

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación de Nanopartículas de Zinc Ferrita en el Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

SUSANA ELIZABETH CALPULALPAN ESPINOSA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación de Nanopartículas de Zinc Ferrita en el Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

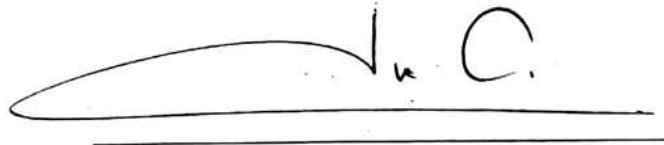
SUSANA ELIZABETH CALPULALPAN ESPINOSA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



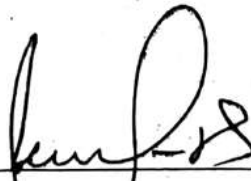
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



M.C. Etelberto Cortez Quevedo
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Marzo, 2023

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



Susana Elizabeth Calpulalpan Espinosa

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Gracias señor por acompañarme en cada paso que doy, guiándome siempre por un buen camino y permitiéndome terminar este gran logro que suma a las maravillosas experiencias que la vida me ha regalado.

A Mis Padres

Por su gran esfuerzo durante tantos años para que su pequeña cumpliera sus sueños, por todo el apoyo y cariño que siempre me dan, toda la motivación y aquellas conversaciones que para mí son de las mejores enseñanzas que me pueden regalar, por esto y mucho más gracias.

A Mis Asesores de Tesis

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, Dra. Daniela Alvarado Camarillo y M.C. Etelberto Cortez Quevedo, gracias por permitirme la oportunidad de trabajar con ustedes, fue un honor y les agradezco de corazón todo el apoyo y aprendizaje recibido de su parte.

A Mi Alma Terra Mater

Gracias infinitamente a mi alma mater por todas las enseñanzas adquiridas en tus aulas, por las más increíbles amistades que me regalaste, y por todas las experiencias que me formaron para ser lo que soy hoy en día.

DEDICATORIA

A Mis Padres Elizabeth Espinosa Saucedo y José Diego Calpulalpan Crispín

Este gran logro se los dedico a ustedes mis padres, por todo el esfuerzo que tuvieron que hacer durante años para que yo pudiera lograr mi sueño, y sé que no ha sido tan fácil ni para ustedes ni para mí pero gracias a su amor incondicional hoy estoy aquí. Gracias por estar junto a mí en cada paso que doy, los amo con todo mi corazón.

A Mis Hermanos Amayrany Calpulalpan Espinosa y Jair Calpulalpan Espinosa

Gracias por todo su apoyo incondicional, sé que el cariño de hermanos es tan lindo y puro que a pesar de todo siempre me han demostrado que juntos podemos lograr grandes cosas, los amo infinitamente.

A Mis Sobrinos Diego, Abraham, Julieta y Romina

Mis amores ustedes son una de mis principales motivaciones para que yo pudiera lograr este merito, gracias por hacerme tan feliz y darle mucha alegría a mi vida.

A Mis Amigos

Omar, Alejandro, Rodolfo y Ángel

Gracias amigos por todas las aventuras que pasamos juntos, de verdad que para mí ustedes se convirtieron en mi familia, los quiero mucho chicos y les deseo mucho éxito a todos. Esperare con ansias un reencuentro de todos juntos.

Ana, Francisco, Jazmín y Emmanuel

Gracias amigos por el apoyo que recibí de su parte, me da gusto haber coincidido con personas tan lindas como ustedes, les deseo el mejor de los éxitos en la vida.

Alexia y Brandon

Gracias a ustedes mis mejores amigos por siempre darme muchos ánimos y sacarme muchas sonrisas, los quiero muchísimo.

A Harry Styles y Alex Quackity que me hacen muy feliz.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo general	3
1.1.1	Objetivos específicos	3
1.2	Hipótesis	3
2	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	Origen del cultivo	4
2.2	Clasificación taxonómica	4
2.3	Descripción morfológica	4
2.4	Etapas fenológicas.....	5
2.5	Importancia.....	5
2.6	Producción mundial.....	5
2.7	Producción nacional	5
2.8	Sistemas hidropónicos.....	6
2.9	Sustrato.....	6
2.10	Suelo	6
2.11	Marco de plantación.....	7
2.12	Requerimientos hídricos	7
2.13	Fertilización	7
2.14	Temperatura	8
2.15	Humedad relativa	8
2.16	Radiación	8
2.17	Tutorado y podas	8
2.18	Plagas.....	9
2.19	Enfermedades	9
2.20	La nanotecnología.....	10
2.21	Aplicaciones en la agricultura	10
2.22	Nanofertilizantes	11
2.23	Nanoplaguicida	12

2.24	Nanosensores	12
2.25	Aplicaciones de las nanopartículas.....	12
3	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1	Ubicación experimental	15
3.2	Material vegetal	15
3.3	Manejo del cultivo	15
3.3.1	Siembra.....	15
3.3.2	Riego.....	15
3.3.3	Podas	16
3.3.4	Tutoreo.....	16
3.4	Cosecha	16
3.5	Fertilización	16
3.6	Manejo de plagas y enfermedades	17
3.7	Tratamientos a evaluar	17
3.8	Variables de respuesta	17
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1	Rendimiento	21
4.2	Curvatura del fruto.....	22
4.3	Sólidos solubles totales	23
4.4	Otras variables de calidad del fruto.....	25
4.5	Contenido de potasio en el fruto	25
4.6	Otras variables nutrimentales en frutos y pecíolos	27
4.7	Diámetro basal del tallo	27
4.8	Otras variables de crecimiento vegetativo	28
5	CONCLUSIONES.....	30
6	LITERATURA CITADA	31

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino	4
Cuadro 2. Etapas fenológicas del pepino	5
Cuadro 3. Tratamientos para evaluar el efecto de nanopartículas de zinc ferrita en cultivo de pepino	15
Cuadro 4. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino para variables de calidad en el fruto.....	21
Cuadro 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino para variables nutrimentales en frutos y pecíolos.....	27
Cuadro 6. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino para variables de crecimiento.....	29

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura..... **11**
- Figura 2.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el rendimiento de fruto en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$ **22**
- Figura 3.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) para curvatura del fruto. Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$ **23**
- Figura 4.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) para sólidos solubles totales en el fruto. Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$ **21**
- Figura 5.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en la concentración de potasio en los frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$ **26**
- Figura 6.** Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) para diámetro basal del tallo. Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$ **28**

RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo de alta importancia económica debido a su elevada demanda en el mercado; sin embargo, la producción de este cultivo genera un alto consumo de productos químicos como fertilizantes y pesticidas que ocasionan daños al medio ambiente. Estos problemas podrían disminuir con la aplicación de nanopartículas que ayuden a la absorción de fertilizantes y pesticidas.

Las nanopartículas son partículas con dimensiones menores a 100 nanómetros que son utilizadas en diferentes áreas y en los últimos años ha entrado en el ámbito agroalimentario con el fin de reducir insumos y a su vez reducir la contaminación.

En siguiente experimento se realizó con el fin de determinar los efectos de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita sobre el rendimiento y calidad del cultivo de pepino, se manejaron cuatro tratamientos durante este experimento donde el tratamiento 1 era el control, en el que no se aplicó ninguna concentración de zinc ferrita, y para los demás tratamientos se manejaron como T2= 100 ppm, T3= 500 ppm, y T4= 1000 ppm. Las aplicaciones que se realizaron fueron vía foliar en un periodo de cada 15 días.

La aplicación de nanopartículas de zinc ferrita a alta concentración de 1000 ppm causaron una estimulación favorable en la producción, por lo que se obtuvieron estadísticas significativas en rendimiento del cultivo, el cual incrementó un 9.2 % en comparación del control. Aunque hubo variables en las que no se encontró diferencia significativa se pudo observar que la mayoría de estas iban en tendencia de crecimiento conforme el tratamiento tenía mayor concentración de nanopartículas, por lo que se espera que en futuras investigaciones el uso de zinc ferrita sea más utilizado para poder comparar sus resultados en diferentes cultivos.

Palabras clave: Pepino, nanotecnología, nanopartículas, zinc ferrita

ABSTRACT

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a crop of high economic importance due to its high market demand; however, the production of this crop generates a high consumption of chemical products such as fertilizers and pesticides that cause damage to the environment. These problems could be reduced with the application of nanoparticles that help the absorption of fertilizers and pesticides.

Nanoparticles are particles with dimensions of less than 100 nanometers that are used in different areas and in recent years have entered the agri-food field in order to reduce inputs and in turn reduce pollution.

The following experiment was conducted in order to determine the effects of foliar application of zinc ferrite nanoparticles on the yield and quality of the cucumber crop, four treatments were used during this experiment where treatment 1 was the control, in which no concentration of zinc ferrite was applied, and the other treatments were managed as T2= 100 ppm, T3= 500 ppm, and T4= 1000 ppm. The applications were made via foliar application every 15 days.

The application of zinc ferrite nanoparticles at high concentrations of 1000 ppm caused a favorable stimulation in production, which resulted in significant differences in crop yield, which increased by 9.2% compared to the control. Although there were variables in which no significant difference was found, it could be observed that most of these were in growth trend as the treatment had a higher concentration of nanoparticles, so it is expected that in future research the use of zinc ferrite will be more widely used to compare their results in different crops.

Key words: cucumber, nanotechnology, nanoparticles, zinc ferrite

1 INTRODUCCIÓN

El pepino es un cultivo de alta importancia económica que ha incrementado en los últimos años y su consumo en fresco o procesado cada vez es mayor por lo que se requieren de nuevas tecnologías que permitan un incremento en la producción del cultivo con menor uso de insumos (Alejo *et al.*, 2021).

En la agricultura a partir de la revolución verde se ha generado un incremento en la producción de cultivos, lo que ha aumentado el uso de fertilizantes químicos y una sobreexplotación del ecosistema (Faria *et al.*, 2021).

El incremento en la población mundial proyecta que en 2050 la producción agrícola aumente un 60% respecto al 2005 (Kah *et al.*, 2018). El incremento de la producción tiene poco consenso para lograrse por medios sostenibles, por lo que en los últimos años se implementó la aplicación de nanotecnologías para obtener un mejor uso de los recursos reduciendo un impacto negativo en los ecosistemas (Kah *et al.*, 2018).

La nanotecnología es un campo en el que se incluyen diversos procesos, aplicaciones y materiales a escalas nanométricas, que se utilizan en el incremento de la relación superficie-volumen de los materiales, que bien proporcionan avances en medicina, cosmética, electrónica y más recientemente en la agricultura (Mattiello y Marchiol, 2017). Se define a la nanociencia como el estudio de fenómenos y empleo de materiales con dimensiones de 1 a 100 nanómetros. La industria, el gobierno y la ciencia han encontrado un gran potencial del uso de nanociencia en los sectores de alimentación y agricultura para la obtención de alimentos de mayor calidad, por lo que se está llevando a cabo un incremento de proyectos de investigación sobre el tema (Rai *et al.*, 2015).

La aplicación de nanopartículas como los nanofertilizantes en la agricultura surge como un método eficaz para mejorar prácticas agrícolas ya que el uso de nanopartículas reduce la pérdida de nutrientes en cuanto a fertilización, disminuye las aplicaciones de productos fitosanitarios, e incrementa los rendimientos al

optimizar los nutrientes adecuadamente (García *et al.*, 2017). Los nanofertilizantes contienen polímeros encapsulados con promotores de crecimiento y son materiales de liberación lenta y selectiva. A comparación de fertilizantes químicos, los nanofertilizantes son de menor costo y se requiere en menor cantidad (Rameshaiah *et al.*, 2015). Los nanofertilizantes entran a la planta mediante aplicaciones foliares o mediante su sistema radicular (Kolenčík *et al.*, 2020).

En los próximos años los productos con nanopartículas se incrementaran, ya que algunos estudios realizados demuestran los efectos beneficiosos que aportan a ciertos sectores aplicados (Mattiello y Marchiol, 2017).

El uso de agroquímicos tradicionales ocasiona un alto problema ambiental al no utilizarse adecuadamente la cantidad requerida de productos, por lo que la nanotecnología desarrollaría nanorecubrimientos de agroquímicos que evitan su degradación y lixiviación por lo que la planta los tomaría de manera garantizada sin ser desperdiciados y sin ocasionar tanto daño al medio ambiente (Echevarría, 2019).

En la agricultura las nanopartículas metálicas presentan un modo de acción contra plagas, lo cual beneficia a la industria agrícola al disminuir los daños causados por estos patógenos (Rivas y Torres, 2021).

Por lo anteriormente expuesto es imperioso realizar nuevos estudios sobre la aplicación de nanopartículas con el fin de utilizar los recursos ambientales de una forma adecuada y responsable donde la industria agroalimentaria pueda favorecer la producción de un cultivo con ayuda de estos materiales. De igual forma la inexistente información sobre el uso de nanopartículas de zinc ferrita ($ZnFe_2O_4$) de forma foliar en un cultivo como lo es pepino, condujo a realizar este arduo experimento para responder ciertas dudas sobre el uso de las mismas, por lo que se definieron los siguientes objetivos.

1.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta del cultivo de pepino a la aplicación de nanopartículas de zinc ferrita.

1.1.1 Objetivos específicos

Determinar la dosis optima de nanopartículas de zinc ferrita para incrementar el rendimiento y la calidad de frutos de pepino.

Determinar el crecimiento vegetativo de plantas de pepino en función de las dosis de nanopartículas aplicadas.

Determinar que las aplicaciones de nanopartículas no afecten la producción o calidad del cultivo.

1.2 Hipótesis

La aplicación de nanopartículas de zinc ferrita incrementa el rendimiento en la producción de pepino sin afectar la calidad o el crecimiento vegetativo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del cultivo

El origen del pepino (*Cucumis sativus* L.) se considera fue de Asia y África, donde el fruto se consumía desde hace más de 3000 años. En el año 100 AC fue introducido a China, para el siglo IX a Francia y en el año 1327 el cultivo comenzó a extenderse por Inglaterra, posteriormente el cultivo se esparciría a Estados Unidos y finalmente llegaría a México (Piña, 2021).

2.2 Clasificación taxonómica

En el Cuadro 1, se muestra la clasificación taxonómica del cultivo de pepino (Benítez, 2022).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Violales
Familia	Cucurbitácea
Género	<i>Cucumis</i>
Especie	<i>sativus</i>

2.3 Descripción morfológica

La planta de pepino es una especie herbácea anual con raíz pivotante, su tallo es rastrero, trepador y espinoso, y en cada nudo surge una hoja y zarcillos simples, sus hojas son simples, de limbo acorazonadas y pubescentes. Las flores son monoicas y se sitúan en las axilas de las hojas, su fruto es recto, cilíndrico y con un tamaño aproximado de 20 cm de largo y 4 cm de ancho (Callizaya, 2015).

2.4 Etapas fenológicas

Zambrano (2015), menciona que el pepino es de ciclo corto y dependiendo de la variedad, sus necesidades y etapas fenológicas también cambian, pero por lo general la mayoría presenta su ciclo de la forma indicada en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Etapas fenológicas del pepino (Zambrano, 2015).

Emergencia	4 – 6 días
Inicio de emisión de guías	15 – 24 días
Inicio de floración	27 – 34 días
Inicio de cosecha	43 – 50 días
Fin de cosecha	75 – 90 días

2.5 Importancia

El pepino es un cultivo de alta importancia ya que se considera de alto potencial económico al ser un producto de exportación pues se consume tanto fresco como industrializado (González *et al.*, 2018).

2.6 Producción mundial

En los últimos años la producción de pepino ha incrementado notoriamente. En el mundo se cultivan alrededor de 1.8 millones de hectáreas de pepino y el principal productor es China con un 59% de la producción mundial (Rosado, 2013). En 2018 se obtuvieron 80,646,131.0 t de pepino en el mundo, China ocupó el puesto número uno de producción con 61,949,091.0 t, Rusia con 1,992,968.0 t en segundo lugar y Turquía en tercer lugar con 1,811,681.0 t. México no tenía uno de los tres primeros lugares pero se encuentra en el séptimo puesto con 886,270.0 t (Piña, 2021).

2.7 Producción nacional

El pepino es una hortaliza de alto potencial económico, puesto que en México es uno de los cultivos más importantes de la producción debido a su alta demanda en mercado nacional e internacional, con una producción de más de 700 mil t/año.

México tiene destinadas 16 mil hectáreas para su producción y entre los principales estados productores se encuentra Michoacán, Sinaloa, Baja California y Veracruz (Figueroa y Espinosa, 2020). El consumo anual per cápita de este cultivo es de 2.4 kg (Villareal, 2022).

2.8 Sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos sustituyen a los suelos con materiales como sustratos u otros y utilizan soluciones nutritivas enriquecidas de los minerales que los cultivos requieren para desarrollarse. Esta técnica permite un mejor control de factores como humedad, nutrición y oxigenación para el cultivo (Sánchez, 1982).

Para que un cultivo de pepino crezca adecuadamente y sin limitaciones en un sistema hidropónico, la solución nutritiva debe encontrarse en rangos como pH entre 5.5 a 6.5, conductividad eléctrica de 1.5 a 3 dS m⁻¹, también se debe balancear adecuadamente los nutrientes evitando antagonismos y deben aportarse de forma asimilable para la planta (Del Castillo y Pérez, 2017).

El sistema hidropónico en pepino hace uso de material vegetal indeterminado para dejarlo crecer a una altura de hasta 3 metros, donde se puede alcanzar un rendimiento promedio entre 150 a 300 t/h en un ciclo de 6 a 7 meses (Ortiz *et al.*, 2009).

2.9 Sustrato

Galindo *et al.* (2014), argumentan que el manejo del sustrato vermicomposta más arena permite un adecuado crecimiento del cultivo de pepino sin afectar significativamente el rendimiento, y a su vez reducir la aplicación de fertilizantes químicos, con lo que podría disminuir el consumo de recursos naturales no renovables que se consumen diariamente para la producción.

2.10 Suelo

Según Chávez (2015), los suelos ideales para el pepino son los franco-arenosos, ya que presentan características como suelos sueltos con un buen drenaje y un pH de entre 5.5 a 7 por lo que el pepino se adapta fácilmente a ellos. Una alta

salinidad en el suelo puede ocasionar plantas de lento crecimiento, hojas pequeñas de color oscuro y frutos con malformaciones, por lo que se tiene que tomar en cuenta la salinidad ya que el pepino es moderadamente tolerante pero un exceso podría ser dañino para la planta (Chávez, 2015).

2.11 Marco de plantación

La distancia entre hileras y plantas varían según la variedad sembrada, para un pepino Persa es ideal una distancia de 30 cm a 40 cm entre plantas y con 1.2 m a 1.5 m entre hileras, con una densidad de 3 a 4 plantas por m², mientras que para un pepino Europeo y Americano la densidad ideal es de 1.5 a 2 plantas por m² (Zamora, 2017).

2.12 Requerimientos hídricos

Romero *et al.* (2009), mencionan que el requerimiento hídrico para el pepino es de 260 mm durante su ciclo y conforme avanza de etapa fenológica su requerimiento es mayor, el requerimiento más elevado es en fructificación con 66.87 mm y posteriormente en la etapa de cosecha comienza a descender hasta 33.35 mm.

2.13 Fertilización

Oñate (2020), expresa que la planta requiere de ciertos elementos en ciertas cantidades y si por alguna razón no se aplican todos los nutrientes que la planta requiere esto repercutiría directamente en la calidad de frutos y el rendimiento total.

Barraza (2017), encontró que para obtener una adecuada expresión del cultivo de pepino en sistema hidropónico en invernaderos con sustrato de tezontle rojo se recomienda utilizar la solución nutritiva universal de Steiner concentrada al 175%, ya que en esta concentración la absorción de macronutrientes es más eficiente que una solución concentrada al 25, 75 o 125%.

2.14 Temperatura

Las temperaturas óptimas para el pepino varían según la etapa fenológica, para germinación se recomienda 27°C de día y de noche, para formación de planta 21°C de día y 19°C de noche y para desarrollo de fruto 19°C de día y 16°C de noche; arriba de 30°C se ocasiona un desequilibrio que afectan directamente la respiración y fotosíntesis, por debajo de 16°C ocasiona malformaciones en frutos y hojas (León, 2016).

2.15 Humedad relativa

El pepino es un cultivo con requerimientos de humedad relativa alta debido a su extensa área foliar. Durante el día el cultivo requiere de humedades entre el 60% y 70%, mientras que en la noche de un 70% a 90% (Hidrovo y Vélez, 2016).

2.16 Radiación

El pepino soporta alta intensidad luminosa, y de igual forma puede crecer, florecer y fructificar sin problema con días cortos que constan de menos de 12 horas de luz (Mejía, 2010).

2.17 Tutorado y podas

El tutorado es un sistema importante conforme la planta va en crecimiento, se coloca verticalmente utilizando rafia que va sujeta a un alambre por la parte de arriba del invernadero y al cuello de la planta. Para disminuir el crecimiento de los zarcillos estos pueden ser podados desde el segundo nudo en adelante (Zamora, 2017).

El pepino con tutorado en un ambiente protegido trae como beneficio una buena ventilación con lo que la incidencia de plagas y enfermedades disminuye, se facilita el manejo de la planta en la cosecha y aprovecha mejor la energía lumínica (Ayala *et al.*, 2019).

Sediyama *et al.* (2014), mencionan que las podas pueden mejorar la formación de las flores femeninas del pepino además de aumentar la productividad y precocidad. De igual forma mencionan que algunos autores afirman que esta

práctica no genera ningún incremento a la productividad ni a la calidad de frutos, y lo único que eleva es el costo de producción.

2.18 Plagas

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) es un insecto chupador que se considera de gran importancia económica debido a que causa serios daños a la planta, principalmente disminuyen la capacidad fotosintética de las hojas y es vector de virus persistentes y semi-persistentes (Jiménez y Rodríguez, 2014).

Los pulgones (*Myzus persicae* y *Aphis gossypii*) reducen el crecimiento de los brotes jóvenes, provocan deformación de hojas, generan manchas amarillas, etc. Los mayores daños son ocasionados por los adultos que se alimentan de la savia de la planta (Valencia, 2022).

El principal síntoma causado por la araña roja (*Tetranychus urticae*) son manchas amarillentas en el haz de las hojas. Las altas temperaturas y una baja humedad relativa incrementan la incidencia de la araña la cual se oculta en el envés de las hojas (Orellana, 2019).

2.19 Enfermedades

El mildiú vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) es un Oomiceto que origina una de las principales enfermedades foliares en pepino, ocasiona pequeñas manchas cloróticas en el haz de las hojas desde las más viejas hasta las más jóvenes, posteriormente el tejido se torna necrótico y termina por una defoliación de las hojas (López, 2020).

La cenicilla (*Ascomycota, Erysiphales*) es un parásito obligado que necesita del hospedante para desarrollarse, este parásito ocasiona aumento en la transpiración y respiración de la planta, reducción de la fotosíntesis y crecimiento lo que a veces conlleva a una disminución en la productividad en un 20% a 40% (Villareal, 2022).

La enfermedad causada por (*Phythium sp.*) es responsable de provocar secadera en las plantas ya que causa putrefacción en tallo, frutos y raíz. También puede provocar podredumbre blanda en frutos generada por contagio a través de heridas

en el fruto o cuando el fruto se encuentra en contacto directo en el suelo húmedo (Zambrano, 2021).

2.20 La nanotecnología

La nanotecnología es la utilización de material a una escala de entre 1 y 100 nanómetros. Su aplicación comprende el medio ambiente, cosmética, higiene, salud, agropecuaria, tecnologías de la información, etc. (Mejias *et al.*, 2009).

Las nanopartículas son nano objetos con dimensión en nanoescala que son capaces de auto ensamblarse, son de diferentes durezas, conductividades, solubilidades, capacidades de absorción, etc. en cuanto a las macro partículas y por esta razón las nanopartículas aumentan o mejoran su función y generan mayor valor comercial (Ojeda *et al.*, 2019).

2.21 Aplicaciones en la agricultura

La nanotecnología es relativamente nueva en el sector alimentario y presenta un gran potencial para transformar prácticas agrícolas que disminuyen las cantidades extremas de sustancias tóxicas, manteniendo así mayor seguridad en la producción de alimentos (Marín *et al.*, 2021).

La nanotecnología puede aportar material novedoso para la detección molecular del estrés biótico y abiótico, al igual que a la detección de enfermedades fitopatógenas y contribuye en la capacidad de las plantas de absorber agua, nutrientes y pesticidas (Lira *et al.*, 2018).

Recientes investigaciones van encaminadas al uso de nano materiales biodegradable que logren un control en la humedad del suelo, una liberación requerida de fertilizantes, estimulación de crecimiento y que sea antimicrobiano (Velásquez *et al.*, 2019).

El uso de nanopartículas en la agricultura adjunta estimulantes de crecimiento, fertilizantes, plaguicidas sistémicos, y puede incrementar la especificidad y eficiencia en herbicidas. La producción de fertilizantes protegidos de la fijación reduciría los altos costos de producción ya que los fertilizantes estarían

disponibles en condiciones específicas como, por ejemplo: se encontrarían en la rizosfera de la planta y a su vez, la planta reduciría sus gastos energéticos ya que el fertilizante se encuentra relativamente cerca del área de absorción de nutrientes (Carrillo y Gonzáles, 2009).

Las diferentes aplicaciones de la nanotecnología en el sector agrícola se pueden observar en la Figura 1.

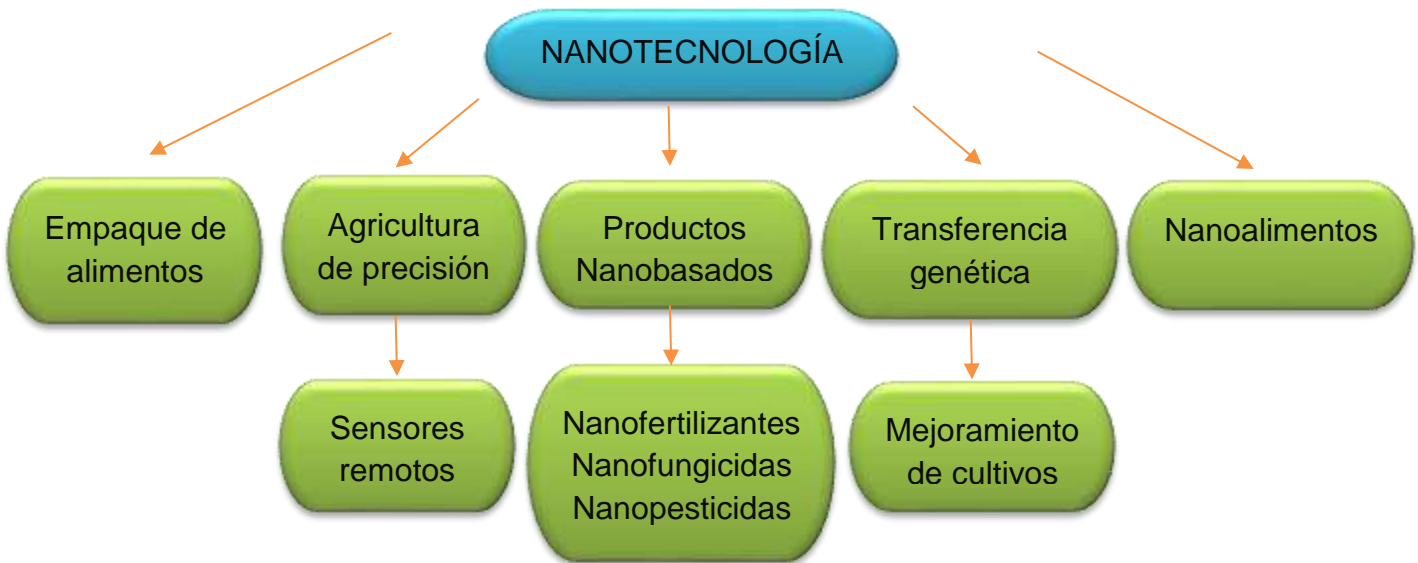


Figura 1. Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura. (Lira *et al.*, 2018).

2.22 Nanofertilizantes

Los nanofertilizantes son productos que transfieren nutrientes a los cultivos de distintas formas como: nanomateriales que funcionan como macro o micronutrientes, nutrientes químicos habituales forrados de películas poliméricas protectoras o encapsulados en el interior de los nanomateriales (nanocápsulas o nanoportadores). Los micronutrientes de zinc y hierro presentan una baja disponibilidad en suelos alcalinos, pero los nanomateriales con estas partículas de zinc o hierro proporcionan estos elementos de una forma más soluble debido a su alta reactividad (Echevarría, 2019).

2.23 Nanoplaguicida

Las nanopartículas de nanoplaguicidas penetran las células que atacan la película que cubre a la semilla de las malezas por lo que se impediría la germinación y se eliminarían (Molins, 2008).

Los nano agroquímicos pueden llegar a disminuir notablemente el uso de agroquímicos, sin embargo estos también podrían contaminar suelos y agua (Lugo *et al.*, 2010).

La nanotecnología ha generado un gran interés debido a que ofrece un incremento en la producción de alimentos con menor uso de energía, reducción en costos y desperdicio de agroquímicos, mayor retención de agua en suelos, e induce el crecimiento en plantas, etc. (Lira *et al.*, 2018).

2.24 Nanosensores

La nanotecnología genera biosensores para un rápido reconocimiento de microorganismos fitopatógenos, toxinas, productos contaminantes, o para analizar efectos de fertilizantes, herbicidas, pesticidas, humedad y pH en suelos, los cuales se colocan en zonas estratégicas en el área de siembra (Del Carmen y Agro Hidalgo, 2021).

2.25 Aplicaciones de las nanopartículas

Simonin y Richaume (2015), mencionan que las nanopartículas se dividen en nanopartículas inorgánicas como metal, óxido de metal, nanopartículas de puntos cuánticos y nanopartículas orgánicas como fullerenos y nanotubos de carbono. Las vías en que las nanopartículas ingresan a los suelos son mediante deposiciones atmosféricas, enmiendas de lodos de aguas residuales o derrames durante la producción industrial.

La actividad antibacteriana en nanopartículas de plata es de alto interés para la industria biomédica y sus aplicaciones en cremas, pomadas, implantes, vendajes y recientemente su prometedora aplicación como agente anticancerígeno (Montes de Oca, 2021).

Las nanopartículas magnéticas se componen de un núcleo de óxido de hierro superparamagnético el cual combinado con su baja toxicidad las hace convenientes para una amplia gama de aplicaciones a diversas áreas como medicina, biología, ciencias, física, entre otros más (Gregorio *et al.*, 2012).

Lira *et al.* (2018), mencionan que concentraciones menores o iguales a 50 ppm de nanopartículas metálicas de hierro, cobre y óxido de zinc pueden incrementar el porcentaje de germinación de semillas y por el contrario una dosis mayor de 100 ppm ocasiona efectos fitotóxicos en plántulas.

Awasthi *et al.* (2017), mencionan que las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) sintetizadas y caracterizadas por métodos modernos a una concentración de 50 mg/L señalan un efecto positivo en la germinación, número de brotes, hojas, raíces y un incremento en la biomasa fresca de la planta, por lo que esta investigación podría ser de utilidad para mejorar las semillas y con esto aumentar el rendimiento total.

Las nanopartículas de óxido de zinc incrementan la fisiología y crecimiento del café debido a su capacidad para penetrar en las hojas, por lo que lo se muestra como un método eficiente para mejorar el rendimiento de las plantas. También se demostró que interacción mayor a 30 días a plantas de café generaba interacciones entre las nanopartículas de óxido de zinc y la asimilación neta del carbono (Lorenzo *et al.*, 2019).

Jucá (2017), menciona que las nanopartículas a base de ferritas pueden servir como catalizadores de la descomposición de gases generados por los motores diesel y los cuales son altamente contaminantes. Al igual pueden utilizarse estratégicamente para remover metales pesados en aguas residuales.

Jaimes *et al.* (2019), mencionan que las ferritas son óxidos ferrimagnéticos con estructura tipo espinela con sitios tetraédrica y octaédrica. Las ferritas de cobalto es una estructura magnetocristalina con estabilidad química y dureza mecánica la cual está conformada por un óxido doble de hierro Fe^{3+} y cobalto Co^{2+} ($CoFe_2O_4$).

La agricultura y minería es de las principales causas de contaminación de arsénico en el agua y estudios nuevos han encontrado que el uso de nanopartículas de óxido cúprico más hierro forman ferritas de cobre (CuFe_2O_4), las cuales son utilizadas eficazmente para la eliminación del arsénico (De la Peña *et al.*, 2019).

La estructura espinela de las ferritas de cobre es de los semiconductores con mayor importancia por sus cualidades eléctricas y magnéticas y su alta estabilidad, que las hace ideales en sensores de humedad. La conducción en las ferritas se determina por el método de preparación, la porosidad y la sinterización (Tudorache, 2018).

Nicodemos (2021), menciona que la aplicación de nanopartículas de ferrita de bario ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) inhiben el crecimiento micelial in vitro de *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium oxysporum* y *Marssonina rosa*. También menciona que en cítricos la aplicación de óxido de zinc (ZnO) disminuyó el cáncer bacteriano ocasionado por *Xanthomonas citri*.

Las nanopartículas de zinc ferrita son objeto de muchos años de estudio debido a su estabilidad térmica y la dependencia del tamaño de partícula magnética ya que se ha demostrado que la magnetización de la zinc ferrita incrementa con la reducción de tamaño de los cristalitos (Shahraki *et al.*, 2012).

Según Abdelhameed *et al.* (2021), las nanopartículas de zinc ferrita ZnFe_2O_4 afectan de manera positiva a las plantas de guisantes las cuales estimularon la absorción de minerales y en algunas plantas genero diferencia en el contenido de pigmentación, peso fresco y seco en raíces y brotes.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación experimental

El presente experimento fue realizado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila, con coordenadas 25°21'20.2"N 101°02'11.5"W.

3.2 Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron semillas de pepino híbrido Centauro, que producen plantas vigorosas con buena adaptación a condiciones de calor y mucha luminosidad, al igual que alta adaptabilidad a diversas condiciones del cultivo.

3.3 Manejo del cultivo

3.3.1 Siembra

El cultivo fue establecido el 8 de marzo de 2022 en un invernadero de baja tecnología. Para su siembra se utilizaron bolsas de vivero calibre 600 de 10 L en color negro, con una mezcla de sustrato a base de peat moss y perlita en una proporción 70:30 V/V respectivamente, se requirió el ajuste de pH del sustrato por lo que se aplicó 0.5 g/L de bicarbonato de sodio y cuando el sustrato se encontraba listo se prosiguió a rellenar 48 bolsas de vivero, ya listas se aplicó un riego pesado a cada bolsa para bajar la CE del sustrato y esta fuera ideal para su crecimiento, y por último se colocó una semilla de pepino Centauro F1 por bolsa.

3.3.2 Riego

Se manejó un riego por semana durante las primeras dos semanas después de la emergencia de la planta, pero conforme la planta iba en crecimiento los requerimientos hídricos eran cada vez más altos, para la tercera semana se aplicaban 2 riegos y para la cuarta semana se aplicaban riegos cada 2 días, cuando la planta pasó a la etapa de producción los riegos eran diarios y durante el pico más alto de producción la planta requirió de 3 riegos durante el día debido a su alta demanda de agua, ya que el pepino está conformado 96% de agua. Se instaló un tensiómetro en uno de los contenedores para mantener un dato correcto

de las necesidades hídricas de la planta donde 6 bares era el indicador para proporcionar el riego y 0 bar era indicador de que la planta se encontraba en capacidad de contenedor.

3.3.3 Podas

La planta se manejó a un solo tallo por lo que se realizaron podas de los brotes axilares a partir de la cuarta semana del cultivo hasta que el experimento concluyó. De igual forma se realizó la poda de zarcillos para una buena aireación y así disminuir la presencia de plagas y enfermedades, además de que se observaba un área más ordenada, al igual se realizó poda de hojas en donde se retiraban las hojas más viejas de la planta dejando una hoja por debajo del fruto próximo a madurar.

3.3.4 Tutoreo

Se realizó el tutoreo tipo holandés el cual consiste en colocar un hilo de rafia por planta desde la parte basal con un anillo hasta una altura de aproximadamente 2.5 m donde la planta es guiada en su forma de crecimiento para un fácil manejo del cultivo. Cada cierta distancia de crecimiento de la planta se colocaba un anillo por debajo de los frutos para que la planta soportara el peso de estos y no callera al suelo por el peso que la planta puede llegar a tener.

3.4 Cosecha

La primera cosecha se realizó el 09 de mayo y las siguientes cosechas eran una o dos veces por semana dependiendo el estado de madurez del fruto. Para determinar la madurez adecuada se seguían características particulares como la formación de una estrella en la punta del fruto y cierta firmeza en el mismo.

3.5 Fertilización

Se aplicó una solución nutritiva a base de KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, H_2SO_4 y micro elementos, la cual se aplicó a un 25% a partir de la segunda semana del cultivo, en la tercera semana se utilizó la solución al 50% y para la cuarta semana y hasta que concluyó el proyecto se aplicó la solución al 100%.

3.6 Manejo de plagas y enfermedades

Esta labor se realizó haciendo un monitoreo y después se llevó a cabo un calendario de productos fitosanitarios para mantener un control adecuado de las plagas y enfermedades presentes en el cultivo, se utilizaron diversos productos como: Sanadel®, Imidacloprid®, Abamectina®, Agriden®, Diazinon®, Oberon®, Hidroflow® y Mitoff®.

3.7 Tratamientos a evaluar

Los tratamientos a evaluar comprendían diferentes concentraciones de nanopartículas de zinc ferrita que se aplicaban vía foliar cada 15 días y para evitar la contaminación de un tratamiento con otro se utilizaba un plástico adaptado con alambre que cubría a la planta por completo al momento de aplicar el tratamiento y así evitar variaciones en los resultados. Estos tratamientos se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos a evaluar.

Tratamientos	[Nanopartículas de zinc ferrita] ppm
Control	0
T2	100
T3	500
T4	1000

3.8 Variables de respuesta

Rendimiento total

Se evaluó el peso de todos los frutos con ayuda de una báscula digital, y se fue sumando el peso de los frutos por planta, y después se sumó el peso total por tratamiento.

Número de frutos

El conteo de frutos se realizó en cada cosecha que se realizaba para facilitar la información.

Longitud del fruto

Esta variable se obtuvo con medidas tomadas con una cinta métrica de un extremo del pepino al otro extremo, esto se realizó a cada uno de los frutos.

Curvatura del fruto

Esta variable se obtuvo con ayuda de una mesa y una regla, en la orilla de la mesa se pegaba con cinta una regla de forma vertical y se colocaba el fruto sobre la mesa, si el fruto no era recto formaba una curva y se tomaba la medida que había de la mesa a el ombligo del fruto.

Diámetro ecuatorial del fruto

Esta medida se obtuvo con el uso de un vernier digital el cual se colocaba en la parte central del pepino.

Firmeza del fruto

Se utilizó un penetrómetro para esta variable y lo que se realizaba era perforar el fruto en la parte central con cierto cuidado para obtener una medida correcta de firmeza.

Grados °Brix del fruto

El contenido de sólidos solubles totales en el fruto se obtuvo con la ayuda de un refractómetro, en el cual se colocaba una gota de extracto del fruto e inmediatamente te mostraba los valores obtenidos.

Contenido de nitrato en el fruto

Para obtener este parámetro se aplicó un riego con solución nutritiva dos horas antes de cortar los frutos, por lo que se aplicaba el riego a las 7 de la mañana y se cosechaba para las 9 de la mañana, este parámetro se realizó en los frutos 8, 9, 12, 13, 16 y 17 por planta y se utilizaban unas gotas de extracto del fruto obtenidas con un mortero y se colocaban en sensores de la marca Horiba.

Contenido de calcio en el fruto

Al igual que el parámetro anterior se regaron las plantas a las 7 de la mañana y se cosecharon los frutos a las 9 de la mañana y posteriormente se obtuvo extracto de pepino con ayuda de un mortero para después ser colocarlo en sensores de la marca Horiba, para este parámetro también se utilizaron los frutos 8, 9, 12, 13, 16 y 17.

Contenido de potasio en el fruto

Para este parámetro también se utilizó extracto de los frutos 8, 9, 12, 13, 16 y 17 que fueron colocados en sensores de la marca Horiba y al igual que el anterior las plantas fueron regadas a las 7 de la mañana y los frutos se cosecharon a las 9 de la mañana.

Contenido de nitrato en el pecíolo

Para obtener este parámetro las plantas fueron regadas a las 7 de la mañana y a las 10 de la mañana se colocó un termómetro por debajo de las hojas con el pecíolo que iban a ser utilizadas y cuando alcanzaban una temperatura entre 20 °C y 25°C se cortaban y molían en un mortero hasta obtener el extracto del pecíolo el cual se colocaba en los sensores de la marca Horiba.

Contenido de calcio en el pecíolo

Para este parámetro se utilizó un poco del extracto que se obtuvo de la medición anterior la cual se tomó de las hojas jóvenes y que se encontraba totalmente extendida y se extrajo su contenido en un mortero y posteriormente fue colocado en sensores de la marca Horiba.

Contenido de potasio en el pecíolo

Para este parámetro al igual que los 2 anteriores se utilizó el extracto de la hoja y pecíolo de las mediciones anteriores que fueron cortadas a cierta temperatura y después molidas en un mortero para terminar colocándose en sensores Horiba.

Altura de la planta

Esta medida se consiguió con la ayuda de una cinta métrica la cual se colocaba desde la base de la planta hasta la punta de la misma.

Diámetro del tallo basal

Para el diámetro se utilizó nuevamente el vernier digital.

Peso fresco de hojas

Para esta variable se utilizó una báscula digital gramera y se tomó el dato con el peso de las últimas hojas con las que la planta contaba, después de pesarlas se colocaron en bolsas que se dejaron expuestas al sol para deshidratarse.

Peso fresco del tallo

Se utilizó también la báscula digital gramera y se tomó el peso del tallo fresco de la planta y se colocaron en bolsas que posteriormente se dejaron bajo el sol para secarse.

Peso seco de hojas

Para esta variable se utilizó la báscula digital gramera, y las bolsas de hojas que se dejaron secando al sol, para esta variable si se contemplaron todas las hojas de la planta, desde las primeras hasta las últimas.

Peso seco de tallos

Para esta variable se utilizó la báscula digital gramera y las bolsas de los tallos que anteriormente se dejaron secar.

3.9 Diseño estadístico

Este experimento se realizó con un diseño estadístico de bloques completamente al azar, donde se evaluaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento. En caso de significancia estadística los promedios fueron comparados con el procedimiento de Duncan al 0.05.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento

De acuerdo a la Figura 2, la aplicación de nanopartículas de zinc ferrita originó un incremento con tendencia lineal en la producción de pepino; sin embargo, el incremento llegó a ser significativo cuando la zinc ferrita se aplicó a una dosis de 1000 ppm; Este incremento fue del 9.2% comparado con el rendimiento obtenido por las plantas sin aplicación de zinc ferrita. Con concentraciones más bajas de zinc ferrita el rendimiento aumentó en 4.2% y 0.2% con 500 y 100 ppm, respectivamente.

Existe nula información sobre el efecto de las aplicaciones de nanopartículas de zinc ferrita que puedan compararse con los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, Guillén *et al.* (2022), reportan que las aplicaciones mediante aspersión foliar de nanopartículas con base en hierro como son las de óxido de hierro (Fe_2O_3) incrementa un 38.99% el rendimiento del cultivo de pepino; los autores señalan que esto puede deberse a que el tamaño de las nanopartículas facilitan la absorción del hierro, por lo que la planta puede realizar más fácilmente funciones importantes en las que el hierro participa como son la fotosíntesis, respiración, y ciclo celular, entre otros.

Por otra parte Rivera *et al.* (2021), mencionan que la aplicación foliar de nanopartículas con base de zinc, como lo son las de óxido de zinc en concentraciones de 200 mg L⁻¹ mejoran el rendimiento y calidad en frutos de melón un 32% con respecto al control. El zinc es un elemento que está involucrado en mejorar parámetros nutricionales y fisiológicos, estabilizar las membranas de alargamiento celular y realizar síntesis de proteínas (Rodríguez, 2018).

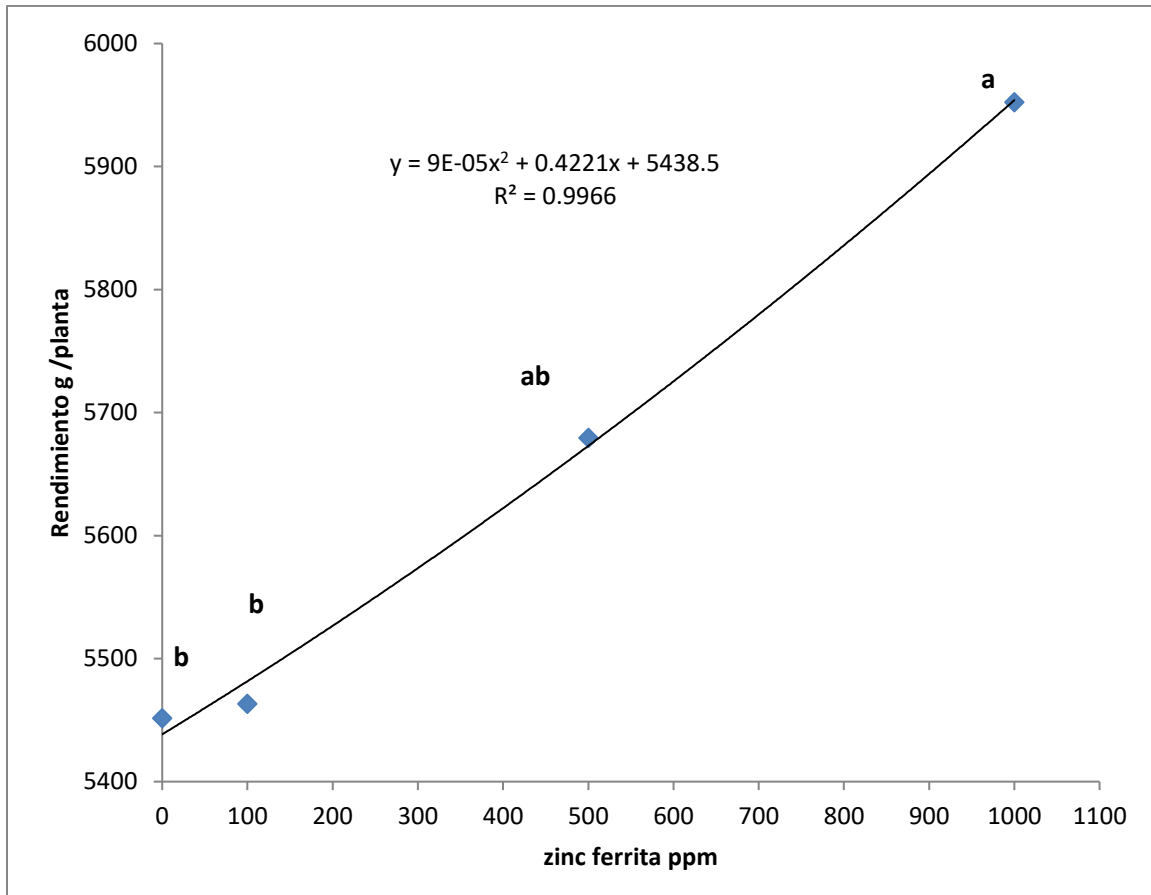


Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el rendimiento de fruto en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$.

4.2 Curvatura del fruto

De acuerdo a la comparación de medias mostrada en la Figura 3, la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita disminuyó un 13.7% la curvatura de los frutos desde aplicaciones de 100 ppm. Esta variable es uno de los factores de calidad más importantes para el cultivo por lo que la disminución de la curvatura en el fruto favorece al mercado. Cruz (2023), menciona que una concentración al 100% o 125% en la solución nutritiva tiende a producir pepinos puntiagudos en el ápice y a una concentración al 75% en la solución puede mantener rangos aceptables en la calidad de los frutos, por otro lado nuestros resultados muestran que a una concentración del 100% en la solución nutritiva y con aplicaciones

foliares de zinc ferrita mejoro la calidad de los frutos con respecto al testigo y disminuyo favorablemente la curvatura.

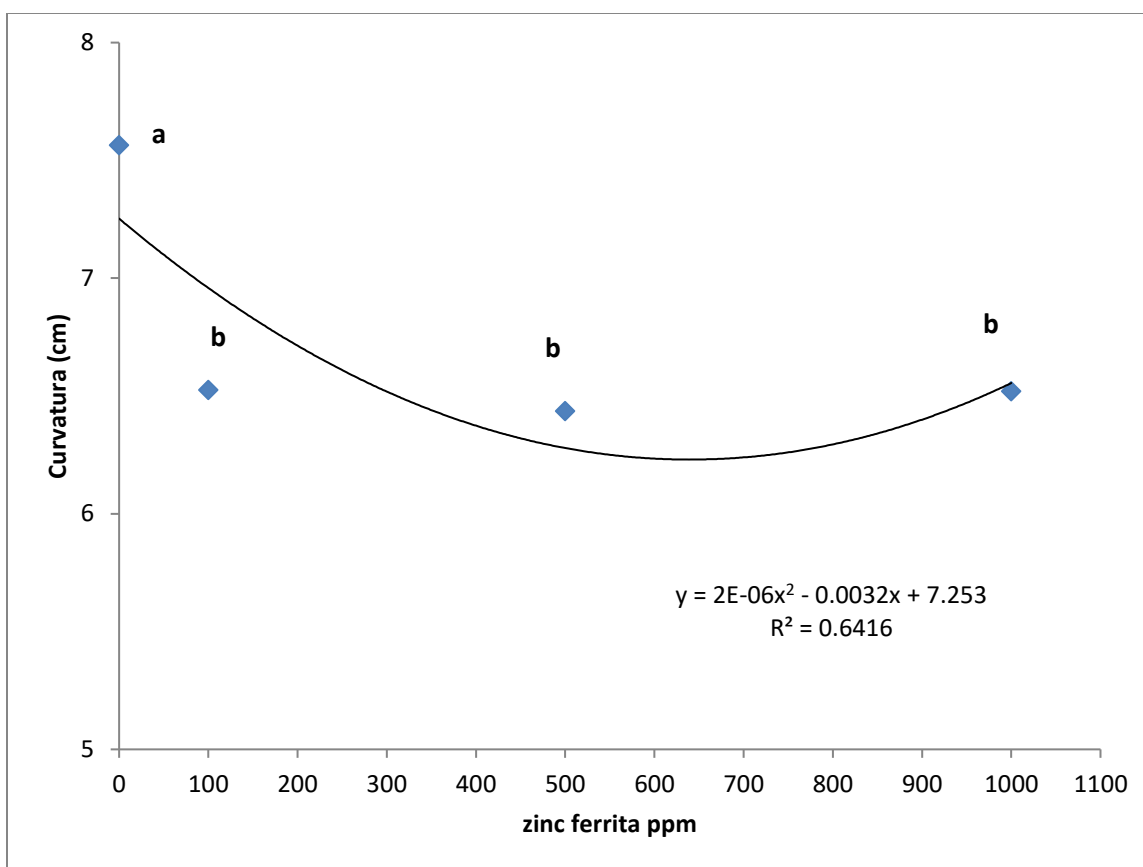


Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) para curvatura del fruto. Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$.

4.3 Sólidos solubles totales

Aunque hubo efecto significativo de los tratamientos aplicados en el contenido de sólidos solubles totales, ninguno de los tratamientos mostro un efecto significativo comparado con el testigo Figura 4. Los resultados muestran sin embargo que con 100 ppm se obtiene un mayor contenido de sólidos solubles totales en comparación con los frutos de plantas tratadas con 500 ppm de zinc ferrita. Guillén *et al.* (2022), mencionan que una buena calidad de frutos de pepino se encuentra en una medida estándar de 4.76 °Brix, mientras que con aplicaciones foliares de

75 mg/L⁻¹ de nanopartículas de óxido de hierro (Fe₂O₃) se obtienen 4.68 °Brix, y sin aplicaciones los sólidos solubles totales se mantienen en 3 °Brix, por lo que se puede decir que el óxido de zinc aumenta la calidad comercial de los frutos. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran un menor contenido de grados °Brix comparados con los obtenidos por Guillén *et al.* (2022), por lo que se puede decir que las aplicaciones de zinc ferrita no aumentan el contenido de sólidos solubles totales.

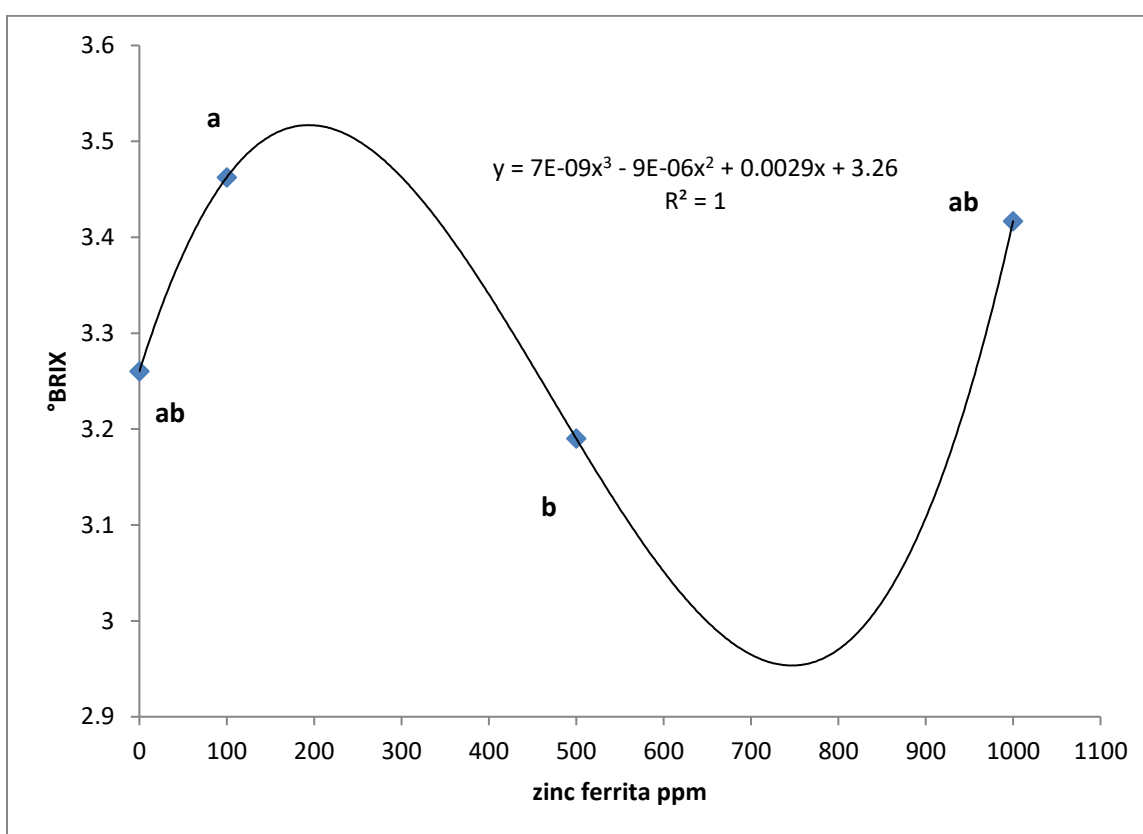


Figura 4. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) para sólidos solubles totales en el fruto. Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$.

4.4 Otras variables de calidad del fruto

De acuerdo a la comparación de medias de las variables medidas en el fruto como número de frutos, longitud de frutos, diámetro ecuatorial y firmeza mostraron un incremento en comparación al testigo y esto fue conforme se aumentó las concentraciones de nanopartículas, pero los datos obtenidos no fueron significativos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino para variables de calidad en el fruto.

Zinc ferrita ppm	Número de frutos	Longitud de frutos cm	Diámetro ecuatorial mm	Firmeza kg/fuerza
0	13.9	24.8	49.9	564.7
100	13.8	25.0	49.7	577.1
500	14.2	25.1	50.0	578.2
1000	14.9	25.0	50.2	592.6

4.5 Contenido de potasio en el fruto

De acuerdo con la Figura 5, la aplicación de nanopartículas de zinc ferrita disminuyó la concentración de potasio en el fruto en todas las concentraciones aplicadas, aunque alcanzando la significancia estadística con 500 ppm. El tratamiento con 100 ppm disminuyó un 9.4% en cuanto al control y para los tratamientos con 500 y 1000 ppm la disminución de potasio fue de 13.6% para ambos tratamientos.

La disminución en la concentración del potasio en el fruto puede deberse a que como se produjo un mayor rendimiento de frutos en los tratamientos con aplicación de nanopartículas, el potasio que se abasteció en la solución nutritiva, el cual fue en la misma concentración en todos los tratamientos, no fue suficiente para compensar ese aumento en el rendimiento. Estos resultados sugieren que si

se aplican nanopartículas de zinc ferrita, para evitar esta disminución en la concentración de potasio debemos elevar el contenido de potasio en la solución nutritiva. Barreiro (2018), menciona que el potasio es un elemento importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que incrementa los rendimientos y mejora aspectos de calidad en el cultivo por lo que se deduce que si a las concentraciones más altas de nanopartículas de zinc se eleva la concentración de potasio en su solución nutritiva es probable obtener mayores rendimientos a los obtenidos.

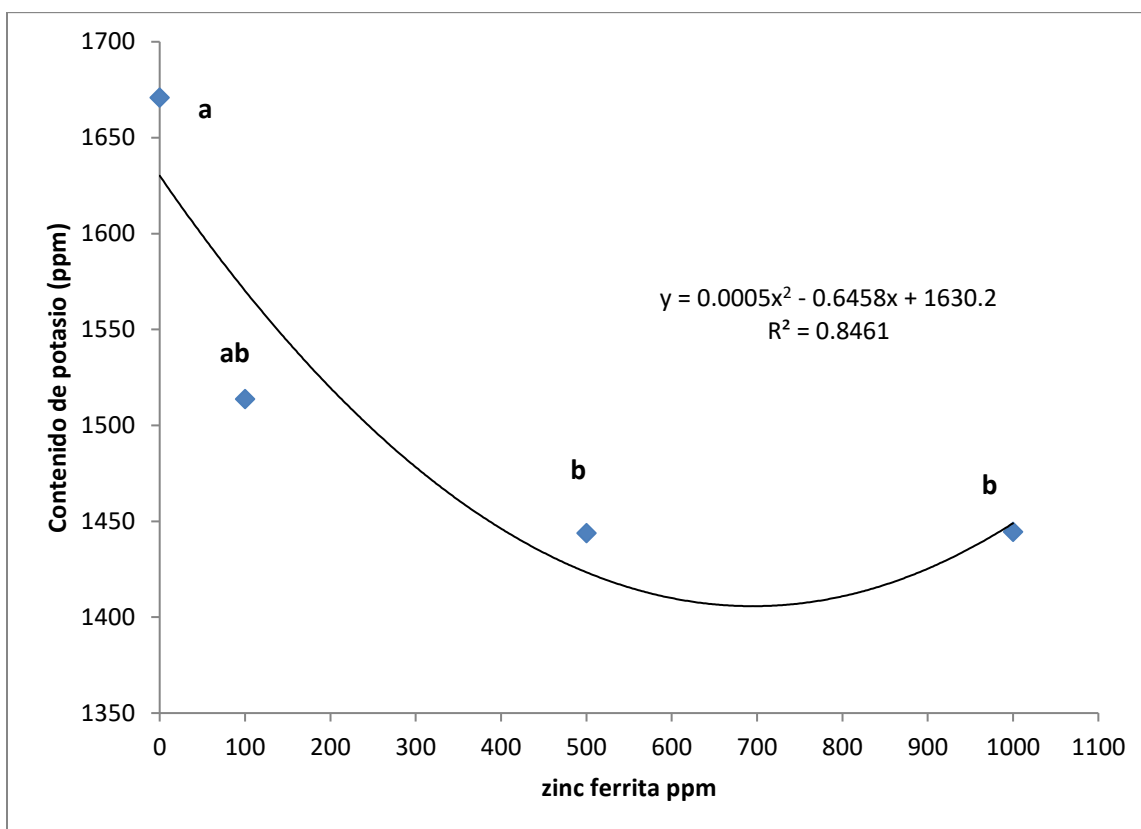


Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en la concentración de potasio en los frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$.

4.6 Otras variables nutrimentales en frutos y pecíolos

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en otras variables del contenido nutrimental en frutos y en el pecíolo Cuadro 5; sin embargo, se puede observar que en la variable de contenido de calcio en el fruto hubo una tendencia de crecimiento conforme la dosis de nanopartículas era más alta. El contenido de calcio puede relacionarse perfectamente con la firmeza del fruto Cuadro 4, donde se observa el mismo resultado, ya que el calcio es un elemento que forma parte de la pared celular de los tejidos por lo que le da mayor firmeza a los frutos, y a su vez le da mayor calidad y vida útil en post cosecha (Solís, 2016).

Cuadro 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino para variables nutrimentales en frutos y pecíolos.

Zinc ferrita ppm	Nitrato en el fruto ppm	Calcio en el fruto ppm	Nitrato en el pecíolo ppm	Calcio en el pecíolo ppm	Potasio en el pecíolo ppm
0	125.8	51.0	1525	91.0	4700
100	115.5	53.3	1210	83.3	4775
500	118.2	47.7	1050	87.3	4750
1000	123.5	59.6	983.3	76.0	4533.3

4.7 Diámetro basal del tallo

De acuerdo a la comparación de medias de la Figura 6, la aplicación de 500 ppm de nanopartículas de zinc ferrita causó un incremento en el diámetro basal de 9.6% en comparación del tratamiento control. Sin embargo, con 1000 ppm, tratamiento asociado a un mayor rendimiento de fruto Figura 2, se presentó tan solo un 3.6% de incremento en el diámetro basal a comparación del control Figura 6, esto sugiere que las plantas de pepino tratadas con 1000 ppm mantuvieron un crecimiento mayormente generativo. Vargas *et al.* (2023), mencionan que la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc no causó diferencias significativas

en sus tratamientos aplicados a tomate, pero aplicaciones de nanopartículas de óxido de zinc combinada con microorganismos rizosféricos si puede observarse diferencia significativa en su diámetro basal de tallos.

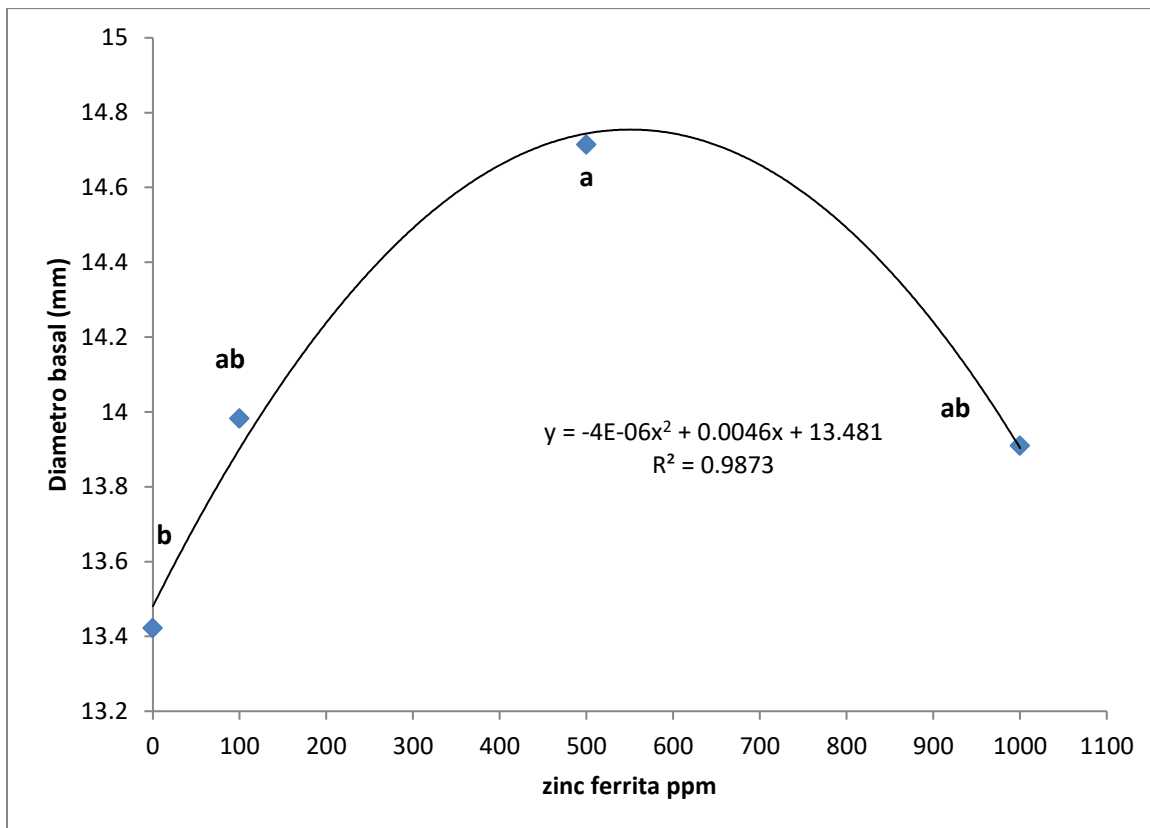


Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) para diámetro basal del tallo. Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones y promedios acompañados de diferente letra indica diferencias significativas con $p < 0.05$.

4.8 Otras variables de crecimiento vegetativo

El tratamiento con las dosis de 1000 ppm de nanopartículas de zinc ferrita mantiene los resultados más altos en todas las variables de crecimiento vegetativo a comparación con los resultados del tratamiento control, pero a pesar de que se logró un incremento en estas importantes variables, los resultados no lograron ser estadísticamente significativos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino para variables de crecimiento vegetativo.

Zinc ferrita ppm	Altura planta cm	Peso fresco de hojas g	Peso fresco del tallo g	Peso seco de hojas g	Peso seco del tallo g
0	278.3	70.4	176.6	90.5	30.6
100	278.0	79.5	174.8	93.5	31.4
500	279.9	84.5	181.2	93.2	30.6
1000	289.7	87.3	183.3	94.8	32.0

5 CONCLUSIONES

La aplicación foliar de nanopartículas de zinc ferrita influyó de manera positiva los parámetros de interés del cultivo de pepino, uno de ellos fue rendimiento, el cual reportó que la aplicación de 1000 ppm incrementó un 9.2% en comparación con las plantas control. Para el parámetro de calidad que es la curvatura de fruto nuevamente sobresale el tratamiento con 1000 ppm el cual la reduce un 18.8% en comparación con el control.

6 LITERATURA CITADA

Abdelhameed, R. E., Abu Elsaad, N. I., Abdel Latef, A. A. H., & Metwally, R. A. (2021). Tracking of zinc ferrite nanoparticle effects on pea (*Pisum sativum* L.) plant growth, pigments, mineral content and arbuscular mycorrhizal colonization. *Plants*, 10(3), 1- 37 p.

Alejo Santiago, G., Becerra Venegas, S. G., Bugarín Montoya, R., Aburto González, C. A., Quiñones Aguilar, E. E., Rincón Enríquez, G., & Juárez Rosete, C. R. (2021). Requerimiento nutrimental y nutrición potásica en pepino Persa con poda a un solo tallo. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-10 p.

Awasthi, A., Bansal, S., Jangir, L. K., Awasthi, G., Awasthi, K. K., & Awasthi, K. (2017). Effect of ZnO nanoparticles on germination of *Triticum aestivum* seeds. In *Macromolecular Symposia*, 376(1), 1022-1360 p.

Ayala Tafoya, F., López Orona, C. A., Yáñez Juárez, M. G., Díaz Valdez, T., Velásquez Alcaraz, T. D. J., & Parra Delgado, J. M. (2019). Densidad de plantas y poda de tallos en la producción de pepino en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 79-90 p.

Barraza, F. V. (2017). Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 343-350 p.

Barreiro Maldonado, J. F. (2018). Efectos de la aplicación de fosfito de potasio en el cultivo de pepino *Cucumis sativus* L. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. Tesis de Licenciatura. 1-77 p.

Benítez Solís, E. D. R. (2022). Evaluación del prendimiento de dos variedades de cucurbitáceas en tres porta injertos para producir plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Universidad Técnica de Ambato. Tesis de Licenciatura. 15-58 p.

Callizaya Huanca, S. (2015). Efecto de la aplicación de biol sobre el comportamiento productivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de carpa solar. Universidad Mayor de San Andrés. Tesis de doctorado. 58 p.

Carrillo González, R., & González Chávez, M. D. C. A. (2009). La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. Mundo nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 2(2), 50-63 p.

Chávez Arteaga, S. C. (2015). Cálculo de la evapotranspiración mediante tres métodos y determinación de las necesidades de riego en los cultivos de pepino y pimiento en la finca La María. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Tesis de Licenciatura. 83 p.

Cruz Torre, J. (2023). Interacción entre el sustrato y la concentración de la solución nutritiva en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 47 p.

De la Peña, R. A. L., Farías Cepeda, L., Marines, L. R., & Ramos Gonzáles, R. (2019). Revisión de ferritas híbridas de metales pesados. Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales, 20(1), 1-12 p.

Del Carmen, C. C., & Agro Hidalgo, C. (2021). Agro nanotecnología para sistemas modernos de producción alimentaria. Centro de Investigación en Química Aplicada. Disponible en: <https://centrosconacyt.mx/objeto/agronanotecnologia-para-sistemas-modernos-de-produccion-alimentaria/>

Del Castillo, F. S., & Pérez, E. D. C. M. (2017). Rendimiento y ahorro de agua y fertilizantes en cultivos hidropónicos de jitomate, pepino y lechuga con recirculación de la solución nutritiva. III Congreso Nacional de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma Chapingo, 1-14 p.

Echevarría Machado, I. (2019). El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión. Centro de Investigación Científica de Yucatán, 11, 69–75 p.

Faria, F., Arshya, H., & Sumaiya, A. (2021). Efficacy of nanoparticles as nanofertilizer production. Environmental Science and Pollution Research, 28, 1292-1303 p.

Figuroa Hernández, E., & Espinosa Torres, L. E. (2020). Análisis de la producción de pepino y pepinillos en México. Trabajos de Investigación del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, Oaxaca, 1-17 p.

García Gómez, C., Obrador, A., González, D., Babín, M., & Fernández, M. D. (2017). Comparative effect of ZnO NPs, ZnO bulk and ZnSO₄ in the antioxidant defences of two plant species growing in two agricultural soils under greenhouse conditions. *Science of the Total Environment*, 589, 11-24 p.

Galindo Pardo, F. V., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M. Á., & Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1219-1232 p.

Gregorio Jáuregui, K. M., Rivera Salinas, J. E., Saade Caballero, H., López Campos, R. G., Martínez Hernández, J. L., & Ilina, A. (2012). Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones. *Centro de Investigación en Química Aplicada*, 4(1), 1-15 p.

Guillén Enríquez, R. R., Zúñiga Estrada, L., Ojeda Barrios, D. L., Rivas García, T., Trejo Valencia, R., & Preciado Rangel, P. (2022). Efecto de la nanobiofortificación con hierro en el rendimiento y compuestos bioactivos en pepino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28), 173-184 p.

González Gómez, L. G., Jiménez Arteaga, M. C., Castillo Cruz, D., Paz Martínez, I., Cambara Rodríguez, A. Y., & Falcón Rodríguez, A. (2018). Respuesta agronómica del pepino a la aplicación de QuitoMax en condiciones de organoponía. *Centro Agrícola Santa Clara*, 45(3), 27-31 p.

Hidrovo Zambrano, Á. V., & Vélez Vera, G. M. (2016). Comportamiento agronómico de cuatro híbridos de pepino (*Cucumis sativus* L) bajo las condiciones edafoclimáticas del campus politécnico de la ESPAM. Tesis de Licenciatura. 64 p.

Jaimes, C., Santiago, E., Sagredo, V., & Márquez, G. (2019). Síntesis y caracterización de nanopartículas de ferrita de cobalto. *Ciencia e Ingeniería. Universidad de los Andes Venezuela*, 40(2), 165-169.

Jiménez Martínez, E., & Rodríguez Flores, O. (2014). Insectos: Plagas de cultivos en Nicaragua. *Universidad Nacional Agraria Managua*, 632(7), 226 p.

Jucá, V. P. P. (2017). Estudo experimental sobre a eficiência de nanopartículas de ferritas de Zn-Mn para magnetohipertermia: de características intrínsecas ao comportamento coletivo. *Universidade de Brasília. Tese Doutorado em Física*. 1-82 p.

Kah, M., Kookana, R. S., Gogos, A., & Bucheli, T. D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*, 13(8), 677-684.

Kolenčík, M., Ernst, D., Urík, M., Ďurišová, L., Bujdoš, M., Šebesta, M., & Kratošová, G. (2020). Foliar application of low concentrations of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles to the common sunflower under field conditions. *Nanomaterials*, 10(8), 1619 p.

León Moreta, E. F. (2016). Evaluación de tres variedades de pepino *Cucumis sativus L.* con tres dosis de fertilizante foliar de fitohormonas y quelato orgánicos e inorgánicos en medios semihidropónicos. *Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. Tesis de Licenciatura*. 51 p.

Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Acta Universitaria*, 28(2), 9-24 p.

López, A. (2020). Descripción de enfermedades en pepino (*Cucumis sativus*) producido en una zona y época húmeda en La Concepción, Chiriquí, Panamá. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. Tesis de Licenciatura*. 26 p.

Lorenzo, R. C., Lauren, N. F., Hamidreza, S. D., Xingmao, M., & Leonardo, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 160-166 p.

Lugo Medina, E., García Gutiérrez, C., & Ruelas Ayala, R. D. (2010). Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable Ra Ximhai*, 6(1), 63-67 p.

Marín Bustamante, M. Q., Hernández Flores, A., & Cásarez Santiago, R. G. (2021). Nanotecnología y agricultura: detección, monitoreo y remediación de contaminantes. *Revista Salud y Administración*, 8(23), 29-35 p.

Mattiello, A., & Marchiol, L. (2017). Application of nanotechnology in agriculture: assessment of TiO₂ nanoparticle effects on barley. *Application of Titanium Dioxide*. London, UK, 23-39 p.

Mejías Sánchez, Y., Cabrera Cruz, N., Toledo Fernández, A. M., & Duany Machado, O. J. (2009). La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico. *Revista Cubana de Salud Pública*, 35, 1-9 p.

Mejía Ventura, R. (2010). Comparación del metodo de siembra del pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos tipos de acolchado plastico y riego por goteo. Universidad Autonoma Agraria Antonio Naro. Tesis de Licenciatura. 89 p.

Molins, R. (2008). Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud, los alimentos, la agricultura y el ambiente. La evolución de los precios de productos agrícolas y su impacto en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Buenos Aires, Argentina, 1- 15 p.

Montes de Oca, V. G. (2021). Impacto de concentraciones ambientalmente relevantes de nanopartículas de plata en la comunidad microbiana del suelo. Universidad Nacional de Costa Rica. Tesis de Doctorado. 31- 165 p.

Nicodemos, N. S. A. (2021). Nanopartículas no tratamiento de semillas de trigo. Trabajo de conclusión de curso. Universidade Federal de Uberlândia. 1-18 p.

Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., & Sgroppo, S. C. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. Mundo nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 12(23), 1-14 p.

Oñate Rea, J. C. (2020). Estudio comparativo de tres sistemas de riego y fertilización en pepino *Cucumis sativus* L. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. Tesis de Licenciatura. 1-67 p.

Orellana Mora, C. M. (2019). Control de plagas en el cultivo de pepino *Cucumis sativus* L. en el cantón Yaguachi. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. Tesis de Licenciatura. 1-99 p.

Ortiz Cereceres, J., Sánchez del Castillo, F., Mendoza Castillo, M., & Torres García, A. (2009). Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana, 32(4), 289-294 p.

Piña Santillán, G. (2021). Rentabilidad de pepino persa (*Cucumis sativus* L.) en invernadero en los estados de Morelos, Guerrero y Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis de Licenciatura. 1-68 p.

Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L., & Duran, N. (2015). Nanotechnologies in food and agriculture, 33, 1-352 p.

Rameshaiah, G. N., Pallavi, J., & Shabnam, S. (2015). Nano fertilizers and nano sensors an attempt to develop smart agriculture. International Journal of Engineering Research and General Science, 3(1), 314-320 p.

Rivas Ramírez, L. K., & Torres Pacheco, I. (2021). Nanopartículas: nuevas aliadas de la agricultura. Digital Ciencia UAQRO, 4(7), 19-27 p.

Rivera Gutiérrez, R. G., Preciado Rangel, P., Fortis Hernández, M., Betancourt Galindo, R., Yescas Coronado, P., & Orozco Vidal, J. A. (2021). Nanopartículas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 791-803 p.

Romero, E., Rodríguez, A., Rázuri, L. R., Suniaga, J., & Montilla, E. (2009). Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. *Agricultura Andina*, 16, 56-69 p.

Rosado Morán, M. E. (2013). Desarrollo morfológico y rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) mediante sistema hidropónico de sustrato sólido en el cantón Babahoyo. Universidad Técnica de Babahoyo. Tesis de Licenciatura. 45 p.

Sánchez, G. (1982). Cultivos Hidropónicos. Disponible en: <https://acortar.link/S20wLB>

Sedyama, M. A., Nascimento, J. L., Lopes, I. P., Lima, P. C., & Vidigal, S. M. (2014). Tipos de poda em pepino dos grupos aodai, japonês e caipira. *Horticultura Brasileira*. Scientific Electronic Library Online, 32, 491-496 p.

Shahraki, R. R., Ebrahimi, M., Ebrahimi, S. S., & Masoudpanah, S. M. (2012). Structural characterization and magnetic properties of superparamagnetic zinc ferrite nanoparticles synthesized by the coprecipitation method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324(22), 3762-3765 p.

Simonin, M., & Richaume, A. (2015). Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 13710-13723 p.

Solís Mateos, M. G. (2016). Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis de Doctorado. 1-190 p.

Tudorache, F. (2018). Investigations on microstructure, electrical and magnetic properties of copper spinel ferrite with WO₃ addition for applications in the humidity sensors. Superlattices and Microstructures. Research Center on Advanced Materials and Technologies, Interdisciplinary Research Department, 116, 131-140 p.

Valencia Angulo, S. J. (2022). Control biológico de insectos plaga en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Universidad Técnica de Babahoyo. Tesis de Licenciatura. 1-27 p.

Vargas Martinez, G., Betancourt Galindo, R., Juárez Maldonado, A., Sandoval Rangel, M. S. V. A., & López, A. M. (2023). Impacto de NPsZnO y microorganismos rizosféricos en el crecimiento y biomasa del tomate. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 26(1), 1-12 p.

Velásquez, C. L., Pirela, M. L., Chirinos, A., & Avelizapa, L. I. (2019). Nuevos retos en agricultura para los biopolímeros de quitina y quitosano. Parte 1: Efectos beneficiosos para los cultivos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 20(3), 118-136 p.

Villareal, N. A. G. (2022). Diseño de una escala para evaluar la severidad de la cenicilla (*Erysiphe cichoracearum* DC) en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Tesis de Doctorado. 1-53 p.

Zambrano, L. D. E. (2015). Evaluación de mezclas de bioinsecticidas para el combate de pulgones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en la zona de Quevedo. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Tesis de Pregrado. 80 p.

Zambrano, V. L. J. (2021). Efecto del *Bacillus subtilis* usado como protectante en el control de enfermedades en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*), la troncal, cañar. Universidad Agraria del Ecuador. Tesis Licenciatura. 1-71 p.

Zamora, E. (2017). El cultivo de pepino persa (*Cucumis sativus* L.) bajo cubiertas plásticas. Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería. Cultivos Protegidos HORT-CP-007, 1-7 p.