017).

La aplicación de la nanotecnología en la agricultura promete un eficiente crecimiento vegetal en plantas de lento crecimiento y productos de protección ante los fertilizantes de uso común, pesticidas, tratamientos de cobertura para las semillas, sistemas mejorados de detección de patógenos y sistemas de producción mejorados (Bathia, 2021). Ante esta situación la nanotecnología se convierte en una mejor opción para los agricultores sobre técnicas convencionales, las cuales demandan cantidades muy grandes de fertilizantes que no son 100% aprovechados por la planta, así como de pesticidas que en conjunto tienen un efecto nocivo sobre la biodiversidad, la fertilidad del suelo y los ecosistemas (Hazarika, 2020).

### **Tipos de nanopartículas**

Existen diferentes tipos de NPs, en la clasificación de estas se encuentran las NPs metálicas de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), plata (Ag), titanio (Ti), estas son muy utilizadas en la agricultura y la industria agroalimentaria. Las NPs de plata son más utilizadas en el sector de la industria agroalimentaria, se tienen las NPs orgánicas (micelas, vesículas, liposomas, dendrímeros, cápsulas, etc.) estas se emplean en humanos como antimicrobianos y para tener un mejor valor nutritivo de los alimentos (Lira *et al.*, 2018).

### **Magnetita**

Las NPs de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) han mostrado que tienen un efecto positivo en la activación de la biosíntesis de ácido salicílico, aumentando su acción fitoestimulante, pues las NPs tienen la capacidad de adsorber contaminantes presentes en el agua

debido a que tienen características de eliminar iones de metales pesados y diferentes tipos de colorantes, como los colorantes azoicos (Aguilar, 2020).

La  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en un futuro tendrá un gran uso debido a que comprende amplias aplicaciones; de acuerdo con investigaciones realizadas, las NPs de óxido de hierro han demostrado tener potencial para mejorar la producción de varios cultivos, incluidos arroz, trigo, tomate, maní, soja y espinaca. Así mismo, se ha reportado que las NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mejoran la formación de nódulos fijadores de nitrógeno, la proliferación de hongos micorrícicos y en el aumento de la actividad fijadora de nitrógeno de las bacterias (Srivastava, 2006).

### **Óxido de zinc**

Estas partículas de tamaño nanométrico podrían ser utilizadas con diferentes fines de interés agrícola como son la liberación controlada de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes), aplicaciones biotecnológicas, el empleo de nanosensores para detectar patógenos que afectan a las plantas, detección de pesticidas o para la conservación y recuperación de suelos (Ruíz, 2019).

Las NPs de  $\text{ZnO}$  han sido de gran interés en los últimos años debido a su excelente absorción de rayos UV, propiedades reflectantes, alta conductividad eléctrica, estabilidad a altas temperaturas y efecto antimicrobiano (Sturikova, 2018). En la literatura se menciona que las NPs de  $\text{ZnO}$  son excelentes candidatos para su uso como pesticida, fungicida y/o fertilizante en el sector agrícola, debido al tamaño pequeño pueden interactuar fácilmente con las moléculas biológicas (Ahmadi, 2020).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio Experimental

El experimento se realizó en los meses de abril y agosto del 2021 en las instalaciones del invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, a  $25^{\circ} 21' 13''$  N,  $101^{\circ} 01' 56''$  O, ubicada en la Calzada Antonio Narro 1923, en Buenavista, 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

### Material Vegetativo

Como material vegetativo se utilizaron plantas de pepino variedad Híbrido Centauro; para la realización de este experimento se utilizaron un total de 100 semillas certificadas. La variedad posee las siguientes características: un crecimiento indeterminado, crecimiento verde-oscuro y produce plantas vigorosas, de germinación homogénea, además soporta altas condiciones de calor y luminosidad.

### Preparación de Sustrato

Se realizó la preparación del sustrato. para lo cual se utilizó una mezcla de fibra de coco y peat moss con una relación 70%/30% (v/v) (Figura 2), para poder utilizar la mezcla se realizaron pruebas para conocer la conductividad eléctrica (CE), la cual tenía un nivel de 3.2 dS/m, para poder obtener la CE requerida se realizaron varios lavados de sustrato para que con ello la planta pudiera desarrollarse de manera favorable.



**Figura 2.** Preparación del sustrato utilizado.

Para llegar a la CE ideal para su uso se realizaron 2 lavados con agua de la llave, en el primer lavado realizado bajó a 2.8 dS/m, ya en el segundo lavado se logró que el sustrato obtuviera una CE de 1.50 dS/m, la cual es ideal para poder utilizarlo para el cultivo de pepino.

### **Siembra**

La siembra se realizó el día 01 de abril de 2021 de manera directa en el sustrato, previamente colocado en bolsas de polietileno color negro, las cuales tienen una capacidad de 10 L. Cada bolsa fue llenada con el sustrato preparado y lavado y la siembra se llevó a cabo a 3 cm de profundidad, previo a la siembra se utilizó bicarbonato de sodio para ajustar el pH de la mezcla a 5.7.

### **Riego**

Para realizar el riego este fue de acuerdo a la etapa de desarrollo en que se encontraba el cultivo; en la etapa de germinación se estuvo haciendo un riego de 250 mL de agua al día de manera manual; en la etapa de desarrollo vegetativo los riegos se realizaron con 2 L una vez al día hasta llegar a la etapa de producción. Los riegos en la etapa de producción fueron de 4 L dos veces al día con un drenaje del 30% a cada planta, esto permitía una humedad suficiente para el sustrato uno por la mañana y otro al medio día para que las plantas no se estresaran. Antes de realizar la siembra se aplicó una lámina de riego con agua previamente con el pH y CE ajustados antes de realizar cada riego, para ello se utilizó HNO<sub>3</sub> manteniéndolo en un rango de 5.5 a 6.5 medido con sensores de pH y CE.

### **Poda**

La poda se realizó para conducir a la planta a un solo tallo, iniciando desde que la planta emitió sus primeros chupones 25 días después de la siembra y así hasta el término del experimento. La poda de las hojas se inició después del primer corte realizándolo dos veces por semana manteniendo una hoja bajo el siguiente fruto a cosechar (Figura 3).



**Figura 3.** Poda de chupones en el cultivo.

### **Tutoreo**

Para esta actividad se utilizó un hilo de polipropileno con una punta sujetado a la parte basal de la planta con un anillo y la otra punta a un alambre a 2.5 m de altura; mientras la planta crecía se iba enredando en el hilo, y cuando llegaba a la altura del alambre se hacía un bajado de la planta para que siguiera creciendo, colocando anillos para facilitar su manejo de labores culturales y no tener pérdidas de plantas por mal manejo del mismo.

### **Cosecha de Frutos**

La cosecha de los frutos obtenidos en este experimento se realizó en un estado ligeramente inmaduro; el color que debe tener el fruto verde oscuro o verde sin signos de amarillamientos. La firmeza y el brillo externo de los frutos también eran indicadores de que el fruto ya estaba listo para ser cosechados. Al ser recolectados se colocaban en cajas de plástico para posteriormente hacer las correspondientes evaluaciones. Al día se llegaban a cosechar hasta máximo 8 cajas de frutos.

La cosecha se realizó de manera manual con ayuda de un cúter, después de cada corte de fruto se desinfectaba con agua y jabón para no infectar plantas que tenían alguna enfermedad, la primera cosecha se realizó el 30 de junio de 2021 (Figura 4), después de la cual se mantuvo de dos a tres cosechas por semana según las características que presentaban los frutos, realizándose la última cosecha el 4 de

agosto de 2021. Cabe mencionar que cada fruto obtenido fue identificado para su correcta toma de datos.



**Figura 4.** Cosecha del fruto.

### **Tratamientos**

Los tratamientos utilizados en este experimento fueron cuatro concentraciones de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y cuatro de  $\text{ZnO}$ , las cuales se presentan en el Cuadro 4; Las plantas fueron nutridas con solución nutritiva al 100% según la concentración de la solución de Steiner.

**Cuadro 4.** Tratamientos utilizados en el experimento.

<b>Tratamientos</b>	<b><math>\text{Fe}_3\text{O}_4</math> <math>\text{mg L}^{-1}</math></b>	<b><math>\text{ZnO}</math> <math>\text{mg L}^{-1}</math></b>
<b>1</b>	0	0
<b>2</b>	0	750
<b>3</b>	0	1500
<b>4</b>	0	2500
<b>5</b>	1000	0
<b>6</b>	2000	0
<b>7</b>	3000	0
<b>8</b>	1000	750
<b>9</b>	2000	1500
<b>10</b>	3000	2250



### **Aplicación de los Tratamientos**

La aplicación de las NPs fue de manera foliar, las cuales fueron diluidas en agua destilada tanto las de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  como las de  $\text{ZnO}$ , para después ser aplicadas a la planta con la ayuda de atomizadores, la aplicación se realizaba a una distancia de entre 10 a 15 cm, procurando no saturar la planta. Los tratamientos eran aplicados durante las primeras horas del día, esto con el fin de hacer que la planta aprovechara el producto y se obtuvieran mejores resultados, la aplicación se realizaba de forma uniforme sobre toda el área foliar procurando que el producto no llegara hacia otras unidades experimentales. La primera aplicación se realizó 45 días después del trasplante, cuando ya había aparecido parte del área foliar; esta actividad se realizó cada dos semanas.

### **Muestreo de Sustrato para Determinar pH y CE**

La determinación del pH y CE del sustrato se utilizó el método de dilución 1:2, el cual es caracterizado por ser un método preciso; consiste en extraer sustrato de la maceta y se coloca en un recipiente añadiendo el doble de cantidad de agua purificada que el de la muestra obtenida, se agita muy bien la mezcla formada y se deja equilibrar por media hora. Pasada la media hora, la muestra es filtrada y se toma lectura a la mezcla obtenida. Las lecturas obtenidas fueron tomadas con un medidor de pH y uno de CE y se realizaron dos veces durante todo el experimento.

### **Control de Temperatura**

Debido a las altas temperaturas que se tenían hubo que mantener el invernadero en temperatura de entre  $25\text{ }^\circ\text{C}$  a  $32\text{ }^\circ\text{C}$  para el desarrollo de las plantas y el experimento se llevara a buen término. El invernadero contaba con una pared húmeda que se encendía a medio día que era cuando la temperatura era más alta esta se encontraba en la parte de trasera del invernadero, de igual manera se contaba con un calentador de gas y en la parte de enfrente se encontraban con dos extractores.

### **Control de Plagas**

Durante el experimento se presentaron las siguientes plagas:

Mosca blanca. La presencia de esta plaga afectó mucho, ya que fue de gran impacto en el cultivo donde se localizaron focos activos, para su erradicación se aplicó Flonicamiden una concentración de 0.5 mL L<sup>-1</sup> se realizaron dos aplicaciones no se presentaron daños graves en el cultivo.

Pulgón. Esta plaga pudo ser detectada a simple vista ya que se podían notar las afectaciones al cultivo donde los daños se encontraban en el envés de las hojas y en las yemas tiernas con el tiempo llegó a encontrarse en el ápice de la planta, esta plaga es más frecuente y peligrosa en este cultivo, para su control se hicieron aplicaciones de 1 mL L<sup>-1</sup> de Abamectina estas aplicaciones se realizaban durante las primeras horas de la mañana o en la tarde.

## **Variables Evaluadas**

### **Variables de calidad de fruto**

Diámetro del fruto: se determinó después de la cosecha utilizando un vernier tomando las medidas de fruto en 2 diámetros:

Diámetro basal: Esta variable se relaciona con la calidad del fruto, por lo que con él se obtuvo el índice de calidad del fruto para determinar la forma del fruto.

Índice basal: fue calculado dividiendo el diámetro basal entre el diámetro ecuatorial del fruto con la finalidad de determinar la forma de fruto y si reúne todas las características de calidad para exportación.

### **Variables de rendimiento**

Rendimiento de cultivo por planta: se determinó pesando y sumando cada uno de los frutos de cada planta en cada uno de los tratamientos y se ajustaron los datos a una densidad de 30,000 plantas por hectárea.

El índice de eficiencia de cosecha mide los kilogramos de fruto producidos por cada kilogramo de biomasa producido. Este fue determinado dividiendo el rendimiento de fruto entre la biomasa seca por cada planta.

### **Variables nutrimentales**

Extracto celular de peciolo: para poder obtener esta variable se obtuvo la concentración de nutrientes los cuales se determinaron mediante la savia del peciolo se seleccionaba una hoja joven completamente desarrollada, se realizaba por la mañana primero se revisaba que tuviera una temperatura de 25 °C para poder obtener el peciolo para poder molerlo en un mortero y así obtener la savia después se colocaba en frascos para posteriormente transportarla al laboratorio y con la ayuda de medidores nutrientes se hicieron las mediciones. Se determinaron los balances de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) en el cultivo.

### **Variables agronómicas**

Peso seco total: esta variable se determinó en base a los pesos secos de las hojas de cada uno de los tratamientos.

Peso seco de las hojas: esta variable se determinó mediante la sumatoria del peso seco de todas las hojas después de estar completamente secas en cada una de las plantas en todos los tratamientos.

Peso seco del tallo: se determinó esta variable cortando todas las hojas del tallo para posteriormente secarlo y así poder pesar el tallo cuando ya estaba completamente seco para cada planta en cada uno de los tratamientos.

### **Diseño Experimental**

En este experimento se evaluó el efecto de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{ZnO}$  en un diseño experimental en bloques al azar, en total se conformaron 5 bloques con 2 plantas en cada repetición. Los datos obtenidos al final de experimento fueron analizados con el paquete estadístico SAS Studio con prueba de media de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diámetro Basal de Fruto

El diámetro basal en el fruto del pepino no obtuvo efectos significativos con la aplicación de los tratamientos de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cuadro 5), en cuanto a las aplicaciones de NPs de ZnO se tuvo una diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con el tratamiento testigo (Cuadro 5).

Al momento no existe mucha información sobre el tema de aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y ZnO, pero estudios realizados en el cultivo de pepino el diámetro apical con aplicaciones de NPs de ZnO mostró una diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 1500 y 2250 (Flores, 2023)

Estudios realizados en nochebuena en las que se aplicó NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a concentraciones de  $125 \text{ mg L}^{-1}$  se obtuvo un mayor diámetro en las flores, aunque esto no concuerda con la concentración que se empleó en este estudio para pepino (Fuentes, 2021).

**Cuadro 5.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sobre el diámetro basal, longitud e índice basal del fruto.

Tratamiento	Dosis $\text{mg L}^{-1}$	Diámetro basal mm	Longitud cm	Índice basal del fruto mm/mm
<b><math>\text{Fe}_3\text{O}_4</math></b>	0	48.29 a	25.87 a	0.923 a
	1000	48.71 a	26.12 a	0.920 a
	2000	48.41 a	25.86 a	0.925 a
	3000	47.76 a	25.65 a	0.924 a
<b>ZnO</b>	0	48.51 a	25.80 b	0.925 a
	750	48.46 a	25.94 b	0.923 a
	1500	47.94 ab	25.60 b	0.925 a
	2250	47.03 b	25.65 b	0.920 a
	2500	49.00 a	26.78 a	0.920 a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$

### **Longitud de Fruto**

En general, los frutos obtenidos en el presente estudio cumplen con la norma de exportación, la cual indica que estos deben tener una longitud de 25 cm. En cuanto a la longitud de fruto, no hubo diferencia significativa con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cuadro 5), y en cuanto a la aplicación los tratamientos con NPs de ZnO, se tuvo una diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 0, 750, 1500 y 2250 (Cuadro 5).

Estudios realizados en el cultivo de rosal con NPs de ZnO mostraron resultados mejores para la medida en la interacción del injerto de berenjena a una dosis de  $20 \text{ mgL}^{-1}$  en la variable de longitud de la planta, superando al testigo en un 44% (Hernández, 2019); al igual, estudios realizados revelaron un incremento significativo por la aplicación de 10 ppm de ZnO a plántulas de garbanzo en la variable de longitud de planta (Burman *et al.*, 2013).

No se cuenta con mucha información sobre la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , sin embargo, estudios realizados en plantas de rosal el tratamiento con una concentración de  $250 \text{ mgL}^{-1}$  se logró un efecto notorio en la longitud de raíz ya que esta fue 34 cm más larga que el testigo y en menor proporción, pero aún con efecto significativo, en el resto de las variables (Reséndiz, 2019).

### **Índice Basal de Fruto**

De acuerdo a los datos obtenidos, para el índice basal del fruto no hubo diferencia significativa con los tratamientos aplicados con NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cuadro 5), en cuanto a los tratamientos aplicados con los tratamientos de NPs de ZnO, de igual manera no se obtuvo una diferencia significativa.

En cuanto al índice basal, no existe información hasta el momento respecto al tema de aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y ZnO, pero estudios realizados anteriormente en el cultivo de pepino no se encontró ninguna significancia con la aplicación de estas (Flores, 2023). Un índice basal de fruto cercano a 1.0 sugiere que la forma de estos es cilíndrica, y que por lo tanto no tienden a terminar en forma de punta, lo cual afecta la calidad de los mismos. Los resultados obtenidos indican que en general la aplicación

tanto de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , así como de  $\text{ZnO}$  no afectó la calidad de los frutos en cuanto a su forma, ya que los diámetros del mismo, así como la terminación apical de los frutos no fueron reducidos en comparación con el testigo, resultando entonces en frutos de forma cilíndrica, los cuales son los más apreciados en el mercado (Aguilar, 2020).

### **Rendimiento de Fruto**

En cuanto al rendimiento total de pepino no se obtuvo una diferencia significativa con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cuadro 6), mientras que con la aplicación de NPs de  $\text{ZnO}$  hubo diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 750 y 1500 ppm (Cuadro 6).

En estudios realizados en el cultivo de pepino con aplicación de NPs de  $\text{ZnO}$  se obtuvo una diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 750 y 1500 ppm en la variable de rendimiento total de frutos (Flores, 2023). Al igual estudios realizados en fresa con NPs de  $\text{ZnO}$  se tuvo un aumento del 47% y 37% de rendimiento (Vargas, 2022).

No se cuenta con información sobre la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en el cultivo de pepino, sin embargo, estudios realizados en tomate si manifestaron efecto en el rendimiento total de frutos ya que este fue mayor al de las plantas testigo cuando la  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  se aplicó en concentraciones de entre 50 y 1000 ppm, superándolo en un 7.1 % y 11.9% respectivamente (Aguilar, 2020).

### **Peso Seco Total**

En la variable de peso seco total no hubo diferencia significativa con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cuadro 6), y en cuanto a la aplicación de NPs de  $\text{ZnO}$  tampoco se obtuvo diferencia significativa.

No hay mucha información hasta el momento, sin embargo estudios realizados en plantas de maíz con el tratamiento de  $\text{TiO}_2$  (óxido de titanio) a  $3 \text{ gL}^{-1}$  el peso seco total de plantas de maíz disminuyó de forma significativa un 11 %, comparado con las plantas tratadas con NPs de  $\text{ZnO}$  o con  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (maghemita) a concentraciones de  $3 \text{ gL}^{-1}$  (Uresti, 2016).

Datos obtenidos en un estudio realizado con NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en flor de nochebuena indican que el peso seco total fue similar al peso fresco pues se tuvo un mayor resultado utilizando el mismo tratamiento lo que son las mismas dosis  $0 \text{ mgL}^{-1}$  en forma drench y  $250 \text{ mgL}^{-1}$  vía foliar (Fuentes, 2021).

### **Eficiencia de Cosecha**

El índice de eficiencia de cosecha mide los kilogramos de fruto producidos por cada kilogramo de biomasa producido. En eficiencia de cosecha no hubo diferencia significativa con los tratamientos aplicados con NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cuadro 6), y para los tratamientos aplicados con NPs de  $\text{ZnO}$  tampoco hubo diferencia significativa.

En un estudio realizado con NPs de  $\text{ZnO}$  en pepino se observó el comportamiento del rendimiento de fruto en relación a las 5 semanas de cosecha que se realizaron, con HR al 35% el mayor rendimiento se dio en la tercera semana para las tres concentraciones que se utilizaron de solución nutritiva y posteriormente en la quinta semana disminuyó la eficiencia de cosecha (Hernández, 2022).

La aplicación de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en el suelo tiene efectos positivos en el cultivo de cacahuete ya que se obtuvo efectos significativos en el aumento de la longitud de raíz, altura de la planta y biomasa, a comparación del testigo (Kopittke, 2019).

**Cuadro 6.** Efecto de la aplicación foliar con nanopartículas de ZnO y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sobre el rendimiento de fruto, peso seco total e índice de eficiencia de cosecha en base seca.

Tratamiento	Dosis mg L <sup>-1</sup>	Rendimiento de fruto ton ha <sup>-1</sup>	Peso seco total g/planta	Eficiencia de cosecha g/g
<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0	256.7 a	170.67 a	50.1 a
	1000	255.9 a	180.70 a	47.2 a
	2000	273.6 a	182.28 a	50.0 a
	3000	274.1 a	178.37 a	51.2 a
<b>ZnO</b>	0	266.0 ab	176.21 a	50.3 a
	750	254.8 b	178.44 a	47.6 a
	1500	254.9 b	176.02 a	48.3 a
	2250	264.2 ab	173.18 a	50.9 a
	2500	286.2 a	178.43 a	53.5 a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$

### **Peso Seco de Hoja**

De acuerdo con los datos obtenidos en el experimento, en el peso seco de la hoja no hubo diferencia significativa con la aplicación de los tratamientos de NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Cuadro 7), mientras que en cuanto a la aplicación de NPs ZnO tampoco hubo diferencia significativa.

No se cuenta con información sobre la aplicación de NPs de ZnO en el cultivo de pepino, sin embargo, en otros estudios realizados se manifestaron efectos en el peso de la hoja con 1000 ppm de NPs de zinc ferrita a comparación con los resultados del tratamiento control (Calpulalpan, 2023).

Estudios realizados en nochebuena con aplicación de NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con una dosis de 0mg L<sup>-1</sup> en forma de drench y 125mg L<sup>-1</sup> de manera foliar resultaron con un mayor



peso seco de la raíz, a diferencia de las que recibieron una mayor dosis de NPs vía drench o foliar (Fuentes, 2021).

**Cuadro 7.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sobre el peso seco de hoja y peso seco de tallo.

Tratamiento	Dosis mg L <sup>-1</sup>	Peso seco de hoja g	Peso seco de tallo g
<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0	126.85 a	43.81 a
	1000	137.35 a	43.35 a
	2000	137.23 a	45.05 a
	3000	133.67 a	44.70 a
<b>ZnO</b>	0	132.03 a	44.17 a
	750	135.04 a	43.40 a
	1500	131.27 a	44.75 a
	2250	129.08 a	44.10 a
	2500	134.06 a	44.37 a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$

### **Peso Seco Tallo**

Para el peso seco del tallo (cuadro 7) no hubo diferencia significativa cuando se aplicó NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, en tanto que para los tratamientos aplicados con NPs de ZnO tampoco hubo diferencia significativa.

Estudios realizados en el cultivo de maíz la variable de peso seco tallo mostró diferencias significativas con concentración de 0.02 mgL<sup>-1</sup> en comparación con el tratamiento de control (Vázquez, 2016).

Estudios realizados en nochebuena con NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> en los resultados del peso seco del tallo se tuvo mayor diferencia con el tratamiento de 125 mgL<sup>-1</sup>, similar al peso fresco del tallo pues la dosis aplicada con 0 mgL<sup>-1</sup> en forma de drench y 125 mgL<sup>-1</sup> de forma

foliar, esta dosis superó al tratamiento de 250 mgL<sup>-1</sup> que es donde se tiene mayor dosis de aplicación en forma foliar (Fuentes, 2021).

### Variables Nutrimientales

El K<sup>+</sup> no mostró efecto significativo con la aplicación de NPs de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, mientras que con la aplicación de NPs de ZnO tampoco hubo una diferencia significativa (Cuadro 8).

En un estudio realizado se observó que las plantas de pepino con contenido de K<sup>+</sup> tratadas con un nivel de HR al 35 y 65% se obtuvo mayor contenido nutrimental con la solución nutritiva al 125%, mientras que para el nivel al 50% de HR se dio con una solución nutritiva al 100%; a medida que la concentración de la solución nutritiva fue mayor la concentración de K<sup>+</sup>; en las hojas también aumentó para los niveles de 35 y 65 % de HR (Hernández, 2019).

**Cuadro 8.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sobre la concentración K<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/K<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>/Ca<sup>++</sup>.

Tratamiento	Dosis	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /K <sup>+</sup>	K <sup>+</sup> /Ca <sup>++</sup>
	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0	7911.8 a	0.739 ab	5.986 a
	1000	7840.0 a	0.681 b	6.058 a
	2000	7860.0 a	0.760 a	5.702 a
	3000	7600.0 a	0.735 ab	5.389 a
ZnO	0	8066.7 a	0.714 a	6.201 a
	750	7320.0 a	0.710 a	5.365 a
	1500	7800.0 a	0.770 a	5.634 a
	2250	7960.0 a	0.769 a	5.632 a
	2500	7875.0 a	0.712 a	5.931 a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05

Para el balance entre  $\text{NO}_3^-$  con el  $\text{K}^+$  si hubo diferencia significativa con 2000 ppm con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en comparación con 1000 ppm, mientras que las aplicaciones de NPs de  $\text{ZnO}$  no hubo una diferencia significativa.

Estudios realizados en fresa no se tuvo ningún efecto significativo estadísticamente, pero a una concentración de 3000 ppm de NPs de  $\text{ZnO}$  dio como resultado una disminución del 5% en el balance  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  (Vargas,2022).

En cuanto al balance de  $\text{K}^+$  con el  $\text{Ca}^{++}$  no hubo diferencia significativa con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , en tanto que para los tratamientos aplicados con NPs de  $\text{ZnO}$  tampoco hubo diferencia significativa.

Estudios en el cultivo de fresa la aplicación de NPs de  $\text{ZnO}$  y maltodextrina en diferentes tratamientos, no se obtuvo una diferencia significativa entre estos en el balance  $\text{K}^+ / \text{Ca}^{++}$ , aunque se observó una disminución hasta del 81% en uno de los tratamientos (Vargas,2022).

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que no hubo efecto significativo en las variables del tamaño de fruto con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , aunque con NPs de  $\text{ZnO}$  se aumentó el tamaño de estos con 2500 ppm. Similarmente, las NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  no afectaron el rendimiento, pero con NPs de  $\text{ZnO}$  este se redujo con la aplicación de 750 y 1500 ppm. La biomasa seca de la planta no fue afectada por ninguna de los dos tipos de NPs, así como tampoco el balance nutrimental de  $\text{K}^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , aunque con la aplicación de NPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  vía foliar solo se tuvo diferencia significativa con el balance de  $\text{NO}_3^-$  con  $\text{K}^+$ .

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilar**, D. J. 2002. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista de Agro negocios. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A. C. Torreón, México. Vol. 29. 763-774.
- Aguilar**, S. J. 2020. Respuesta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación de nanopartículas de magnetita. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 54.
- Ahmadi**, A. 2020. A review on green synthesis, cytotoxicity mechanism and antibacterial activity of ZnO-NPs. International Journal of Research in Applied and Basic Medical Sciences, Vol. 6. 23-31.
- Arias**, S. 2007. Manual de producción de pepino. Agency International Development. La Lima, Honduras. Vol. 3. 31.
- Barreiro**, P. M. 2018. El pepino de Sinaloa, calidad y exportación. Obtenido de <https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/recursos/noticias/produccion-y-exportacion-del-pepino-cultivado-en-mexico.html>. Consultado el 20 de octubre 2023.
- Bastida**, O. A., 2022. Estadísticas mundiales de producción de pepino. Blog Agricultura. Obtenido de <https://blogagricultura.com/estadisticas-pepino-produccion/>. Consultado el 25 de septiembre 2023.
- Bathia**, M. 2021. Development of ketoprofen-p-aminobenzoic acid co-crystal: formulation, characterization, optimization, and evaluation. Magazine Research Squire. Guru Jambheshwar University of Science and Technology. Vol. 1. 1-29.
- Bauer**, J. 2019. Mejorando el crecimiento del bulón rojo *Haliotis rufescens* al co-cultivarlo con pepino de mar *Apostichopus parvimensis*. Tesis de Maestría. Maestro en Ciencias en Oceanografía Costera. Universidad Autónoma de Baja California. pp. 1-51.
- Bravo**, S. J. A. 2013. Paquete tecnológico del pepino. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. pp. 32.

**Burman**, U., Saini, M., y Kumar, P. 2013. Effect of oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological and Environmental Chemistry*. pp. 605-612.

**Calpulalpan**, E. E. 2023. Aplicación de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L). Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 1- 54.

**Caicedo**, L. 1993. Calidad morfológica y fisiología de los pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. Vol. 9. 473-474.

**Casaca**, A. 2005. El cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Escuela Centroamericana de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, ECAG. pp. 13.

**Castro**, M., Mantuano M. I. y Coloma J. L., 2017. Utilization of cassava starch edible films containing salicylic acid on papaya (*Carica papaya* L.) preservation. *Revista Politécnica*. Vol. 5. 7-12.

**CONACYT/CIDYT**, 2016. Investigan efectos de nanopartículas en plantas. El CIQA busca nanopartículas que fomenten el crecimiento de plantas y desarrollen otras propiedades potenciales, pero sin dañarlas internamente. Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología. Obtenido de <https://www.dicyt.com/noticias/investigan-efectos-de-nanoparticulas-en-plantas>. Consultado el 12 de octubre 2023.

**Cruz**, C. J. A., Monge, P. J. E., y Loria C. M. 2020. Comparación agronómica entre tipos de pepino (*Cucumis sativus* L). Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED. Research Journal. Vol. 12. 8.

**Du Jardín**, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. Vol. 196. 3-14.

- FAO.** 2009. Análisis de la producción de pepino y pepinillos. Obtenido de [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109403/Cap\\_comp-Analisis\\_pepino\\_pepinillos.pdf?sequence=1](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109403/Cap_comp-Analisis_pepino_pepinillos.pdf?sequence=1). Consultado el 28 de septiembre 2023.
- Flores, M. M.** 2023. efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y dióxido de zinc en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrícola y Ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 1-55.
- Fuentes, V. B.** 2021. Respuesta de la flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) a la aplicación foliar de nanopartículas de magnetita. Tesis de Licenciatura. Ingeniero en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 64.
- Galván, G. A.** 2007. Producción de pepino con sustratos orgánicos e inorgánicos bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Narro Antonio. pp. 71.
- Gálvez, H. F.** 2004. El cultivo de pepino en invernadero. En: Manual de Producción Hortícola en Invernadero, 2a ed. R J Castellanos. INTAGRI. Celaya, Guanajuato. México. pp. 282-293.
- García, L. J.** 2019. Respuestas fisiológicas y bioquímicas inducidas por nanopartículas de ZnO en semillas y plantas en chiles habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Tesis de Doctorado. Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 45.
- González, A. M.** 2009. Flor, simetría y sexualidad floral. Morfología de plantas vasculares. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Nordeste. pp. 56-89.
- González, C. E.** 2012. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino en sistemas hidropónicos con recirculación de la solución nutritiva. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 37. 261-269.
- Hazarika, D.** 2020. Misa: Modality-invariant and specific representations for multimodal sentiment analysis. In Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia. pp. 1122–1131.

**Hernández, G. R.** 2022. Influencia de la concentración de la solución nutritiva y la humedad relativa en el rendimiento y crecimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) En Invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 4-55.

**Hernández, M. F., Galindo, P. V., Preciado, R. P., y Trejo, V. R.,** 2014. Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 5. 1219- 1232.

**Hernández, N., y Mata, F.** 2019. Evaluación de tres sustratos en el crecimiento de pascuas (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Zamorano. Tesis de pregrado. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. pp. 25.

**HORTO INFO.** 2022. Récord de ingresos en la exportación española de pepino de 2022, gracias al mejor precio de la década. Obtenido de [espanolapepino/#:~:text=En%202022%20Espa%C3%B1a%20ingres%C3%B3%20942,de%201'36%20%E2%82%AC%2Fkg](#). Consultado el 10 de noviembre 2023.

**InfoAgro.** 2016. Sistemas de cultivo sin suelo. Obtenido de <https://mexico.infoagro.com/sistemas-de-cultivo-sin-suelo/>. Consultado: 12 de septiembre 2023.

**InfoAgro.** 2017. El cultivo de pepino. Obtenido de [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_pepino\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_pepino__parte_i_.asp). Consultado: 15 octubre 2023.

**INTAGRI.** 2021. Tipos de pepino cultivados bajo Invernadero. Serie Horticultura Protegida, Núm. 41. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. pp. 3.

**Kader, A. A.** 2002. Tecnología poscosecha de cultivos hortícolas. Universidad de California. Agricultura y Recursos Naturales. Publicación 3311. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 4. 39-285.

**Kopittke, P. M., Lombi, E., Wang, P., Schjoerring, J. K., y Husted, S.** 2019. Nanomaterials as fertilizers for improving plant mineral nutrition and environmental outcomes. Environmental Science: Nano. Vol. 8. 3513-3524.



- Lira, R. H., Méndez A. B., Villareal, G., Vera R. I.** 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. Acta Universitaria. Vol. 28. 9-24.
- López, E.** 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. Revista IDESIA. Vol. 29. 21-27.
- Maroto, J. V.** 1995. Horticultura herbácea especial. Mundi –Prensa. Manual de Producción de Pepino Bajo Invernadero. pp. 611.
- Méndez, P. A.** 2016. Evaluación de producción de pepino con porcentajes de lixiviado de vermicompost en invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 64.
- Moreno, P. E. C., Sánchez, C. F., y Noriega, N. L. J.** 2017. Concentraciones de solución nutritiva, volúmenes de sustrato y frecuencias de riego en pepino bajo invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. pp.11.
- Navarrete, G. R. J.** 2005. Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de campo en Zamorano. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. pp. 32.
- Noboa, T., Tarquino, L., Ramos, F., y Jonathan, F.** 2019. Efecto de la aplicación de tres productos a base de ácidos húmicos y fúlvicos sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Valencia, Provincia de Los Ríos. Tesis de licenciatura. Carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. pp. 65.
- Ormaza, G. J. H.** 2016. Influencia del tutorado y densidad poblacional en el rendimiento del cultivo de pepino H. Diamante. Tesis de maestría. Maestro en Ciencias Agrarias. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. pp. 49.
- Orús, A.** 2023. Volumen de pepinos producidos en España en 2021, por comunidad autónoma. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/510969/produccion-de-pepinos-en-espana-por-comunidad-autonoma/>. Consultado el 18 de octubre 2023.

**Pereira**, M. C. A., Maycotte M. C. C., Restrepo, E. B., Mauro, F. Calle, M. A., y Esther, V. M. J. 2011. Sistemas de producción vegetal II. Artículo Científico. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - Managua – Nicaragua. Vol. 1. 148.

**Peña**, P. 1992. Cultivo de pepino. Fundación de Desarrollo Agropecuario. Boletín técnico N° 15. Santo Domingo, Rep. Dominicana. pp. 19.

**Reséndiz**, M, R. 2023. Evaluación de nanopartículas de óxido de hierro en un cultivo hidropónico de rosa (*Rosa hybrida* L.) en invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 47.

**Rodríguez**, S. M. 2004. Elementos esenciales y beneficiosos. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. pp.25-36.

**Ross**, L. E. 2013. Microorganismos benéficos como biofertilizantes y antagonistas de fitopatógenos en la producción sustentable de pepino (*Cucumis sativus* L). Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 56.

**Ruíz**, P. E. 2019. Uso de nanopartículas de dióxido de zinc como fertilizante. Revista Agricultura en el Kiosko Agrario. Vol. 44. 46.

**SAGARPA**. 2019. Principales entidades productoras de pepino. Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/137961/Tesina%20pepino%2010-0222.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=De%20acuerdo%20con%20informaci%C3%B3n%20del,2019\).](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/137961/Tesina%20pepino%2010-0222.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=De%20acuerdo%20con%20informaci%C3%B3n%20del,2019).)

**Santillán**, R. J. A. 2016. Producción urbana de pepino (*Cucumis sativus* L.) mediante dos sistemas de cultivo hidropónico. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 88.

**SIAP**. 2020. Panorama Agroalimentario 2019. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>. Consultado el 12 de octubre 2023.

- Sierra, E.** 2005. El cultivo del pepino. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. Revista Colombiana. Vol. 23. 13.
- Siller, C.** 2000. Análisis de la horticultura en México. Productores de Hortalizas. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27. 8-12.
- Srivastava, A.** 2006. Empowering leadership in management teams: Effects on knowledge sharing, efficacy, and performance. The Academic of Management Journal. Vol. 12. 1239- 1251.
- Sturikova, H.** 2018. Zinc, zinc nanoparticles and plants. Journal of Hazardous Materials. Vol. 349. 101-110.
- Symborg.** 2022. Cultivo de pepino. Maximiza el potencial productivo de tus pepinos con nuestros productos a base de microorganismos seleccionados. Obtenido de <https://symborg.com/es/cultivos-beneficiados/>. Consultado el 18 de abril 2023.
- ULSA.** 2010. Pepino en invernadero. Revista Internacional Universo. Universidad De La Salle Bajío. Vol. 2.1-15.
- USDA.** 2012. United States standards for grades of cucumbers. In: United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Fruit and Vegetable Division: Fresh Products Branch.
- Uresti, D. N.** 2016. Efecto de nanopartículas de ZnO, TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz. Tesis de Maestría. Maestro en Ciencias de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. pp. 20-56.
- Valdez, B.** 2004. Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27. 157-165.
- Vargas, R. J.** 2022. Efecto de la aplicación de nanopartículas de dióxido de zinc en el crecimiento y producción de fresa en el cultivo sin suelo. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 14-50.

**Vázquez**, L. J. 2012. Análisis del índice grado día y del índice de estrés hídrico en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero e hidroponía. Tesis de Maestría. Maestro en Ciencias en Agroplasticultura. Centro de Investigación en Química Aplicada. pp.70.

**Vázquez**, L. M. 2016. Efecto de nanopartículas de Cu introducidas en quitosan, sobre en crecimiento, rendimiento y contenido de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum* L) bajo invernadero. Tesis licenciatura. Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 1.28.

**Walter**, M. 1990. Efecto de las condiciones del almacenamiento y encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27. 157-165.

**Waris**, M.H., Khan, A., Ahmad, F., Iqbal, M., Shoaib, M. & Ullah, Z. (2014). Screening of cucumber varieties against downy mildew ¿*Pseudoperonospora cubensis*? and its chemical management. Pak. J. Phytopathology, Vol. 26. 21-24. Obtenido de file:///C:/Users/Manolita/AppData/Local/Temp/77-360-5-PB.pdf

**Wehner**, T.C., Maynard, D.N. 2003. Cucumbers, melons, and other cucurbits. Vol. 1. Encyclopedia of food and culture. New York, USA. pp. 474-479.