

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Aspersión Foliar de Nanofertilizantes de Magnetita en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de Invernadero

Por:

JOSÉ EMMANUEL POZOS HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA
Efecto de la Aspersión Foliar de Nanofertilizantes de Magnetita en Tomate (*Solanum
lycopersicum* L.) de Invernadero

Por:

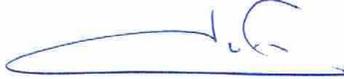
JOSÉ EMMANUEL POZOS HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



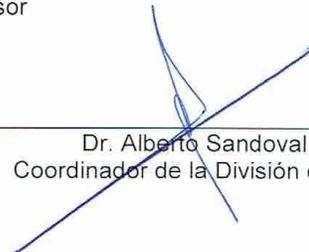
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2023

DECLARACION DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

La presente investigación titulada “**Efecto de la Aspersión Foliar de Nanofertilizantes de Magnetita en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de Invernadero**” es una elaboración propia, sin contener de forma total o parcial citas, imágenes, tesis, artículos y otras obras sin tener cita referida, donde señale su autor.

Estando consciente que, en caso de cometer plagio, será objeto de sanción por medio del Comité Editorial y/o legales, así mismo como el derecho de no aprobación de la misma.

PASANTE



José Emmanuel Pozos Herrera

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por brindarme salud, entendimiento y sabiduría para poder culminar mis estudios profesionales y sobre todo agradecer porque nunca me dejó solo en los momentos donde pensaba que ya no podía más.

A Mis Padres

Ya que sin ellos esto no hubiese podido ser posible, gracias por todos sus consejos y enseñanzas que me inspiran a luchar por mis sueños, gracias por estar atrás de mí cuidándome y apoyándome en cada paso de mi vida.

A Mis Asesores de Tesis

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, a la Dra. Daniela Alvarado Camarillo y al Dr. José Alfredo Hernández Maruri. Gracias por darme el privilegio de poder realizar mi tesis con ustedes y sobre todo gracias por brindarme un poco de lo más valioso que tienen, su tiempo y conocimiento.

A Mi Alma Terra Mater

Por ser partícipe de mi más grande sueño, por permitirme forjarme en sus aulas donde día a día se aprendían nuevas cosas que me llevarían a ser lo que soy ahora. Sin duda podría decir que llegar a esta universidad ha sido lo mejor que me ha pasado en mi vida.

¡Una vez siendo buitre, siempre buitre!

DEDICATORIAS

A mis padres Gilberto Pozos Martínez y Gloria Herrera Huerta

Este logro es dedicado a ustedes principalmente porque son mi tesoro más preciado en esta vida, porque ustedes son mi motivación para seguir adelante rompiendo todas las adversidades. Me siento un hijo bendecido al saber que siempre están a mi lado apoyándome y alentándome para que yo cumpla todas mis metas, cabe recalcar que este logro no es solo mío si no de ustedes ya que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su amor incondicional.

A mis hermanos Ana Karen P.H., Brandon P.H., y María José P.H.

Les dedico este logro a ustedes que me han enseñado que todo lo que creemos imposible se puede llevar a cabo, solo es cuestión de tener apoyo como el que ustedes me brindan. Los quiero muchísimo.

A mi asesor de tesis Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Docentes con el amor y dedicación que usted le pone a lo que realiza suele haber pocos, sin en cambio me toco la fortuna de coincidir con uno de los mejores. Agradezco infinitamente la paciencia y las enseñanzas que me otorgó durante este proceso tan importante en mi vida.

A mis amigos

Karla Michelle Alvarado Velasco y Balamquitze Mejía Hernández

Por brindarme siempre lo mejor de ustedes, por el apoyo emocional he incondicional que me otorgaron cuando yo no tenía a quien recurrir, por las risas, lagrimas y enojos que vivimos durante esta etapa de la vida llamada "Universidad". Los llevo en mi corazón a donde quiera que vaya y les deseo el mayor de los éxitos en su vida profesional.

**Ing. Gustavo Moreno Reyes, Ing. Alan Uriel Hernández Godos e Ing. Carina
Herrera Luna**

Gracias por estar ahí cuando los necesitaba, por el apoyo, enseñanzas y consejos
que me otorgaron los cuales me llevaron a lograr este sueño echo realidad.

**Jazmín Espino, Salma Reyes, Omar Galindo, Rodolfo Martínez, Francisco
Agapito y Alejandro Garrido**

No podría considerar personas más increíbles como lo son ustedes, mis logros se
deben gracias a que no me dejaron atrás y me motivaron para seguir adelante.
Gracias por todo el apoyo brindado en especial por las regañadas que me daban, sin
duda fueron de las que más aprendí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo general	3
1.1.1 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Origen del cultivo	4
2.2 Taxonomía	4
2.3 Descripción botánica	5
2.3.1 Raíz	5
2.3.2 Tallo	5
2.3.3 Hoja	5
2.3.4 Flor	6
2.3.5 Fruto	6
2.4 Propiedades del tomate	6
2.5 Importancia	6
2.6 Producción mundial	7
2.7 Producción nacional	7
2.8 Requerimientos edafoclimáticos	7
2.8.1 Temperatura	7
2.8.2 Humedad relativa	8
2.8.3 Radiación	8
2.9 Manejo del cultivo	8
2.9.1 Podas	8
2.9.2 Tutorado	9
2.9.3 Marco de plantación	9

2.9.4 Fertilización	9
2.9.5 Plagas y enfermedades	10
2.10 Requerimientos hídricos	12
2.11 Sistemas hidropónicos	12
2.11.1 Sustrato	12
2.12 Suelo	13
2.13 La nanotecnología	13
2.14 Aplicación a la agricultura	14
2.15 Nanopesticidas	14
2.16 Nanoherbicidas	14
2.17 Nanosensores	15
2.18 Nanofertilizantes	15
2.19 Hierro	15
2.20 Magnetita (Fe_3O_4)	16
III. MATERIALES Y METODOS	18
3.1 Localización del experimento	18
3.2 Material vegetal establecido	18
3.3 Preparación del sustrato	19
3.4 Trasplante	19
3.5 Fertilización	19
3.6 Manejo sanitario	20
3.7 Labores culturales	20
3.7.1 Poda	20
3.7.2 Tutorado	20
3.7.3 Riego	20
3.8 Tratamientos evaluados	21
3.8.1 Aplicación	21

3.9 Variables evaluadas	21
3.10 Diseño estadístico	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Rendimiento por hectárea	25
4.2 Peso fresco	26
4.3 Índice de cosecha en fresco	29
4.4 Altura de la planta	30
4.5 Sólidos solubles totales	31
4.6 Contenido de nitrato en fruto y peciolo	32
4.7 Contenido de calcio en el fruto	34
V. CONCLUSIONES	36
VI. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del invernadero.....	18
Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el rendimiento.....	26
Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el peso fresco total.....	27
Figura 4. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el peso fresco de tallo.....	28
Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el peso fresco de hoja.....	28
Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el índice de cosecha en fresco.....	29
Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre la altura de la planta.....	30
Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre la cantidad de sólidos solubles totales en el fruto.....	32
Figura 9. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el contenido de nitrato en el fruto.....	33
Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el contenido de nitrato en el peciolo.....	34
Figura 11. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el contenido de calcio del fruto.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características generales de magnetita.....	16
Cuadro 2. Tratamientos evaluados para determinar el efecto de la concentración de magnetita en plantas de tomate.....	21

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos con mayor importancia en el sector agrícola a nivel mundial y nacional, debido a su importancia económica y las propiedades benéficas que contiene para el ser humano. Cabe mencionar que su demanda va en aumento a conforme crece el número poblacional, por lo tanto, los rendimientos de producción deben de ser mayores para satisfacer la necesidad del consumidor. Debido a esto, los agricultores se ven obligados a incrementar el uso de fertilizantes, lo que proporciona un daño al medio ambiente y a la economía.

La nanotecnología presenta un conjunto de técnicas, métodos y productos que pueden proporcionar nuevos avances en varias áreas clave como la agricultura. Los nanofertilizantes están recubiertos con la composición química deseada la cual otorga una liberación controlada y una entrega dirigida de ingredientes efectivos a nanoescala, lo cual nos ayuda a reducir pérdidas y minimizar la contaminación ambiental en comparación con los fertilizantes convencionales. Se denomina nanopartícula (NP) al material que van de tamaño igual o inferior a 100 nanómetros.

El objetivo de este experimento fue conocer más sobre el comportamiento de los NFs de magnetita en el cultivo de tomate bajo diferentes concentraciones, por lo que se implementó un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos: T1= 0 ppm, T2= 2500 ppm, T3= 500 ppm, T4= 1000 ppm con NFs de magnetita; se realizaron cinco aplicaciones foliares dejando un intervalo de 15 días entre cada una de ellas.

En los resultados obtenidos se pudo observar un aumento en el peso fresco del cultivo de hasta un 7.87% de diferencia en comparación con el testigo, pero un resultado negativo en el rendimiento por hectárea del 17.27%. Esto sugiere que se presentó un índice de cosecha negativo. La variable de sólidos solubles totales fue de las más favorecidas a la aplicación de NFs de magnetita con un aumento del 11.79% en relación con el testigo. La concentración de 250 ppm fue la que más favoreció a las diferentes variables, por lo que se recomienda realizar investigaciones con concentraciones más bajas.

Palabras clave: Tomate, magnetita, nanofertilizantes, nanotecnología.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important crops in the agricultural sector worldwide due to its economic importance and the beneficial properties it contains for humans. It is worth mentioning that its demand is increasing as the population number grows, therefore, production yields must be higher to satisfy the consumer's needs. Due to this fact, farmers are forced to increase the use of fertilizers, which provides damage to the environment and the economy.

Nanotechnology presents a set of techniques, methods and products that can provide new advances in several key areas such as agriculture. Nanofertilizers are coated with the desired chemical composition that provides a controlled release and targeted delivery of the effective ingredients at the nanoscale, which reduces losses and minimize environmental pollution compared to conventional fertilizers. A material with a size equal to or less than 100 nanometers is called a nanoparticle (NP).

The objective of this experiment was to learn more about the behavior of magnetite NPs in tomato crops under different concentrations, so a randomized block design was implemented with four treatments to be evaluated: T1 = 0 ppm, T2 = 2500 ppm, T3= 500 ppm, T4= 1000 ppm of magnetite, five foliar applications were made leaving an interval of 15 days between each of them.

The results showed an increase in the fresh weight of the plants of up to 7.87% when treated with magnetite at 1000 ppm compared to the control, but a negative result in the yield of 17.27%, this indicates a negative harvest index. The total soluble solids was one of the most favored parameters as there was an increase of 11.79% in relation to the control. The concentration of 250 ppm was the one that most favored the different variables, so it is suggested to carry out further research with lower concentrations.

Keywords: Tomato, magnetite, nanofertilizers, nanotechnology.

I. INTRODUCCION

La agricultura es una actividad de gran importancia en todo el mundo, tanto para los países subdesarrollados, en desarrollo o incluso los desarrollados, ya que conforme estos crecen, la población también aumenta a gran magnitud y por ende la demanda de alimentos es mayor. Debido a esto se deben implementar nuevas formas de producción tomando en cuenta el desarrollo económico y social, y lo más importante es que este cambio sea sustentable y que los recursos naturales no se vean afectados, ya que cada día que pasa estos se degradan más (Bula, 2020).

En los países desarrollados se ha tenido éxito con el uso de nanopartículas (NPs), mientras tanto en los países en desarrollo debido al gran problema de producción de alimentos y problemas ambientales han optado obligatoriamente por el uso de nanotecnología para afrontar dichos problemas. Hablando del área agrícola y ambiental, las NPs han sido de gran importancia ya que resuelven problemas que productos a escala normal resultan ser costosos y poco eficientes. La producción agrícola espera de las NPs reduzcan pérdidas y efectos dañinos al ambiente debido al uso excesivo de insumos agrícolas convencionales (fertilizantes y plaguicidas); estas pretenden crear fertilizantes especiales, estimulantes del crecimiento y plaguicidas sistémicos para una mejor sustentabilidad (Carrillo y Gonzales, 2009).

Comparando los nanofertilizantes (NFs) con los fertilizantes convencionales, existe una gran diferencia ya que los NFs aumentan el rendimiento sobre la fertilidad del suelo, estos no son tóxicos y no provocan daños al ambiente ni a los seres humanos; al igual reducen los costos de producción ya que las NPs presentan un tamaño de partícula menor al de los poros de las raíces y hojas de la planta lo que beneficia la penetración y reduce el desperdicio de fertilizantes por factores bióticos o abióticos (Qureshi *et al.*, 2018).

Debido a la rápida conversión del hierro, las plantas sufren deficiencia aun habiendo grandes cantidades en el suelo. Las aplicaciones de fertilizante de hierro inorgánico en el suelo no son efectivas al 100%, sin embargo, las NPs de óxido de hierro (en

forma de magnetita, maghemita, hematita, ferrihidrita, entre otras de sus formas minerales) podrían ser adecuadas para la planta aumentando la eficiencia ya que se trata de un medio de liberación controlada (Cereceda *et al.*, 2021).

La magnetita cuenta con una estructura cristalina y magnética las cuales le proporcionan propiedades únicas, esta se compone por 8 fórmulas moleculares para un total de 56 iones: 32 oxígenos y 24 hierros, presenta una densidad de 5.18 g/cm³; su forma molecular se representa como Fe₃ O₄. Tiene una fuerte presencia en la naturaleza en diferentes ambientes, es por ello que el estudio de este mineral es de gran interés en diferentes campos (Mazo, 2011).

Bien sabemos que el tomate es de las hortalizas con mayor demanda en el mundo, otorgándonos diversos tipos y formas, al igual es un cultivo que presenta una gran importancia económica con 5.02 millones de hectáreas plantadas en el mundo y una producción total reportada de 17.7 millones de toneladas de frutos cosechados al año. Actualmente el tomate cherry ha aumentado en producción, siendo un cultivo económicamente redituable, por lo que es una opción prometedora para ser cultivada en invernadero (Córdoba *et al.*, 2018). El tomate cherry suele destacar por los altos contenidos de carotenoides, vitamina C, compuestos fenólicos, sólidos solubles, sabor y amarre del fruto con una producción en rendimiento de 27.48 t ha⁻¹ a campo abierto, bajo invernadero se reportan 78.39 t ha⁻¹ (Márquez *et al.*, 2014).

El tomate tipo uva se caracteriza por tener un sabor único, presentando cantidades de hasta 10 °Brix, siendo esta una característica que los hace saludables y de gran atracción para el consumidor. Es por ello que han tenido gran demanda en los supermercados y en los restaurantes ya que les dan un toque único a los platillos (Monge-Pérez, 2015).

El objetivo del presente trabajo es evaluar los NFs de magnetita para una agricultura más amigable con el ambiente y sobre todo más redituable económicamente con mejores resultados en el cultivo del tomate uva.

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de los NFs de magnetita en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la concentración de NFs de magnetita en el rendimiento y calidad de frutos de tomate.
- Determinar el efecto de las NFs de magnetita sobre el desarrollo vegetativo en el cultivo de tomate.

1.2 Hipótesis

La aplicación de NFs de magnetita en diferentes concentraciones causaran un efecto en el crecimiento y desarrollo en el cultivo de tomate tipo uva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del cultivo

El tomate es una especie proveniente de la zona Andina (Perú, Bolivia, Ecuador). México y el norte de Guatemala son los países donde se domesticó y donde se concentran la mayor parte de variedades, para muchos países es considerado como una hortaliza de gran demanda debido a sus propiedades de vitaminas y minerales (Avendaño, 2017).

En 1523 llegó a España desde México con el nombre de jitomate y en 1544 fue llevado a Italia por los bajeles españoles donde le dieron el nombre de mela peruviana (Cabieses y Lozano, 2009).

2.2 Taxonomía

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Subfamilia: Solanoidea

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*

(López, 2017).

2.3 Descripción Botánica

El tomate es una planta herbácea perenne y dicotiledónea, su tallo es de gran grosor con un color verduzco, presenta hojas compuestas y pinnadas, presenta una flor regular y su fruto es una baya (Espinosa, 2020). Puede ser de tipo rastrero, semi-erecta o erecta. Existen dos tipos de plantas, determinado e indeterminado, la diferencia de ambos es su crecimiento ya que uno es de crecimiento limitado (determinado) y otro ilimitado (indeterminada), (Saavedra, 2019).

2.3.1 Raíz

Presenta una raíz principal pivotante la cual produce raíces adventicias y ramificadas, la profundidad de dicha raíz puede alcanzar hasta 1.5 m, aunque el 75% son encontradas a 45 cm de profundidad (Saavedra, 2019).

2.3.2 Tallo

Presenta un tallo con apariencia herbácea al inicio este se compone de epidermis con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular, llega a medir de 2 a 4 cm de ancho, velloso, anguloso con una coloración verdosa, con forme va creciendo la parte superior es más delgada que la parte inferior. El tallo principal produce lo que son los tallos secundarios, hojas y racimos florales (Marín, 2016).

2.3.3 Hoja

Posee hojas pinnadas y compuestas recubiertas de pelos glandulares con aproximadamente siete a nueve folíolos lobulados con un borde irregular, presentan una coloración verduzca en el haz lo que lo difiere del envés que presenta una coloración ceniza. La hoja se puede posicionar de diferentes formas por ejemplo semi-erecta, horizontal o inclinada (Marín, 2016).

2.3.4 Flor

Presenta una flor perfecta con formación de racimos florales cada 10 días aproximadamente en una planta de crecimiento indeterminado, cada racimo se compone de varias flores con órganos masculinos y femeninos funcionales, una sola planta puede producir hasta 20 inflorescencias (Escobar y Lee, 2009).

2.3.5 Fruto

El 94% - 95% del fruto se compone de agua y el 5-6% se constituye de una mezcla de carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas. El tiempo aproximado que tarda un fruto de tomate en crecer es de 60 a 70 días partiendo del cuajamiento hasta el momento de cosecha (Escobar y Lee, 2009).

2.4 Propiedades del tomate

El tomate es de gran importancia en la dieta por sus grandes contenidos de nutrientes y antioxidantes, al igual ayuda a reducir el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer, esto se debe a que es rico en licopeno, β -caroteno, fenoles, flavonoides y compuestos fenólicos que tienen la capacidad de neutralizar especies reactivas de oxígeno (EROs) y prevenir cambios oxidativos en el cuerpo humano (Tlahque *et al.*, 2019)

2.5 Importancia

El tomate es una de las especies más importantes en el mundo después del maíz, arroz, trigo, papa, soya y yuca, al igual, es de las hortalizas que más se consumen presentando un consumo medio de 20.5 kg per /cápita /por año en 2009, este se vende fresco o procesado en diferentes presentaciones ya sea en pasta, sopa, salsa, polvo etc. Europa y América, hace 20 años eran de los principales productores mientras tanto

hoy Asia domina el mercado del tomate, con China en primer lugar, seguida en orden decreciente por India, EE.UU., Turquía, Egipto, Irán, Italia, Brasil, España y Uzbekistán. Durante los últimos 20 años se ha duplicado su producción alcanzando los 160 millones de toneladas y su consumo debido al gran crecimiento poblacional (Bergougnoux, 2013).

2.6 Producción mundial

Durante el periodo de 2003 a 2017, la producción de tomate aumentó mundialmente hasta un 22% anualmente, siendo China uno de los países líderes con un 23%, seguido por China continental con un 22%; los Estados Unidos de América representa el 7% al igual que la India y Turquía con el 6% de la producción mundial, (Méndez *et al.*, 2022).

2.7 Producción nacional

La producción se lleva a cabo en toda la nación, pero el principal productor es el estado de Sinaloa, contribuyendo con el 32%, posteriormente Baja California (8.25%), Michoacán (7.05%), San Luis Potosí (6.62%), Jalisco (5.43%), Zacatecas (4.73%), y Baja California Sur (4.54%). A pesar de que Sinaloa es el principal productor, su crecimiento se ha estancado debido a la escasez de agua y la alta incidencia en plagas a comparación de Zacatecas y Jalisco, los cuales presentaron un crecimiento anual del 8% y 5% (Montaño *et al.*, 2021).

2.8 Requerimientos edafoclimáticos

2.8.1 Temperatura

La temperatura ideal está entre los 20 y 25°C ya que es un cultivo de clima cálido, bajo invernadero la temperatura no debe sobre pasar los 35°C para evitar desordenes fisiológicos (Avila, 2015).

Cuando hay una temperatura de 32°C en las horas del día y 26°C durante las horas de la noche las probabilidades de que haya mayores porcentajes de amarre de fruto son menores debido a que la temperatura alta produce una caída de flores (García *et al.*, 2018).

2.8.2 Humedad Relativa

Lo ideal en cuestión de humedad relativa para el cultivo de tomate se encuentra en el rango de 65% – 70% lo cual garantiza un mejor desarrollo y polinización y por ende una mayor productividad (UNA, 2008).

2.8.3 Radiación

El fotoperiodo no es un obstáculo para el tomate ya que su necesidad de luz va de las 8 a 16 horas en un día (UNA, 2008).

La radiación óptima va desde los 400 a 700 nm situada entre los rayos ultravioletas he infrarrojos, el punto de saturación por luz de la planta de tomate es considerado cuando la planta ya no puede absorber más dióxido de carbono y este va 1 200 y 1 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ por lo tanto la luz recibida por la planta debe de ser igual o menor al punto de saturación ya que a mayor luz no proporciona mayor fotosíntesis (Zárate *et al.*, 2021).

2.9 Manejo del cultivo

2.9.1 Podas

La poda tiene distintos propósitos, como mejorar el espacio entre plantas, balancear el crecimiento del fruto con el vegetativo hasta reducir problemas sanitarios. Existen diferentes tipos de podas por ejemplo la poda de formación: consiste en eliminar los

brotos laterales con la finalidad de solo dejar el principal. Poda a un eje: se deja solo el tallo principal con la finalidad de dar una producción más abundante, poda a dos o más ejes: se deja crecer un brote lateral el cual será manejado como el tallo principal, poda de brotes: se eliminan los brotes axilares y secundarios para una mejor estructura de la plata. Es recomendable podar a una humedad relativa baja para una cicatrización más rápida y eliminación de las hojas. Su finalidad es proporcionar aireación y luz a la planta evitando incorporación de plagas debido a la alta humedad y follaje (Torres, 2017).

2.9.2 Tutorado

Es una práctica de gran importancia para mantener la planta erecta lo que evitara que las hojas y el fruto toquen el suelo, proporciona también, facilidad para realizar las labores culturales, mayor aireación, favorece la radiación, mayor calidad en los frutos y mejor control en las enfermedades (Paredes, 2009).

2.9.3 Marco de plantación

En un experimento realizado bajo invernadero por Cruz *et al.* (2003) mencionan que a una densidad de una planta cada 30 cm (densidad de 4 plantas/m²) logra obtener un rendimiento de 17.373 kg/m² por lo que es recomendable ya que reduce costos de producción a comparación de las diferentes densidades que planteó en dicho experimento.

2.9.4 Fertilización

La fertilización se basa en un análisis de agua y suelo del cual obtendremos información sobre las deficiencias y toxicidades de cada uno de los nutrientes. Se debe tener en cuenta que en etapas como el cuajado de fruto y el crecimiento de frutos las necesidades nutricionales aumentaran considerablemente. Es de gran importancia

conocer la extracción de nutrientes del fruto y biomasa vegetal del tomate para planificar una buena fertilización (Guzmán *et al.*, 2017).

2.9.5 Plagas y Enfermedades

Mantener un cultivo libre de plagas y enfermedades ha resultado ser una actividad muy complicada y criticada. Un manejo inadecuado de plagas y enfermedades puede generar pérdidas económicas muy grandes, perjudicar gravemente al ambiente, al operador y al consumidor. Es por ello que se den llevar a cabo un manejo integrado de sanidad el cual nos ayudara a cumplir con nuestros objetivos y reducir los problemas mencionados anteriormente (Polack y Mitidieri, 2005). Las plagas y enfermedades más frecuentes en el cultivo de tomate son:

Plagas

- Mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius)
Es una de las plagas que más daño causa al tomate, su reproducción es exitosa en tiempos de seca, transmisora de virus, caracterizada por causar dos tipos diferentes de daños: los directos en el cual inserta el estilete en el tejido vegetal, succiona sabia e inyecta sustancias fitotóxicas, los indirectos donde reproduce fumagina (excreciones azucaradas) y transmite virus (Cruz, 2018).
- Polilla del tomate (*Tuta absoluta*)
Esta plaga suele ser difícil de combatir ya que se encuentra dentro de las hojas, brotes y frutos dañando principalmente la parte comercializable, con una rápida reproducción y un rápido desarrollo a resistencias no es posible combatirla solo con control químico si no debemos implementar control biológico y cultural (Santos *et al.*, 2019).
- Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

Los síntomas que presenta esta plaga son los de sequía, se enrollan las hojas hacia arriba, se vuelven quebradizas y gruesas, al igual los entrenudos se acortan, la planta reduce su tamaño ya que detiene su crecimiento y las flores son abortadas y por ende no hay formación de frutos (Maya *et al.*, 2003).

Enfermedades

- Cenicilla

En México fue identificada por primera vez en el estado de Sinaloa, ahora la podemos encontrar en diferentes puntos del país. Esta enfermedad surge de diferentes tipos de hongos causando daños en hojas, tallos, flores y frutos, el tomate puede provocar pérdidas del 40% en el rendimiento y bajar la calidad del fruto debido a la radiación solar que pasara debido a hojas dañadas (Guzmán *et al.*, 2011).

- *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*

Los síntomas de esta enfermedad comienzan con amarillamiento he inclinación de la planta provocando un lento crecimiento con muy poca producción, igual surge la caída de peciolo de las hojas superiores que avanzan hacia el ápice o bien puede comenzar amarillando las hojas inferiores terminando por secar la planta (Cepeda, 2009).

- Tizón temprano (*Alternaria spp.*)

Es causado por *Alternaria solani* atacando principalmente hojas maduras, dejando lesiones circulares o anilladas con un color café a negro, estas lesiones también se pueden presentar en tallos, peciolo y pedúnculos (Torres, 2017).

2.10 Requerimientos hídricos

La demanda hídrica depende de aspectos muy importantes como las condiciones meteorológicas y el estado de desarrollo en el que se encuentra la planta, el estado reproductivo es el más delicado en cuestiones de agua, la calidad y el rendimiento son factores que pueden ser afectados debido a un estrés hídrico ya que es muy sensible el tomate a los retrasos de riego (Saavedra, 2019).

Hidalgo (2019) reporta que las necesidades hídricas de la planta de tomate se basan a las condiciones ambientales y la etapa fenológica, observó que los requerimientos de agua del cultivo de tomate son incrementados en la etapa de fructificación, mientras que en la cosecha descienden, pasando de 30.82 mm en etapa inicial, 76.36 mm en floración, 134.0 mm en fructificación y finalmente de 50.29 mm en cosecha

2.11 Sistemas hidropónicos

Los cultivos hidropónicos tienen un claro objetivo el cual es eliminar o disminuir algunos de los factores que limitan el crecimiento vegetal. La hidroponía ha sido definida como un sistema en el cual las raíces son regadas con una solución nutritiva donde contiene los nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta, estos son disueltos en agua para después implementarlos en el sustrato, material inerte he incluso podrían estar solo en agua supliendo lo que es el suelo (Zárate, 2007).

Existen dos grupos en los cuales son divididos los sistemas hidropónicos: cerrados y abiertos. Los cerrados son aquellos donde la solución nutritiva se recircula y los abiertos desechan la solución nutritiva (Nieto, 2009).

2.11.1 Sustrato

El termino sustrato se le otorga a todo el material solido distinto al suelo, este es de gran utilidad para la siembra en hidroponía otorgando sostén y permitiendo que la raíz

se pueda desarrollar, aunque se debe de tener en cuenta que puede intervenir o no en la alimentación de la planta (De la Mora, 2011).

Un aspecto de gran importancia que se debe de tomar en cuenta son sus propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato principalmente las físicas ya que una vez incorporado el material vegetal a la maceta es difícil modificarlo a nuestro beneficio. Algunas de las propiedades físicas que se toman más en cuenta son el espacio poroso total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente y densidad real (Cruz *et al.*, 2013)

2.12 Suelo

El tomate es exigente con suelos aireados y con gran capacidad para almacenar agua al igual debe ser rico en materia orgánica, bajo invernadero no es muy exigente, pero sin en cambio el drenaje es de gran importancia. El pH ideal debe de estar dentro del rango de 6 y 7 con una conductividad eléctrica de 1.5 y 2.0 dS/m (Ávila, 2015).

2.13 La nanotecnología

La nanotecnología es un nuevo campo de la ciencia con una amplia gama de aplicaciones que van desde la biomedicina, la eléctrica, la remediación ambiental, la agricultura, etc. (Fernández y Tapia, 2019).

Richard Feynman fue uno de los primeros que mencionó las posibilidades que existían sobre trabajar en el mundo de las nanopartículas en el año de 1965, además un avance importante para la ciencia a nano escala surgió en el año de 1980 con la aparición de la microscopía de efecto túnel y la microscopía de fuerza atómica. La palabra nano procede del nanómetro (nm), siendo una unidad de longitud que equivale a la millonésima parte del metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) (López, 2012).

2.14 Aplicación a la agricultura

La nanotecnología está presente en todas las etapas de los cultivos, desde la germinación hasta cuando el producto ya es transportado a su destino. Para asegurar el suministro específico de los nutrientes es de gran importancia ya que aumenta la eficiencia y disminuye la pérdida de los mismos, algunas aplicaciones de la nanotecnología para mejorar el cultivo son las siguientes: NFs, nanoherbicidas, nanofungicidas, nanobiosensores, transportadores genéticos a nanoescala, agentes de nanobiorremediación y nanocompuestos para empaque (Golla *et al.*, 2022).

2.15 Nanopesticidas

Se define como nanopesticida a las partículas pequeñas dentro del rango (1-100 nm) con ingredientes activos, nanometales u óxidos metálicos con el objetivo de prevenir, destruir, repeler o mitigar plagas (Nuruzzaman *et al.*, 2019).

Estos están formulados en nanomateriales los cuales otorgan beneficios, por ejemplo, pueden aumentar la solubilidad en agua, la biodisponibilidad de ingredientes activos y brindar protección a los agroquímicos contra la degradación ambiental (Chaud *et al.*, 2021).

2.16 Nanoherbicidas

La nanotecnología tiene como propósito reducir el uso excesivo de herbicidas con uno que este nanoestructurado ya que su eficacia de penetración ayuda a eliminar las malezas antes de que estas desarrollen resistencia, al igual los nanoherbicidas son una estrategia para combatir todos los problemas que los herbicidas convencionales no pueden combatir (Seehra, 2017).

2.17 Nanosensores

Los nanosensores tienen diferentes funciones en la agricultura, por ejemplo, son utilizados para detectar la humedad en el suelo, las necesidades de nutrientes, los residuos de pesticidas y la detección de plagas en los diferentes cultivos. Lo que hace especiales a estos nanosensores en la agricultura inteligente es la alta sensibilidad y el bajo límite de detección, estos se dividen en cuatro tipos: nanosensores químicos, electrómetros, biosensores y biosensores en chip (Johnson *et al.*, 2021).

2.18 Nanofertilizantes

Son nutrientes que están encapsulados con nanomateriales para tener un control en su liberación lenta con la finalidad de que el productor pueda tener un mayor crecimiento en sus cultivos debido a la entrega constante que se realizara durante el desarrollo de la planta, la liberación va de los 40 a 50 días en tanto a los convencionales es de 4 a 10 días. La aplicación de los nanofertilizantes es en menor proporción a los convencionales lo que puede ayudar a ahorrar el agua y suelo debido a la contaminación por nutrientes (Zulfiqar *et al.*, 2019).

2.19 Hierro

El hierro (Fe) es un microelemento que actúa en diferentes procesos de la planta, por ejemplo, en la síntesis de clorofila y el transporte de electrones en la fotosíntesis. Puede ser un elemento tóxico, por lo tanto, las plantas deben regular la obtención de Fe, el transporte y la distribución entre sus diferentes órganos. A pesar de que está presente en gran cantidad en la corteza terrestre, las plantas presentan significativas deficiencias debido a la poca disponibilidad en formas asimilables en el suelo, principalmente en los suelos calizos (Rellán, 2011). La deficiencia de Fe causa una reducción del contenido de pigmentos fotosintéticos, lo cual conlleva a un enriquecimiento referente de carotenoides sobre las clorofilas, provocando un color amarillo u hojas cloróticas a la planta (Pestana *et al.*, 2012).

2.20 Magnetita (Fe₃O₄)

El óxido de hierro es el óxido metálico más común que se encuentra en el suelo, presentados en forma de cristales diminutos, cualquier óxido de hierro común a un pH neutro a partir de la oxidación de un sistema Fe (II) debido a ciertos cambios pequeños en el porcentaje de oxidación en el suelo y a una elevada temperatura ocasionada por incendios de pasto o bosques pueden ser transformados a magnetita (Acevedo *et al.*, 2004).

La magnetita es una forma de Fe encontrada como mineral en muchas rocas volcánicas y arenas negras de las playas de mar, la mayor cantidad de esta se encuentra en el norte de Suecia y otras grandes cantidades en Noruega, Rumania, Rusia, Siberia y África del sur. Es un óxido mixto de Fe compuesta por 27.6% de oxígeno y 72.4% de hierro (Noval *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Características generales de magnetita (Noval *et al.*, 2017).

Formula química	Fe₃O₄
Clase	Óxido
Grupo	Espinela
Etimología	El nombre probablemente se deriva de la localidad de Magnesia, en Macedonia
Sistema y clase	Isométrico 4/m32/m
Tipo de celda unitaria	Cubica (espinela inversa)
Grupo espacial	<i>Fd3m</i> , <i>a</i> = 8,40 Å; <i>Z</i> = 8
Posiciones en	Valores de espaciado interplanar <i>d</i> (Å):
Difracción de rayos x	2,96-2,53- 1,61 - 1,48- 1,09
Color	Negro
Brillo	Metálico
Densidad	5,2 g/cm ³
Óptica	Opaco, de color gris e isótropo

Magnetismo	Ferrimagnetica
Forma de presentarse	Frecuentemente en cristales
En la naturaleza	octaédricos, raramente en dodecaedricos. Masivo o diseminado en agregados, gránulos compactos, también en arenas sueltas magnéticas

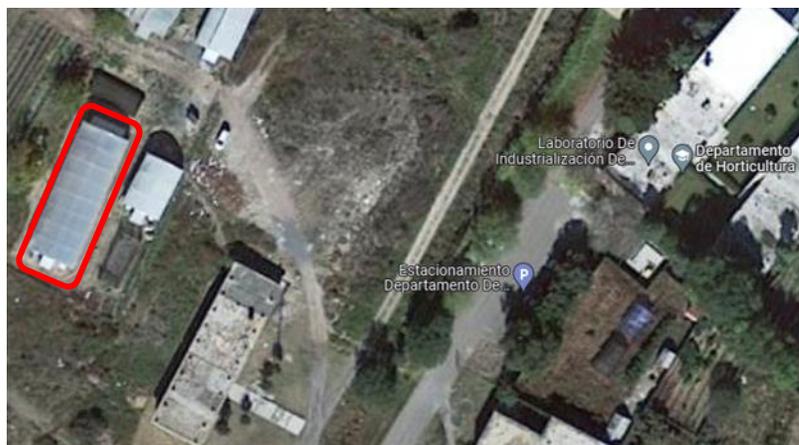
Se ha informado que los NFs de magnetita en la agricultura influyen positivamente, por ejemplo, en el maíz aumentó su crecimiento y los niveles de clorofila al igual que en plántulas de soja. Se espera que los NFs de magnetita influyan también con gran éxito en los parámetros de rendimiento de raíces y tallos. Estas abren extensas oportunidades de estudio para la investigación vegetal y la agricultura (Pariona *et al.*, 2017).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en los invernaderos del Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista Saltillo, Coahuila, México (Figura 1), en las siguientes coordenadas: Latitud 25°21'20.3"N, Longitud 101°02'11.4"W, altitud de 1762 msnm, con una temperatura media anual de 16.8°C y con un clima seco semiárido.

Figura 1. Localización del invernadero.



3.2 Material vegetal establecido

Se utilizó plántula de tomate de 15 cm de longitud y 3 hojas verdaderas desarrolladas del cultivar Cherubs con las siguientes características: es un cultivar de tomate tipo uva con fruto de color rojo anaranjado en el punto óptimo de recolección, el cual pasa a rojo intenso cuando está en su total maduración, es un fruto en forma esférica con

18-35 mm de diámetro, pesa sobre los 13 g, con un aroma y sabor intenso y con valores °Brix entre 6-8 en frutos maduros.

3.3 Preparación del sustrato

El sustrato se compuso de una mezcla de Sphagnum peat moss y perlita a una relación 70%:30% v/v. El sustrato utilizado se encontraba en un rango de pH 4.0-4.3 con una conductividad eléctrica de 0.25 dS/m, el cual tuvo que ser modificado debido a las necesidades de la planta. Este se preparó con un 1 gr de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) por litro de peat moss, dando por resultado un pH final de 5.9 aproximadamente.

3.4 Trasplante

El trasplante se realizó el día 8 de marzo del 2022 en bolsas de polietileno de 10L y de color negro a las cuales se le realizaron perforaciones en la parte inferior para el buen drenaje de agua y un pequeño doblez en la parte superior para un mejor manejo.

3.5 Fertilización

La solución nutritiva fue preparada con base a la formulación de Steiner ajustando el pH a un rango de 5.5 – 6.0 como punto inicial con HNO_3 (Ácido nítrico) y H_2SO_4 (Ácido sulfúrico), obteniéndose también una conductividad eléctrica entre 2.5 a 2.8 dS/m.

Dicha solución se complementaba de KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 y micro elementos, la cual se aplicó a un 25% el día 9 de marzo, la solución al 50% se empezó a aplicar el día 15 de marzo y para el 100% a partir del 23 de marzo.

3.6 Manejo sanitario

Para el manejo sanitario se implementaron los siguientes ingredientes activos: Imidacropid, Abamectina, Spiromesifen, Diazinon, Propiconazol, Hidróxido Cúprico y Gentamicina + Oxitetraciclina los cuales fueron rotados para no provocar resistencia o alguna intoxicación en la planta.

3.7 Labores culturales

3.7.1 Poda

Se realizaron podas de los brotes axilares para un mejor desarrollo de la planta y principalmente del tallo principal; al igual se realizaron podas de hoja para facilitar la aireación y dar un mejor color a los frutos.

3.7.2 Tutorado

Debido al habito indeterminado de la variedad utilizada, se realizó un tutorado tipo Holandés, el cual consiste en colocar una rafia sujeta a la parte inferior del tallo de la planta, la cual posteriormente se sigue enrollando para soportar el peso y así facilitar su manejo. Cuando tiene una altura considerable fue necesario bajar la planta.

3.7.3 Riego

El riego se realizó de forma manual de acuerdo a la etapa fenológica de la planta y la temperatura del medio ambiente ya que había días más soleados que otros, antes de regar se medía el volumen necesario para obtener un lixiviado del 30% al 35% a tal grado de tener un sustrato a capacidad de contenedor y con una conductividad eléctrica adecuada.

3.8 Tratamientos evaluados

Se evaluaron tres diferentes concentraciones de nanofertilizantes (NFs) de magnetita más un tratamiento testigo sin aplicaciones de la misma (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados para determinar el efecto de la concentración de magnetita en plantas de tomate.

Tratamiento	Nanofertilizante de magnetita (ppm)
T1	0
T2	250
T3	500
T4	1000

3.8.1 Aplicación

La aplicación de magnetita se realizó en forma foliar dejando un intervalo de 15 días entre cada aplicación, dichas aplicaciones se realizaban en las horas del día o tarde cuando la temperatura no fuera muy extrema. Los NFs eran llevados del laboratorio al invernadero en recipientes de vidrio ya con el peso indicado, posteriormente se disolvían en un matraz con 1 L de agua asegurándose que no quedarán residuos al fondo. Al aplicar con una bomba de 1L de capacidad marca SURTEK se cubría la planta con un nylon para evitar que otra planta fuera contaminada por los tratamientos vecinos.

3.9 Variables evaluadas

En este experimento se evaluaron las siguientes variables para determinar el efecto de los nanofertilizantes que podrían provocar en nuestra planta.

Rendimiento

Se obtuvo el peso de cada fruto en gramos (g) con ayuda de una báscula digital gramera.

Peso fresco de hojas

Se retiraba un número uniforme de hojas en todas las plantas, posteriormente se colocaban en bolsas de papel, las cuales tenían ya los datos de cada una de las plantas para un mejor manejo e identificación de las mismas. El peso se obtenía en gramos (g) con ayuda de la báscula gramera.

Peso fresco del tallo

Se retiraron las hojas del tallo el que después fue cortado en partes más pequeñas para que fuera más fácil su manejo, posteriormente se colocaron en bolsas de papel, todas debidamente etiquetadas, estas se pesaron con ayuda de la báscula donde el peso fue en gramos (g).

Peso fresco total

Se sumaron las dos variables de pesos frescos para determinar lo que es el peso total y tener una mejor visión de los cambios obtenidos en cada tratamiento.

Altura de la planta

Con ayuda de un flexómetro se midió la planta de la parte inferior del tallo hasta la parte superior que sería el ápice, los datos fueron recabados en centímetros (cm).

Índice de cosecha en fresco

El rendimiento de fruto se dividió entre el peso fresco total para obtener un indicador que muestre la eficiencia en el uso de la biomasa para la producción de frutos.

Sólidos solubles totales del fruto

Para esta variable se utilizó un refractómetro de mano de la marca ATAGO. Se muestrearon dos frutos similares (maduración y tamaño) de cada tratamiento y repetición, los cuales fueron molidos en un mortero obteniendo jugo el cual colocaríamos en el sensor, después de cada toma de datos se enjuagaba con agua destilada.

Contenido de nitrato en el fruto

Esta variable se obtuvo del jugo de dos frutos similares (maduración y tamaño) de cada una de las plantas los cuales fueron molidos en un mortero para después colocarlo en el sensor marca HORIBA y este nos arrojará un dato en partes por millón (ppm) del contenido de NO_3^- de dichos frutos.

Contenido de nitrato en el peciolo

Los peciolos se recolectaron en horas de la mañana después del riego a una temperatura entre 20° y 25° de hojas maduras. Los peciolos fueron molidos en un mortero, se extrajo el jugo y se colocó en el sensor marca HORIBA el cual nos arrojó los datos en partes por millón (ppm) del contenido de NO_3^- .

Contenido de calcio en el fruto

Esta variable se obtuvo del jugo de dos frutos similares (maduración y tamaño) de cada una de las plantas los cuales fueron molidos en un mortero para después colocarlo en el sensor marca HORIBA y este nos arrojará un dato en partes por millón (ppm) del contenido de Ca^{2+} de dichos frutos.

3.10 Diseño estadístico

El experimento realizado fue distribuido por un diseño estadístico de bloques completamente al azar, evaluando cuatro tratamientos y siete repeticiones con 2 plantas cada repetición por tratamiento dando un total de 56 plantas. Cuando el análisis de varianza indicaba efectos significativos se realizó una prueba de medias de Duncan con $p=0.05$ y se hizo un análisis de regresión en las variables respuesta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento por hectárea

La Figura 2 muestra el efecto causado en el rendimiento del fruto por las aplicaciones de NFs de magnetita en distintas concentraciones; ahí se puede observar que se presentó un cambio negativo a comparación del testigo, ya que el rendimiento disminuía conforme aumentaba la concentración de magnetita. Con la concentración de magnetita a 500 ppm, la reducción de rendimiento fue menor en un 8.56% comparado con el testigo.

La clorofila es un pigmento fundamental para la sobrevivencia vegetal, si reducen los niveles puede dañar significativamente la planta y por ende los rendimientos, por lo que Li *et al.* (2016) en sus resultados a la aplicación de NFs de g-Fe₂O₃ en plantas de maíz observó una deficiencia de clorofila en un 11.6%, 39.9% y 19.6% en relación con el tratamiento control. Por otro lado, Valle (2020) reportó una diferencia significativa en el rendimiento de plantas de frijol común, con un aumento de vainas y semillas bajo la aplicación de 0.15 g de NFs de hematita, comparadas con el tratamiento control. Lo anterior sugiere que la magnetita puede reducir el rendimiento de fruto debido a su efecto en la reducción de clorofila.

En contraste con los resultados del presente estudio, Guillén *et al.* (2022) al realizar aplicaciones foliares con NFs de óxido de hierro (Fe₂O₃) obtuvo una mejoría en el rendimiento en el cultivo de pepino ya que el mayor rendimiento se logró con los tratamientos de 50 y 75 mg L⁻¹ de NFs Fe₂O₃.

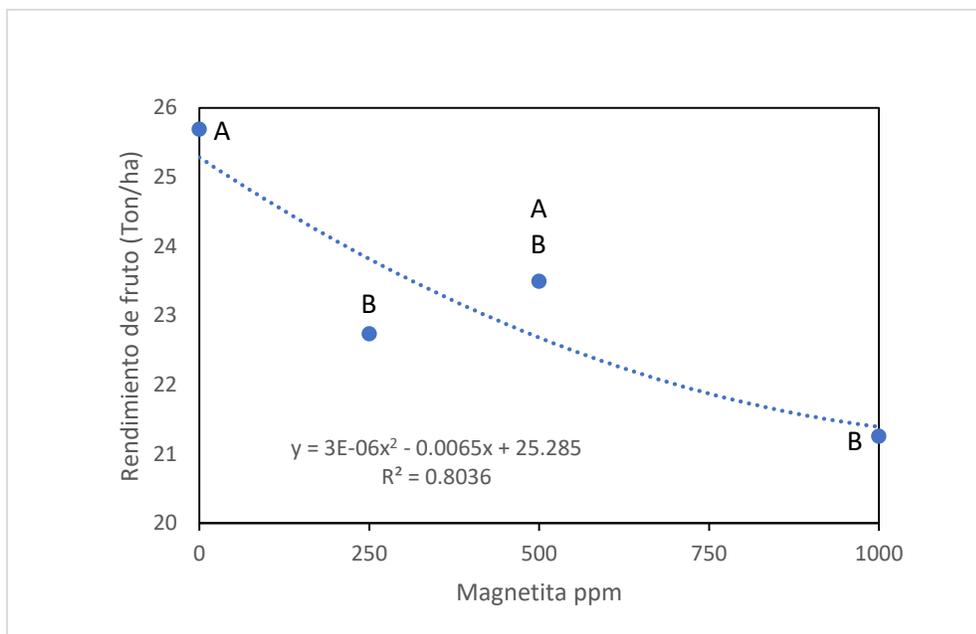


Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el rendimiento de fruto en cultivo de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

4.2 Peso fresco

En la Figura 3 se registra el peso fresco total, el cual fue obtenido de la suma del peso fresco de tallo (Figura 4) y peso fresco de la hoja (Figura 5), con respecto a las aplicaciones de NFs de magnetita al cultivo de tomate variedad cherubs, muestran que no hubo diferencia significativa. Sin embargo, el peso de tales órganos mostrò una tendencia a aumentar conforme aumentaba la concentración de NFs de magnetita, con excepción de la concentración a 500 ppm, en la cual el aumento fue mínimo comparado con las plantas del tratamiento testigo. La información anterior concuerda con lo reportado por Hu *et al.* (2017) quienes mencionan que la biomasa fresca en el cultivo de cítricos es máxima a una cantidad de 100 mg/L de Fe_2O_3 pero no mostraron diferencias significativas con respecto al control.

Los resultados reportados por Barrera (2015) son contradictorios a los del presente estudio ya que, bajo aplicaciones de hematita, el peso fresco en plántulas de tomate cv micro-Tom se elevó en la concentración mas baja compuesta por 750 g/L.

El peso fresco de la hoja (Figura 5) en las concentraciones más altas de NFs de magnetita, es decir, de 500 ppm y 1000 ppm, resultaron en un peso decreciente en 5.39% y 0.16% comparado con los de las plantas testigo. En el experimento realizado por Barrera (2015) concuerda con nuestros resultados ya que obtuvo un número menor de hojas en su tratamiento con la mayor concentración de NFs de magnetita, la cual fue de 2 g/L en plántulas de tomate cv micro-Tom.

Sin embargo, Rahemi *et al.* (2019) trabajando con árboles de membrillo a los cuales les aplicaron quelato de nanohierro al 9% (2000 mg/L) observaron que se puede aumentar significativamente el área foliar y el contenido de clorofila.

A diferencia del peso fresco de las hojas, el peso fresco del tallo (Figura 4) dio un resultado positivo a todas las concentraciones aplicadas vía foliar principalmente en la de 1000 ppm. Lo anterior es similar a los resultados obtenidos por Barrera (2015) ya que la longitud del tallo fue mayor en las concentraciones altas aplicadas de NFs de magnetita en plántulas de tomate cv micro-Tom.

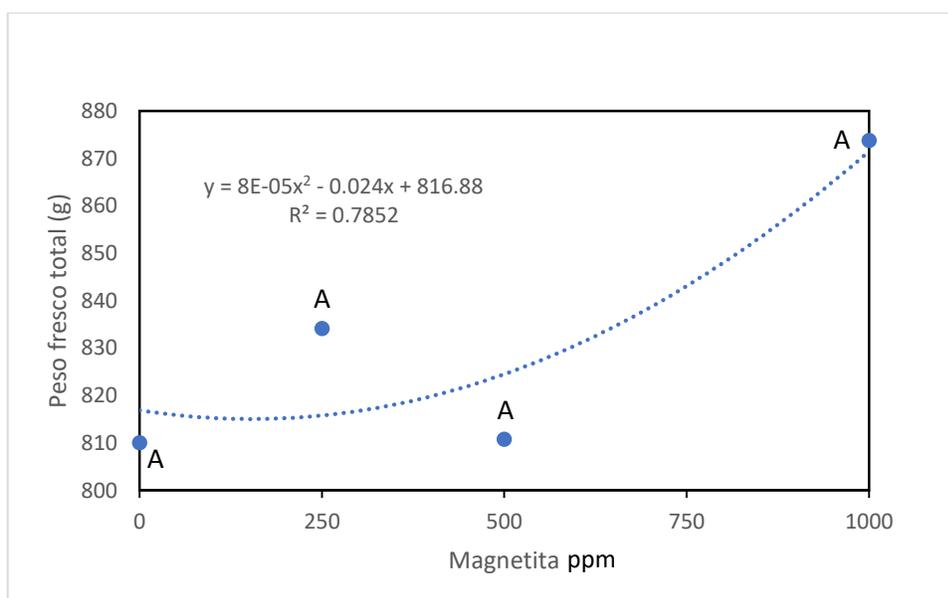


Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el peso fresco total en plantas de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

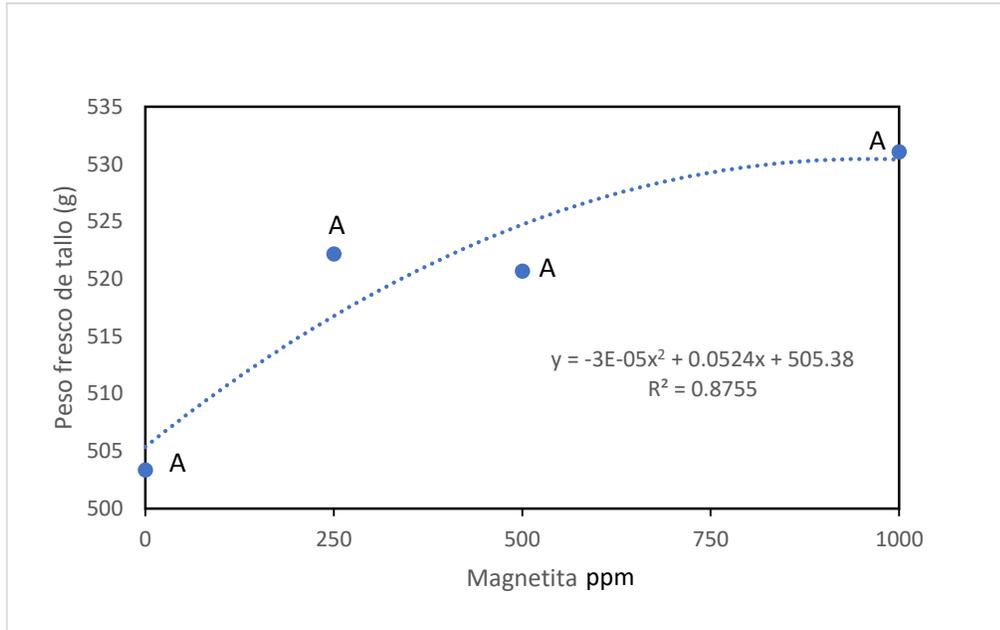


Figura 4. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el peso fresco de tallo en cultivo de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

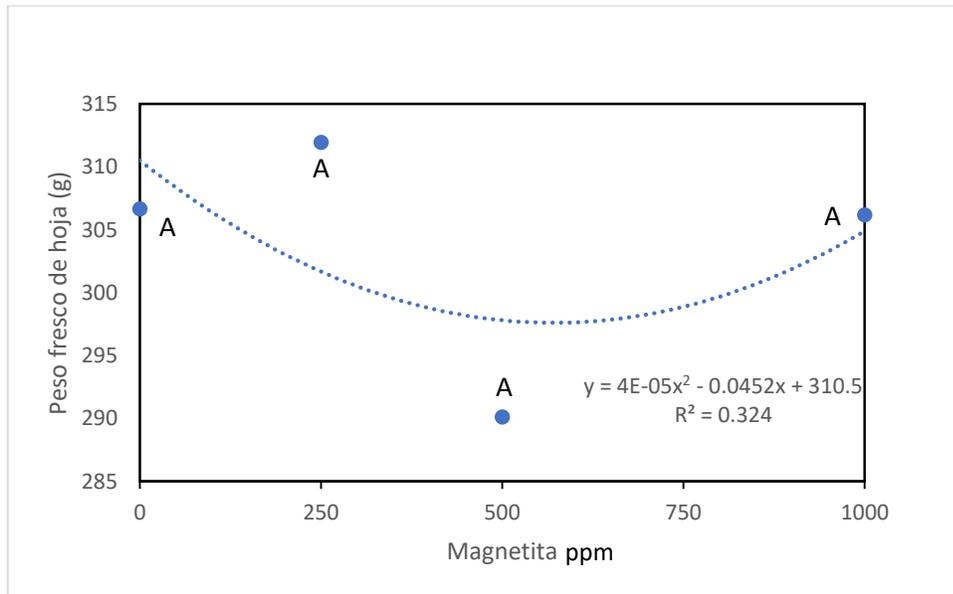


Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el peso fresco de hoja en plantas de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

4.3 Índice de cosecha en fresco

En esta variable, las aplicaciones foliares de NFs de magnetita dieron como resultado una diferencia significativa entre el tratamiento testigo y los diferentes tratamientos ya que el testigo fue superior con un 20.25% comparado con las plantas que recibieron la aplicación de 1000 ppm (Figura 6). Lo anterior significa que la magnetita promueve el crecimiento vegetativo sobre el crecimiento generativo.

Bajo aplicaciones foliares de nanomicronutrientes (nanoquelato de hierro y nanoquelato de zinc), Janmohammadi *et al.* (2016) reportaron un índice de cosecha favorable en el cultivo de cebada. Ghaffari y Razmjoo (2018) tuvieron un efecto positivo en el índice de cosecha del trigo duro, mencionan que este aumentaba conforme aumentaba el contenido en las aplicaciones foliares de sulfato de hierro y quelato de hierro. Los resultados de ambos tratamientos mencionados anteriormente no tienen similitud con los obtenidos en el presente estudio siendo así un motivo para una investigación más a fondo con diferentes cantidades de NFs magnetita.

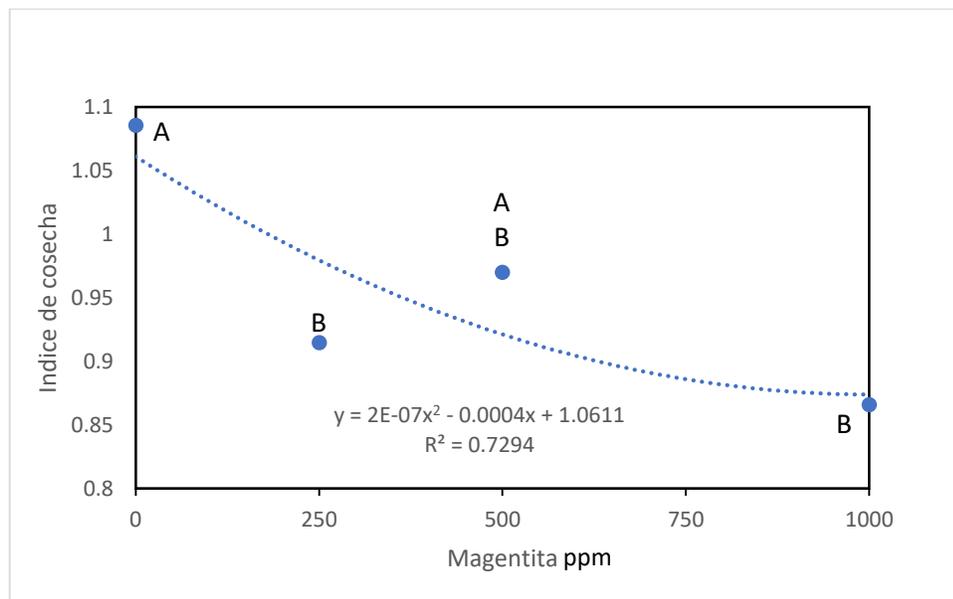


Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el índice de cosecha en fresco en plantas de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

4.4 Altura de la planta

Las aplicaciones de NFs de magnetita presentaron una diferencia significativa en la altura de la planta entre el tratamiento testigo y el tratamiento con 250 ppm de hasta un 7.28% (Figura 7). El tratamiento con 250 ppm presentó un mayor tamaño comparado con el testigo y los otros dos tratamientos en los que la concentración de magnetita fue mayor (Figura 7). Esto indica que a menor concentración estén los NFs de magnetita el tamaño de la planta será mayor. Estos resultados difieren con los obtenidos por Zhu *et al.* (2008) ya que después de 20 días de crecimiento no observaron diferencias visuales aparentes en las plantas de calabaza tratadas con y sin NFs de magnetita a una concentración de 0.5 gL⁻¹, lo que indica que los NFs no presentaron ningún efecto toxicológico en las plantas al nivel de concentración evaluado.

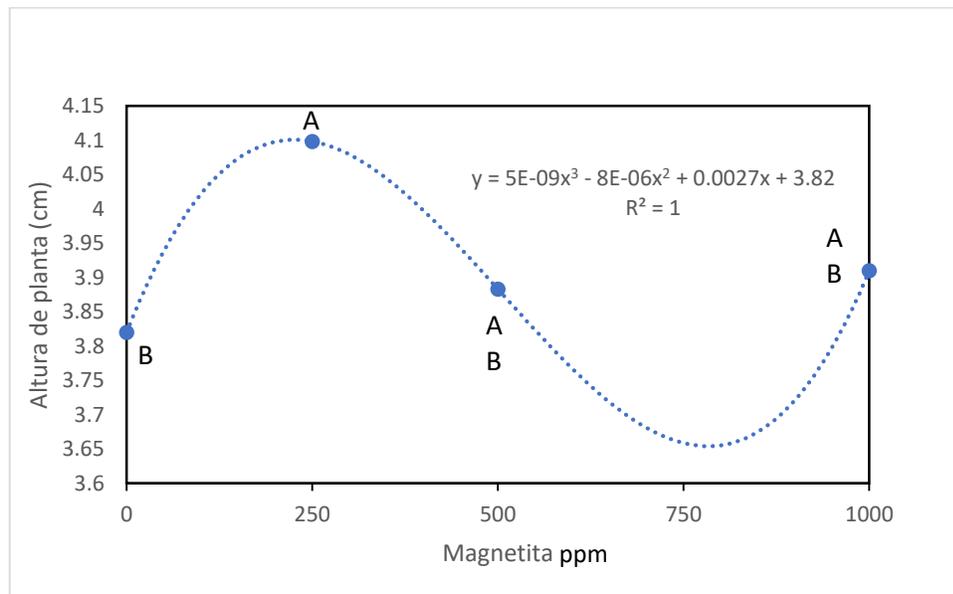


Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre la altura de la planta de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

4.5 Sólidos solubles totales

La Figura 8 representa los resultados a las aplicaciones de magnetita sobre la concentración de sólidos solubles totales, observándose una diferencia significativa cuando se aplicó el tratamiento a una concentración de 1000 ppm comparado con los tratamientos restantes, los cuales contenían concentraciones de magnetita menores. La diferencia fue hasta de un 11.79% tomando como base a las plantas testigo. Esto puede suceder debido a que el Fe interviene en la formación de clorofila, la cual ayuda a aumentar los carbohidratos en la planta producto de una mayor fotosíntesis.

Nuestros resultados resultan ser similares con los obtenidos por Santis *et al.* (2020) quienes en un experimento realizado en el cultivo de jitomate observaron una diferencia significativa a comparación del testigo en los SST bajo una aplicación de Fe en cantidades de 550 g, mostrando valores del 5.38%. Por otro lado, López *et al.* (2019) mediante la aplicación de 200 mg de Fulvato de Fe en plantas de chile serrano observaron que la cantidad de SST aumentó hasta un 7%, superando la cantidad obtenida por el testigo.

Al igual Guillén *et al.* (2022) reportaron que en las cantidades de SST se vieron afectadas positivamente en la planta de pepino, alcanzando su máximo porcentaje con la dosis aplicada foliarmente de NFs de óxido de hierro a una concentración de 100 mg L⁻¹.

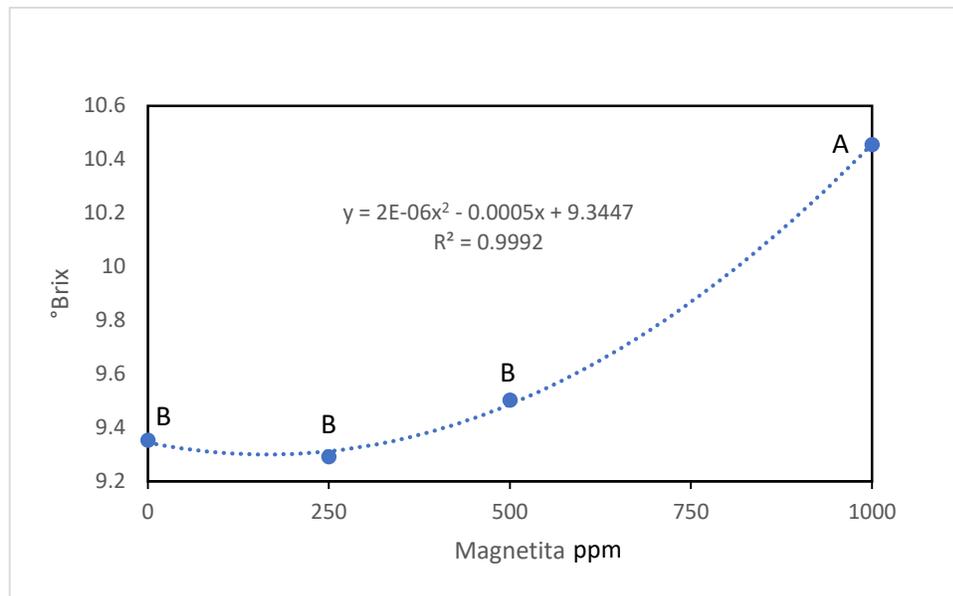


Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre la cantidad de sólidos solubles totales en el fruto de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

4.6 Contenido de nitrato en fruto y peciolo

Las aplicaciones de NFs de magnetita influyeron en los contenidos de nitrato en el fruto y peciolo, sin embargo, la comparación de medias no indica una diferencia significativa. La cantidad de nitratos en el fruto se vio beneficiada en las concentraciones distintas de NFs de magnetita, pero a una concentración de 1000 ppm se vio un mejor contenido de nitrato, con un 5% mayor al del tratamiento testigo (Figura 9). Gillispie *et al.* (2019) mencionan que a una concentración menor de 100 ppm de nanoóxidos metálicos de hierro aumenta la disponibilidad de nutrientes y no presenta efectos tóxicos, en este proceso interviene también el tamaño de la partícula y el modo de aplicación.

En los peciolos, los NFs de magnetita influyeron de manera distinta con respecto a los contenidos de nitrato en el fruto ya que el mayor incremento fue del 23% cuando se aplicó la concentración de 500 ppm a comparación del testigo (Figura 10).

Comparando los resultados anteriores con los reportados por Valle (2020) se observa que tampoco mostró una diferencia significativa en comparación con el tratamiento

testigo, pero sin embargo se obtuvieron tendencias a disminuir en los micronutrientes Fe, Zn, y Mn con hematita aplicada a una concentración de 0.5 g en el cultivo de frijol común.

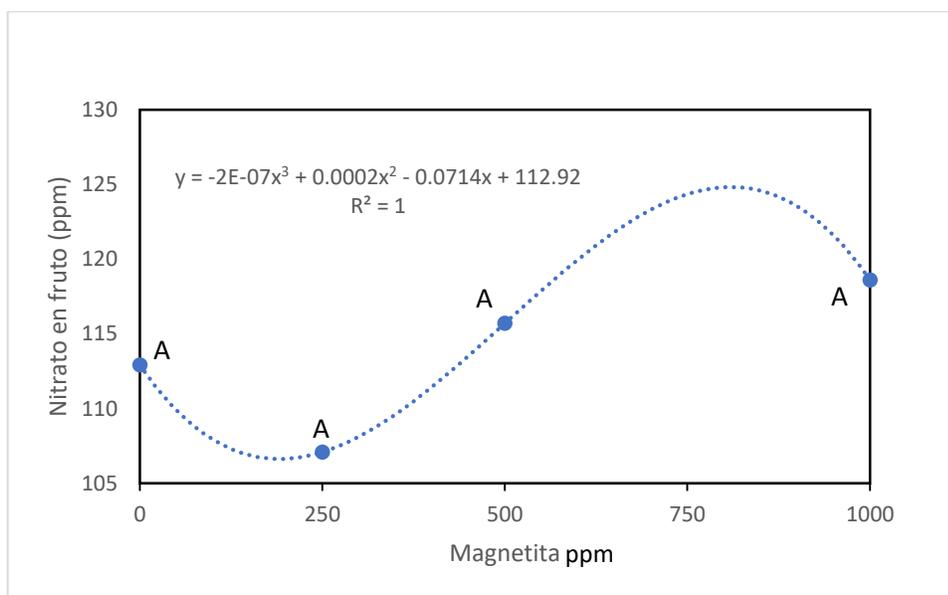


Figura 9. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el contenido de nitrato en el fruto en la planta de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

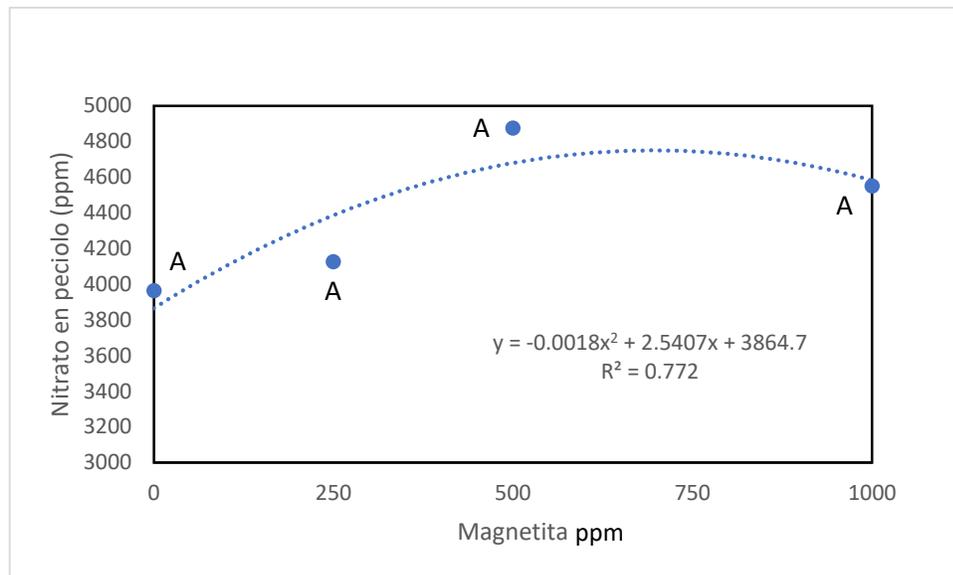


Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el contenido de nitrato en el peciolo de la planta de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

4.7 Contenido de calcio en el fruto

El contenido de calcio en el fruto bajo diferentes concentraciones de NFs de magnetita no mostró una diferencia significativa (Figura 11), aunque las tendencias fueron decrecientes, provocando una pérdida mínima del 1% en el tratamiento de 500 ppm, el cual fue el menos afectado comparado con el tratamiento testigo. Los resultados anteriores son diferentes a los obtenidos por Sheykhbaglou *et al.* (2018) ya que obtuvieron un efecto positivo en las cantidades de Ca, a una concentración de 0.75 g L⁻¹ de nano-Fe₂O₃ en semillas de soja, en las que se reportó una diferencia significativa del 1% en comparación de otros niveles de nano-óxido de hierro y el tratamiento control.

El reporte de Rahemi *et al.* (2019) es diferente al observado en el presente estudio ya que los autores mencionan que hubo un aumento en la concentración de Ca en hojas y frutos del membrillo aplicando una cantidad de 2000 mg L⁻¹ de nanoquelato de hierro foliarmente.

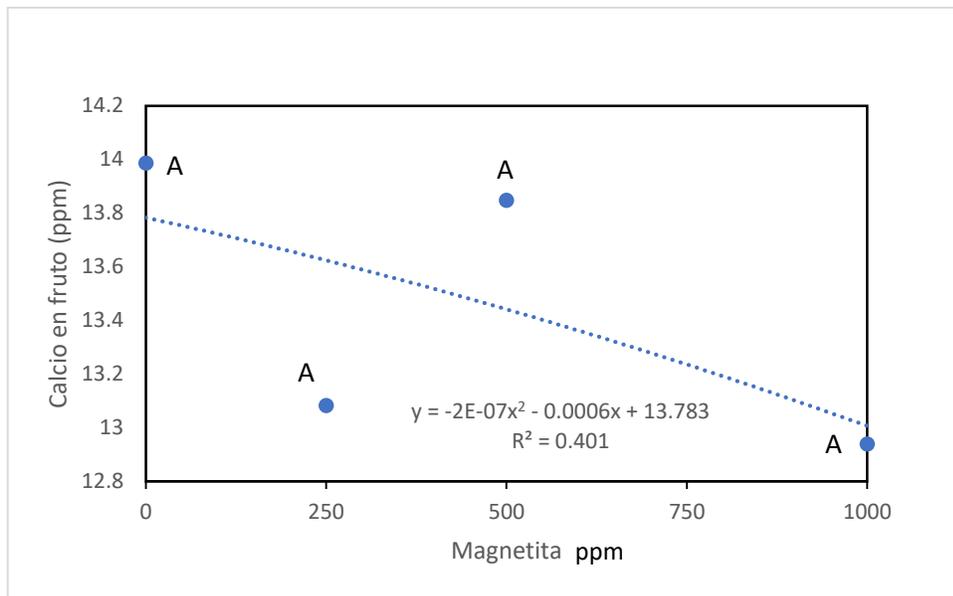


Figura 11. Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizante de magnetita sobre el contenido de calcio del fruto en la planta de tomate cherubs (*Solanum lycopersicum* L.). Promedios con la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

V. CONCLUSIONES

Al aplicar nanofertilizante de magnetita foliarmente provocaron una disminución en el índice de cosecha, afectando el rendimiento en la planta de tomate. Esto puede deberse a que el Fe interviene en el desarrollo fisiológico y síntesis de clorofila de las plantas. En algunas de las variables evaluadas que reflejan el crecimiento vegetativo del tomate mostraron un efecto positivo a concentraciones de 250 ppm de NFs de magnetita, por lo cual es recomendable realizar más estudios a concentraciones menores y en otros cultivos ya que existen probabilidades que exista una mejor eficiencia vegetativa y generativa.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo, O., Ortiz, E., Cruz, M., y Cruz, E. (2004).** El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485-497.
- Avendaño, N. F. (2017).** Producción y comercialización de 4000 plantas de tomate de mesa en el municipio de Chaparral Tolima como alternativa de diversificación de cultivos en la región. Informe final de grado. Universidad de la Salle. Yopal. 61 p.
- Ávila, E. P. (2015).** Manual del tomate. Cámara De Comercio De Bogotá, 55 p.
- Barrera Soto, M. D. (2015).** Evaluación del efecto de nano partículas de óxido de fierro y un elicitador sobre el crecimiento en plantas de *Solanum lycopersicum* L. cv. Micro-Tom. Instituto Tecnológico de Colima. 44 p.
- Bergougnoux, V. (2014).** La historia del tomate: de la domesticación a la biofarmacia. *Avances de la Biotecnología*, 32(1), 170–189. doi:10.1016/j.biotechadv.2013.11.003
- Bula, A. O. (2020).** Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico. *Informes del Observatorio UNR N 50°*, 28 p.
- Cabieses, F. y Lozano, N. (2009).** La historia del tomate (*Solanum lycopersicum*) o (*Lycopersicum esculentum*). *Científica*, 6(2), 194-197.
- Carrillo González, R., y 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.
- Cepeda Siller, M. (2009).** El tomate rojo: cultivo y control parasitológico. Trillas. 1er Edición. México. 222 p.
- Cereceda, S. B., Lima, D. L., Enríquez, A. I. M., y Mendoza, N. P. (2021).** Nanotecnología al rescate de la agricultura: nanofungicidas y nanofertilizantes. *Viajes Biotecnológicos*. 13-19.

- Chaud, M., Souto, E. B., Zielinska, A., Severino, P., Batain, F., Oliveira, Junior, J., y Alves, T. (2021).** Nanoplaguicidas en la agricultura: beneficios y desafíos en la productividad agrícola, riesgos toxicológicos para la salud humana y el medio ambiente. *Tóxicos*: 131. 1-19. doi:10.3390/toxics9060131
- Córdoba, Novoa, H. A., Gómez, S. V., y Núñez, C. E. (2018).** Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 12(1): 113-125.
- Cruz Carrillo, J., Jiménez, F., Ruiz, J., Diaz, G., Sánchez, P., Perales, C., y Arellanes, A. (2003).** Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*. 14. (1). 85-88. 10.15517/am.v14i1.11994.
- Cruz Crespo, E., Can Chulim, A., Sandoval Villa, M., Bugarín Montoya, R., Robles Bermúdez, A., y Juárez López, P. (2013).** Sustratos en la horticultura. *Bio Ciencias*. 2(2): 17-26.
- Cruz Herrera, A. (2018).** Extractos de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn) en el cultivo de tomate. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. General Escobedo, Nuevo León. 47 p.
- De la Mora Rosales, M. D. (2011).** Manejo de riego en hidroponía en diferentes tipos de sustratos y sus mezclas. Documento para obtener la especialización en química aplicada. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila. 37 p.
- Escobar, H., y Lee, R. (2009).** Manual de producción de tomate bajo invernadero. 2a Edición. Colombia. 180 p.
- Espinosa, P. N. (2020).** De Vuelta a las Raíces: Descifrando la diversidad taxonómica y funcional del microbioma de la raíz del tomate nativo y moderno de los Andes

ecuatorianos. Tesis de licenciatura. Universidad San Francisco de Quito USFQ. Quito. 52 p.

Fernández Concha, G. C., y Tapia Muñoz, J. L. (2019). El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión. CICY, 11. 69-75.

García León, Á., Robledo Torres, V., Mendoza Villareal, R., Ramírez Goodina, F., Valdez Aguilar, L. A., y Gordillo, y Melgoza, F. A. (2018). Producción de variedades tradicionales de tomate con acolchado en invernadero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5(14), 303-308. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1439>

Ghaffari, H. y Razmjoo, J. (2018). Response of durum wheat to foliar application of varied sources and doses of iron-containing fertilizers. Journal of Agricultural Science and Technology. 7: 321-331.

Gillispie, E. C., Taylor, S. E., Qafoku, N. P., y Hochella, M. F. (2019). Impact of iron and manganese metal nanooxides on contaminant interaction and fortification potential in agricultural systems: a review. Environmental Chemistry. 16(6): 377-390.

Golla Nagaraju, G. S., Thattantaride, A., y Ajay, K. (2022). Nanotecnología - Gran impacto: ¿Cómo la nanotecnología está cambiando el futuro de la agricultura?. Revista de Investigación Agrícola y Alimentaria. 10: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100457>

Guillén, Enríquez, R. R., Zuñiga, Estrada, L., Ojeda, Barrios, D. L., Rivas, García, T., Trejo, Valencia, R., y Preciado-Rangel, P. (2022). Efecto de la nanobiofortificación con hierro en el rendimiento y compuestos bioactivos en pepino. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 13(SPE28): 173-184.

Guzmán Plazola, R. A., Fajardo Franco, M. L., García Espinosa, R., y Cadena, Hinojosa M. A. (2011). Desarrollo epidémico de la cenicilla y rendimiento de tres cultivares de tomate en la comarca lagunera, Coahuila, México. Agrociencia. 45(3),363-378.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000300009&lng=es&tlng=es.

- Hidalgo Nata F. M. (2019).** Determinación de los requerimientos hídricos óptimos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) mediante el cálculo de la evapotranspiración y kc, en la zona de Mocache. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Los Ríos. 64 p.
- Hu, J., Guo, H., Li, J., Gan, Q., Wang, Y., y Xing, B. (2017).** Comparative Impacts of Iron oxide and ferric Ion nanoparticles on citrus Growth Maxima. Environmental Pollution. 221, 199-208. doi:10.1016/j.envpol.2016.11.064
- Janmohammadi, M., Amanzadeh, T., Sabaghnia, N., y Dashti, S. (2016).** Impact of foliar application of fertilizers with nanomicro nutrients and titanium dioxide nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. Acta Agriculturae Slovenia. 107(2): 265-276.
- Johnson, M. S., Sajeev, S. y Nair, R. S. (2021).** Papel de los nanosensores en la agricultura. 2021 Congreso Internacional sobre Inteligencia Computacional y Economía del Conocimiento (ICCIKE). doi:10.1109/iccike51210.2021.9410709.
- Li, Junli; Hu, Jing; Ma, Chuanxin; Wang, Yunqiang; Wu, Chan; Huang, Jin; Xing, Baoshan (2016).** Uptake, translocation and physiological effects of magnetic iron oxide (γ -Fe₂O₃) nanoparticles in maize (*Zea mays* L.). Chemosphere. 159(2016): 326-334. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.05.083
- López Sardi, M. (2012).** Nanotecnología: El futuro a un nanómetro de distancia. Ciencia y Tecnología. 51-55.
- López, J. S. (2017).** Generación de líneas T-DNA de tomate (*Solanum lycopersicum*) para la identificación de mutantes de inserción alterados en la morfogénesis y el desarrollo vegetal. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 291 p.
- López, Salazar, R., Peña Ramos, F. M., Sánchez-Bernal, F., Lozano Cavazos, C. J., Benavides Mendoza, A., y González-Fuentes, J. A. (2019).** Efecto de un

fulvato de hierro sobre calidad y producción de frutos de chile 'Serrano'. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(6): 1367-1378.

Marín, L. M. (2016). Manual técnico del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 126 p.

Márquez, Quiroz, C., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Vázquez-Badillo, M. E., Cruz-Lázaro, E. D. L., Estrada-Botello, M. A., y López-Espinosa, S. T. (2014). Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate cherry. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 1(2): 175-180.

Maya Hernández, V., Ramírez Obregón, J., Cortéz Ortega, R., Vega Millán, R., y Moreno Chávez, J. G. (2003). Manejo integrado del pulgón saltador en jitomate en el estado de San Luis Potosí [Folleto]. S.L.P., México: Campo Experimental Palma de la Cruz. 13 p.

Mazo, Zuluaga, J. (2011). Una mirada al estudio y las aplicaciones tecnológicas y biomédicas de la magnetita. Revista EIA. (16), 207-223.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372011000200016&lng=en&tlng=es.

Monge-Pérez, J. E. (2015). Evaluación de 60 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. InterSedes. 16 (33): 83-122.

Montaño Méndez, L. E., Valenzuela Patrón, I, N., y Villavicencio López, K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(7), 1185-1197. Epub 22 de marzo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>

Nieto Montalba, J. (2009). Cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. 41 p.

- Noval Virginia E., Ochoa Puentes, C., y Carriazo, J. G. (2017).** Magnetita (Fe_3O_4): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea. *Revista Colombiana de Química*, 46(1), 42-59.
- Nuruzzaman, M., Liu, Y., Rahman, M. M., Dharmarajan, R., Duan, L., Uddin, A. F. M. J., y Naidu, R. (2019).** Nanobiopesticidas: Composición y métodos de preparación. In *Nano-biopesticidas hoy y perspectivas futuras* (pp. 69-131). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-815829-6.00004-8
- Paredes Zambrano, A. (2009).** Manual del cultivo de tomate en invernadero. Cundiamarca-Corpoica. 56 p.
- Pariona, N., Martínez, A., Hernández-Flores, H., y Clark-Tapia, R. (2017).** Efecto de las nanopartículas de magnetita sobre la germinación y crecimiento temprano de *Quercus macdougalii*. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 575, 869-875. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.128
- Pestana, M., Correia, P. J., Saavedra, T., Gama, F., Abadía, A., y de Varennes, A. (2012).** Development and recovery of iron deficiency by iron resupply to roots or leaves of strawberry plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 53, 1-5. doi:10.1016/j.plaphy.2012.01.001
- Polack, L. A., y Mitidieri, M. S. (2005).** Producción de tomate diferenciado. Protocolo preliminar de manejo integrado de plagas y enfermedades. EEA San Pedro, INTA. 1-19.
- Qureshi, A., Singh, D. K., y Dwivedi, S. (2018).** Nano-fertilizantes: una nueva forma de mejorar la eficiencia de uso de nutrientes y la productividad de los cultivos. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(2), 3325-3335.
- Rahemi, M., Gharechahi, S. R., y Sedaghat, S. (2019).** The application of iron nano-chelate and iron chelate to the soil and as a foliar application: treatments against chlorosis and the quality of the fruit in quince. *International Journal of Fruit Science*. 1–14. doi:10.1080/15538362.2019.1628684

- Rellán, Álvarez, R. (2011).** Transporte de hierro a larga distancia y metabólica de la deficiencia de hierro en plantas. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Madrid. Zaragoza. 162 p.
- Saavedra, G. (2019).** Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, 7-70.
- Santis, Santis, M., Cabrera De la Fuente, M., Benavides, Mendoza, A., Sandoval, Rangel, A., Ortega, Ortíz, H., y Robledo, Olivo, A. (2019).** Rendimiento agronómico del jitomate suplementado con microelementos Fe, Cu y Zn. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(6): 1379-1391. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1822>
- Santos, Coello, B., Perera, González, S., Sánchez García, Manuel., y Hernández Padilla, A. del R. (2019).** Manejo integrado de la polilla del tomate (*Tutu absoluta*). AgroCabildo. 7 p.
- Seehra, M. S. (2017).** Nanostructures Materiale – Fabrication to Applications. Nanotechnology in herbicide resistance. 207-212. 10.5772/65164 (Chapter 11), -. doi:10.5772/intechopen.68355
- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., y Fathi, Achachlouie, B. (2018).** The effect of ferrous nanooxide particles on physiological traits and nutritional compounds of soybean seed (*Glycine max* L.). Anais da Academia Brasileira de Ciencias. 90(1), 485-494. doi:10.1590/0001-3765201820160251
- Tlahque, J. G., Sáenz, Y. O., Fuentes, A. D., Espinoza, J. M., Buenabad, G. L., y Palestina, C. U. (2019).** Influencia de los métodos de cocción sobre la actividad antioxidante y compuestos bioactivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Nova Scientia, 11(22), 53-68. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i22.1685>
- Torres P., A. (2017).** Manual de cultivo del Tomate bajo invernadero [en línea]. La Cruz, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 377. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6708> (Consultado: 2 noviembre 2023).

- UNA. (2008).** Cultivo de tomate. Programa de diversificación hortícola, proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado Agrícola, 34 p.
- Valle García, J. D. (2020).** Evaluación del efecto de nanopartículas metálicas de hematita (α -Fe₂O₃) y plata (Ag) en el crecimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Ciudad de México. 68 p.
- Zárate, Nicolás, B. H. (2007).** Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Hidropónico con sustratos, bajo invernadero. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlan, Oaxaca. 159 p.
- Zárate-Martínez, W., Arellano-García, M. A., Ramírez-Godina, F., Moreno-León, K., y González-Sandoval, D. C. (2021).** Evaluación de diferentes niveles de radiación sobre la densidad estomática de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(3). [.https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3009](https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3009)
- Zhu, H., Han, J., Xiao, J. y Jin, Y. (2008).** Uptake, translocation, and accumulation of fabricated iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. Journal of Environmental Monitoring. 10 (6), 713-717.
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Aisha Akram, N., y Nunne-Bosch, S. (2019).** Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. Plant Science. v (289), 2-3.