

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



Efecto de la Aplicación de Nanopartículas de Magnetita y Dióxido de Zinc en el  
Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

**MONSERRAT FLORES MENDIETA**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2023

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

Efecto de la Aplicación de Nanopartículas de Magnetita y Dióxido de Zinc en el  
Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.)

POR:

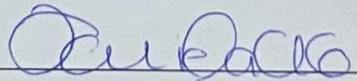
**MONSERRAT FLORES MENDIETA**

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el título de:

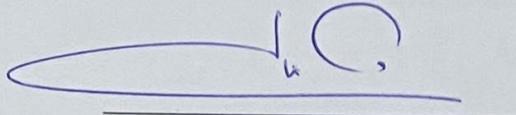
**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por el Jurado Examinador:



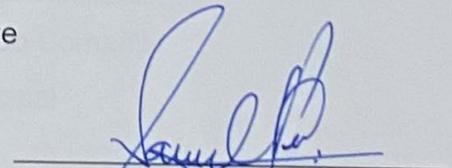
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Presidente



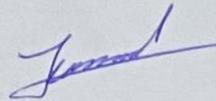
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Vocal



Dr. Víctor Samuel Peña Olvera

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

Efecto de la Aplicación de Nanopartículas de Magnetita y Dióxido de Zinc en el  
Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.)

POR:

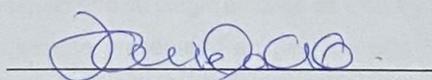
**MONSERRAT FLORES MENDIETA**

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el título de:

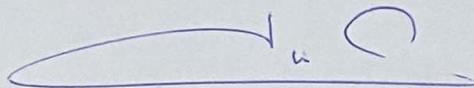
**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



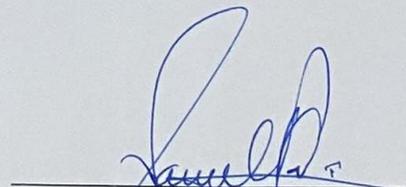
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Asesor Principal



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Coasesor



Dr. Víctor Samuel Peña Olvera

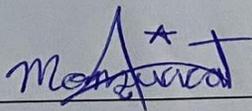
Coasesor

### **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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Monserrat', with a star symbol above the 't' and a horizontal line extending to the right.

**Monserrat Flores Mendieta**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

por permitirme alcanzar este sueño que tanto anhele y nunca dejarme sola en los momentos más difíciles, por bendecirme todos los días, por todo lo bueno y lo malo que pase durante la carrera, por guiarme.

### **A mi Alma Terra Mater**

por abrirme sus puertas y permitirme formarme en sus aulas, por hacer realidad este sueño de ser ingeniera, por permite ser parte de esta gran casa de estudios, por conocer grandes amigos y profesores que me apoyaron en todo momento durante mi estancia en la universidad.

### **A mis asesores**

Dra. Daniela Alvarado Camarillo por asesorarme, orientarme y apoyarme en este proyecto, por todo el tiempo dedicado y sus conocimientos compartidos dentro y fuera de las aulas de clase, por su gran amistad y comprensión brindada en todo este tiempo. Por confiar en mi para realizar este proyecto, por haber sido paciente y haber sido esa persona que con sus enseñanzas pudo explicarme aquellos detalles para culminar mi tesis.

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por sus conocimientos y apoyo en todo momento, por su tiempo dedicado y supervisión a este proyecto, muchas gracias por todas sus enseñanzas. Por haberme guiado en este proyecto en base a su experiencia, sabiduría y tenerme paciencia para explicarme.

Dr. Víctor Samuel Peña Olvera por enseñarme un poco de lo que se, por guiarme para ser una mejor persona y profesional, por apoyarme durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres Oliverio Flores Vázquez e Itzayana Mendieta Mendieta**

Este logro se los dedico con mucho amor y cariño, gracias a ustedes que siempre me apoyaron a que realizara mis estudios, siempre estuvieron ahí para mí nunca me dejaron sola, estoy inmensamente agradecida con ustedes por darme la vida y por brindarme su amor incondicional, gracias por todos sus consejos, su apoyo, su comprensión, su dedicación y sobre todo su esfuerzo, sé que tuvieron que hacer sacrificios para apoyarme a lograr mis sueños y metas.

### **A mis hermanas Fanny Flores Mendieta, Natividad Flores Mendieta y Ruth Flores Mendieta**

Gracias por apoyarme en todo momento, por hacerme fuerte que sin importar la distancia estuvieron ahí para no dejarme caer, por ser mis confidentes y cómplices en travesuras, logros, sueños y anhelos.

### **A mi sobrino José Yadier Flores Mendieta**

Por ser la alegría de la familia, por llegar a darnos mucha felicidad y sobre todo por darme la dicha de ser tu tía, por cada sonrisa que me sacas cuando menos me lo espero con tus travesuras.

### **A mis abuelitas Reina Vázquez Luna (†) y Evodia Mendieta Corona (†)**

Por confiar en mí, por todas las enseñanzas, los consejos y aprendizajes que, aunque hoy no estén conmigo les dedico de todo corazón este logro obtenido, porque cuando estuvieron a mi lado me apoyaron incondicionalmente en mis sueños más anhelados, les agradezco por todo el amor y cariño que me ofrecieron.

### **A mi novio Irineo Reyes Cañedo**

Por ser parte importante en mi vida y en este logro, por estar siempre conmigo en todo momento apoyándome en las buenas y en las malas, gracias por ser mi fuente de inspiración de cada día, por tu paciencia, tu cariño, tu amor, tu comprensión, pero sobre todo por estar ahí cuando más lo necesito.

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	I
INDICE DE CUADROS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Generalidades del cultivo.....	5
Origen del cultivo de pepino.....	5
Descripción botánica.....	5
Raíz.....	6
Tallo.....	6
Hoja.....	6
Flor.....	6
Fruto.....	6
Taxonomía del pepino.....	7
Requerimientos edafoclimáticos en el cultivo de pepino.....	7
Temperatura.....	7
Humedad.....	7
Luminosidad.....	8
Precipitación.....	8

Cultivos sin suelo .....	8
Clasificación de los cultivos sin suelo .....	8
Cultivo en sustrato .....	8
Cultivo en agua (hidropónico) .....	9
Cultivo en aire (aeropónico) .....	9
Clasificación comercial del pepino .....	9
Pepino corto y pepinillo (“tipo español”) .....	9
Pepino medio largo (“tipo francés”) .....	10
Pepino largo (“tipo holandés”) .....	10
Pepinos tipo Beit Alpha .....	10
La importancia del cultivo de pepino en México .....	10
Producción del pepino en México .....	11
Producción de pepino a nivel mundial .....	12
La nanotecnología en la agricultura .....	13
Los bioestimulantes en la agricultura .....	14
Clasificación de los bioestimulantes .....	14
Ácidos húmicos y fúlvicos .....	14
Aminoácidos y mezcla de péptidos .....	14
Extractos de algas .....	15
Quitosan y otros biopolímeros .....	15
Compuestos inorgánicos .....	15
Hongos beneficiosos .....	16
Bacterias benéficas .....	16
Nanopartículas de magnetita .....	16
Nanopartículas de dióxido de zinc .....	18

MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Localización del área experimental.....	19
Material vegetativo.....	19
Preparación de sustrato utilizado.....	19
Siembra .....	20
Riego .....	20
Poda .....	21
Tutorio .....	21
Cosecha.....	21
Tratamientos.....	21
Forma de aplicación de los tratamientos .....	22
Muestreo de sustrato para determinar pH y CE.....	22
Control de temperatura y humedad .....	23
Control de plagas y enfermedades .....	23
Cosecha.....	23
Variables evaluadas.....	24
Variables de calidad de fruto.....	24
Variables de rendimiento .....	24
Variables nutrimentales.....	24
Variables agronómicas.....	25
Diseño experimental .....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
Calidad de fruto .....	26
Rendimiento y biomasa .....	28
Respuestas vegetativas.....	30

Estatus nutrimental del peciolo .....	31
CONCLUSIONES .....	35
LITERATURA CITADA.....	36

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía del pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L).....	7
Cuadro 2. Composición nutritiva del pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) (100 g de producto). .....	11
Cuadro 3. Características físicas y químicas de la magnetita. ....	17
Cuadro 4. Tratamientos aplicados para determinar su efecto sobre las plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) mediante su aplicación foliar. ....	22
Cuadro 5. Diámetro apical, diámetro ecuatorial e índice apical del fruto en pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido zinc. .....	26
Cuadro 6. Rendimiento total por planta, peso fresco total y eficiencia de cosecha en pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.....	28
Cuadro 7. Peso fresco en hojas y tallo en pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.....	30
Cuadro 8. Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) en pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.....	32

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Invernadero uno de ornamentales en el Departamento de Horticultura UAAAN, Extraída de Google Earth, marzo 2023.....	19
Figura 2. Preparación del sustrato para el cultivo. ....	20

## RESUMEN

La nanotecnología (NT) implica la producción de nanopartículas (NPs) y han cobrado una gran importancia en la agricultura ya que surgen como una alternativa hacia una agricultura sustentable, además de que mejora la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes y se desarrollan a mayor velocidad. La NT proporciona una herramienta para la detección de rápida de enfermedades en el cultivo, y derivada de ella aparecen los nanofertilizantes (NF), los cuales ayudan en el rendimiento de los cultivos y también permiten tener una buena respuesta fisiológica de la planta.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto NPs de magnetita y dióxido de zinc en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) cuyas plantas fueron trasplantadas el 01 de abril del 2021 bajo invernadero y se mantuvieron mediante riegos con la solución nutritiva Steiner desde la primera semana de trasplante.

El experimento tuvo lugar en el invernadero del Departamento de Horticultura, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se evaluaron los efectos de la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc sobre el cultivo de pepino. El experimento se llevó a cabo durante el ciclo verano-otoño del año 2021. Los tratamientos consistieron la aspersión foliar de NPs de magnetita y dióxido de zinc resultando que a la cosecha los frutos fueron de mayor tamaño y peso. Se utilizó un diseño estadístico de bloques al azar, con un total de cinco repeticiones y 10 tratamientos. Las variables evaluadas fueron: 1. Peso del fruto, 2. Longitud del fruto, 3. Diámetro del fruto, 4. Firmeza del fruto, 5. Peso fresco de las hojas, 6. Peso fresco del tallo, 7. Peso seco de las hojas, 8. Peso seco del tallo. Donde hubo significancia con NPs de dióxido de zinc fue en el diámetro apical, diámetro ecuatorial, rendimiento del fruto y  $\text{NO}_3^-$ , con NPs de magnetita solo hubo significancia en el diámetro ecuatorial. En el caso de interacción hubo en el índice apical del fruto, rendimiento del fruto, peso fresco de la hoja,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{++}$ .

## INTRODUCCIÓN

El pepinillo o pepino (*Cucumis sativus* L) es una planta dicotiledónea, herbácea y anual, que pertenece a la familia *Cucurbitaceae*. La fruta del pepino se consume mayormente en su etapa inmadura, cuando la semilla todavía está tierna. 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).

En 100 g de parte comestible, los pepinos poseen 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).

A nivel mundial, la producción de pepino se incrementa y México ocupa el tercer lugar como exportador (FAO, 2009). El manejo poscosecha de esta hortaliza, permite controlar la pérdida de turgencia, causada por la transpiración y respiración (Walter, 1990), además de otros cambios físicos y químicos que demeriten la apariencia y calidad final del fruto. La velocidad de deterioro, está asociada con el manejo y condiciones de almacenamiento, transporte y mercadeo (Kader, 2002).

El consumo del pepino lo ubica como la cuarta hortaliza más importante del mundo, después del jitomate, repollo y cebolla. Se utiliza tanto en estado fresco como industrial (pepinillos o “pickles”) (Qureshi, 2010).

El uso adecuado de nanopartículas (NPs) fomenta el crecimiento de las plantas al actuar como nanofertilizantes (NF), 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 y no afecta la planta (CONACYT/DICYT, 2016).

Con la NT se abre un amplio abanico de oportunidades en la agricultura para producir agroproductos como NF, nanopesticidas, nanoherbicidas y nanosensores, que permitirán incrementar el rendimiento de alimentos de manera sustentable y reduciendo el impacto ambiental. El término NT se refiere a una amplia área de la actividad tecnológica enfocada en la ingeniería y la manipulación de objetos en la nanoescala, hasta 100 nanómetros en tamaño (Oerke *et al.*, 1994).

Una de estas NPs emergentes es la magnetita, la cual se han usado en bajas concentraciones y ha demostrado que puede promover mayor crecimiento en las plantas, además de promover la germinación y estimular respuestas fisiológicas y bioquímicas en los cultivos (Rivera *et al.*, 2018).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar la respuesta de las NPs de magnetita en la producción del cultivo de pepino híbrido Centauro (*Cucumis sativus* L) en un sistema de cultivo sin suelo.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la aplicación foliar de NPs de magnetita en el rendimiento del cultivo de pepino híbrido Centauro (*Cucumis sativus* L) bajo la producción de cultivo sin suelo.
- Determinar la concentración óptima de NPs de magnetita en el peso fresco de la planta de pepino híbrido Centauro (*Cucumis sativus* L) bajo condiciones de cultivo sin suelo.
- Determinar el efecto de la aplicación foliar de NPs de magnetita en las variables de calidad del cultivo de pepino híbrido Centauro (*Cucumis sativus* L) bajo la producción de cultivo sin suelo.

## **Hipótesis**

La aplicación foliar de NPs de magnetita y dióxido de zinc, se verá reflejado en el rendimiento, calidad de fruto y calidad de planta de pepino (*Cucumis sativus* L) bajo la producción de cultivo sin suelo.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades del cultivo

#### Origen del cultivo de pepino

El origen del pepino se sitúa en las regiones tropicales del sur de Asia. En India se viene realizando su cultivo desde hace más de 3.000 años. Con el paso de los años se hizo popular en Grecia y en Roma. 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).

#### Descripción botánica

El pepino pertenece a la familia Cucurbitaceae y su nombre científico es *Cucumis sativus* L. 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 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).

Las flores 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).

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**

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 (HORTO INFO, 2023).

### **Tallo**

Los tallos son angulosos y espinosos, de porte rastrero y trepador, llegando a alcanzar hasta 3,5 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 (ULSA, 2010).

### **Hoja**

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 son de corto pedúnculo y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales. 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**

Depende de la variedad, que varía desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica, cuando llega a su etapa de madurez, un fruto de pepino criollo puede llegar a obtener un peso máximo de 508 g (Galván, 2007).

## Taxonomía del pepino

El pepino pertenece a la familia Cucurbitaceae, cuyo nombre botánico es *Cucumis sativus* L. La clasificación taxonómica se encuentra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Taxonomía del pepino (*Cucumis sativus* L).**

<b>Familia</b>	<b><i>Cucurbitaceae</i></b>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden</b>	<i>Cucurbitales</i>
<b>Género</b>	<i>Cucumis</i>
<b>Especie</b>	<i>C. sativus</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>Cucumis sativus</i> L
<b>Nombre común</b>	<i>Pepino</i>

Fuente: (InfoAgro, 2016)

## Requerimientos edafoclimáticos en el cultivo de pepino

### Temperatura

El pepino se adapta a climas cálidos y templados, en las zonas costeras se cultiva hasta los 1,200 metros sobre el nivel del mar. Sobre 40°C el crecimiento se detiene, con temperaturas inferiores a 14°C, de igual manera, y 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).

El pepino es sensible a los cambios bruscos de temperatura, como son las oscilaciones superiores a 8°C, los descensos térmicos nocturnos afectan negativamente la calidad de los frutos de pepino y la productividad (Peña, 1992).

### Humedad

Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche

del 70-90%. Sin embargo, 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**

En el cultivo de pepino cuenta con ciertas etapas por las que pasa como es crecer, florecer y fructificar con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas. 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**

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 bajas que en zonas secas (Sierra, 2005).

### **Cultivos sin suelo**

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. Las raíces se encuentran confinadas en un volumen limitado y aislado, por lo que la incidencia de las malas hierbas, nematodos, enfermedades de suelo, etc. se reducen. La sobreexplotación de los suelos provoca su erosión y, por tanto, la pérdida de fertilidad de los mismos. Además, el uso irracional de fertilizantes y fitosanitarios y la utilización de aguas de riego contaminadas salinizan los suelos llegándolos a hacer tóxicos (InfoAgro, 2016).

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

#### **Cultivo en sustrato**

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. Los cultivos en sustrato se caracterizan por tener mejor aireación que en agua, pero al mismo tiempo, los sustratos empleados no disponen de reserva de agua (InfoAgro, 2016).

### **Cultivo en agua (hidropónico)**

Medio exclusivamente líquido por lo que requiere de una estructura auxiliar de soporte. El sistema radicular permanece de manera continua inmerso en la solución nutritiva, por lo que puede presentar problemas derivados de la falta de oxígeno en la solución. Por esta razón, es necesaria la incorporación de un sistema de oxigenación al conjunto para favorecer el óptimo desarrollo radícula (InfoAgro, 2016).

### **Cultivo en aire (aeropónico)**

La solución nutritiva es pulverizada sobre el sistema radical en función de los intervalos de tiempo programados por lo que la aireación es excelente. Al igual que en cultivo hidropónico se requiere de estructura auxiliar para el soporte de la planta (InfoAgro, 2016).

### **Clasificación comercial del pepino**

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. 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. 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).

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).

### **Pepino corto y pepinillo (“tipo español”)**

Son variedades de fruto pequeño (longitud máxima de 15 cm), de piel verde y rayada de amarillo o blanco. Se utilizan para consumo en fresco o para encurtido, en este caso recolectándolos más pequeños. 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).

### **Pepino largo (“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 invernaderos (Cruz *et al.*, 2020).

### **Pepinos tipo Beit Alpha**

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).

### **La importancia del cultivo de pepino en México**

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 del 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. 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).

La mayor producción de pepino en México se presenta durante mayo con 100 mil 832 toneladas en promedio, que representan un 60% de la producción total anual. En 2019, la producción de esta hortaliza disminuyó a causa de una menor superficie sembrada y al incremento de los siniestros (SIAP, 2020).

La exportación de hortalizas en México ha tenido un incremento sostenido en los últimos treinta y seis años, pasando de 300,000 t en 1966, a 1.5 millones de t en 1990 y finalmente a 3.2 millones de t en 2002. Las hortalizas que componen el 70% de la oferta exportable son seis: tomate 23%, pepino 13%, melón 12%, sandía 8%, chile 8% y calabacita 7%. Sinaloa es una de las entidades federativas que ha logrado consolidar su participación como exportador de estos productos, lo cual se ha traducido en grandes beneficios para la entidad (Gámez, 2017).

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. 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).

### **Producción de pepino a nivel mundial**

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).

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. 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).

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. 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).

### **La nanotecnología en la agricultura**

La nanotecnología en la agricultura hace posible los avances de la tecnología empleados en los mecanismos de producción y tiene como objetivo promover el crecimiento económico y salvaguardar el medio ambiente. 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).

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 la nanoescala, hasta 100 nanómetros en tamaño (Castro *et al.*, 2017).

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).

## **Los bioestimulantes en la agricultura**

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).

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).

## **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**

Los ácidos húmicos y fúlvicos son los constituyentes naturales de la materia orgánica de los suelos, el resultado de la descomposición de las plantas, animales y microorganismos; de igual manera son una colección de compuestos heterogéneos, originalmente caracterizados de acuerdo a su peso molecular y solubilidad en huminas (García, 2019)

Estos tienen gran influencia en la fertilidad del suelo puesto que contribuyen de manera positiva a su mantenimiento y estabilidad, intervienen también a la absorción de nutrientes en la planta, resultando así en un óptimo crecimiento y buen desarrollo de planta (Noboa *et al.*, 2019).

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

Se obtienen a partir de la hidrólisis química o enzimática de proteínas procedentes de productos agroindustriales tanto vegetales (residuos de cultivos) como animales

(colágenos, tejidos epiteliales, etc.). 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**

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). Existen reportes del uso de algas marinas como fuente de materia orgánica en la agricultura desde hace mucho tiempo atrás, sin embargo, sus propiedades y efectos como bioestimulantes se han descubierto recientemente, impulsando el uso de extractos provenientes de estas, como lo son: los polisacáridos laminarina, alginatos y carragenanos (Khan, 2009).

### **Quitosan y otros biopolímeros**

El quitosano es la forma deacetilada del biopolímero de quitina, producido natural o industrialmente; el efecto fisiológico de los oligómeros de quitosano en plantas son el resultado de la capacidad de este compuesto policatiónico de unirse a una amplia variedad de compuestos celulares, incluyendo DNA y constituyentes de la membrana plasmática y de la pared celular. Su introducción a la agricultura principalmente buscaba evadir problemas relacionados con patógenos fúngicos, sin embargo, se le ha atribuido buena respuesta al estrés abiótico como la sequía, salinidad y estrés por frío (Du Jardín, 2015).

### **Compuestos inorgánicos**

Se suelen llamar “elementos beneficiosos” a aquellos elementos químicos que promueven el crecimiento de las plantas y que pueden llegar a ser esenciales para algunas especies, pero no para todas. Entre estos elementos se suelen considerar el Aluminio, Cobalto, Sodio, Selenio y Silicio; y están presentes tanto en el suelo como en plantas como diferentes sales inorgánicas y como formas insolubles. Sus efectos beneficiosos pueden ser constitutivos, como el reforzamiento de las paredes celulares por los depósitos de silicio, o por la expresión en determinadas condiciones

ambientales, como es el caso del selenio frente al ataque de patógenos (Du Jardín, 2015). Los compuestos químicos beneficiosos son aquellos que promueven en la planta un buen crecimiento y desarrollo y que pueden llegar a ser indispensables para algunos grupos vegetales, sin embargo, pueden no serlo para todas las plantas (Pilon *et al.*, 2009).

### **Hongos beneficiosos**

Los hongos interactúan con las plantas de muchas formas, desde simbiosis mutualista hasta el parasitismo. Plantas y hongos han coevolucionado desde el origen de las plantas terrestres. Los hongos micorrízicos son un heterogéneo grupo de hongos que establecen simbiosis con el 90% de las plantas (Du Jardín, 2015).

En caña de azúcar se ha mostrado ampliamente el beneficio de los hongos micorrizos en el incremento de la tasa fotosintética, mejora en la regulación de la actividad estomática en condiciones de estrés por deficiencia de agua (Jamal, 2005). Otro hongo benéfico, *Trichoderma*, induce mejoras en crecimiento, rendimiento y calidad del jugo de este cultivo (Srivastava, 2006).

### **Bacterias benéficas**

En términos de beneficios para las plantas, las bacterias pueden promover mejoras en los ciclos biogeoquímicos, suministro de nutrientes, aumento en el uso eficiente de nutrientes, inducción de resistencia o tolerancia a diversos factores de estrés abiótico, y regulación de la morfogénesis vegetal a través de la estimulación de la síntesis de sustancia promotoras del crecimiento vegetal. De hecho, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal son el grupo más importante de estos procariontes en caña de azúcar que pueden mejorar la eficiencia en el uso de P (Mendoza *et al.*, 2019) y de otros nutrimentos esenciales (Gómez, 2021).

### **Nanopartículas de magnetita**

La magnetita es un dióxido de hierro destacado por sus propiedades magnéticas. Las NPs de magnetita exhiben una gran superficie que les permite ser funcionalizadas para hacer productos biocompatibles. La magnetita es un material ampliamente conocido por sus propiedades magnéticas. Su nombre deriva de la ciudad griega llamada

magnesia. Los óxidos de hierro magnéticos, como la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) son generalmente clasificados como ferritas y son responsables de las propiedades magnéticas de las rocas (Aguilar, 2020). Las características químicas y físicas de la magnetita se encuentran en el Cuadro 3.

Las NPs de óxido de hierro como en este caso la magnetita es empleada como NF podría asegurar que las plantas absorban el hierro de manera óptima. 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. La aplicación de estas NPs además de incrementar la germinación y crecimiento de la planta estimula los procesos metabólicos (fotosíntesis, respiración, producción de proteínas, etc.). Así mismo, se ha reportado que las NPs de magnetita 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).

**Cuadro 3. Características físicas y químicas de la magnetita.**

<b>Categoría</b>	<b>Minerales óxidos</b>
<b>Estructura</b>	Cristalina, isométrica
<b>Sistema cristalino</b>	Cúbico, hexaocáedrigo
<b>Composición química</b>	Fe 72.4% y O 27.6%
<b>Peso molecular</b>	231.4 g/mol
<b>Dureza</b>	5.5
<b>Densidad</b>	5.2 g/cm <sup>3</sup>
<b>Fractura</b>	Concoidea
<b>Color</b>	Negro
<b>Raya</b>	Negra
<b>Lustre</b>	Metálico
<b>Transparencia</b>	Opaca
<b>Propiedades físicas</b>	Fuertemente magnética

Fuente: Maldonado, 2021

### **Nanopartículas de dióxido de zinc**

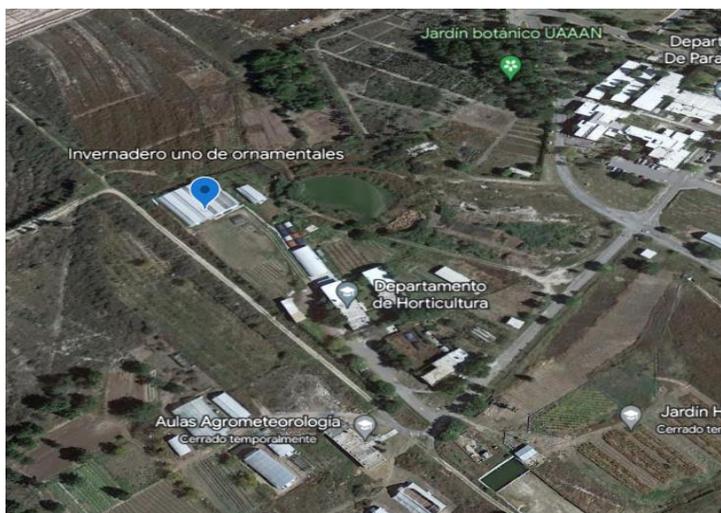
El zinc es un microelemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo requieren en pequeñas cantidades de 15 y 20 miligramo por kilogramo de tejido seco (Romero, 2017). Estas partículas de tamaño nanométrico que oscila entre 1 y 100 nm podrían ser utilizadas con diferentes fines de 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 dióxido de zinc que tienen un gran potencial al ser un agente de amplio espectro de acción contra fitopatógenos y que presentan una actividad antibacteriana para una amplia gama de bacterias (Ahmadi, 2020).

Las NPs de dióxido de zinc 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). Dado que el dióxido de zinc muestra diferentes propiedades físicas y químicas dependiendo de la morfología de las nanoestructuras, síntesis y tamaño de partícula, es importante su estudio para orientar su uso adecuado en diversas aplicaciones (Siva, 2013). En la literatura se menciona que las NPs de dióxido de zinc son excelentes candidatos para su uso como pesticida, fungicida y/o fertilizante en el sector agrícola (Ghosh, 2016), debido al tamaño pequeño (<100 nm), pueden interactuar fácilmente con las moléculas biológicas (Ahmadi, 2020).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del área experimental

La investigación se hizo entre los meses de abril y agosto de 2021 en el invernadero del Departamento de Horticultura del campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a 25° 21' 13'' N, 101° 01' 56'' O, ubicada en la Calzada Antonio Narro 1923, en Buenavista, 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila (Figura 1).



**Figura 1. Invernadero uno de ornamentales en el Departamento de Horticultura UAAAN, Extraída de Google Earth, marzo 2023.**

### Material vegetativo

Se utilizaron plantas de pepino variedad Híbrido Centauro; para la realización de este experimento se utilizaron un total de 100 semillas certificadas, las cuales tuvieron una germinación homogénea; el cultivar empleado posee características como un crecimiento indeterminado, hojas de color verde-oscuro y produce plantas vigorosas; se distingue por generar frutos de excelente conservación post cosecha, además soporta altas condiciones de calor y luminosidad.

### Preparación de sustrato utilizado

Para la preparación del sustrato se utilizó una mezcla de fibra de coco y *peat moss* con una relación 70/30 (v/v) (Figura 2), antes de utilizarlo se realizaron pruebas para conocer la conductividad eléctrica (CE) la cual arrojó un alto nivel teniendo más de

3200 dS/cm, para poder obtener la CE requerida se realizaron varios lavados de sustrato y con ello la planta podrá desarrollarse de manera favorable.



**Figura 2. Preparación del sustrato para el cultivo.**

Para obtener una 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 conseguimos que el sustrato obtuviera una CE de 1.50 dS/m el 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 bolsas de polietileno color negro las cuales tienen una capacidad de 10 L, cada bolsa fue llenada con el sustrato preparado y lavado la siembra se llevó a cabo a no más de 3 cm de profundidad, para la siembra se utilizó bicarbonato de sodio para ajustar el pH de la mezcla.

### **Riego**

En la etapa de germinación se estuvo haciendo un riego de 250 mL de agua al día de manera manual. 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  $\text{HNO}_3$  manteniéndolo en un rango de 5.5 a 6.5 medido con sensores de pH y CE para que obtuviera un mejor provecho de los riegos. 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.

### **Poda**

Se utilizó el método de poda a un solo tallo iniciando desde que la planta emitió sus primeros chupones 20 días después del trasplante 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.

### **Tutoreo**

Para el tutoreo se utilizó con 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**

La cosecha se realizó de manera manual con ayuda de unas tijeras, la primera cosecha se realizó el 30 de junio de 2021 después de ahí 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.

### **Tratamientos**

Los tratamientos fueron 10 combinaciones de magnetita y dióxido de zinc a diferentes concentraciones que presentan en el Cuadro 4; de igual manera con solución nutritiva de 100% preparadas según la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

**Cuadro 4. Tratamientos aplicados para determinar su efecto sobre las plantas de pepino (*Cucumis sativus* L) mediante su aplicación foliar.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Magnetita mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Dióxido de Zinc mg L<sup>-1</sup></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

#### **Forma de aplicación de los tratamientos**

Las NPs fueron diluidas en agua destilada para después ser aplicadas de manera foliar 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 al máximo el producto, 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**

Para determinar el 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 al destilado obtenido. Las lecturas obtenidas fueron tomadas con un medidor de pH y uno de CE y se realizaron dos veces durante todo el experimento; en una ocasión se encontró altos estos parámetros y para solucionarlos se utilizó un 1 gr de azufre agrícola.

### **Control de temperatura y humedad**

Debido a las altas temperaturas, 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, gracias a todo esto se pudo mantener una temperatura de 25 °C a 32 °C para el desarrollo de las plantas y en experimento se llevara a buen término.

### **Control de plagas y enfermedades**

Un cultivo siempre estará expuesto a todo tipo de plaga o enfermedad durante su desarrollo, aunque se encuentre en ambientes controlados y se tenga buena nutrición.

Durante el experimento se presentaron las siguientes plagas:

Pulgón. Esta plaga fue identificada a simple vista en el envés de las hojas y en las yemas tiernas con el tiempo llego 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.

Mosca blanca. La presencia de esta plaga fue de mayor impacto en el cultivo 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.

### **Cosecha**

La cosecha de los frutos 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

su cosecha, 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, se tenían que cosecharse ya que de no hacerse comienza a formarse un material gelatinoso en la cavidad que aloja a las semillas y ya no puede consumirse.

### **Variables evaluadas**

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

Diámetro del fruto (DF): de igual manera se determinó después de la cosecha utilizando un vernier tomando las medidas de fruto en 2 diámetros:

Diámetro ecuatorial (DE)

Diámetro apical (DA)

Esta variable se relaciona con la calidad del fruto, por lo que con el DA y DE se obtuvo el índice de calidad del fruto (IA) para determinar la forma del fruto.

Índice A (IA): es el DA entre el DE con la finalidad de determinar la forma de fruto y si reúne características de calidad para exportación.

#### **Variables de rendimiento**

Rendimiento de cultivo por planta (RTOPL): se determinó pesando y sumando cada uno de los frutos de cada planta en cada uno de los tratamientos.

Peso fresco total (PFTOT): esta variable se determinó en base a los pesos frescos de las hojas de cada uno de los tratamientos.

#### **Variables nutrimentales**

Extracto celular de peciolo: la concentración de nutrientes se determinó mediante la savia del peciolo se seleccionaba una hoja joven completamente desarrollada, esto se realizaba por la mañana primero se revisaba que tuviera una temperatura de 25 °C para poder obtener el peciolo y de ahí 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: nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) en el cultivo.

### **Variables agronómicas**

Peso fresco de las hojas (PFH): esta variable se determinó mediante la sumatoria del peso fresco de las hojas en cada una de las plantas en todos los tratamientos.

Peso fresco del tallo (PFT): se determinó esta variable cortando todas las hojas del tallo, para así poder pesar el tallo de cada planta en cada uno de los tratamientos.

### **Diseño experimental**

En este experimento se evaluó el efecto de NPs de magnetita y dióxido de zinc en un diseño experimental factorial en bloques al azar, en total se conformaron 5 bloques con 2 plantas en cada uno. 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

### Calidad de fruto

El diámetro apical del pepino no obtuvo efectos significativos con la aplicación de los tratamientos de NPs de magnetita (Cuadro 5); en cuanto a las aplicaciones de NPs de dióxido de zinc si hubo diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 1500 y 2250, así mismo no hubo una interacción para esta variable en la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.

**Cuadro 5. Diámetro apical, diámetro ecuatorial e índice apical del fruto en pepino (*Cucumis sativus* L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido zinc.**

Tratamiento	Dosis mg L <sup>-1</sup>	Diámetro apical Mm	Diámetro ecuatorial mm	Índice apical de fruto mm/mm
<b>Magnetita</b>	0	49.58 a	52.27 ab	0.949 a
	1000	49.58 a	52.90 a	0.945 a
	2000	49.70 a	52.30 ab	0.951 a
	3000	49.42 a	51.67 b	0.956 a
<b>Dióxido de Zinc</b>	0	49.95 ab	52.45 ab	0.952 a
	750	48.82 ab	52.48 ab	0.950 a
	1500	48.91 b	51.84 ab	0.944 a
	2250	48.53 b	51.12 b	0.950 a
	2500	50.81 a	53.27 a	0.954 a
<b>Interacción</b>		<b>P= 0.456</b>	<b>P= 0.452</b>	<b>P= 0.033</b>

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

Al momento no existe mucha información del tema de aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc en hortalizas, sin embargo, estudios realizados en nochebuena en las que se aplicó NPs de magnetita a concentraciones de 125 mgL<sup>-1</sup> 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).

No hay mucha información sobre el tema, pero estudios realizados en maíz el diámetro de plúmula se mostró raquíticas debido que representaron el menor diámetro de 2.78 mm y 1.55 mm; a diferencia de los diámetros de plúmula con NPs de dióxido de zinc arrojaron valores de 3.41 mm y 1.97 mm las cuales fueron más vigorosas (Estrada, 2018).

De acuerdo a los datos obtenidos, para el diámetro ecuatorial del pepino se tuvo una diferencia significativa con la aplicación de los tratamientos de NPs de Magnetita con 1000 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 3000 ppm (Cuadro 5); en cuanto a la aplicación de NPs de dióxido de zinc hubo diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 2250 ppm así mismo no hubo una interacción para esta variable en la aplicación de NPs de magnetita y zinc.

No existe información hasta el momento respecto al tema de aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc en el cultivo de pepino, sin embargo, estudios realizados en el cultivo de tomate en la aplicación de NPs de magnetita y a concentraciones de 1000 ppm tuvo un mayor diámetro ecuatorial (Aguilar, 2020).

Estudios realizados en higo con NPs de dióxido de zinc hubo diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo con el análisis de varianza ( $p=0.004$  y  $p=0.012$ , respectivamente), la comparación de medias por estas variables mostraron menores tamaños de fruto en el tratamiento de testigo (Azpeitia, 2022).

En cuanto al índice apical, no hubo ninguna diferencia significativa con la aplicación de tratamientos de NPs de magnetita (Cuadro 5), y en cuanto a la aplicación de los tratamientos con NPs de dióxido de zinc, de igual manera no se tuvo ninguna diferencia significativa, así mismo no hubo una interacción para esta variable.

Los resultados obtenidos indican que en general la aplicación tanto de NPs de magnetita, así como de dióxido de zinc 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.

### Rendimiento y biomasa

El rendimiento total por planta en el cultivo de pepino no obtuvo una diferencia significativa con la aplicación de los tratamientos de NPs de magnetita, aunque en cuanto a las aplicaciones de NPs de dióxido de zinc hubo diferencia significativa con 2500 ppm en comparación con las dosis aplicadas de 750 y 1500 (Cuadro 6). En esta variable si hubo una interacción en la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.

**Cuadro 6. Rendimiento total por planta, peso fresco total y eficiencia de cosecha en pepino (*Cucumis sativus* L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.**

Tratamiento	Dosis mg L <sup>-1</sup>	Rendimiento de fruto G	Peso Fresco total g	Eficiencia de cosecha g/g
Magnetita	0	8558.4 a	707.6 a	26.41 a
	1000	8530.4 a	686.7 a	29.36 a
	2000	9120.8 a	724.1 a	27.58 a
	3000	9139.3 a	712.3 a	28.47 a
Dióxido de Zinc	0	8868.8 ab	711.1 a	27.18 a
	750	8496.4 b	695.6 a	28.22 a
	1500	8498.2 b	714.5 a	26.77 a
	2250	8810.0 ab	679.8 a	29.32 a
	2500	9540.6 a	732.2 a	28.43 a
<b>Interacción</b>		<b>P= 0.047</b>	<b>P= 0.174</b>	<b>P= 0.126</b>

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

No se cuenta con mucha información sobre la aplicación de NPs de magnetita 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 magnetita se aplicó en concentraciones de entre 50 y 1000 ppm, superándolo en un 7.1 % y 11.9% respectivamente (Aguilar, 2020).

Estudios realizados en fresa con aplicación de NPs de dióxido de zinc tuvo un aumento del 47% y 37% de rendimiento, pero no fue significativa estadísticamente; con los resultados mencionados, se sugiere que para tener un mayor rendimiento y las NPs de dióxido de zinc tenga un efecto positivo deben ir acompañadas con 4500 ppm de maltodextrina (Vargas, 2022).

De acuerdo a los datos obtenidos, el peso fresco total no tuvo ninguna diferencia significativa con la aplicación de los tratamientos de NPs de magnetita en tanto que las aplicaciones de NPs de dióxido de zinc tampoco se presentó efecto significativo y no hubo una interacción para esta variable entre la aplicación combinada de NPs de magnetita y dióxido de zinc (Cuadro 5).

En un estudio realizado con NPs de magnetita en flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherima*), las plantas con de 0 mgL<sup>-1</sup> en forma de drench y 250 mgL<sup>-1</sup> en forma foliar tuvieron un mayor peso fresco total, lo que quiere decir que a 250 mgL<sup>-1</sup> de los tratamientos aplicados en el estudio realizado con magnetita tuvieron mayor resultado, ya que estas se absorben mejor de manera foliar que vía drench (Fuentes, 2021).

El índice de eficiencia de cosecha mide los kilogramos de fruto producidos por cada kilogramo de biomasa producido. En este caso, no hubo ninguna diferencia significativa con la aplicación de NPs de magnetita de igual manera tampoco tuvo ninguna diferencia significativa con la aplicación de NPs de dióxido de zinc ni interacción entre la aplicación de ambas NPs (Cuadro 5).

En un estudio realizado en el cultivo de tomate el rendimiento de fruto de las plantas con NPs de magnetita aplicada en drench a una dosis de 1000 ppm fue 14% superior al de las plantas control (Fuentes, 2021). La aplicación de magnetita en el suelo tiene efectos positivos en el cultivo de cacahuate (*Arachis hypogaea*) 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).

En un estudio realizado con NPs de dióxido de zinc en pepino se observó el comportamiento del rendimiento de fruto en relación a las 5 semana 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 disminuyo la eficiencia de cosecha (Hernández, 2022).

### Respuestas vegetativas

En el Cuadro 7 se muestran los resultados para peso fresco de hojas por la aplicación de magnetita en sus diferentes dosis, donde se observa que no hubo ninguna diferencia significativa, mientras que en cuanto a la aplicación de NPs de dióxido de zinc tampoco se presentó efecto significativo, aunque si hubo una interacción para esta variable en la aplicación combinada de NPs de magnetita y dióxido de zinc.

**Cuadro 7. Peso fresco en hojas y tallo en pepino (*Cucumis sativus* L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.**

Tratamiento	Dosis mg L <sup>-1</sup>	Peso fresco de hojas G	Peso fresco de tallo g
<b>Magnetita</b>	0	326.84 a	380.74 a
	1000	302.81 a	383.90 a
	2000	334.00 a	390.14 a
	3000	325.30 a	387.00 a
<b>Dióxido de Zinc</b>	0	330.43 a	380.69 a
	750	313.83 a	381.80 a
	1500	321.31 a	393.15 a
	2250	302.80 a	377.00 a
	2500	336.78 a	395.38 a
<b>Interacción</b>		<b>P= 0.047</b>	<b>P= 0.116</b>

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

No se encuentra hasta el momento información al respecto sobre la aplicación de NPs de magnetita, sin embargo, estudios realizados en nochebuena se aplicó magnetita y

a  $250 \text{ mgL}^{-1}$  en forma foliar se tuvo un peso fresco mayor total, lo que quiere decir que se tuvo un mayor resultado pues las NPs de magnetita se absorben mejor de manera foliar (Fuentes, 2021).

Datos obtenidos en un estudio realizado en el cultivo de fresa se puede afirmar que las NPs de dióxido de zinc no afectan en el crecimiento de la planta, este estudio coincide con (Zhao, 2013), en la aplicación de NPs de dióxido de zinc a 0, 400 y 800 mg/kg no afecto en el crecimiento de la planta de pepino; las NPs de dióxido de zinc donde hubo una relevancia de un 24% en el peso fresco de la planta en la dosis de 1000 ppm, pero no fue estadísticamente significativamente (Vargas, 2022).

Para el peso fresco del tallo no hubo ninguna diferencia significativa en la aplicación de NPs de magnetita (Cuadro 8); la aplicación de NPs de dióxido de zinc tampoco tuvo diferencia significativa y de igual manera no hubo una interacción para esta variable.

En un estudio realizado en nochebuena con la aplicación de NPs de magnetita a una dosis de  $0 \text{ mg L}^{-1}$  y  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de manera foliar se obtuvo mayor peso fresco en el tallo a diferencia de una dosis de  $0 \text{ mg L}^{-1}$  en drench y  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de forma foliar ya que esta fue la dosis más alta aplicada de forma foliar (Fuentes, 2021)

Con la aplicación de NPs de magnetita en el cultivo de tomate no afectó el diámetro de tallo, siendo que no hubo diferencia entre las soluciones nutritivas, aunque la interacción no fue significativa, se observó que en la planta sin suplemento de Fe a través de la SN logran igualar el diámetro de tallo solo cuando se les aplicó NPs de magnetita en dosis de 100 y 1000 ppm (Aguilar, 2020).

Hasta el momento no hay mucha información sobre el tema, pero estudios realizados en Chile habanero el comportamiento en el desarrollo del diámetro del tallo fue similar al de la altura de la planta, las NPs de dióxido de zinc a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  promovieron el crecimiento del tallo; cabe mencionar que los incrementos obtenidos superaron en 8.3%, 10.7% y 27.9% al tratamiento de control (García, 2019).

### **Estatus nutrimental del peciolo**

Los  $\text{NO}_3^-$  no mostraron efecto significativo con la aplicación de magnetita mientras que las aplicaciones de NPs de dióxido de zinc si hubo una diferencia significativa con 2250

ppm en comparación con las dosis aplicadas con 750 ppm (Cuadro 8); así mismo, hubo interacción para esta variable por el efecto combinado de la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.

La concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el extracto celular de peciolo indica el estado nutrimental de la planta como respuesta a diferentes condiciones del medio de crecimiento, son un indicador de la disponibilidad de  $\text{NO}_3^-$  a partir del peciolo. (Ramírez, 2019). Nitratos aplicados en el cultivo de fresa con NPs de dióxido de zinc las determinaciones de nitrógeno no obtuvieron diferencias significativas estadísticamente (Vargas,2022)

**Cuadro 8. Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) en pepino (*Cucumis sativus* L) en respuesta a la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b> <b>mg L<sup>-1</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> <b>mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Ca<sup>++</sup></b> <b>mg L<sup>-1</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>++</sup></b> <b>mg L<sup>-1</sup></b>
<b>Magnetita</b>	0	5841.2 a	1352.9 a	4.37 a
	1000	5330.0 a	1330.0 a	4.09 a
	2000	5960.0 a	1410.0 a	4.31 a
	3000	5611.1 a	1422.2 a	3.96 a
<b>Dióxido de Zinc</b>	0	5766.7 ab	1333.3 a	4.42 a
	750	5200.0 b	1390.0 a	3.77 a
	1500	5977.8 ab	1422.2 a	4.26 a
	2250	6120.0 a	1420.0 a	4.33 a
	2500	5625.0 ab	1350.0 a	4.20 a
<b>Interacción</b>		<b>P= 0.049</b>	<b>P= 0.377</b>	<b>P= 0.024</b>

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

En un estudio realizado se observó que las plantas de pepino desarrolladas en un ambiente con HR al 35% expresaron una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$ , sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{K}^+$ , aunque el  $\text{NO}_3^-$  tendió a aumentar entre mayor fue la concentración de la solución nutritiva. La absorción de  $\text{NO}_3^-$  disminuyó cuando la concentración de la solución nutritiva fue baja y aumento

cuando la concentración fue alta, lo cual pudo estar asociado la baja concentración de nutrimentos en la solución nutritiva (Hernández, 2022).

Los datos del Cuadro 8 muestran que para el  $\text{Ca}^{++}$  la aplicación de magnetita no hubo efecto significativo mientras que en cuanto a la aplicación de dióxido de zinc tampoco presento ninguna diferencia significativa. De igual manera no hubo una interacción para esta variable en la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc.

Se ha reportado que en las membranas y en la pared celular, localizados extracelularmente (fuera de la célula), se absorben la mayor parte del  $\text{Ca}^{++}$ , un elemento que ayuda a aumentar la resistencia mecánica de los frutos y estimula el desarrollo de las hojas y raíces (Fuentes, 2021).

En un estudio realizado por Pereira (2011) se encontró que uno de los órganos más demandante en  $\text{Ca}^{++}$  fueron las hojas, absorbiendo 1% en la etapa vegetativa, 5% en la etapa de floración y un 94% en la etapa de fructificación y cosecha; el  $\text{Ca}^{++}$  le brinda mayor firmeza al fruto y a los tallos de las plantas, además de que incrementa la transpiración y reduce la absorción del agua. La aplicación de NPs de dióxido de zinc en fresa el mayor aumento que se obtuvo de los distintos tratamientos fue de un 19% en las determinaciones de  $\text{Ca}^{++}$ , sin embargo, no hubo diferencias significativas estadísticamente entre estos (Vargas,2022)

De acuerdo a los datos obtenidos, para el balance entre  $\text{NO}_3^-$  con el  $\text{Ca}^{++}$  no hubo diferencia significativa con la aplicación de magnetita mientras que las aplicaciones de dióxido de zinc tampoco hubo una diferencia significativa, pero si hubo interacción para esta variable (Cuadro 8).

Hasta el momento no se cuenta con información en la aplicación de NPs de magnetita de manera foliar, sin embargo, estudios realizados en la planta de albahaca dulce (*Ocimum basilicum*) se informa que la aplicación foliar de magnetita se estimuló la síntesis de clorofila y carbohidratos, así mismo se notó un aumento de crecimiento en la planta de igual manera se tuvieron resultados en el aumento de biomasa y generación de aceite esencial, por la formación de complejos de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . En este mismo estudio se observó que la aplicación de magnetita aplicadas de manera foliar en

plantas de calabaza (*Cucurbita pepo*) a una concentración de 250 y 500 mgL<sup>-1</sup> fueron óptimas para mejorar el contenido de biomasa y aumentar la clorofila (Elfeky *et al.*, 2013). Al hacer la aplicación de NPs de dióxido de zinc a 1000 ppm en fresa se da una disminución del 75% en el balance de N/Ca<sup>++</sup>, sin embargo, no obtuvo una diferencia significativa, al aplicar 1000 ppm de NPs de dióxido de zinc y 1500 ppm de maltodextrina disminuyó un 69% en cual fue significativo estadísticamente (Vargas,2022).

## CONCLUSIONES

La aplicación de NPs de magnetita vía foliar resultó en un aumento en el crecimiento y biomasa de la planta de pepino. Con la aplicación de NPs de zinc hubo diferencia significativa en las variables de diámetro apical, diámetro ecuatorial, rendimiento total por planta y  $\text{NO}_3^-$ .

De igual manera hubo interacción en la aplicación de NPs de magnetita y dióxido de zinc en rendimiento total por planta,  $\text{NO}_3^-$ , interacción de  $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{++}$ , y peso seco en hojas.

Con los datos obtenidos hubo más diferencias significativas con la aplicación de NPs de zinc que con la aplicación de NPs de magnetita; estas observaciones nos comprueban el aumento en la producción de biomasa está ligado a un mayor rendimiento en el cultivo.

## LITERATURA CITADA

**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. pp. 23-31.

**Arias**, S. 2007. Manual de producción de pepino. Agency International Development. La Lima, Honduras. Vol. 3. pp. 31.

**Azpeitia**, C. H. 2022. Evaluación de nanopartículas de ZnO sobre la calidad de higo (*Ficus carica* L) producido en dos densidades en invernadero. Tesis de Maestría. Maestro en Ciencias de Producción Agrícola. Universidad de Autónoma de Nuevo León. pp. 35

**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 4 de abril 2023.

**Bastida**, O. A., 2022. Estadísticas Mundiales de Producción de Pepino. Blog Agricultura. Obtenido de <https://blogagricultura.com/estadisticas-pepino-produccion/>. Consultado el 2 de abril 2023.

**Bathia**, M. 2021. Development of ketoprofen-p-aminobenzoic acid co-crystal: formulation, characterization, optimization, and evaluation. Magazine Research Square. Guru Jambheshwar University of Science and Technology. Vol. 1. pp 1-29

**Caicedo**, L. 1993. Calidad morfológica y fisiología de los pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 9. pp. 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. pp. 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 6 de abril 2023.

**Cruz**, C. J. A., Monge, P. J. E., 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. pp. 8.

**Cruz**, G. B. 2015. Efecto de la aplicación de biofertilizantes y fosfitos de potasio durante cultivo y un recubrimiento de poli (acetato de vinilo – co - alcohol vinílico) sobre la calidad y vida poscosecha de pepino (*Cucumis sativus* L). Tesis de maestría. Ciencias Agropecuarias y Biotecnología. Centro de Investigación en Química Aplicada. pp. 87.

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

**Elfeky**, S. A., Mohammed, M. A., Khater, M. S., Osman, Y. A., Elsherbini, E. 2013. Effect of magnetite nano-fertilizer on growth and yield of *Ocimum basilicum* L. Int. J. Indigenous Med. Plants. Vol. 5. pp. 1286–1293.

**Estrada**, U. J. 2018. Influencia de las nanopartículas de dióxido de zinc sobre la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla de maíz nativo (*Zea mays* L). Tesis de Licenciatura. Ingeniero agrónomo. Universidad Autónoma De Guerrero. pp. 43.

**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 7 de abril 2023.

**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.

**Gálvez,** H. F. 2004. El cultivo de pepino en invernadero. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero, 2a ed. R J Castellanos. INTAGRI. Celaya, Guanajuato. México. pp. 282-293.

**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.

**Gámez,** E. 2017. Calidad física y sensorial de pepino orgánico (*Cucumis sativus* L) encerado. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Vol. 18. pp. 1-11.

**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.

**Gómez,** M. 2021. Los bioestimulantes una potente alternativa para mejorar la producción de caña de azúcar. Revista ATAM. Vol. 33. pp. 1-34.

**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. pp. 261-269.

**Hernández, G. R.** 2022. Influencia de 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. 62.

**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.

**HORTO INFO.** 2022. Récord de ingresos en la exportación española de pepino de 2022, gracias al mejor precio de la década. Obtenido de <https://hortoinfo.es/record-ingresos-exportacion-espanolapepino/#:~:text=En%202022%20Espa%C3%B1a%20ingres%C3%B3%20942,de%201'36%20%E2%82%AC%2Fkg>. Consultado el 10 de abril 2023.

**HORTO INFO.** 2023. Todo sobre el cultivo de pepino. Diario Digital de Actualidad Hortofrutícola. Obtenido de <https://hortoinfo.es/informe-todo-sobre-el-cultivo-del-pepino/>. Consultado el 11 de abril 2023.

**InfoAgro.** 2016. Sistemas de cultivo sin suelo. Obtenido de <https://mexico.infoagro.com/sistemas-de-cultivo-sin-suelo/>. Consultado: 12 de marzo 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: 14 de marzo 2023.

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

**Jamal, A.** 2005. Playing to win: An explorative study of marketing strategies of small ethnic retail entrepreneurs in the UK *Journal of Retailing and Consumer Services*. *Revista de venta minorista y servicio al consumidor*. Vol. 12. pp. 1-13.

**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. pp. 39-285.

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

**López**, E. 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. Revista Idesia, Arica. Vol. 29. pp. 21-27.

**Maldonado**, Y. 2021. Magnetita, significado, características y usos. GeologiaWeb. Universidad Central de Ecuador. Obtenido de <https://geologiaweb.com/minerales/magnetita/>. Consultado el 20 de marzo 2023.

**Maroto**, J. V. 1995. Horticultura herbácea especial. Mundi –Prensa. Manual de Producción de Pepino Bajo Invernadero. pp. 611.

**Mendoza**, H., Christian, S., Rincón, E. G. 2019. Densidad de microorganismos en rizósfera de limón mexicano con HuangLongBing e inoculado con hongos micorrízicos arbusculares y bacterias benéficas en invernadero. Terra Latinoamericana, Vol. 37. Pp. 379-389.

**Noboa**, T., Tarquino, L., Ramos, F., 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

**Oerke**, E.C., Weber, A., Dehne, D.W., Schönbeck, F. 1994. Crop Production and Crop Protection – Estimated Losses in Major Food and Cash Crops, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp. 742.

- 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 20 de abril 2023.
- Peña, P.** 1992. Cultivo de pepino. Fundación de Desarrollo Agropecuario. Boletín técnico N° 15. Santo Domingo, Rep. Dominicana. pp. 19.
- Pereira, M. C.** 2011. Sistemas de producción vegetal II. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - Managua – Nicaragua. pp. 1-148.
- Pilon, E., Quinn, C., Tapken, W., Malagoli, M. y Schiavon.** 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*. Vol. 12. pp. 267-274.
- Qureshi, R. G.** 2010. Ethnomedical uses of herbs from northern part of Nara desert, Pakistan. pp. 839-851.
- Ramírez, V. C.,** 2019. Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Revista Tecnología en Marcha*. Vol. 32. pp. 34-56
- Rivera, R., Preciado, P., Fortis, M., Betancourt, R.** 2018. Nanopartículas de dióxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad del melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 12. pp. 1-13.
- Romero, C. J.** 2017. El zinc en las plantas. *Revista ciencia*. Vol. 68. pp. 28-35.
- 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. pp. 46.

- SIAP.** 2020. Panorama Agroalimentario 2020. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentariorome-258035>. Consultado el 21 de abril 2023.
- Sierra, E.** 2005. El cultivo del pepino. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. Revista Colombiana. Vol. 23. pp. 13.
- Siller, C.** 2000. Análisis de la Horticultura en México. Productores de Hortalizas. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27. pp. 8-12.
- Siva, K. S.** 2013. Synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles. International Journal of Research in Applied and Basic Medical Sciences. Vol. 6. pp. 45-50.
- Srivastava, A.** 2006. Empowering Leadership in Management Teams: Effects on Knowledge Sharing, Efficacy, And Performance. The Academic of Management Journal. Vol. 12. pp. 1239- 1251.
- Sturikova, H.** 2018. Zinc, zinc nanoparticles and plants. Journal of Hazardous Materials. Vol. 349. pp. 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.
- 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. pp. 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.
- ULSA.** 2010. Pepino en Invernadero. Revista Internacional Universo. Universidad De La Salle Bajío. Vol. 2. pp. 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.

**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. pp. 157-165.

**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.