

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Tipo Uva a la Aplicación de Nanopartículas de Ferrihidrita

Por:

RODOLFO SINAI MARTINEZ NAVA

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Tipo Uva a la Aplicación de Nanopartículas de Ferrihidrita

Por:

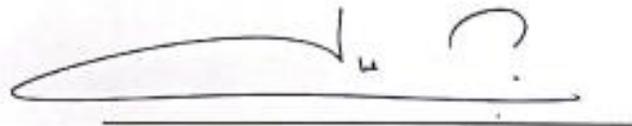
RODOLFO SINAI MARTINEZ NAVA

TESIS

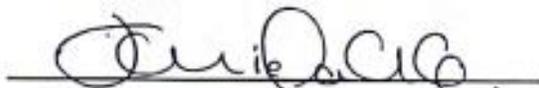
Presentada como requisito para obtener el título de:

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
Diciembre, 2022

DECLARACION DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, 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, graficas, 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 las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Rodolfo Sinai Martínez Nava

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por guiarme por el camino correcto, por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad porque nunca me ha abandonado, gracias por haberme dado una excelente familia, por permitirme conocer excelentes profesores y amigos.

A Mis Padres

Por siempre darme su apoyo incondicional durante mis 22 años de vida, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Siempre mis principales motivadores y los formadores que de lo que ahora soy como persona. Los amo.

A Mis Hermanas

Les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes momentos de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado...Muchas gracias hermanas.

A Mi Familia

Les agradezco y hago presente mi enorme aprecio hacia ustedes, mi hermosa familia.

A Mi Alma Mater

Agradezco a mi **alma mater** por haberme permitido formarme en sus aulas, compartiendo ilusiones y anhelos, con constancia, dedicación y esfuerzo. He alcanzado mi sueño,
GRACIAS.

A Mis Asesores de Tesis

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, a la Dra. Daniela Alvarado Camarillo y al MC. Etelberto Cortez Quevedo, Gracias por darme la oportunidad de poder realizar mi tesis con ustedes, por el tiempo, la confianza y por compartir su amplio conocimiento conmigo.

DEDICATORIA

A mis padres Sr. Rodolfo Martínez Zúñiga y la Sra. Ma. Guadalupe Nava Rangel

Por ser los autores principales de mi vida, por sus consejos, su amor y dedicación. Les debo mucho, por lo que se han esforzado, lo que han hecho por mí, porque nunca me han dejado solo. Hoy gracias a Dios les puedo decir con mucho orgullo, “Papá y Mamá, ya soy un ingeniero, LO LOGRAMOS”. Le agradezco mucho a Dios por darme a los mejores padres, los amo.

A mis hermanas Leilani Guadalupe Martínez Nava y Saidey Monserrat Martínez Nava

Gracias por estar siempre presentes en mis logros, por llenarme de alegría, por compartir momentos lindos, por darme ánimos y motivarme cuando lo necesito. Aunque no se los diga las amo con todo mi corazón.

A mis abuelos paternos Sr. Jesús Martínez Vera (†) y Sra. Sanjuana Zúñiga Torres (†)

Se que no los tengo y no los tendré conmigo físicamente, pero sé que espiritualmente siempre están para apoyarme, y siempre están cuidándome, los amo y los extraño. También les agradezco por darme al mejor papá.

A mis abuelos maternos Sr. José Nava Mexicano y Sra. Ma. Guadalupe Rangel Alfaro (†)

Por siempre preocuparse por mí, por siempre encomendarme a Dios con sus bendiciones, por sus consejos y sus lágrimas cada que salía de casa para partir a la universidad. Ahora puedo decir “Abuelitos, lo logre”. También les agradezco por darme a la mejor mamá.

Mis sobrinos Leila Sofía y Jared Ilai

Como los amo chiquitillos, gracias por ser la alegría de la casa, por ver su carita de emoción cada que llego a la casa, por todos los momentos bonitos y darme cuenta que soy tan afortunado de tenerlos en mi vida.

Al Sr. Rafael Jiménez y a la Sra. Carmen Valdez

Por ser mi segunda familia, gracias por arroparme, alimentarme, darme consejos y siempre estar para mí, ahora les puedo decir que después de 4 años y medio y gracias a su apoyo, he logrado mi objetivo. Siempre estaré agradecido con ustedes.

A mis tías y tíos

Por su apoyo incondicional, por su amor y por confiar siempre en mí. Les agradezco profundamente, gracias, porque a pesar de todo, siguen estando ahí para mí.

A mis primos y primas

Gracias por darme sus ánimos, y estar ahí. Se que todos vamos a lograr lo que soñamos y lo que queremos ser.

A mis amigos

Omar, Susy, Alejandro y Ángel, Gracias por su amistad, los momentos y las risas que compartimos durante este tiempo, tal vez nuestros caminos se separen, pero estoy seguro que nuestros caminos se volverán a cruzar.
Valoro mucho su amistad.

A las personas que siempre estuvieron

Emmanuel, Jazmín y Francisco, Hicimos un gran equipo y una gran amistad, les agradezco infinitamente eso, gracias por todo, los aprecio mucho.
Alondra Daniela, Gracias por siempre estar en el lugar correcto, por acompañarme en todo momento, por siempre ver las cosas del lado positivo, te aprecio y te admiro mucho.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen del tomate.....	4
2.2 Taxonomía.....	4
2.3 Descripción botánica.....	4
2.4 Propiedades del tomate.....	5
2.5 Producción nacional.....	5
2.6 Producción mundial.....	6
2.7 Requerimientos.....	6
2.8 Plagas y enfermedades del cultivo.....	6
2.8.1 Mosca blanca.....	7
2.8.2 Araña roja.....	7
2.8.3 Pudrición gris.....	7
2.8.4 Tizón temprano.....	7
2.9 La nanotecnología.....	8
2.10 La nanotecnología en la agricultura.....	8
2.10.1 Nanopesticidas.....	9
2.10.2 Nanoherbicidas.....	9
2.10.3 Nanoplaguicidas.....	9
2.10.4 Nanosensores.....	10
2.11 Efecto de algunos nanofertilizantes en los cultivos.....	10
2.11.1 Efecto de las nanopartículas de ZnO en hortalizas... ..	11
2.11.2 Efecto de las nanopartículas de ZnO en tomate.....	11
2.11.3 Efecto de las nanopartículas de CuO en hortalizas ..	12
2.11.4 Efecto de las nanopartículas de CuO en tomate.....	12

2.11.5 Efecto de las nanopartículas de SiO ₂ en hortalizas ..	13
2.11.6 Efecto de las nanopartículas de SiO ₂ en tomate	13
2.11.7 Efecto de las nanopartículas de Fe ₂ O ₃ en hortalizas	14
2.11.8 Efecto de las nanopartículas de Fe ₂ O ₃ en tomate	14
2.12 Ferrihidrita	15
III. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Lugar de realización	17
3.2 Material vegetal utilizado	17
3.3 Establecimiento del cultivo	17
3.4 Manejo nutricional	17
3.5 Manejo sanitario	18
3.6 Frecuencia de riegos	18
3.7 Labores culturales	18
3.8 Tratamientos aplicados	19
3.9 Variables evaluadas	19
3.10 Diseño estadístico	21
3.11 Análisis de la información	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Rendimiento	22
4.2 Altura de la planta	23
4.3 Numero de hojas	24
4.4 Diámetro basal	25
4.5 Desarrollo vegetativo	26
4.6 Calidad del fruto	28
4.7 Extracto celular de peciolo	32
V. CONCLUSIONES	34
VI. BIBLIOGRAFÍA	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos seleccionados para determinar su efecto sobre el cultivo de tomate tipo uva variedad Cherubs, aplicados foliarmente	19
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para el rendimiento de fruto	22
Figura 2. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para la altura de la planta	23
Figura 3. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para número de hojas.....	24
Figura 4. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para diámetro basal de tallo.....	25
Figura 5. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para diámetro apical de tallo.....	26
Figura 6. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para peso fresco de hojas.....	27
Figura 7. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para peso fresco de tallo.....	27
Figura 8. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para ancho de fruto.....	28
Figura 9. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para largo de fruto.....	29
Figura 10. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de nitrato en fruto.....	29
Figura 11. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de potasio en fruto.....	30
Figura 12. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de calcio en fruto.....	30

Figura 13. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para firmeza de fruto.....	31
Figura 14. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para solidos solubles del fruto.....	31
Figura 15. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de nitrato en extracto de peciolo.....	32
Figura 16. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de potasio en extracto de peciolo.....	33
Figura 17. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de calcio en extracto de peciolo.....	33

RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas de mayor importancia en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda va en continuo crecimiento y con ella su cultivo, producción y comercio. Los nanofertilizantes son fertilizantes sintetizados o modificados con ayuda de la nanotecnología que van de tamaño igual o inferior a 100 nanómetros y sirven para mejorar la productividad de productos agrícolas. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento del cultivo de tomate tipo uva variedad Cherubs, aplicando diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita de manera foliar y con un intervalo de 15 días. Se aplicaron cuatro tratamientos, además de contar con un testigo el cual no se le aplicaba la nanopartícula, para los demás tratamientos se aplicaron diferentes concentraciones de esta nanopartícula de la cual iba de la concentración más baja a la más alta: T1= 500 ppm, T2= 1000 ppm, T3= 1500 ppm, T4= 2000 ppm. Las aplicaciones se realizaron durante todo el ciclo del cultivo, aplicándolas de manera foliar. El diseño que se utilizó fue bloques completamente al azar, evaluando cinco tratamientos y realizando cinco repeticiones por tratamiento. Se realizaron pruebas de comparación de medias con el método de Duncan al $p=0.05$. El rendimiento de fruto fue mayor bajo la concentración de 1500 ppm de nanopartículas de ferrihidrita obteniendo un 32% más en producción de fruto en comparación con el testigo. La altura de la planta también fue mayor bajo la concentración de 1500 ppm de esta nanopartícula en comparación con el testigo. El número de hojas por planta también tuvo diferencia significativa con la aplicación de la concentración de 1500 ppm pero teniendo un 7% más hojas comparado con el tratamiento de 500 ppm, el cual fue el que menor número de hojas obtuvo. La aplicación de 1500 ppm afecta considerablemente variables de gran interés como lo son el rendimiento, altura de la planta y número de hojas, sin embargo, el diámetro basal del tallo fue mejor bajo la concentración de 1000 ppm de esta nanopartícula.

Palabras clave: Tomate, nanotecnología, nanofertilizantes, ferrihidrita

ABSTRACT

Tomato is one of the most important vegetables in the world and the one with the highest economic value. Its demand and cultivation, production and trading are constantly growing. Nanofertilizers are fertilizers synthesized or modified using nanotechnology that are 100 nanometers or less in size. They serve to improve the productivity of agricultural products. The objective of this study was to evaluate the response of grape-type tomato crop cultivar Cherubs, applying to the foliage different concentrations of ferrihydrite nanoparticles with an interval of 15 days. Four treatments were applied, in addition to having a control in which there was no nanoparticle; for the other treatments, different concentrations of this nanoparticle were applied, from the lowest to the highest concentration: T1= 500 ppm, T2= 1000 ppm, T3= 1500 ppm, T4= 2000 ppm. The applications were made throughout the crop cycle. The statistical design that was used was a completely randomized blocks design, evaluating five treatments and performing five replications per treatment. Mean comparison tests were performed with Duncan's method at $p=0.05$. Fruit yield was higher under the concentration of 1500 ppm of ferrihydrite nanoparticles, obtaining 32% more fruit production compared to the control. Plant height was also higher under the 1500 ppm concentration of this nanoparticle compared to the control. The number of leaves per plant also had a significant increase with the application of the 1500 ppm concentration but having 7% more leaves compared to the 500 ppm treatment, which was the one with the lowest number of leaves obtained. The application of 1500 ppm considerably affects variables of great interest such as yield, plant height and number of leaves, however, the basal diameter of the stem was higher with 1000 ppm of this nanoparticle.

Keywords: Tomato, nanotechnology, nanofertilizers, ferrihydrite

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es considerado uno de los principales cultivos a nivel mundial, debido a su elevado potencial alimenticio (Luna y Delgado, 2014). A pesar de que los rendimientos obtenidos para el cultivo de tomate bajo invernadero son representativos, están muy por debajo del rendimiento potencial y del obtenido por otros países, esto hace que el cultivo no le genere a los productores una alta rentabilidad y los ingresos sean muy bajos (Laiton *et al.*, 2012). La producción mundial está en constante crecimiento, no solo por el aumento de las áreas cultivadas, sino también porque los agricultores aplican tecnologías que les permiten elevar los rendimientos (López, 2017).

Actualmente los fertilizantes químicos se consideran un insumo indispensable de los sistemas modernos de producción de cultivos, pero tienen consecuencias ambientales y ecológicas asociadas, como lo son la pérdida de nutrientes de los campos agrícolas en forma de lixiviación y emisiones gaseosas; esto ha sido la causa principal de la contaminación ambiental y el cambio climático (Iqbal, 2019). El uso excesivo de fertilizantes minerales y plaguicidas ha provocado contaminación y graves problemas de salud (Chhipa, 2017). Las técnicas de aplicación convencionales han resultado en una sobredosis grave de productos químicos de fertilizantes que se ha hecho evidente a través de la contaminación ambiental (Kumar *et al.*, 2021). Para aumentar la eficiencia en el uso de los insumos agrícolas como los fertilizantes con el mínimo daño a la producción debe realizarse un uso efectivo de tecnologías modernas como la nanotecnología, ya que esta tiene el potencial de revolucionar los sistemas agrícolas (Naderi y Danesh, 2013).

La nanotecnología ofrece una solución alternativa para superar las desventajas de la agricultura convencional. Por lo tanto, se deben estudiar los desarrollos recientes en el uso de nanopartículas en la agricultura (El-Saadony *et al.*, 2021). De acuerdo con Rai *et al.*, (2018) se ha definido la nanotecnología como la comprensión y el control de la materia en dimensiones que van de 1 a 100 nanómetros (nm). Tiene varias aplicaciones en sectores económicos importantes como lo son la medicina,

energía, industria, agricultura entre otras aplicaciones (Shatkin, 2017). Las nanopartículas siempre han estado presentes a lo largo de la historia de la humanidad, sin embargo, aumentaron la importancia considerablemente durante la revolución industrial (Hulla *et al.*, 2015).

El uso de las nanotecnologías en la agricultura, tiene la capacidad de reducir el uso de los insumos agrícolas, además de tener muchas aplicaciones en etapas de producción, procesamiento, etc., incluyendo el transporte de estos productos (El-Beyrouthya y Azzia, 2014). Los nanofertilizantes basados en nanopartículas ofrecen beneficios en el manejo de la nutrición de los cultivos al mejorar la tolerancia al estrés abiótico, mejorar la productividad agrícola, etc. (Al-Mamun *et al.*, 2021). Los nanofertilizantes aumentan la eficiencia en el uso de nutrientes, minimizan las pérdidas de nutrientes, ayudan a disminuir la toxicidad del suelo y reducir los efectos nocivos relacionados con la sobredosisación junto con la disminución de la frecuencia de los tratamientos (Konappa *et al.*, 2021). Los nanofertilizantes son los productos más importantes de la nanotecnología con respecto a la agricultura. Los ingredientes activos de tamaño nanométrico tienen una gran área de superficie específica que puede resultar en una reactividad significativamente mayor, y esta característica aumenta la absorción de elementos nutricionales y compuestos esenciales para el crecimiento y el metabolismo de las plantas (Cieschi *et al.*, 2019).

Las nanopartículas de óxido de hierro son más pequeñas que las moléculas típicas de óxido de hierro y crean más complejos que proporcionan niveles más altos de hierro a las plantas. La mejora del crecimiento, la facilitación de la transferencia de materiales y la explotación de nuevos fertilizantes de hierro (Fe) (Sheykhbaglou *et al.*, 2018). Estas nanopartículas de óxido de hierro hacen que el Fe sea más disponible para las plantas (Bakhtiari *et al.*, 2015). Las nanopartículas de Fe interactúan a nivel molecular dentro de las células vivas tienen el potencial de mejorar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes (Rahmatizadeh *et al.*, 2019).

Objetivo general

Evaluar el efecto de las nanopartículas de ferrihidrita en el cultivo de tomate tipo uva variedad Cherubs.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de nanopartículas de ferrihidrita que permita elevar los parámetros de rendimiento.
- Determinar la concentración de nanopartículas de ferrihidrita que permita elevar los parámetros de calidad.

Hipótesis

Con la aplicación de las nanopartículas de ferrihidrita la planta de tomate tipo uva variedad Cherubs se verá beneficiada dependiendo de la concentración.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Origen del tomate

El tomate tiene su centro de origen en América del Sur, entre el área de Perú y Ecuador, de donde se distribuyó a diferentes partes de América tropical, incluyendo México (Santiago *et al.*, 1998). Al principio, el tomate se cultivaba como planta de adorno, a partir de 1990, se extendió como alimento humano y fue difundida en todo el mundo, y actualmente es la hortaliza de mayor valor económico (Acosta, 2016).

Aunque no se sabe con certeza cuando comenzó a cultivarse en nuestras tierras, es innegable que fue alimento esencial desde la época prehispánica (Linares, 2016).

2.2 Taxonomía

La taxonomía del tomate es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*

2.3 Descripción botánica

El tomate tiene un gran sistema de raíces, el tipo de raíz depende del sistema de cultivo. Así, los tomates sembrados en forma directa tienen un sistema radicular pivotante, profundo y poco ramificada, en tanto que los sembrados por trasplante poseen raíces profusamente superficiales y ramificadas, la mayor parte de las raíces

absorbentes se encuentran en los primeros 20 cm a 30 cm de profundidad (Naika *et al.*, 2005). Las hojas son compuestas de forma alargada y alternas constituidas por siete o nueve folíolos de bordes dentados, usualmente cubierta con una fina vellosidad, se encuentra en forma alternada. En cuanto a la flor esta es regular y consta de cinco o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo (Barrientos-Bonilla *et al.*, 2014). El fruto es una baya y se recolecta cuando presenta un color rojo (Lujan, 2018).

2.4 Propiedades del tomate

El tomate es rico en vitaminas A y C, minerales como potasio y otros compuestos como carotenoides como el licopeno, siendo este último el responsable del color rojo del fruto, que se utiliza como índice de calidad. Es bajo en grasas y calorías, y libre de colesterol, es una buena fuente de fibra y proteína (Candelas-Cadillo *et al.*, 2005).

2.5 Producción nacional

De acuerdo con el SIAP (2020), en el año 2020 la superficie sembrada de tomate rojo en México fue de 43,505.33 hectáreas obteniendo una producción de 3,433,567 toneladas, concentrándose la producción en el estado de Jalisco.

Los estados de la República Mexicana que más cultivan el tomate son Sinaloa, Michoacán, Baja California, San Luis Potosí, y Morelos, siendo el primero el más importante por su mayor explotación para mercado e industria de los Estados Unidos (Crespo, 2019). En la actualidad el cultivo del tomate muestra mucha importancia en diferentes aspectos. Es producido por pequeños y medianos productores, donde constituye una actividad de gran importancia económica representando una fuente básica de empleo y generación de ingresos debido a que la producción se encuentra actualmente acorde a la demanda nacional y el comercio ha venido mejorando los precios por medio de la venta del producto agrícola a los supermercados (Castellón y García, 2020).

2.6 Producción mundial

De acuerdo con la FAO (2020), en el año 2020, el país que tuvo la mayor producción de tomate rojo a nivel mundial fue China con 64,865,807 toneladas, seguido de India y Turquía.

China e India destacan por un dinamismo en la producción superior al promedio mundial. En China, el aumento de la producción se debió principalmente al incremento en la productividad, en tanto que en India obedeció en mayor parte al crecimiento de la superficie destinada al cultivo de esta hortaliza. Así, la participación en la producción mundial de China durante una década pasó de 23.4 a 30.8 % y en India de 6.3 a 11.0 % (FAO, 2017).

2.7 Requerimientos

El tomate crece en suelos francos o franco-arcillosos, prefieren temperaturas de entre 20°C y 25°C en el día mientras que por la noche requiere de 15°C a 20°C. En cuanto a la humedad relativa en la planta para desarrollo, crecimiento requiere del 60% al 85%. Requiere de 16 a 18 horas de luz diarias, humedades relativas muy altas favorecen el desarrollo de enfermedades foliares, sobre todo bajo condiciones de poca iluminación (Ávila, 2015).

2.8 Plagas y enfermedades del cultivo

Las plagas más importantes en el cultivo del tomate son orugas, trips, mosca blanca, los pulgones y la araña roja (Biurrun *et al.*, 2011).

2.8.1 Mosca blanca

La mosca blanca *Bemisia tabaci* es una de las plagas más amenazadoras en la agricultura. La mosca blanca es responsable de grandes reducciones en la cosecha rendimiento y calidad (Firdaus *et al.*, 2012).

2.8.2 Araña roja

La araña roja de dos manchas *Tetranychus urticae* es una de las plagas que se alimentan de más de 1.100, plantas incluyendo tomate, lo que ocasionan estos ácaros es la destrucción de las células y disminuye la fotosíntesis, aumenta la transpiración y reduce el crecimiento de la planta (Martel *et al.*, 2015).

2.8.3 Pudrición gris

La pudrición gris es causada por *Botrytis cinérea*, provoca pérdidas importantes en numerosos cultivos y posee alta capacidad para hacerse resistente a fungicidas (Silvana *et al.*, 2012).

2.8.4 Tizón temprano

El tizón temprano es causado por el hongo *Alternaria solani*, afecta todos los órganos aéreos del cultivo, y en ataques severos puede producirse la defoliación total (Paz *et al.*, 2013).

2.9 La nanotecnología

La nanotecnología es una variedad de técnicas las cuales permiten la manipulación de la materia a una escala atómica y molecular, la materia cuenta con dimensiones de 1 a 100 nanómetros (nm) (Foladori, 2016). Además, esta materia presenta características físicas, químicas y biológicas relevantemente diferentes a sus contrapartes iónicas de tamaño macro (Kolenčík *et al.*, 2020).

La nanotecnología es la tecnología que implementa la nanoescala además de tener usos de importancia en la vida diaria. Presenta cualidades de importancia como lo son las físicas y químicas que pueden ser utilizadas para beneficiar a la sociedad (Bhushan, 2017). pues se determinan las técnicas, métodos y productos que pueden facilitar el desarrollo en áreas de interés, tales como lo es la medicina, ingeniería, agricultura, tecnología, cosmética, entre otras áreas (Loureiro *et al.*, 2018). Su uso hoy en día ha generado muchas expectativas debido al gran potencial que se le puede dar en una amplia gama de sectores industriales y de consumo humano (Pinedo-Guerrero *et al.*, 2017).

2.10 La nanotecnología en la agricultura

La nanotecnología tiene varias aplicaciones en sectores económicos importantes como lo es la agricultura (Shatkin, 2017). El uso de las nanotecnologías en la agricultura, tiene la capacidad de reducir el uso de los insumos agrícolas, además de tener muchas aplicaciones en etapas de producción, procesamiento, etc. (Beyrouthya y Azzia, 2014).

El uso de la nanotecnología en la agricultura abre varias oportunidades en esta área, principalmente para la producción de agroproductos como lo pueden ser los nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoherbicidas y nanosensores, los cuales tienen la capacidad de incrementar el rendimiento en la producción de alimentos (Lira *et al.*, 2018).

2.10.1 Nanopesticidas

Los nanopesticidas representan un desarrollo tecnológico emergente que, en relación con el uso de pesticidas, ofrecen una gran gama de beneficios los cuales incluyen: mayor eficacia, durabilidad y una reducción en las cantidades de pesticidas (Kookana *et al.*, 2014). Los nanopesticidas actualmente es la mejor opción para aumentar la solubilidad, dispersión, biodisponibilidad, para así proteger contra la degradación prematura y para la liberación dirigida de los ingredientes (Anandhi *et al.*, 2020).

2.10.2 Nanoherbicidas

El uso de los nanoherbicidas en los cultivos ayuda a mejorar la funcionabilidad de los herbicidas convencionales ya que la encapsulación de herbicidas en nanomateriales minimiza la pérdida de herbicida junto con su liberación sostenida y una mayor especificidad hacia la maleza objetivo (Ghosh *et al.*, 2022). Algunas de las ventajas de los nanoherbicidas son la reducción de la cantidad de productos químicos sintéticos, una aplicación efectiva, la seguridad humana y un tiempo de reacción efectivo (Patil y Sanghvi, 2022).

2.10.3 Nanoplaguicidas

Se le denomina nanoplaguicidas a todos aquellos plaguicidas que contienen deliberadamente partículas con un rango de tamaño de 1 a 100 nm en alguna de sus dimensiones además de mostrar propiedades novedosas en el control, prevención o destrucción de plagas (Robles y Mendoza, 2017). El uso de nanoplaguicidas han demostrado superar las limitaciones de los plaguicidas sintéticos y biológicos ya que estos tienen el potencial de ahorrar energía y agua debido a su uso en cantidades más pequeñas y con menos frecuencia que los plaguicidas tradicionales (López, 2022).

2.10.4 Nanosensores

Un nanosensor, es un dispositivo capaz de detectar en tiempo real y con una alta sensibilidad y selectividad, agentes químicos y biológicos (Cano y Mendoza, 2017). El uso de nanosensores puede contribuir al uso eficiente de recursos como el agua, los nutrientes y otros agroquímicos (Echevarría, 2019). Los nanosensores proporcionan información en tiempo real sobre la detección por ejemplo de algún patógeno y así actuar de manera rápida. Esta información es útil para proteger el cultivo de patógenos, plagas, virus, malezas y mejorar la producción aportando nutrientes adecuados al suelo (Chhipa y Joshi, 2016).

2.11 Efecto de algunos nanofertilizantes en los cultivos

Los nanofertilizantes son nanopartículas con tamaño a escala nanométrica, las cuales proveen de nutrientes a las plantas (Mejia y Pumaylle, 2021). Los nanofertilizantes traen consigo beneficios para el manejo de la nutrición debido a su capacidad de aumentar la eficiencia de los nutrientes, esto por la liberación lenta de los nutrimentos, además de esto, los nanofertilizantes pueden ser utilizados para la mejora a la tolerancia al estrés abiótico en las plantas (Zulfiqar *et al.*, 2019). Tienen la capacidad de suministrar uno o más nutrientes a las plantas, además de obtener un mayor aprovechamiento de los fertilizantes convencionales, lo cual tiene como resultado un mayor desarrollo y rendimiento del cultivo (Benzon *et al.*, 2015).

Dentro de los nanofertilizantes que incorporan nanopartículas básicamente son los óxidos como el ZnO, CuO, Fe₂O₃, etc. Asimismo, nanomateriales incrementados con nanopartículas como lo son las zeolitas y estimulantes del crecimiento vegetal tal como lo es el TiO₂, además de nanotubos de carbono (Kolenčík *et al.*, 2020). La aplicación de estos fertilizantes en una concentración óptima aumenta el rendimiento de los cultivos, aunque la sobredosis puede causar una disminución o reducción en la producción de cultivos debido a su toxicidad mineral (Butt y Naseer, 2020). El uso y aplicación de nanopartículas metálicas en la agricultura ha sido exitosa, sobre todo en cultivos que se producen en climas secos, ya que estimulan su crecimiento, incrementan el rendimiento y la calidad comercial de sus frutos (Prasad *et al.*, 2014).

2.11.1 Efecto de las nanopartículas de ZnO en hortalizas

La aplicación de las nanopartículas de ZnO, han demostrado tener efectos positivos sobre parámetros nutricionales y fisiológicos en algunos cultivos (Rivera *et al.*, 2021). Mejoran el crecimiento de las plantas además de la calidad de los frutos al incrementar la concentración de azúcar (Méndez-Argüello *et al.*, 2016). Por ejemplo, Rossi *et al.*, (2018) demuestran que las nanopartículas de ZnO influyeron positivamente en el crecimiento y fisiología del café además de un impacto significativo en el cuajado y la calidad del fruto. También, de acuerdo con Estrada (2018), las nanopartículas de ZnO incrementan el nivel del ácido indolacético en las raíces y en los brotes de los ápices, promoviendo así de esta forma la velocidad de crecimiento en las plantas de maíz.

Sin embargo, en algunos casos, las nanopartículas de ZnO no tienen un efecto claro en las plantas y este efecto a menudo varía con las especies de plantas (Sturikova *et al.*, 2018). Por ejemplo, Sabir *et al.*, (2014) demuestran que la presencia de nanopartículas de ZnO, la biomasa de algunos cultivos se redujo significativamente, la punta de la raíz se encogió y las células epidérmicas y corticales de la raíz se vacuolaron y colapsaron. Por otro lado, Hou *et al.*, (2018) mencionan que el uso de las nanopartículas de ZnO el crecimiento de raíces de zanahoria y de nabo fue relativamente bajo y en otras condiciones el crecimiento de la raíz casi se detuvo.

2.11.2 Efecto de las nanopartículas de ZnO en tomate

El uso de las nanopartículas de ZnO ayuda en la germinación de semillas de tomate y trigo ya que aumentan los parámetros de crecimiento en concentraciones bajas, mientras que las concentraciones altas disminuyen estas características (Ahmed *et al.*, 2021).

De acuerdo con Zúñiga (2019) el uso de la nanopartícula de ZnO en una solución nutritiva mejora la calidad de la planta, además la concentración a 100 ppm de esta nanopartícula origina mayor crecimiento en longitud radical, mayor producción de biomasa radical, altas concentraciones de N, P, K, Ca y Zn en plántula, mientras que Raliya *et al.*, (2015) mencionan que una concentración de 100 ppm de

nanopartículas de ZnO mejoran el contenido de licopeno además de presentar mayor rendimiento de frutos, por el contrario, la concentración de 750 ppm condujo a un aumento considerable de clorofila en la planta.

2.11.3 Efecto de las nanopartículas de CuO en hortalizas

Las nanopartículas de CuO presentan acción antibacteriana debido a que tienen acción directa sobre la envoltura de las bacterias (Parra, 2020). También presenta efectos biocidas (Arif *et al.*, 2018). Kanhed *et al.*, (2014) demostraron la actividad antifúngica de las nanopartículas de cobre contra algunos hongos fitopatógenos como *Phoma destructiva*, *Curvularia lunata*, *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum* de acuerdo con Pastrana (2017) estas nanopartículas presentan una actividad fungicida a 100 ppm para la especie *Cladosporium herbarum*.

Por otro lado, Salazar (2019) dice que la exposición de nanopartículas de cobre conduce a estrés oxidativo, daño al ADN, crecimiento inhibido de organismos, y muerte celular. De acuerdo con Da Costa y Sharma (2016) El uso de concentraciones altas de nanopartículas de CuO (1000 ppm) disminuye considerablemente la producción de raíces y brotes del cultivo de arroz, esto comparado con el control, el cual fue superior.

2.11.4 Efecto de las nanopartículas de CuO en tomate

La aplicación foliar de nanopartículas de cobre favorece una mejor calidad de la fruta, además en condiciones de estrés salino, las plantas de tomate aumentan la acumulación de antioxidantes compuestos, como vitamina C, y licopeno (Pérez *et al.*, 2019).

De acuerdo con Hernández *et al.*, (2017) mencionan que el uso de una concentración de 250 ppm de nanopartículas de CuO en plantas de tomate bajo estrés salino modifica la acumulación y degradación de compuestos bioactivos, así como la actividad antioxidante de las frutas. De la misma manera López *et al.*, (2018) mencionan que la concentración de 250 ppm se producen frutos de tomate de mejor calidad para la dieta humana esto debido a la acumulación de compuestos bioactivos. Por otro lado, la aplicación de esta nanopartícula a una concentración

mayor de 500 ppm en tomate, induce efectos negativos en el contenido de compuestos bioactivos.

2.11.5 Efecto de las nanopartículas de SiO₂ en hortalizas

Las nanopartículas de silicio tienen características fisiológicas distintivas que les permiten ingresar a las plantas e influir en las actividades metabólicas de las plantas (Rastogui *et al.*, 2019). De acuerdo con Gonzales *et al.*, (2021) Las nanopartículas de silicio en tomate, influyeron positivamente en la absorción y concentración de Zn y Cu en raíces, y Fe en hojas. Además, la absorción de macronutrientes en la raíz y las hojas. Estudios realizados en semillas de girasol se encontró que la aplicación de nanopartículas de silicio tiene un efecto positivo en la germinación, vigor, emergencia y crecimiento de plántulas (Azimi *et al.*, 2016).

De acuerdo con Siddiqui *et al.*, (2020) las nanopartículas de silicio mejoran la germinación de semillas, el tiempo medio de germinación, el índice de germinación de semillas, índice de vigor de la semilla, peso fresco y peso seco de las plántulas cuando se suministran en bajas concentraciones.

2.11.6 Efecto de las nanopartículas de SiO₂ en tomate

Las nanopartículas de silicio tienen la capacidad de inducir mayor crecimiento en las plantas de tomate tratadas con esta nanopartícula, esto se debe a que este elemento tiene un efecto benéfico sobre el balance nutricional principalmente de elementos necesarios en las primeras etapas como el fósforo (Peñaloza, 2021). Udalova *et al.*, (2020) mencionan que las plantas de tomate tratadas con nanopartículas de silicio, estimula procesos de crecimiento, reduce la infestación de la raíz sistema con nematodos, y tiene un efecto inhibitor sobre los parámetros morfofisiológicos de los nematodos, además de que en plantas infestadas indica la mejora de su estado fisiológico.

De acuerdo con Alam *et al.*, (2022) la concentración de 100 ppm de nanopartículas de silicio en plantas de tomate, aumentan significativamente los atributos de crecimiento, contenido mineral como lo son Mg, K, Cu, Fe, Mn, Zn, fotosíntesis, tasa

de transpiración, concentración interna de CO₂ y la actividad de enzimas antioxidantes, incluyendo la superóxido dismutasa y catalasa en estrés salino, además de que la aplicación foliar es más efectiva que la inmersión de raíces ya que alivia el estrés salino al aumentar la actividad enzimática antioxidante de la planta.

2.11.7 Efecto de las nanopartículas de Fe₂O₃ en hortalizas

Las nanopartículas de Fe₂O₃ desempeñan un papel de apoyo en la mejora de la tolerancia al estrés mediante la provisión de cofactores que son los constituyentes de muchos antioxidantes (Zia-ur-Rehman *et al.*, 2018). Hussain (2019) demuestra que la aplicación de nanopartículas de Fe₂O₃ (2000 ppm) a plántulas de trigo mejora la biomasa y disminuye la acumulación de metales y estrés oxidativo en trigo. Al igual mejoran la germinación de las semillas y la longitud de la raíz de la lechuga (Liu *et al.*, 2016). El uso de estas nanopartículas aplicadas foliarmente no tienen ningún impacto adverso en el crecimiento de *Citrus maxima* y es capaz de reducir la pérdida de nutrientes, debido a la capacidad de adsorción y liberación gradual del Fe (Hu *et al.*, 2017). López (2022) menciona que el uso de nanopartículas de óxido de hierro (Fe₂O₃) en hortalizas mejora la longitud de la raíz, la altura de la planta, el contenido de Fe y clorofila de las plantas además de controlar la actividad de las enzimas antioxidantes y los niveles de fitohormonas.

2.11.8 Efecto de las nanopartículas de Fe₂O₃ en tomate

El tratamiento de nanopartículas de Fe₂O₃ en semillas de tomate, han mostrado una mejor germinación, la longitud de raíces y brotes (Shankamma *et al.*, 2016). La adición de Fe₂O₃ funcionan como inductores de comportamientos benéficos hacia factores como la germinación y el desarrollo de las mismas (Barrera, 2015). López y López (2015) mencionan que la aplicación de estas nanopartículas en tomate, incrementa la altura, el peso fresco, el peso seco además de que se disminuye el número de flores abortadas por planta.

Telizhenko y Gorobets (2017) mencionan que una concentración de nanopartículas de hierro a 100 ppm, en la semilla de tomate muestra que la germinación mejora ligeramente. Sin embargo, una mayor concentración afecta a las semillas. Las longitudes de las raíces de las plántulas tienen aumentó gradualmente con un aumento en la concentración de nanopartículas de Fe_2O_3 .

Por otro lado, Martinez y Komárek (2016) mencionan que una concentración de 100 ppm de nanopartículas de Fe_2O_3 , inhibe en un 40% la conductividad hidráulica de la raíz de plantas de tomate, lo que podría evidenciar una reducción de las concentraciones de Mo y Zn en sus brotes.

2.12 Ferrihidrita

Los oxihidróxidos de hierro, como ferrihidrita, son minerales altamente abundantes y ubicuos en ambientes geoquímicos. Su reactividad superficial es alta hacia la adsorción de aniones y cationes de relevancia ambiental dados sus pequeños tamaños de partícula (Villacís *et al.*, 2015). La ferrihidrita es un material de nanoóxido de Fe (III) todavía enigmático, omnipresente en la naturaleza que puede unir iones en grandes cantidades, regulando la biodisponibilidad y la movilidad de los iones (Hiemstra, 2013). La ferrihidrita natural se encuentra en aguas y sedimentos, suelos, costras de meteorización y desechos mineros; es comúnmente formado por oxidación rápida de soluciones que contienen Fe^{2+} seguida de hidrólisis en presencia de inhibidores de cristalización (Jansen *et al.*, 2002).

La ferrihidrita es una estructura imperfecta de la hematita, su fórmula es la siguiente: $\text{Fe}_5(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}_3$ (Acevedo *et al.*, 2004). Vodyanitskii y Shoba (2016) mencionan que la estructura de la ferrihidrita contiene una red tetraédrica además de la red octaédrica principal, con 10%-20% de Fe concentrado en el primero. Pertenece al grupo de los oxihidróxidos férricos y se caracteriza por una elevada dispersión, pobre cristalinidad y baja estabilidad además de ser un compuesto metaestable que se transforma fácilmente en goethita y hematita (Drits *et al.*, 1993). En contraste con la hematita, la posición de la plancha está parcialmente vacante, y el período

de repetición no es de 6, sino de 4 capas de empaque aniónico hexagonal (Chukhov *et al.*, 2009). La ferrihidrita y la hematita se caracterizan por los parámetros de celda unitaria es de color marrón rojizo además se encuentra en ambientes superficiales de bajas temperaturas tal como rocas, suelo, etc. (Pariona, 2015).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar de realización

Este trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en un invernadero con cubierta de plástico, de baja tecnología, ubicado a una latitud norte de 25° 21' 20" una longitud oeste de 101° 02' 11" y a una altitud de 1759 msnm.

3.2 Material vegetal utilizado

El material vegetal utilizado en este experimento fue plántula de tomate tipo uva, variedad Cherubs.

3.3 Establecimiento del cultivo

El día 8 de marzo del año 2022 se procedió con la preparación del sustrato para los contenedores, los cuales venían en una proporción de 70% peat moss y 30% perlita, posteriormente se ajustó el pH del sustrato con bicarbonato de sodio agregando 0.5 g por cada litro de peat moss para aumentar el pH del sustrato. Una vez preparado el sustrato, se procedió a rellenar los contenedores a una altura establecida, después de lo cual se procedió con el trasplante del material vegetal a los contenedores. Enseguida se le dio un lavado de sustrato con 4 L de agua para desplazar el sodio que se aplicó para ajustar pH a 5.6.

3.4 Manejo nutricional

Para el manejo nutricional del cultivo se utilizó una solución nutritiva recomendada para el cultivo, con una concentración al 100%. La solución ya ajustada al análisis del agua fue la siguiente: NO_3^- 10 meq/L, H_2PO_4^- 2 meq/L, $\text{SO}_4^{=}$ 4 meq/L, K 8 meq/L, Ca 6 meq/L, Mg 3 meq/L.

3.5 Manejo sanitario

Para el manejo sanitario del cultivo se utilizaron los siguientes ingredientes activos para el control de plagas: Imidacloprid, Abamectina, Spiromesifen, Amitraz. Para el control de enfermedades: Propiconazol, Hidróxido Cúprico, Gentamicina, Oxitetraciclina.

Todos los ingredientes activos anteriores se utilizaron durante todo el ciclo del cultivo, realizando aplicaciones cada semana y realizando rotación de ingredientes activos.

3.6 Frecuencia de riegos

Cuando se estableció el cultivo de 1 a 7 ddt (días después del trasplante) se realizó un riego por semana, de los 8 a los 15 ddt se realizaban riegos de 500 mL por planta tres veces por semana con una concentración de solución nutritiva al 25%. De los 16 a los 23 ddt se realizaban riegos de 750 mL por planta tres veces por semana con una concentración de solución nutritiva al 50%. De los 24 ddt en adelante se comenzaron a dar riegos con una concentración de la solución nutritiva al 100%. La cantidad a regar se comenzó a estimar con una práctica en la cual se tenía que determinar que la lixiviación fuera de un 30% en base a la cantidad que se regaba.

3.7 Labores culturales

Poda de hojas, consiste en eliminar hojas adultas que se encuentran por debajo del último racimo que va madurando, dejando un racimo adicional descubierto. Con el deshojado se consigue una mejor ventilación. Se realiza de manera periódica, procurando no quitar más de varias hojas a la vez para evitar un desbalance energético e hídrico que agote a la planta y repercuta en el rendimiento del mismo.

Deschuponado, Consiste en eliminar brotes que salen entre el tallo y la axila de la hoja de la planta, a medida que incrementa el tamaño del brote el rendimiento se ve reducido, esto debido a que los brotes muestran un mayor vigor por cuestiones hormonales, ocasionando que gran parte de los nutrientes vayan hacia ellos y no al fruto.

3.8 Tratamientos aplicados

Los tratamientos aplicados consistieron en evaluar 4 distintas concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita (**Cuadro 1**), estos fueron aplicados vía foliar con un intervalo de aplicación de cada 15 días.

Cuadro 1. Tratamientos seleccionados para determinar su efecto sobre el cultivo de tomate tipo uva variedad Cherubs, aplicados foliarmente.

TRATAMIENTO	DOSIS DE NP FERRIHIDIRTA (ppm)
CONTROL	0
T1	500
T2	1000
T3	1500
T4	2000

3.9 Variables evaluadas

Para la evaluación de este experimento se consideraron las siguientes variables:

- **Rendimiento:** Se determinó pesando cada uno de los frutos en gramos (g) con la utilización de una báscula gramera.
- **Ancho de fruto:** Se determinó midiendo el ancho de cada fruto en milímetros (mm) con ayuda de un vernier digital.
- **Largo de fruto:** Se determinó midiendo el largo de cada fruto en milímetros (mm) con ayuda de un vernier digital.
- **Contenido nutrimental de fruto:** Se determinó utilizando medidores de nutrientes marca HORIBA, los cuales miden los nutrientes (NO₃, K, Ca), los resultados se obtuvieron en partes por millón (ppm), para la medición de esta variable, se recolectaron dos representativos por cada tratamiento de cada uno de los bloques. En laboratorio con ayuda de un mortero se machacaban

muy bien los frutos, para extraer el jugo y colocarlo en estos sensores para que nos arrojaran el resultado, esto se repetía con cada fruto, al final de cada medición se enjuagaba muy bien el sensor.

- **Sólidos solubles totales:** Se determinó utilizando un refractómetro de mano de la marca ATAGO, para la medición de esta variable se recolectaron dos representativos por cada tratamiento de cada uno de los bloques. En laboratorio con ayuda de un mortero se machacaban muy bien los frutos, para extraer el jugo y colocarlo en estos sensores para que nos arrojaran el resultado, esto se repetía con cada fruto, al final de cada medición se enjuagaba muy bien el sensor.
- **Firmeza del fruto:** Se determinó utilizando un penetrómetro, para la evaluación de esta variable se recolectaron dos representativos por cada tratamiento de cada uno de los bloques para después ser medidos con el penetrómetro
- **Extracto de peciolo:** Se determinó utilizando medidores de nutrientes marca HORIBA, los cuales miden los nutrientes (NO_3^- , K, Ca) los resultados se obtuvieron en partes por millón (ppm), para la medición de esta variable se seleccionaron peciolo de las hojas no tan viejas, pero tampoco tan jóvenes de la planta, se recolectó un peciolo por tratamiento por cada bloque.
- **Número de hojas:** Se determinó contando todas las hojas de cada una de las plantas por cada tratamiento y por cada bloque.
- **Diámetro basal:** Se determinó midiendo el diámetro basal de cada uno de los tratamientos de cada bloque, esto se realizó con la ayuda de un vernier digital (mm).
- **Diámetro apical:** Se determinó midiendo el diámetro apical (15 cm debajo del ápice se realizó la medición) de cada uno de los tratamientos de cada bloque, esto se realizó con la ayuda de un vernier digital (mm).
- **Altura de la planta:** Se determinó midiendo la planta de la parte basal hasta el ápice de la misma, esto se realizó en cada uno de los tratamientos y de cada bloque, para la medición de esta variable se utilizó un flexómetro que nos arroja los resultados en centímetros (cm).

- **Peso fresco de hojas:** Se determinó retirando las hojas de la planta, para después ser pasadas a una bolsa de cartón donde se identificaban y se pesaban con ayuda de una báscula, el resultado estaba expresado en gramos (g).
- **Peso fresco de tallo:** Se determinó cortando el tallo de la planta, para después ser pasado a una bolsa de cartón donde se identificaba y se pesaba con ayuda de una báscula, el resultado estaba expresado en gramos (g).

3.10 Diseño estadístico

Este experimento se llevó a cabo con un diseño estadístico de bloques completamente al azar, evaluando 5 tratamientos, realizando 5 repeticiones por tratamiento.

3.11 Análisis de la información

Los datos se analizaron con el paquete estadístico InfoStat versión 2020. Se realizaron pruebas de comparación de medias con el método de Duncan al $p=0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Rendimiento

De acuerdo con la comparación de medias (**Figura 1**), la aplicación de las nanopartículas de ferrihidrita causaron un aumento significativo en el rendimiento de fruto; aplicaciones foliares desde las 500 ppm de estas nanopartículas fueron suficientes para aumentar un 25% la producción de fruto en comparación con las plantas del tratamiento testigo, en tanto que con 1500 ppm el aumento fue del 32%. La Figura 1 también muestra que, aunque el rendimiento es aún alto en plantas tratadas con 2000 ppm, se observa una tendencia a disminuir. Esto puede deberse a que la absorción de la nanopartícula de ferrihidrita interviene en el engorde del fruto, lo cual coincide con los reportes de Shankamma *et al.*, (2016) ya que mencionan que el uso de las nanopartículas de Fe_2O_3 tienen una absorción y acumulación significativa en los órganos de la planta, incluyendo los frutos.

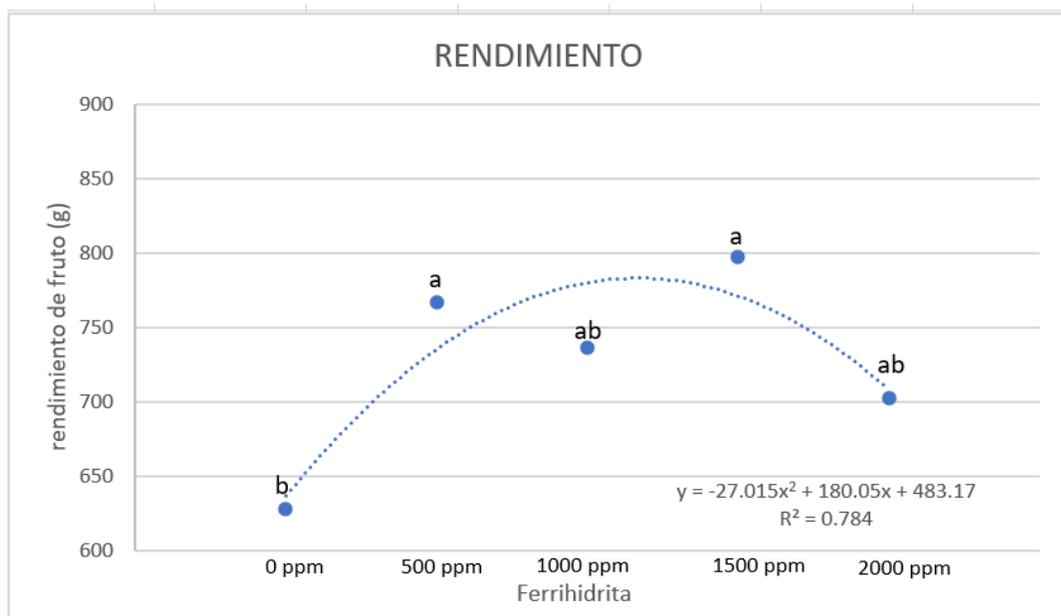


Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para el rendimiento de fruto.

4.2 Altura de la planta

La aplicación de las nanopartículas de ferrihidrita, causaron un aumento significativo en la altura de la planta (**Figura 2**); al igual que con el rendimiento del fruto, aplicaciones foliares desde 500 ppm de estas nanopartículas, fueron suficientes para aumentar un 6% la altura de la planta en comparación con las plantas del tratamiento testigo en tanto que con 1500 ppm el aumento fue del 8%. La Figura 2 también muestra que, aunque la altura es aún mayor en plantas tratadas con 2000 ppm, se observa una tendencia a disminuir. Esto puede deberse a que el hierro en concentraciones adecuadas actúa en la fotosíntesis positivamente a través de la síntesis de clorofila, lo cual da paso a un mayor desarrollo vegetativo, por el contrario, un exceso de hierro es nocivo para la planta, lo que explicaría por que una concentración mayor la tendencia va a la baja. Estos resultados coinciden con lo que Rui *et al.*, (2016) mencionan que el uso de nanopartículas de Fe_2O_3 aumentan el contenido de clorofila ya que este es un índice importante del crecimiento de las plantas.

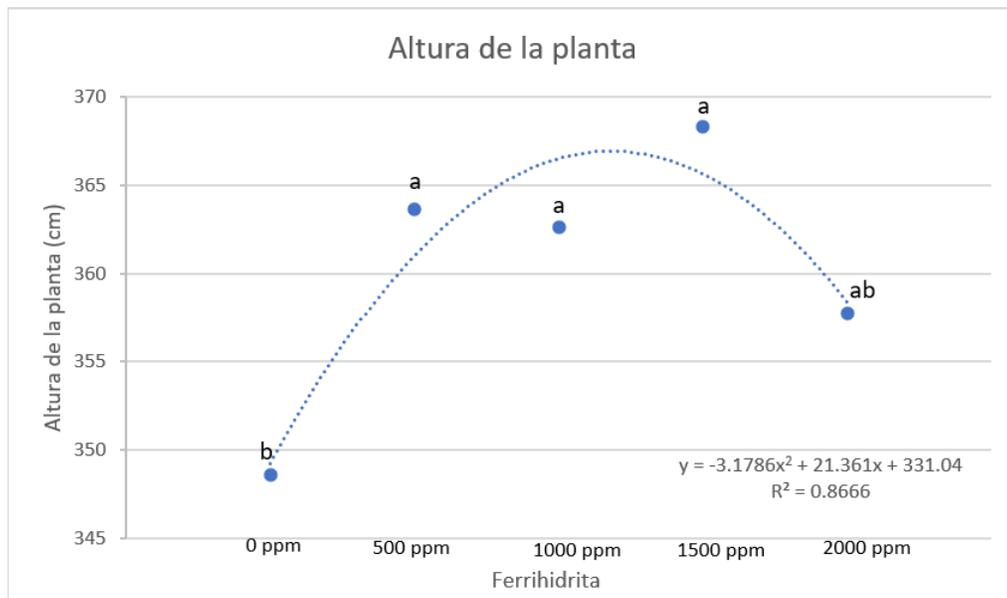


Figura 2. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para la altura de la planta.

4.3 Numero de hojas

La aplicación de las nanopartículas de ferrihidrita, causaron un aumento significativo en la producción de numero de hojas; aplicaciones foliares desde 1500 ppm de estas nanopartículas, fueron suficientes para aumentar un 7% a comparación de las plantas tratadas con 500 ppm de nanopartículas de ferrihidrita las cuales fueron las que produjeron un menor número de hojas. Esto puede deberse a que el hierro en las plantas interviene en la síntesis de la clorofila y participa en ciertos procesos enzimáticos y metabólicos que participan en la producción de mayor área foliar en la planta, y puede verse reflejado en el número de hojas, lo cual coincide con que menciona Graziano y Lamattina (2005) que el hierro participa en la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de ADN y la estructura y acción de las hormonas, lo cual podría verse reflejado en una mayor área foliar en la planta y por ende un mayor número de hojas.

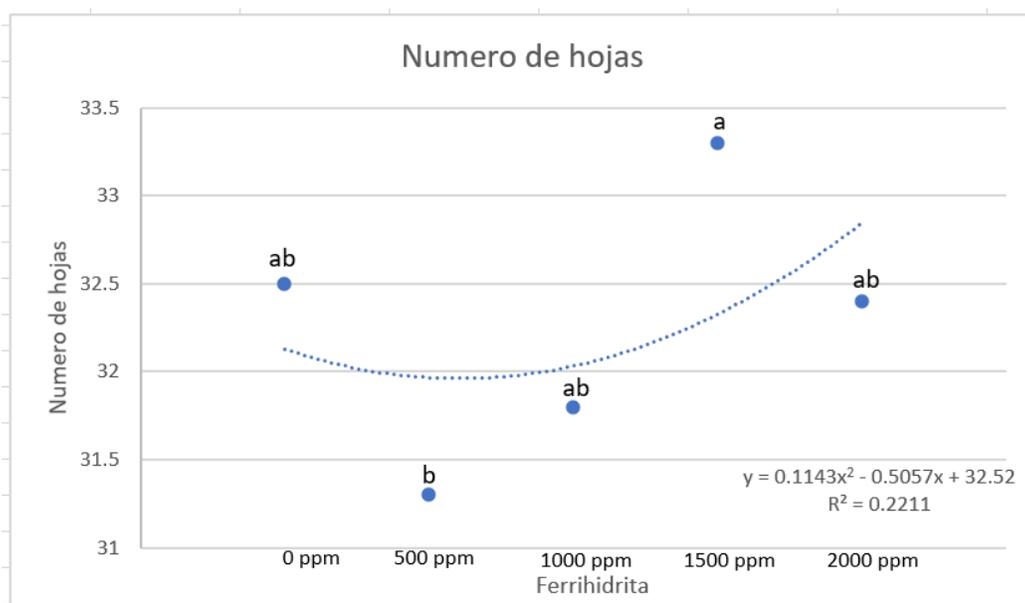


Figura 3. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para número de hojas.

4.4 Diámetro basal

La aplicación de las nanopartículas de ferrihidrita causaron un aumento significativo en el diámetro basal de tallo; aplicaciones foliares desde las 1000 ppm de estas nanopartículas fueron suficientes para aumentar un 8% el diámetro basal del tallo (**Figura 4**), comparado con la concentración de 2000 ppm la cual fue el diámetro más bajo entre todos los tratamientos, en tanto que con 1000 ppm el aumento fue de 9%. Esto puede deberse a que el hierro es cofactor de enzimas que catalizan reacciones bioquímicas indispensables en los procesos como la fotosíntesis, respiración, metabolismo etc, lo cual puede ayudar que la aplicación de esta nanopartícula en una dosis optima el grosor del tallo aumente, además como se observa en la Figura 4, una concentración alta de esta nanopartícula puede llegar a ser toxica, por lo tanto, disminuye el grosor. Lo anterior coincide con Montero (2015). que menciona que el uso de hierro foliarmente en la planta mejora significativamente en el desarrollo vegetativo, incluyendo el grosor del tallo mostrando que el uso del hierro en distintas presentaciones se obtienen resultados intermedios.

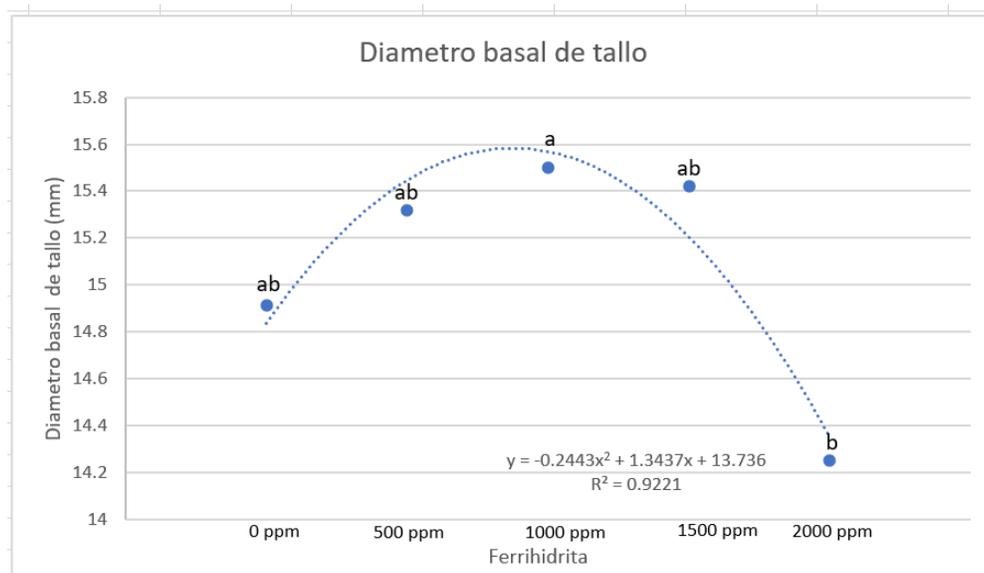


Figura 4. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para diámetro basal de tallo.

4.5 Desarrollo vegetativo

Para esta variable, se consideran tres variables dentro de ella, las cuales son: diámetro apical del tallo, peso fresco de hojas y peso fresco de tallo, de acuerdo con la comparación de medias de las tres variables (**Figura 5-7**) muestran que la aplicación de nanopartículas de ferrihidrita no influenció a las plantas de tomate, ya los resultados no muestran efecto significativo desde las plantas tratadas con 0 ppm de ferrihidrita hasta las tratadas con 2000 ppm. Esto se puede deber a que el efecto de las nanopartículas de hierro, al ser un microelemento, este tarda en verse reflejado en órganos jóvenes de la planta, por lo tanto en el diámetro apical del tallo no existió diferencia significativa. En cuanto al peso fresco de las hojas y del tallo, este puede verse afectado debido a que la proporción de agua en la planta es alta cuando es joven y disminuye conforme envejece. Lo cual no concuerda con lo mencionado por López (2015), quien menciona que la aplicación de nanopartículas de óxido de hierro en tomate, incrementan significativamente el peso fresco de la planta.

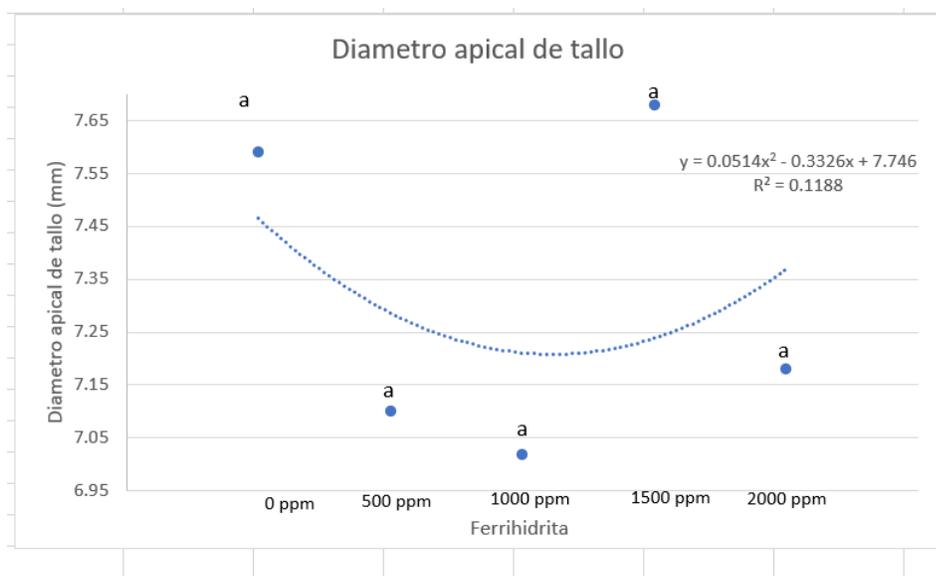


Figura 5. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para diámetro apical de tallo.

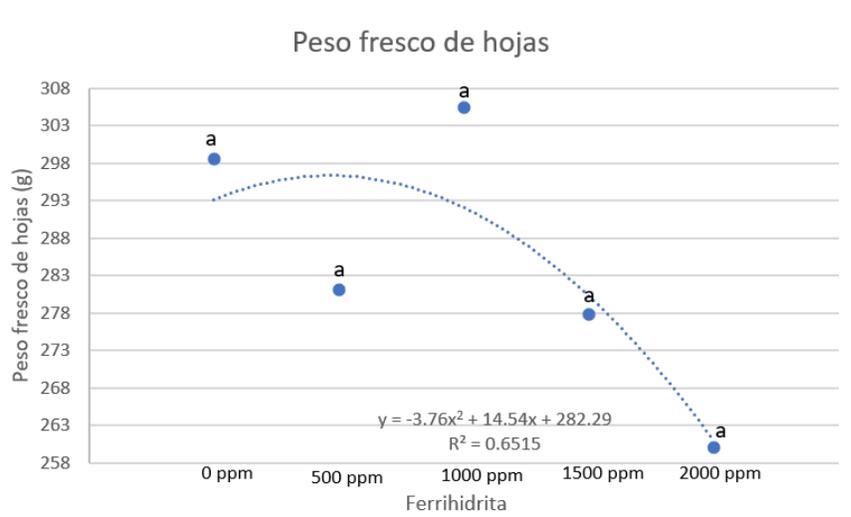


Figura 6. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para peso fresco de hojas.

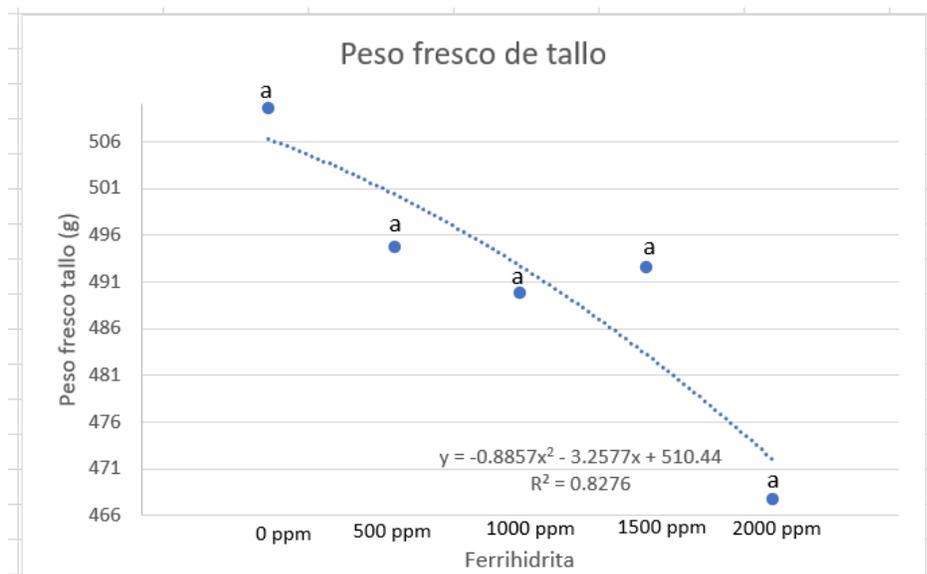


Figura 7. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para peso fresco de tallo.

4.6 Calidad del fruto

En estos parametros, se consideraron siete variables dentro de ella, las cuales son: ancho del fruto, largo del fruto, firmeza, solidos solubles, contenido de nitratos del fruto, contenido de potasio en el fruto y contenido de calcio en el fruto. De acuerdo con la grafica de comparacion de medias de las siete variables (**Figura 8-14**) se demuestra que la aplicación de nanoparticulas de ferrihidrita tuvo influencia por los tratamientos aplicados a las plantas de tomate, ya que los resultados no muestran efecto significativo desde las plantas tratadas con 0 ppm de ferrihidrita hasta las tratadas con 2000 ppm. Esto puede deberse a que el uso de nanoparticulas de ferrihidrita no afecta directamente en la calidad del fruto, aunque si influye en otros parametros relacionados como el rendimiento, mostrando no tener diferencia significativa en ninguna de las variables de calidad como lo es firmeza, solidos solubles, ancho y largo del fruto lo cual coincide con López *et al.*, (2019) donde menciona que obtuvieron diferencia no significativa al utlizar distintas concentraciones de hierro en plantas de chile en variables de calidad como lo son solidos solubles, ancho y largo del fruto, por el contrario para la variable de firmeza si encontraron diferencia en ese mismo experimento, los autores le atribuyen a las bajas concentraciones de hierro que se utilizaron en dicho experimento.

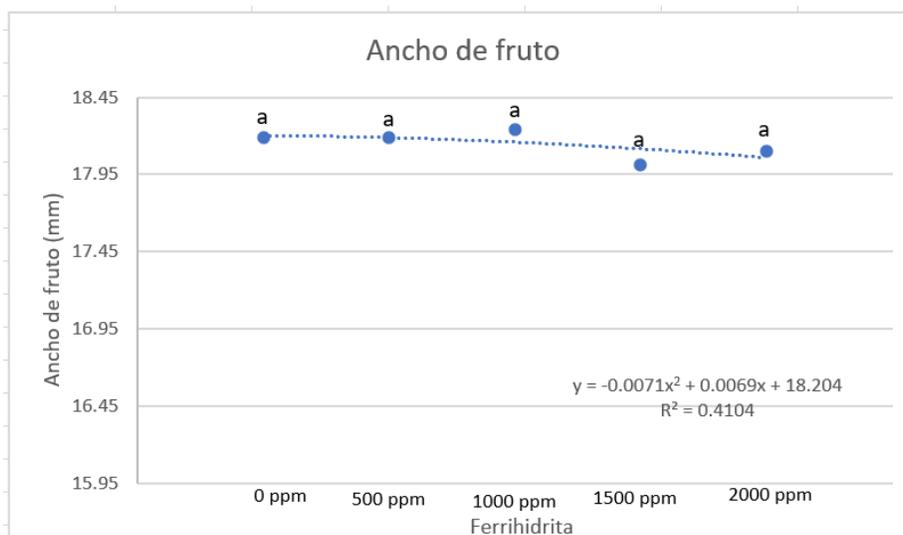


Figura 8. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para ancho de fruto.

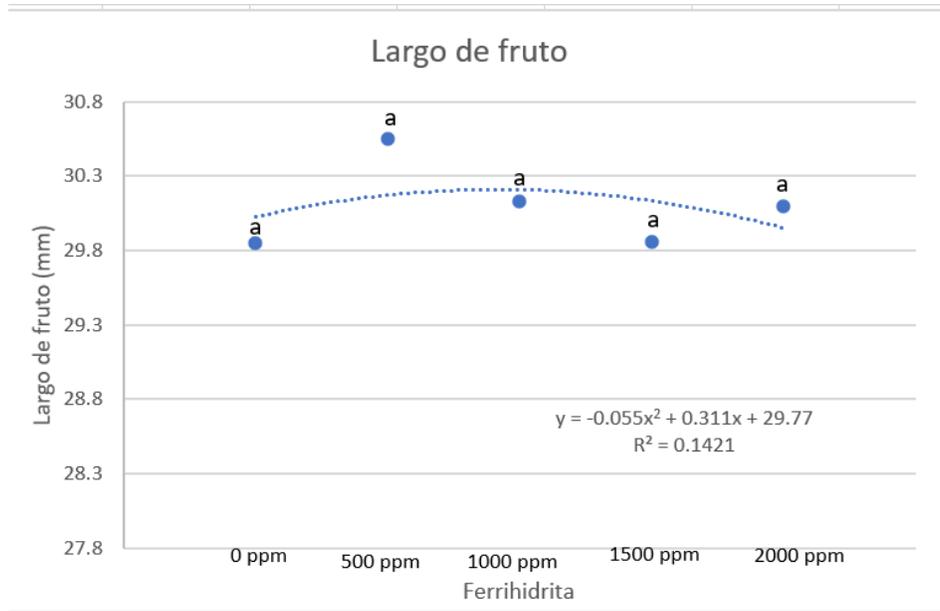


Figura 9. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para largo de fruto.

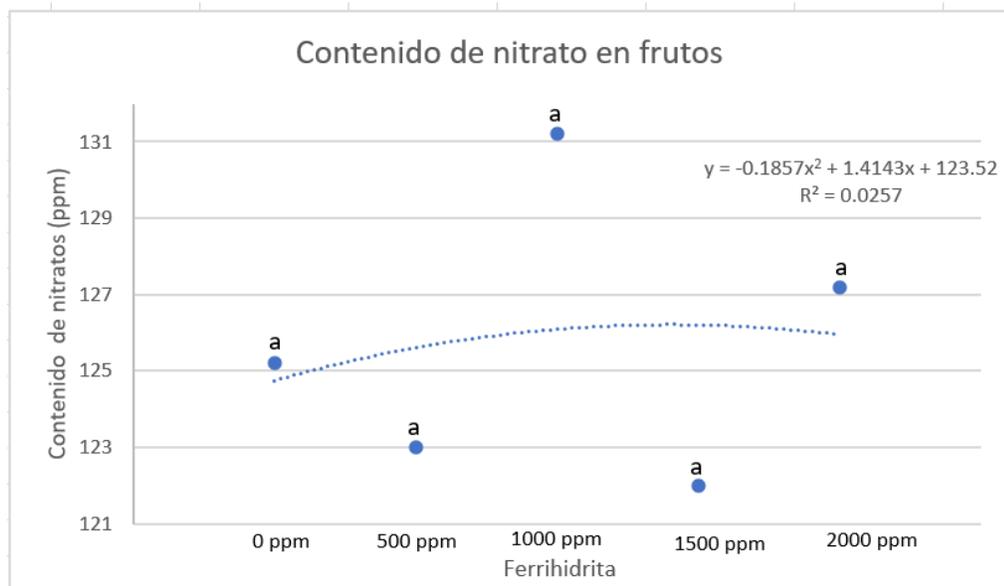


Figura 10. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de nitrato en fruto.

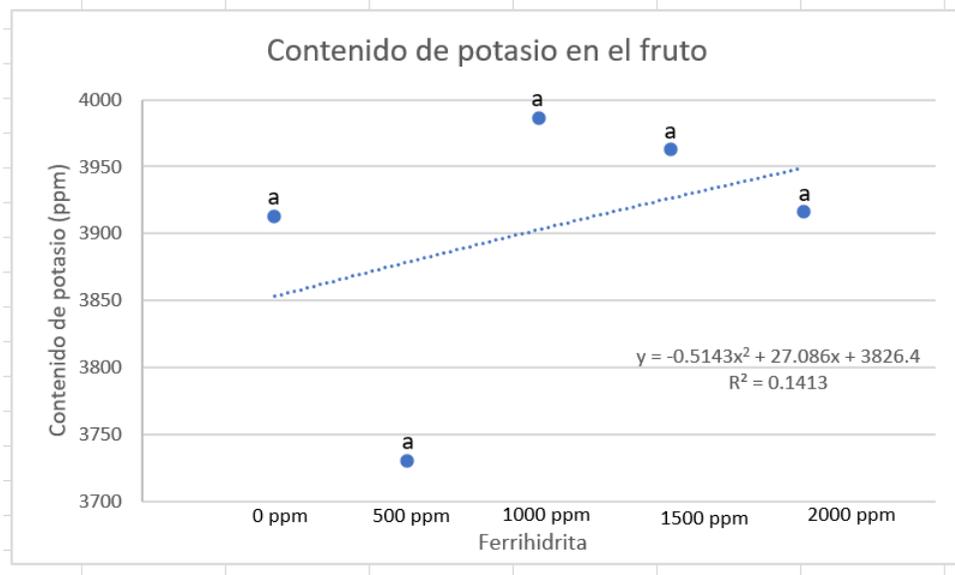


Figura 11. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de potasio en fruto.

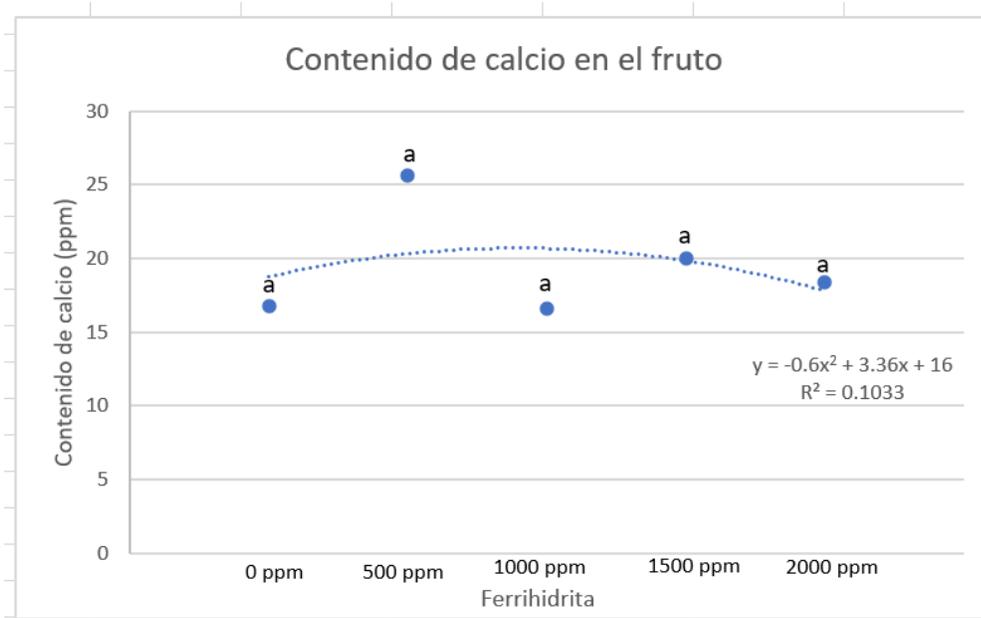


Figura 12. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de calcio en fruto.

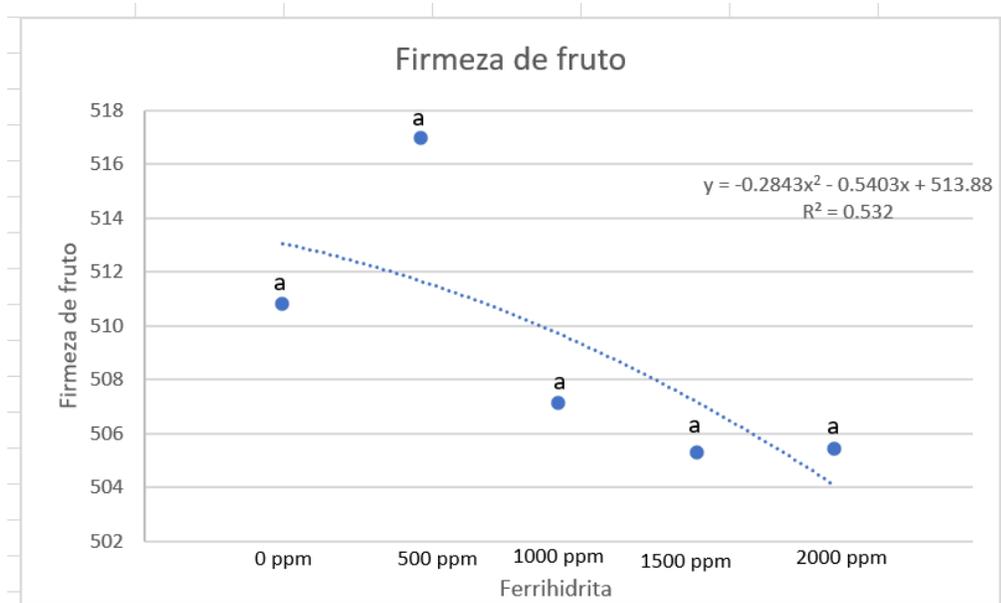


Figura 13. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para firmeza de fruto.

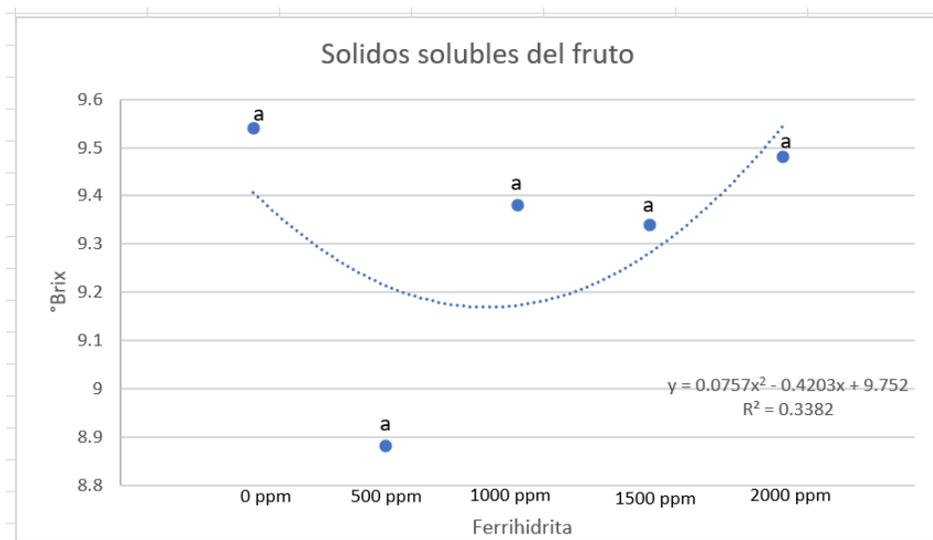


Figura 14. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para solidos solubles del fruto.

4.7 Extracto celular de peciolo

Para esta variable, se consideran tres variables dentro de ella, las cuales son: contenido de nitratos, contenido de potasio y contenido de calcio, de acuerdo con la grafica de comparacion de medias de las tres variables (**Figura 15-17**) independientemente se demuestra que la aplicación de nanoparticulas de ferrihidrita las plantas no fueron influenciadas por los tratamientos aplicados a las plantas de tomate, ya que los resultados no muestran efecto significativo desde las plantas tratadas con 0 ppm de ferrihidrita hasta las tratadas con 2000 ppm de nanoparticulas. Esto se puede deber a que la concentracion que las concentraciones que se utilizaron de ferrihidrita no causa sinergismo con el potasio y mucho menos causa antagonismo con el calcio y el nitrato. Lo que no concuerda con lo que Aktas y Van Egmon (1979) demuestran que en sus resultados, la adición de hierro a la planta promueve un aumento significativo en la concentración de NO₃. De misma manera no concuerda con Gonzales (2005) que menciona que el hierro tiene la capacidad de incrementar la biodisponibilidad del calcio.

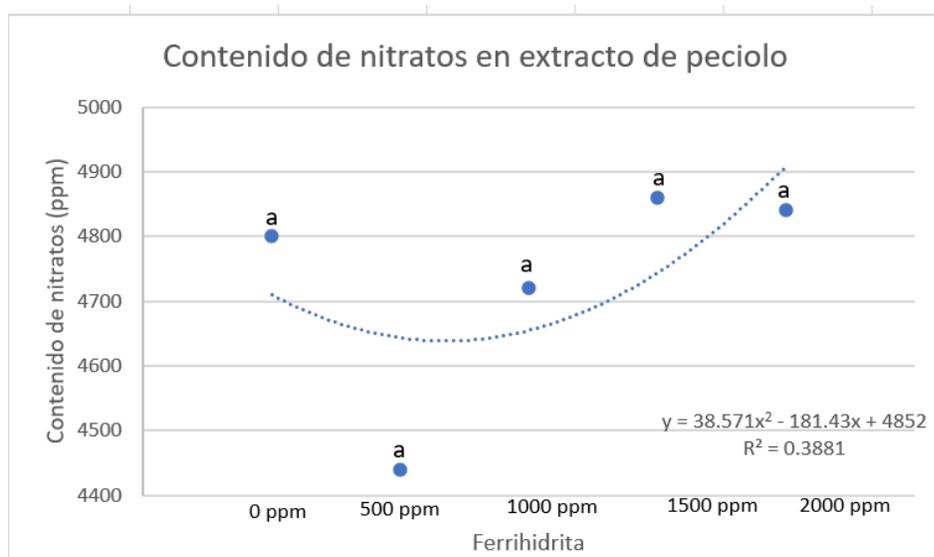


Figura 15. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de nitrato en extracto de peciolo.

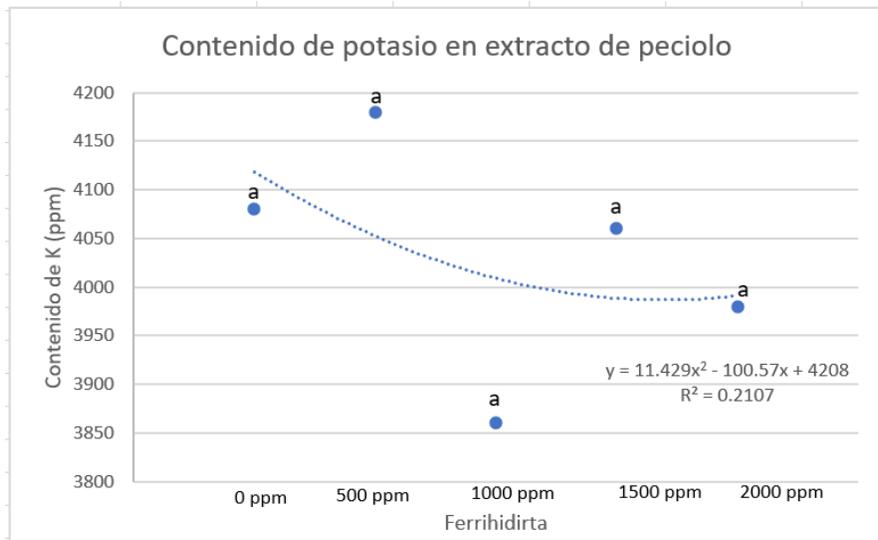


Figura 16. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de potasio en extracto de peciolo.

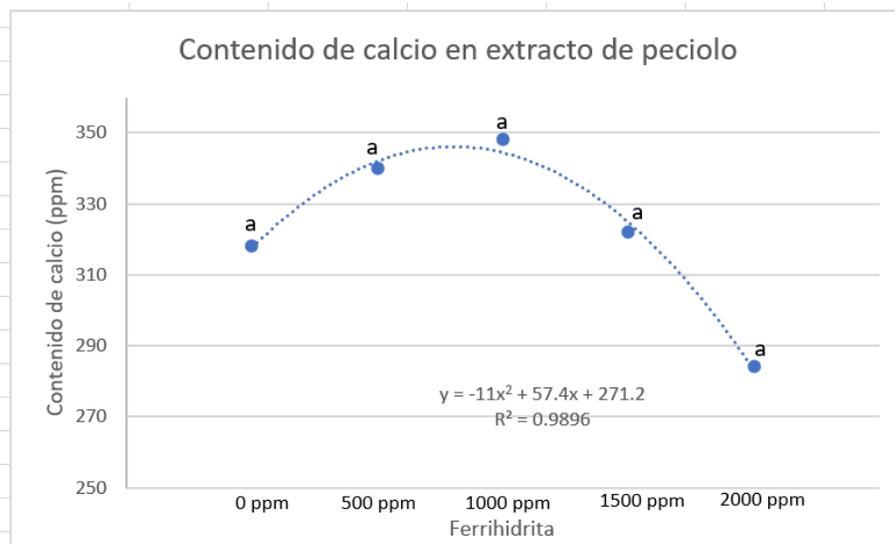


Figura 17. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ferrihidrita aplicada foliarmente en tomate tipo uva variedad Cherubs para contenido de calcio en extracto de peciolo.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de nanopartículas de ferrihidrita afectó considerablemente las variables de interés como lo son el rendimiento de fruto, altura de la planta, número de hojas y el diámetro basal. La concentración que tuvo mejor respuesta, fue la concentración de 500 y 1500 ppm de esta nanopartícula, superando significativamente a las plantas testigo. También quedó demostrado, que la aplicación de una concentración alta de estas nanopartículas, puede llegar a ser tóxico para las plantas de tomate, disminuyendo considerablemente las variables anteriormente mencionadas.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Sandoval, O., Ortiz-Hernández, E., Cruz-Sánchez, M., y Cruz-Chávez, E. (2004).** El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485-497.
- Acosta Prócel, J. M. (2016).** Evaluación del comportamiento agronómico de nuevos híbridos de tomate hortícola (*Lycopersicon esculentum*), bajo cubierta plástica. Universidad técnica de Ambato. Facultad de ciencias agropecuarias. Carrera de ingeniería agronómica, 89pp.
- Ahmed, R., Yusoff Abd Samad, M., Uddin, M. K., Quddus, M. A., y Hossain, M. M. (2021).** Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient and zinc oxide nanoparticles in tomato production. *Agronomy*, 11(10), 2074.
- Aktaş, M., y Van Egmond, F. (1979).** Effect of nitrate nutrition on iron utilization by an Fe-efficient and an Fe-inefficient soybean cultivar. *Plant and soil*, 51(2), 257-274.
- Alam, P., Arshad, M., Al-Kheraif, AA, Azzam, MA y Al Balawi, T. (2022).** Regulación del metabolismo de carbohidratos, fotosíntesis y homeostasis de ROS inducida por nanopartículas de silicio en *Solanum lycopersicum* sujeta a estrés por salinidad. *ACS omega*, 7 (36), 31834-31844.
- Al-Mamun, M. R., Hasan., M. R., Ahommed, M. S., Bacchu, M. S., Ali, M. R., y Khan, M. Z. H. (2021).** Nanofertilizers towards sustainable agriculture and environment. In: *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101658.
- Anandhi, S., Saminathan, V. R., Yasotha, P., Saravanan, P. T., y Rajanbabu, V. (2020).** Nano-pesticides In: *Pest Management. J Entomol Zool Stud*, 8(4), 685-90.
- Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Tripathi, D. K., Dubey, N. K., Chauhan, D. K., y Giorgetti, L. (2018).** Interaction of copper oxide nanoparticles with plants: uptake, accumulation, and toxicity. In: *Nanomaterials in plants, algae, and microorganisms* (pp. 297-310). Academic Press.

- Ávila, E. (2015).** Manual del tomate. Cámara De Comercio De Bogotá, 34-36 pp.
- Azimi, R., G. Heshmati, R. y Kavandi. (2016).** Evaluation of SiO₂ nanoparticle effects on seed germination In: *Astragalus squarrosus*. Journal of Rangeland Science 6(2):135-143.
- Bakhtiari, M., Moaveni, P., y Sani, B. (2015).** The effect of iron nanoparticles spraying time and concentration on wheat. In: Biological Forum Vol. 7, No. 1, p. 679. Research Trend.
- Barrera Soto, M. D. (2015).** Evaluación del efecto de nanopartículas de óxido de hierro y un elicitor sobre el crecimiento en plantas de *Solanum lycopersicum* L. cv. Instituto Tecnológico de Colima. Departamento de Bioquímica. 44 pp.
- Barrientos-Bonilla, O. (2014).** Diversidad agronómica y morfológica de tomates. Fitotec, 37:129-139.
- Benzon, H. R. L., Rubenecia, M. R. U., Ultra Jr, V. U., y Lee, S. C. (2015).** Nanofertilizer affects the growth, development, and chemical properties of rice. International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7(1), 105-117.
- Bhushan, B. (2017).** Introduction to Nanotechnology. Springer Handbooks., Vol. 1, pp. 1-19.
- Biurrún, A., Malumbres, A., Aguado, G., Zúñiga, J., y Garnica, I. (2011).** Control de plagas en tomate. Protección Cultivo, Pp. 21-25.
- Butt, B. Z., y Naseer, I. (2020).** Nanofertilizers. In: Nanoagronomy (pp. 125-152). Springer, Cham.
- Candelas-Cadillo, M. G., Alanís-Guzmán, M. G. J., Bautista-Justo, M., Del Río-Olague, F., y García-Díaz, C. (2005).** Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersion. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 4(3), 299-307.
- Cano Robles, F. K., y Mendoza Cantú, A. (2017).** Nanopesticides, a real breakthrough for agriculture? Revista Bio Ciencias, 4(3), 164-178.

- Castellón Reyes, W. J. y García Rizo, K. M. (2020).** Rendimiento de fruto de cuatro híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L) bajo condiciones de casa malla, en la comunidad La china-Sebaco, Matagalpa, 2019. Universidad Nacional Agraria. 50 pp.
- Chhipa, H. (2017).** Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1), 15-22.
- Chhipa, H., y Joshi, P. (2016).** Nanofertilisers, nanopesticides and nanosensors in agriculture. In: *Nanoscience in food and agriculture 1* (pp. 247-282). Springer, Cham.
- Chukhov, FV., Zvyagin, BB., Gorshkov, AI., Yermilova, LP. y Balashova, VV. (2009).** Ferrihidrita. *Revista Internacional de Geología*, 16 (10), 1131-1143.
- Cieschi, MT., Polyakov, AY., Lebedev, VA., Volkov, DS., Pankratov, DA., Veligzhanin, AA., y Lucena, JJ. (2019).** Eco-Friendly Iron-Humic Nanofertilizers Synthesis for the Prevention of Iron Chlorosis in Soybean (*Glycine max*) Grown in Calcareous Soil. *Frontiers in plant science* , 10 , 413.
- Crespo, M. V. (2019).** Desarrollo económico del estado de Morelos: indicadores y análisis histórico. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Ciencias Economicas. 282 pp.
- Da Costa, M. V. J. y Sharma, P. K. (2016).** Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. *Photosynthetica*, 54(1), 110-119.
- Drits, V. A., Sakharov, B. A., Salyn, A. L., y Manceau, A. (1993).** Structural model for ferrihydrite. *Clay Minerals*, 28(2), 185-207.
- El Beyrouthya, M., y El Azzi, D. (2014).** Nanotechnologies: novel solutions for sustainable agriculture. *Adv Crop Sci Technol*, 2(03), 8863.

- El-Saadony, M. T., Almoshadak, A. S., Shafi, M. E., Albaqami, N. M., Saad, A. M., El-Tahan, A. M., y Helmy, A. M. (2021).** Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant quality and quantity-an updated review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 7349-7359.
- Estrada Urbina, J. (2019).** Influencia de las nanopartículas de óxido de zinc sobre la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla de maíz nativo (*Zea mays* L.). Universidad Autónoma del Estado de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. 62 pp.
- Firdaus, S., Van Heusden, A., y Hidayati, N. (2012)** Resistance to *Bemisia tabaci* in tomato Wild Relatives. *Euphytica*, 187, 31–45.
- Foladori, G. (2016).** Políticas públicas en nanotecnología en América Latina. *Revista Problemas del Desarrollo*, 47, Pp. 60-61.
- Food and Agriculture Organization Stats (FAOSTAT). (2017).** Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Food and Agriculture Organization Stats (FAOSTAT). (2020).** Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Ghosh, S., Sarkar, B. y Thongmee, S. (2022).** Nanoherbicides for field applications. In: *Agricultural Nanobiotechnology* (pp. 439-463). Woodhead Publishing.
- Graziano, M., y Lamattina, L. (2005).** Nitric oxide and iron in plants: an emerging and converging story. *Trends In: Plant Science*, 10(1), 4-8.
- Hernández-Fuentes, AD, López-Vargas, ER, Pinedo-Espinoza, JM, Campos-Montiel, RG, Valdés-Reyna, J., y Juárez-Maldonado, A. (2017).** Comportamiento poscosecha de compuestos bioactivos en frutos de tomate tratados con nanopartículas de Cu y estrés por NaCl. *Ciencias Aplicadas*, 7 (10), 980.
- Hiemstra, T. (2013).** Surface and mineral structure of ferrihydrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 105, 316-325.

- Hou, J., Wu, Y., Li, X., Wei, B., Li, S., y Wang, X. (2018).** Toxic effects of different types of zinc oxide nanoparticles on algae, plants, invertebrates, vertebrates and microorganisms. *Chemosphere*, 193, 852-860.
- Hu, J., Guo, H., Li, J., Wang, Y., Xiao, L., y Xing, B. (2017).** Interaction of γ -Fe₂O₃ nanoparticles with *Citrus maxima* leaves and the corresponding physiological effects via foliar application. *Journal of Nanobiotechnology*, 15(1), 1-12.
- Hulla, J. E., Sahu, S. C., y Hayes, A. W. (2015).** Nanotechnology: History and future. *Human & Experimental Toxicology*, 34(12), 1318-1321.
- Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., ur Rehman, M. Z., Qayyum, M. F., Wang, H., y Rinklebe, J. (2019).** Responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants grown in a Cd contaminated soil to the application of iron oxide nanoparticles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 156-164.
- Iqbal, M. A. (2019).** Nano-fertilizers for sustainable crop production under changing climate: a global perspective. *Sustainable Crop Production*, 8, 1-13.
- Jansen, E., Kyek, A., Schäfer, W., y Schwertmann, U. (2002).** The structure of six-line ferrihydrite. *Applied Physics A*, 74(1), s1004-s1006.
- Kanhed, P., Birla, S., Gaikwad, S., Gade, A., Seabra, A. B., Rubilar, O., y Rai, M. (2014).** In vitro antifungal efficacy of copper nanoparticles against selected crop pathogenic fungi. *Materials Letters*, 115, 13-17.
- Kolencik, M., Ernst, D., y Urik, M. (2020).** Foliar application of low concentrations of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles to the common sunflower under field conditions. *Nanomaterials*, 10, p. 1619.
- Konappa, N., Krishnamurthy, S., Arakere, U. C., Chowdappa, S., Akbarbasha, R., y Ramachandrappa, N. S. (2021).** Nanofertilizers and nanopesticides: Recent trends, future prospects in agriculture. *Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture*, 281-330.

- Kookana, R., Alistair, B., Philip, T., y Roman, A. (2014).** Nanopesticides: Guiding principles for regulatory evaluation of environmental risks. *Agricultural and Food Chemistry*, 62, pp. 4227- 4240.
- Kumar, Y., Tiwari, K. N., Singh, T., y Raliya, R. (2021).** Nanofertilizers and their role in sustainable agriculture. *Annals of Plant and Soil Research*, 23(3), 238-255.
- Laiton, G. A., Almanza-Merchán, P. J., y Balaguera-López, H. E. (2012).** Producción y calidad poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) larga vida sometido a la aplicación de ácido giberélico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 183-195.
- Linares, E. (2016).** El Jitomate. *Artes De México*, Vol.3, Pp.34-41
- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., y Vera Reyes, I. (2018).** Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2), 9-24.
- Liu, R., Zhang, H., y Lal, R. (2016).** Effects of stabilized nanoparticles of copper, zinc, manganese, and iron oxides in low concentrations on lettuce (*Lactuca sativa*) seed germination: nanotoxicants or nanonutrients?. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(1), 1-14.
- López Marín, L. M. (2017).** Manual técnico del cultivo del tomate: *Solanum lycopersicum*.
- López Osorio, D., y López Osorio, D. (2015).** Ácido abscísico y calcio foliar en la pudrición apical de tomate. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Postgrado de recursos genéticos y productividad. 74 pp.
- López-Rueda, R. M. (2022).** Comportamiento geoquímico de las nanopartículas. Universidad de Jaén. Facultad de Ciencias Experimentales. 44 pp.

- 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.
- Loureiro, S., Tourinho, P., Cornelis, G., y Van Den Brink, N., (2018).** Nanomaterials as Soil Pollutants. In: *Contaminación del Suelo*, 5, pp. 161-190.
- Lujan, L. (2018).** Producción de tomates cherry por organoponía con aplicación de sustrato y extracto de *Stevia rebaudiana* Bertoni bajo cobertor de cultivo en la estación experimental El Mantaro Jauja. Universidad Nacional del Centro del Perú. Pp. 26-28.
- Luna-Guevara, M. L., y Delgado-Alvarado, A. (2014).** Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1).
- Martel, C., Zhurov, V., Navarro, M., Martínez, M., y Cazaux, M., (2015).** Tomato whole genome transcriptional response to *tetranychus urticae* identifies divergence of spider mite-induced responses between tomato and *arabidopsis*. In: *E-Xtra*. Pp.343-361.
- Martínez-Fernández, D., & Komárek, M. (2016).** Comparative effects of nanoscale zero-valent iron (nZVI) and Fe₂O₃ nanoparticles on root hydraulic conductivity of *Solanum lycopersicum* L. *Environmental and Experimental Botany*, 131, 128-136.
- Mejía Cabello, A. C., y Pumaylle Chumpitaz, L. (2021).** Nanofertilizantes en la producción de cereales, una visión sostenible: revisión sistemática. Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 143 pp.

- Melo, G. (2018).** Efeitos de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) sobre o crescimento e metabolismo antioxidante em plantas de soja (*Glycine max* L.). Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. 42 pp.
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., y Lira-Saldívar, R. H. (2016).** Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova scientia*, 8(17), 140-156.
- Montero González, A. F. (2015).** Evaluación de estrategias de manejo sostenible para el control de la clorosis férrica en arándanos variedad star. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 51 pp.
- Naderi, M. R., y Danesh-Shahraki, A. (2013).** Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(19), 2229-2232.
- Naika, S., Jeude, J., Goffau, M., Hilmi, M., y Dam, B. (2005).** Cultivation of tomato production, processing and marketing. *Agrodok*, 17, P. 9.
- Pariona Mendoza, N. (2015).** Nanopartículas de óxidos de hierro aplicaciones en remediación de agua y su impacto en el crecimiento de maíz.
- Parra Verdugo, B. I. (2020).** Efecto de nanopartículas de cobre sobre la transferencia de genes involucrados en la metabolización bacteriana de plaguicidas. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Biológicas. 118 pp.
- Pastrana Alta, E. C. (2017).** Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de cobre por hidrólisis forzada con actividad fungicida. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias. 76 pp.

- Patil-Patankar, V. y Sanghvi, G. (2022).** Nanoherbicidas: una opción sostenible para aplicaciones de campo. En relación entre los microbios y el medio ambiente para servicios ecosistémicos sostenibles, 1, 35-355 pp. Elsevier.
- Paz, N., Polanco, A., Reyes, S., y Noris, P. (2013).** Comportamiento del tizón temprano del tomate en las condiciones del municipio de Holguín, Cuba. Fitosanidad, 17, P.75-81.
- Peñaloza Lozada, M. B. (2021).** Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) con aplicación de dióxido de silicio (SiO₂). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 76 pp.
- Pérez-Labrada, F., López-Vargas, ER, Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., y Juárez-Maldonado, A. (2019).** Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. Plants, 8 (6), 151.
- Pinedo-Guerrero, Z. H., Hernández-Fuentes, A. D., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Cadenas-Pliego, G., y Juárez-Maldonado, A. (2017).** Cu nanoparticles in hydrogels of chitosan-PVA affects the characteristics of post-harvest and bioactive compounds of jalapeño pepper. Molecules, 22(6), 926.
- Prasad, R., Shivay, Y. S., y Kumar, D. (2014).** Agronomic biofortification of cereal grains with iron and zinc. Advances in Agronomy, 125, 55-91.
- Rahmatizadeh, R., Arvin, S. M. J., Jamei, R., Mozaffari, H., y Reza Nejhad, F. (2019).** Response of tomato plants to interaction effects of magnetic (Fe₃O₄) nanoparticles and cadmium stress. Journal of Plant Interactions, 14(1), 474-481.
- Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W. N., y Biswas, P. (2015).** Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. Metallomics, 7(12), 1584-1594.

- Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Betancourt-Galindo, R., Yescas-Coronado, P., y 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.
- Rossi, L., Fedenia, L. N., Sharifan, H., Ma, X., y Lombardini, 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.
- Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., Hou, T., y Zhu, S. (2016).** Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in plant science*, 7, 815.
- Sabir, S., Arshad, M., y Chaudhari, S. K. (2014).** Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Salazar Serriña, J. M. (2019).** Potencial de transporte de nanopartículas de óxido de cobre a través de matrices granulares representativas de suelo. Universidad Iberoamericana Ciudad de México. Departamento de Ingeniería Química, Industrial y de Alimentos. 96 pp.
- Shankamma, K., Yallappa, S., Shivanna, M. B., y Manjanna, J. (2016).** Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Applied Nanoscience*, 6(7), 983-990.
- Shatkin, JA (2017).** Nanotechnology: risks to health and the environment. *Perspectives in nanotechnology*. 194 pp.
- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., y Fathi-Achachlouie, B. (2018).** The effect of ferrous nano-oxide particles on physiological traits and nutritional compounds of soybean (*Glycine max* L.) seed. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90, 485-494.
- SIAP. (2020).** Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

- Siddiqui, H., Ahmed, K. B. M., Sami, F., y Hayat, S. (2020).** Silicon nanoparticles and plants: current knowledge and future perspectives. *Sustainable Agriculture Reviews* 41, 129-142.
- Silvana, V., Cassanello, E., Romero, G., Silvera, E., Et Al. (2012).** Resistencia a fungicidas en *Botrytis cinerea* en el Uruguay. En: *Agrociencia Uruguay*. Pp. 97-107.
- Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., y Adam, V. (2018).** Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of hazardous materials*, 349, 101-110.
- Telizhenko, V., y Gorobets, S. (2017).** Fruit yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under different magnetite concentrations. *Biotechnología del siglo XXI*, 137pp.
- Udalova, Z. V., Folmanis, G. E., Fedotov, M. A., Pelgunova, L. A., Krysanov, E. Y., Khasanov, F. K., y Zinovieva, S. V. (2020, November).** Effects of silicon nanoparticles on photosynthetic pigments and biogenic elements in tomato plants infected with root-knot nematode *meloidogyne incognita*. In: *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 495 (1), 329-333. Pleiades Publishing.
- Villacís-García, M., Ugalde-Arzate, M., Vaca-Escobar, K., Villalobos, M., Zanella, R., y Martínez-Villegas, N. (2015).** Síntesis en laboratorio de goethita y ferrihidrita de granulometría controlada. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67 (3), 433-446.
- Vodyanitskii, Y. N., y Shoba, S. A. (2016).** Ferrihydrite in soils. *Eurasian Soil Science*, 49(7), 796-806.
- Zia-ur-Rehman, M., Naeem, A., Khalid, H., Rizwan, M., Ali, S., y Azhar, M. (2018).** Responses of plants to iron oxide nanoparticles. In: *Nanomaterials in plants, algae, and microorganisms*. 221-238. Academic Press.
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., y Munné-Bosch, S. (2019).** Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270.