

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO
NARRO DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la Aplicación de
Nanopartículas de Magnetita

Por:

JESUS ALFREDO AGUILAR SANTANA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título
de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2020.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la Aplicación de Nanopartículas
de Magnetita

TESIS

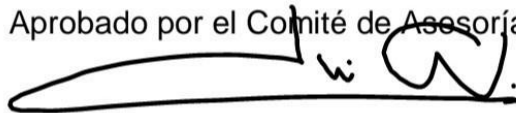
Por:

JESUS ALFREDO AGUILAR SANTANA


Presentada como requisito para obtener en título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobado por el Comité de Asesoría:



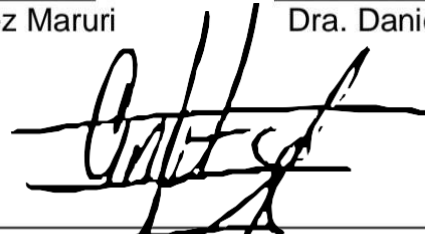
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de
Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2020

DEDICATORIAS

A DIOS: Por darme la oportunidad de esta vida y haberme permitido llegar donde estoy hoy en día, gracias por haberme permitido vencer todos los obstáculos en la vida, por iluminar siempre mi camino, por seguir brindándome salud y cuidar de los seres que más amo en la vida. Te doy las gracias por todos los momentos maravillosos que he vivido al lado de mis seres queridos.

A MI PADRE: Alfredo Aguilar Ramírez, por darme la oportunidad de seguir estudiando y sobre todo su confianza que puso en mí, por sus consejos que me ha sabido brindar en los momentos más difíciles de mi vida, gracias por apoyarme para que mis sueños se hicieran realidad.

A MI MADRE: María Del Refugio Santana Rodríguez, a quien agradezco por darme la vida, por brindarme todo su cariño y amor en todo momento.

A MIS HERMANOS: Alma Delia Aguilar Santana, Guadalupe Aguilar Santana, con mucho cariño y respeto, por haberme apoyado para alcanzar mi sueño motivándome en todo momento, eso es algo que nunca poder pagárselos, pero toda mi vida estaré agradecido con ustedes por todo y cada uno de los esfuerzos que hicieron por mí.

A DOS PERSONAS EN ESPECIAL: Eduardo Sánchez Madrigal y Silvia Hernández, por considerarme parte de su familia, que en todo momento me apoyaron con sus consejos, gracias en especial al maestro Eduardo ya que me considera como su hijo, gracias por guiarme por buen camino a usted le debo parte de mi formación académica y lo que soy.

A MIS SOBRINOS: Christopher Hernández Aguilar, Candy Hernández Aguilar, Melisa Hernández Aguilar, Emile Navarro Aguilar, Josué Navarro Aguilar, a ellos que también hace a que yo me supere para que en la familia tenga buena imagen y eso los motive a seguir estudiando.

A MIS ABUELOS; Ignacio Santana Aza, Eloísa Rodríguez López, Anita Ramírez Rodríguez, J. Jesús Aguilar Solórzano.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos y habilidades durante mi estancia en esta gloriosa casa de estudio, también por permitirme estudiar una de las mejores carreras que ofrece.

Al **PhD. Luis Alonso Valdez Aguilar**, le doy las gracias a uno de los mejores doctores del departamento de horticultura por dejar ser parte de sus tesis, además por enseñarme un poco de su mucho conocimiento que él tiene, también por brindarme su ayuda dentro y fuera de las aulas pocos profesores con él, gracias por todo PhD. LUIS ALONSO.

Al **Dr. José Alfredo Hernández Maruri**, por ser mi asesor de tesis, ser mi profesor y transmitirme su conocimiento.

Al **Dra. Daniela Alvarado Camarillo**, por brindarme su apoyo siempre, brindar me su conocimiento y confiar en mí.

Al **Dr. Josué Dueñas Alanís**, por brindarme su amistad en todo lo que fue mi estancia en mi Alma Terra Mater, gracias a sus consejos que me brindaba para tomar buenas decisiones.

Al **Mc. Etelberto Cortes Quevedo**, gracias por tolerarme mi carácter durante todo el experimento y por excelente persona.

Al **Mc. Alfonso Rojas Duarte**, por brindarme su amistad, darme algunos consejos y por compartirme su conocimiento en clases.

A mis tíos (as): **Manuela Santana Rodríguez, Francisco Aguilar Ramírez**, por sus consejos, apoyo incondicional.

Amigos de mi comunidad: **Héctor Reyes Cardiel, Jesús Vargas Arellano, Ángel Raya, Rubén Mendoza Bravo, Carlos Rico Vázquez, Nancy Gonzales Raya, Paula Rodríguez Duran.**

A mis amigos: **Hugo Gómez García, Rene Ramos, Mario Alberto Arrollo Ayala, Victoria Montoya Tafoya, Juan Daniel Montoya Tafoya, Arturo Medina, Eduardo Arrellano, Diego Arrellano, Ismael Sosa Martínez, Sergio Vázquez Hernández, Yazmín Escobar, Samuel Vargas, André Piceno, Juan de Dios Vargas, Oscar Nava, Victo Vargas,** Por la gran amistad, así como su apoyo que me han brindado y los momentos maravillosos que compartimos durante mi estancia en la universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	1
ÍNDICE DE CUADROS.....	3
RESUMEN.....	5
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Antecedentes	7
1.2 Objetivo.....	9
1.3 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Hipótesis	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 Aspectos Botánicos del Tomate.....	10
2.2 Origen	10
2.3 Clasificación Taxonómica	11
2.4 Generalidades.....	11
2.5 Morfología de la Planta.	12
2.5.1 Sistema Radicular	12
2.5.2 Tallo.....	12
2.5.3 Hojas	12
2.5.4 Flor.....	13
2.5.5 Frutos	13
2.5.6 Semilla.....	13
2.6 Requerimientos Edafoclimaticos y Edáficos.	13
2.6.1 Clima	13
2.6.2 Altitud.....	14
2.6.3 Temperatura	14
2.6.4 Humedad Relativa.....	15
2.6.5 Suelo	16
2.6.6 Radiación	16

2.7	Clasificación Agronómica.....	16
2.7.1	Crecimiento Determinado.....	16
2.7.2	Crecimiento Indeterminado	17
2.8	La Nanotecnología en la Agricultura.	17
2.9	Modo de Absorción y Translocación de la Nanoparticulas.....	19
2.10	Nanoparticulas de Fe ₃ O ₄ (Magnetita).	21
2.10.1	Síntesis de nanoparticulas de Fe ₃ O ₄ (Magnetita).	22
2.10.2	Síntesis de nanoparticulas por Co-Precitación.....	22
2.10.3	Síntesis de nanoparticulas por descomposición Térmica.....	23
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1	Localización y Características del Sitio Experimental	24
3.2	Material Genético.....	24
3.3	Descripción de los tratamientos.....	25
3.4	Conducción del Experimento.	25
3.5	Deschupone.....	26
3.6	Bajado de planta.....	26
3.7	Deshoje.....	26
3.8	Aclareo de flores.....	26
3.9	Control de plagas y enfermedades.....	27
3.10	Variables evaluadas.....	27
3.10.1	Rendimiento (g/planta).....	27
3.10.2	Diámetro de tallo (mm).....	27
3.10.3	Altura de planta (cm).....	28
3.10.4	Diámetro polar y ecuatorial	28
3.10.5	Nivel de verdor	28
3.10.6	Nitrógeno.....	28
3.10.7	Fósforo.....	28
3.10.8	Potasio.....	29
3.10.9	Calcio.....	29
3.10.10	Magnesio.....	29
3.10.11	Hierro.....	29
3.11	Diseño Experimental.....	30

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1 Rendimiento Total de Frutos.....	31
4.3 Altura de planta de la planta.	34
4.4 Diámetro Ecuatorial del Fruto.	36
4.6 Nivel de Verdor	39
4.7 Nitrógeno	40
4.9 Potasio.....	43
4.10 Calcio.....	45
4.11 Magnesio	46
4.12 Hierro	48
V. CONCLUSIONES	50
VI. BIBLIOGRAFÍA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Aplicaciones potenciales de nanotecnología y de las nanoparticulas en la agricultura, incluyendo las fabricaciones de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas.....	18
Figura 2.- Efecto fisiológico de nanoparticulas aplicada al follaje.....	20
Figura 3.- Estructura cristalina de espinela inversa propia de la magnetita.	21
Figura 4.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones contenido Fe sobre el rendimiento total de fruto.	32
Figura 5.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones contenido Fe sobre diámetro de tallo de la planta	34
Figura 6.- Efecto de la combinación de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones Fe sobre la altura de tomate al finalizar el estudio.....	35
Figura 7.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el diámetro ecuatorial de fruto de tomate al finalizar estudio	37
Figura 8.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el diámetro polar del fruto de tomate al finalizar estudio.....	38
Figura 9.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones contenido Fe sobre el nivel de verdor al finalizar estudio.....	40
Figura 10.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de nitrógeno en el fruto al finalizar estudio.	41
Figura 11.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre contenido de fosforo en el fruto al finalizar estudio.	43

Figura 12.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a las plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de potasio en el fruto al finalizar estudio.	44
Figura 13.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de calcio en el fruto al finalizar estudio.....	46
Figura 14.- Efecto de la combinación de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre contenido de magnesio en el fruto al finalizar el estudio.....	47
Figura 15.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de Hierro en el fruto al finalizar estudio.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Temperatura óptima para las diferentes etapas fenológicas del tomate.	15
Cuadro 2.- Tratamientos evaluados dos soluciones nutritivas (con Fe y sin Fe), con concentraciones de nanopartículas (NPs) de magnetita a 0, 10, 100, 1000 ppm.	25
Cuadro 3.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el rendimiento total de frutos de tomate.	32
Cuadro 4.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el diámetro de tallo de la planta de tomate.	33
Cuadro 5.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en la altura de la planta de tomate.	35
Cuadro 6.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate.	36
Cuadro 7.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el diámetro polar del fruto de tomate.....	38
Cuadro 8.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el nivel de verdor de hoja de la planta de tomate. .	39
Cuadro 9.- Efecto de la combinación de nanopartículas de magnetita y suplemento de Fe solución nutritiva en el contenido de nitrógeno en el fruto de tomate.	41
Cuadro 10.- Efecto de la combinación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de fósforo en los frutos de tomate.	42
Cuadro 11.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de potasio en el fruto de tomate...	44
Cuadro 12.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de calcio en los frutos de tomate.	45
Cuadro 13.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de magnesio en el fruto de tomate.	47

Cuadro 14.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de Fe en el fruto de tomate.49

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de Buenavista, Saltillo, Coahuila, en un invernadero ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el objetivo de evaluar el efecto de nanopartículas (NPs) de magnetita en el rendimiento y crecimiento del cultivo de tomate sobre el rendimiento y crecimiento en el cultivo de tomate. Se hizo la aplicación de cuatro tratamientos de NPs. NPs en forma drench en distintas concentraciones: 0, 10, 50 y 1000 ppm de nanopartículas de magnetita, las cuales se combinaron con o sin presencia de Fe (Fe iónico) en la solución nutritiva. El diseño que utilizó fue una factorial 2x4 en bloques completos al azar en el que se utilizaron seis repeticiones con un total de ocho tratamientos y 48 unidades experimentales. El análisis de datos se determinó utilizando SAS 9.0 con la prueba de Duncan al 0.05 de significancia.

La aplicación de Fe en la solución no estuvo asociada con el aumento en la concentración de ninguno de los minerales evaluados como fueron el N, Ca, K, P, Mg y Fe por lo que las plantas que no recibieron Fe las que obtuvieron mayor contenido de estos elementos. En todos los casos se pudo observar que las bajas concentraciones de magnetita produjeron frutos con mayor contenido de N, Ca, K, P, Mg y Fe.

La aplicación de Fe y de NPs de magnetita no afectaron la altura de la planta, diámetro de tallo, diámetro ecuatorial, diámetro polar, nivel del verdor y rendimiento. Sin embargo, en plantas que no recibieron Fe en la solución nutritiva, el rendimiento de frutos superó al de aquellas que si recibieron Fe cuando la magnetita se aplicó a una concentración de 1000 ppm. Estas observaciones sugieren que la magnetita si fue capaz de suplementar la demanda de Fe por parte de las plantas, pero solo a altas concentraciones, en cambio, a dosis de 50 y 100 ppm, las plantas sin Fe en la solución nutritiva manifestaron una reducción en el rendimiento comparado con aquellas que recibieron Fe en la solución, lo cual estuvo asociado con la falta del micronutriente. El rendimiento de fruto de las plantas sin Fe en la solución y con magnetita aplicada en

drench a una dosis de 1000 ppm fue 14% superior al de las plantas control (con Fe y sin magnetita).

Palabras clave: Magnetita, Nanopartículas, Hierro, Fe iónico, Solución Nutritiva.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia. En México, el cultivo cobra relevancia económica y social generando divisas y empleos, los sistemas de producción de esta hortaliza se han ido diversificando con el fin de incrementar el rendimiento, incorporando tecnologías novedosas como cubiertas plásticas, riego por goteo e hidroponía.

A nivel nacional se siembran alrededor de 81,000 ha donde se obtienen cerca de 2 millones de ton, siendo los principales estados productores: Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Sonora, Nayarit, Morelos y Michoacán; y a menor escala: Jalisco, Guanajuato, Tamaulipas, Hidalgo y Puebla (Ascencio *et al.*, 2008).

El tomate se cultiva en más de cien países con una producción de dos millones de toneladas anuales, destinado para consumo en fresco como para la industria. Los principales productores son: China, Turquía, Estados Unidos, India, Italia, Egipto, España, Irán, Brasil y México (Velazquez, 2014).

En 2017, 56.3 por ciento de la producción nacional de tomate se concentró en cinco entidades: Sinaloa (27.0 %), San Luis Potosí (9.8 %), Michoacán (7.3 %), Jalisco (6.3 %), y Zacatecas (5.6 %). El mayor dinamismo en la producción se registró en San Luis Potosí, donde la producción creció a una tasa promedio anual de 11.0 % entre 2007 y 2017(FIRA, 2019).

La producción mundial de tomate ha sido en 2016, según los datos de la FAO, de 177.042 millones de kilos. China es el mayor productor mundial con 56.308 millones de kilos, el 31'8 % del total mundial. Le siguen India con 18.399 millones de kilos, Estados Unidos con 13.038, Turquía con 12.600 y Egipto con 7.943 millones de kilos. La producción española ha sido de 4.671 millones de kilos, la de México de 4.047, la de Marruecos de 1.231, mientras que Holanda produjo en 2016, según la FAO, 900 millones de kilos de tomate (FAO, 2017).

El uso excesivo de los fertilizantes y pesticidas utilizados en agricultura ha incrementado las emisiones de gases de efecto invernadero, degradación de los suelos, impacto negativo en la salud humana, la diversidad biológica y la calidad del agua (Méndez-Arguello *et al*, 2016). Con el rápido avance de la NT como la síntesis controlada del tamaño y morfología de los nanomateriales permitan dar solución a la absorción de macro y micronutrientes en las plantas, consiguiendo incrementar la producción de los alimentos. Las aplicaciones directas en la agricultura, incluyen principalmente la aplicación eficiente de nanofertilizantes foliares y nanopesticidas que proporcionan cantidades óptimas y reducen las pérdidas (Méndez-Arguello *et al*, 2016).

Esta tecnología se enfoca en disminuir la cantidad empleada de agroquímicos sintéticos, reduciendo de esta manera la generación de residuos contaminantes, buscando incrementar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Reséndiz, 2019). Esta novedosa tecnología consiste en manipular NPs (NPs) y/o nano-elementos con el objetivo de producir insumos que sean aplicados en la agricultura intensiva, dado el caso de la fabricación de nanosensores, formulación de nanoplaguicidas encapsulados para una liberación más eficaz y controlada, elaboración de nanofertilizantes y nanoherbicidas, pretendiendo obtener un uso más eficiente en las aplicaciones de estos productos (Méndez- Arguello *et al*, 2016).

En el área de la nutrición vegetal hay también una serie de oportunidades usando la nanotecnología. Se tendría mayor seguridad de aplicación debido a la escala pues la fertilización sería localizada y las nano-estructuras permitirían controlar la velocidad de liberación de nutrientes para que sólo se libere lo que las plantas consuman. Esto, además de una buena nutrición en los cultivos, brindará una mejor eficiencia en el uso de los fertilizantes, reduciendo las lixiviaciones y otras formas de pérdida de fertilizantes con la consiguiente reducción de costos (INTAGRI, 2015).

El presente estudio se planteó con lo siguiente:

1.2 Objetivo

Evaluar el efecto de NPs de magnetita en el rendimiento y crecimiento del cultivo de tomate.

1.3 Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de las NPs de magnetita como sustituto del hierro iónico en la solución nutritiva.
2. Evaluar el efecto de la forma de aplicación de las NPs de magnetita influye en la producción de fruto de tomate.

1.4 Hipótesis

Las NPs de magnetita tendrán un efecto favorable en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos Botánicos del Tomate.

El tomate (*Solanum Lycopersicum*), miembro de la familia de las solanáceas, es una planta nativa de América tropical, cuyo centro de origen se localiza en los Andes, integrada por Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, donde existe a mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (León y Arosemena, 1980).

El desarrollo de las plantas depende de numerosos factores, que actúan en un complejo entramado de interacciones. En los cultivos al aire libre, la posibilidad de modificar alguno de estos factores es muy limitada, si bien la introducción de técnicas, como el riego por goteo o el acolchado, permite mejoras importantes. El empleo de invernaderos ofrece unas posibilidades mucho más amplias para la optimización de dichos factores y la introducción de los sistemas controlados permite regular la temperatura de las raíces y el aire, el suministro de agua y elementos minerales, así como la concentración de CO₂ en cada momento, de acuerdo con las necesidades de la planta (López, 2013).

2.2 Origen

Su centro de origen está localizado en una pequeña área geográfica de Suramérica, al norte por el Ecuador y el sur de Colombia, al este por la Cordillera de los Andes y al oeste por el Océano Pacífico, incluyendo el archipiélago de las Islas Galápagos. Todas las especies silvestres relacionadas con el tomate son originarias de la región andina de Chile, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, incluyendo también las Islas Galápagos (Cabrerá, 2004).

2.3 Clasificación Taxonómica

Según Lara, (2011) La taxonomía del tomate se describe como;

Reino: Vegetal

Clase: Dicotiledóneas

Orden: Solanales

Familia: Solanácea

Subfamilia: Solanoideae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicon*

2.4 Generalidades

Es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta o erecta y su crecimiento es limitado en las variedades determinadas he limitado en las indeterminadas, pudiendo llegar en estas últimas a 10 m en un año (Cabrera, 1999)

La ramificación es generalmente simpodial, con lo que los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a la inflorescencia o a ramas abortivas (Cabrera, 2004).

2.5 Morfología de la Planta.

2.5.1 Sistema Radicular

El sistema radical de tomate está constituido por raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. Una sección transversal de la raíz principal pone que manifiesta la existencia de tres zonas claramente diferenciadas; la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular (Chamarro, 2001).

Típica o columna presenta ramificaciones secundarias profundas que pueden alcanzar hasta 60 cm o más (Nuez, 2001).

2.5.2 Tallo

Es grueso, pubescente, anguloso y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical, de donde surgen nuevos primordios florales y foliares. Inicialmente el tallo tiene una apariencia herbácea; está compuesto de epidermis con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular (Marín, 2016).

2.5.3 Hojas

Las hojas de tomate son pinnado compuestas, una hoja típica tiene unos 0,5 m de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo terminal y hasta 8 grandes foliolos laterales que pueden a su vez, ser compuestos, los foliolos son usualmente peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados las hojas recubiertas de pelos del mismo tipo del tallo, las hojas son de tipo dorsiventral o bifacial (Nuez, 2001).

2.5.4 Flor

Consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos”, La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Mondares, 2019).

2.5.5 Frutos

Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Mondares, 2019).

2.5.6 Semilla

Es Ovalada, con tamaño promedio de 3.5 mm de longitud. La cubierta protectora conocida como testa, es de color café pálido y se encuentra envuelto por una capa muy fina de falsos pelillos, que más bien son remantes de células severizadas, provenientes de la pared celular (Nuez, 2001).

2.6 Requerimientos Edafoclimaticos y Edáficos.

2.6.1 Clima

El tomate es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor teniendo cada especie vegetal y en cada momento de su ciclo biológico una temperatura óptima para su crecimiento (Tejada, 2015).

2.6.2 Altitud

El tomate se adapta desde los 20 hasta los 2,000 metros sobre el nivel del mar (Velázquez, 2017).

2.6.3 Temperatura

El tomate es una hortaliza de clima cálido que no tolera heladas. El rango de temperatura del suelo debe ser de 12° a 16°C (mínima 10°C y máxima de 30°C) y la temperatura ambiente para su desarrollo es de 21° a 24°C, siendo la óptima de 22°C; a temperaturas menores de 15°C y mayores de 35°C puede detenerse su crecimiento. Cuando se presentan temperaturas altas (> 38°C) durante 5 a 10 días antes de la antesis, hay poco amarre de fruto, debido a que se destruyen los granos de polen; si las temperaturas elevadas prevalecen durante 1 a 3 días después de la antesis, el embrión es destruido (después de la polinización). El amarre del fruto también es bajo cuando las temperaturas nocturnas son altas (25° a 27°C) 8 9 antes y después de la antesis. A temperaturas de 10°C o menores, un gran porcentaje de flores son abortadas (Valadez, 1998).

La ideal es de 25°C; por debajo de 15°C y superiores a 35°C, la germinación es afectada negativamente. Para el buen cuajamiento de frutos se requieren temperaturas diurnas de 24-25°C y nocturnas de 18°C. Temperaturas nocturnas excesivamente altas (por ejemplo 25 °C) perjudican significativamente la cuaja de frutos y en consecuencia la producción. La temperatura ideal para la formación del licopeno (pigmento rojo del fruto) es de 24°C; en temperaturas elevadas (30°C) se inhibe la formación de licopeno y se favorece la síntesis de caroteno (pigmento amarillo) dando lugar a frutos amarillos de menor valor comercial (Cabrera, 1999). En el Cuadro 1, se presenta un resumen de las temperaturas críticas para el tomate.

Condiciones	Temperatura (°C)
Temperatura mínima de germinación	9 – 10
Temperatura óptima de germinación	25 – 30
Temperatura máxima de germinación	35
Temperatura óptima de sustrato	15 – 20
Temperatura óptima de día	23 – 26
Temperatura óptima de la noche	13 – 16
Temperatura mínima letal	-2- 0
Temperatura óptima biológica	8 – 10
Temperatura floración / fecundación día	23 - 26
Temperatura óptima floración / fecundación noche	15 – 18
Temperatura de maduración rojo	15 – 22
Temperatura de maduración a amarillo	Más de 35

Cuadro 1.- Temperatura óptima para las diferentes etapas fenológicas del tomate.

(Abadía, 2017).

2.6.4 Humedad Relativa

Para el desarrollo apropiado del cultivo esta debe oscilar entre un 60 a 80 %, donde humedades excesivas propician el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas, además de que obstaculizan la fecundación de las flores. También la humedad relativa está asociada con el rajado de fruto (INTAGRI, 2018).

2.6.5 Suelo

El mejor suelo para el cultivo de tomate es el suelto de textura silíceo arcillosa y rico en materia orgánica, con pH entre 5.5 y 7.02. No tolera el encharcamiento. Lo más deseable en cuanto a suelo es que se trata de una especie con cierta tolerancia a la salinidad, de ahí que admita el cultivo suelos ligeramente salinos o el riego con agua salitrosa (Abadía, 2007).

2.6.6 Radiación

Para que el cultivo de tomate pueda producir con las mínimas restricciones fotosintéticas, debe existir una radiación del orden de 14 a 16 MJ/m² por día (INTAGRI, 2018).

2.7 Clasificación Agronómica

Menciona que de acuerdo al hábito de crecimiento el tomate comprende dos tipos de crecimiento determinado y crecimiento indeterminado (Tejada, 2015).

2.7.1 Crecimiento Determinado

Las plantas de crecimiento determinado tienen forma de arbusto, las ramas laterales son de crecimiento limitado. Estas plantas presentan en cada extremo de crecimiento una yema floral y tienen periodos definidos de floración y cuajado de frutos. El tamaño de la planta varía de acuerdo a la variedad; Pudiendo ser plantas compactas, medianas y largas, para estos 14 últimos es necesario utilizar tutores (Larin, 2018).

2.7.2 Crecimiento Indeterminado

Son plantas cuyo crecimiento vegetativo es continuo. Su tallo principal puede llegar a medir hasta unos 10 m de largo, si es manejado a un solo eje de crecimiento. Las inflorescencias aparecen lateralmente en el tallo. El tallo se produce a partir de la penúltima yema, empuja a la inflorescencia terminal hacia afuera, de tal manera que el tallo lateral aparece a continuación del tallo principal que le dio origen (Larin, 2018).

2.8 La Nanotecnología en la Agricultura.

En la agricultura diversas áreas están siendo beneficiadas en un área importante donde se están aplicando las nuevas tecnologías para mejorar el rendimiento de los cultivos. Una de ellas es la nanotecnología (NT), que implica el empleo de NPs en la agricultura, donde estas impactarían con algunos efectos positivos para las plantas. La aparición de la NT y el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos a nivel nano abren nuevos potenciales para aplicaciones en la agricultura y la biotecnología. Las NPs en compuestos de agroquímicos u otras sustancias, podrían reducir el daño a tejidos de las plantas y la cantidad de productos químicos liberados en el medio ambiente (García, 2018).

La agro nanotecnología, la cual se puede definir como la ciencia de manipular NPs y nanoelementos para producir insumos agrícolas, destacando principalmente en la fabricación de nanosensores, nanoplaguicidas, nanofertilizantes y nanoherbicidas, (Figura 2), para hacer más eficiente el uso y aplicaciones de los agroquímicos, ayudando de esta manera en los problemas de contaminación ambiental, además de mejorar los procesos productivos de manera sustentable en el campo (Zayago-Lau *et al*, 2010).

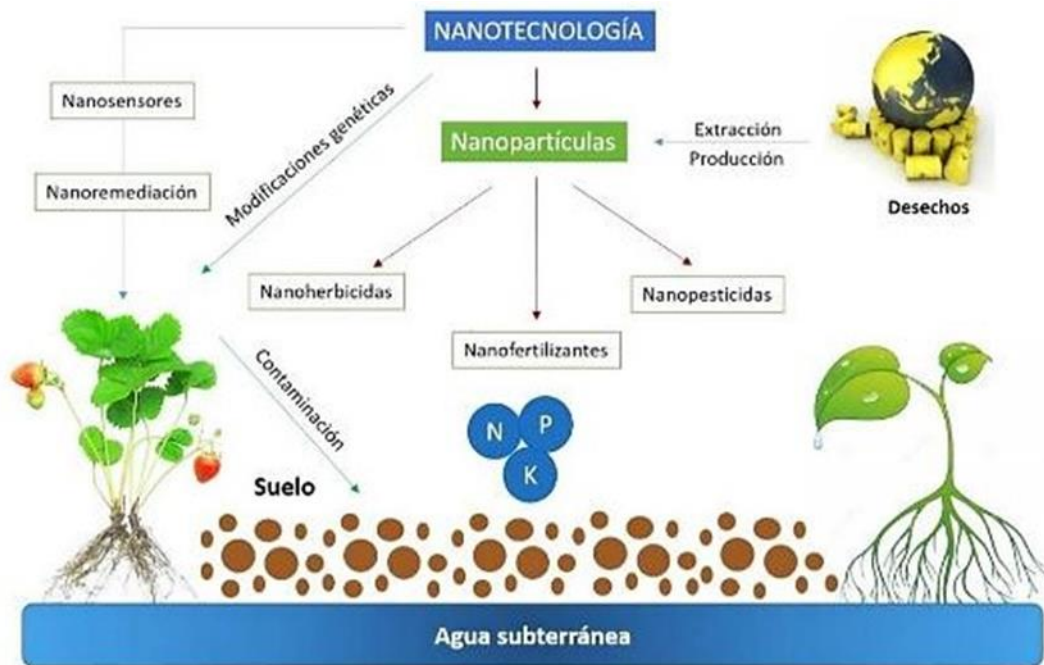


Figura 1.- Aplicaciones potenciales de nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo las fabricaciones de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas.

(Fraceto *et al.*, 2016).

Respecto de la agro nanotecnología, los avances de investigación señalan que NPs metálicas de cobre, óxido de zinc y hierro, cuando se aplican a bajas concentraciones (≤ 50 ppm), pueden incrementar el porcentaje de germinación de semillas; aumentar su vigor y promover un mayor crecimiento de diversas familias de plantas como solanáceas (tomate y chile) y cucurbitáceas (pepino y melón). También se ha comprobado que altas concentraciones ≥ 100 ppm causan en la mayoría de los casos efectos fitotóxicos en plántulas. También se ha observado que pueden actuar como promotores del crecimiento en plantas de pimiento, debido a esto los nanofertilizantes son uno de los productos potenciales que podrían tener un impacto importante en la agricultura, considerando características como son su alta área de superficial y un pequeño de partícula, lo que permite una interacción mejorada y absorción eficiente de los nutrientes por las hojas y raíces (Méndez *et al*, 2016).

2.9 Modo de Absorción y Translocación de la Nanopartículas.

Cuando las NPs son aplicadas al follaje se absorben a través de las estomas y su translocación o transporte basipétalo hacia la base del tallo es por el floema. Al ser aplicadas al suelo o en el agua de riego penetran a través de la epidermis de la raíz y la corteza (Figura 2), posteriormente pasan a la endodermis y finalmente entran al tejido conductivo de la xilema para ser translocados a larga distancia hasta las ramas y el follaje de las plantas (Peng *et al*, 2015). Se ha señalado que las paredes y membranas celulares actúan como una eficaz barrera a la entrada de cualquier tipo de Nanopartículas y que la efectividad de su entrada y transporte está determinada por el tamaño de los poros de la pared celular, que están en el rango de 5 a 20 nm (Fleischer *et al.*, 1999; Eichert *et al.*, 2008). Por lo tanto, sólo Nanopartículas de un tamaño menor al de los poros de la pared celular puede pasar con facilidad y penetrar al citoplasma celular. Se ha destacado que la aplicación de zinc en forma de nanofertilizantes aplicado al follaje en bajas dosis es más efectivo para promover el crecimiento de las plantas, se ha mencionado que eso se debe a que el zinc es utilizado para la producción de biomasa y también porque este microelemento tiene una función muy importante en muchas enzimas involucradas en el proceso fotosintético, así como en la integridad y mantenimiento de las membranas celulares de las planta, un ejemplo de ello fue la aplicación de Nanopartículas de ZnO durante 15 días en plantas de garbanzo (*Cicer arietinum*), lo cual promovió una mayor altura y biomasa seca (Reséndiz, 2019).

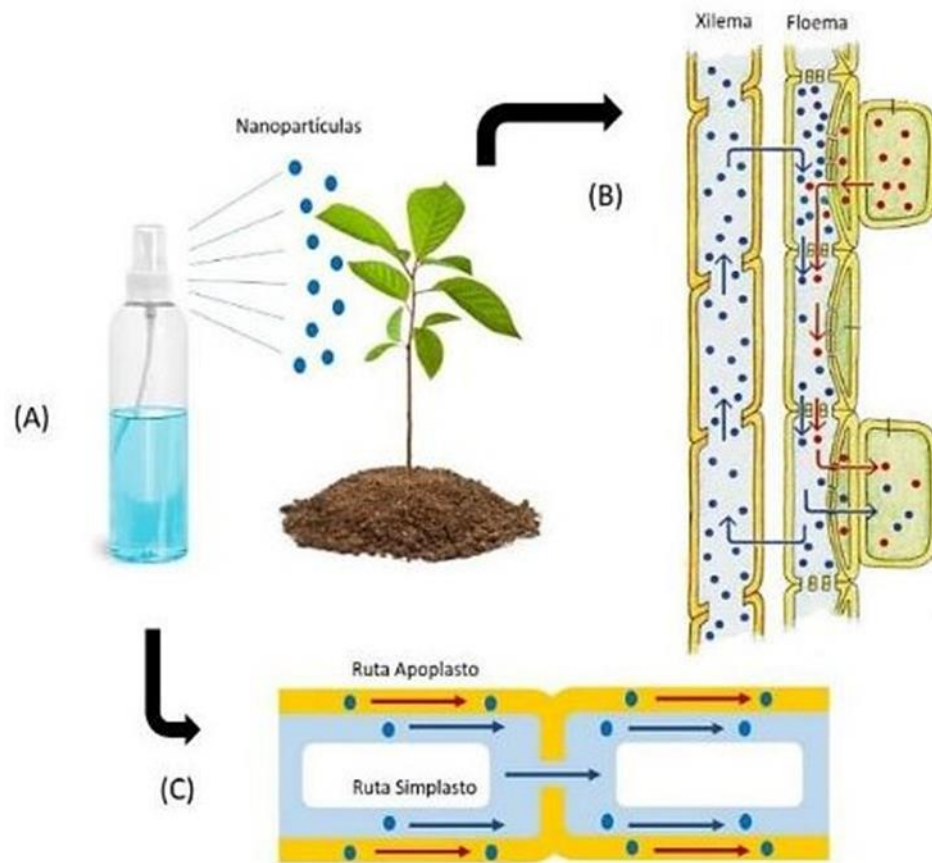


Figura 2.- Efecto fisiológico de nanopartículas aplicada al follaje.

(A). Esquema que ilustra la aplicación de Nanopartículas al follaje de las plantas.

(B) Cuando son absorbidas a través de las estomas se translocan (Peng *et al*, 2015) o transportan vía floema.

(C) Vía de translocación cuando se aplican a la zona radicular su translocación a larga distancia es principalmente por el apoplasto del tejido conductor de la xilema

(Peng *et al*, 2015).

2.10 Nanopartículas de Fe_3O_4 (Magnetita).

La magnetita, Fe_3O_4 , (Figura 4), es un óxido de hierro débilmente ferromagnético que pertenece al grupo de la espinela y es uno de los óxidos más abundantes en la naturaleza. Además, es de especial interés científico por sus propiedades magnéticas. Los métodos más comunes para obtener magnetita consisten en la realización de una síntesis química, usando como precursores cloruros o sulfatos y en donde normalmente son muchas las variables independientes que subyacen al proceso de síntesis (Betancur *et al*, 2002).

La magnetita está presente en la Tierra en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, en forma de una placa fina o dendrita entre placas de mica, y es uno de los constituyentes de las arenas de los ríos, lagos y mares. Se altera pasando a limonita o hematita, teniendo como intermediaria a la maghemita, debido a la semejanza en la estructura cristalina (López, 2013).

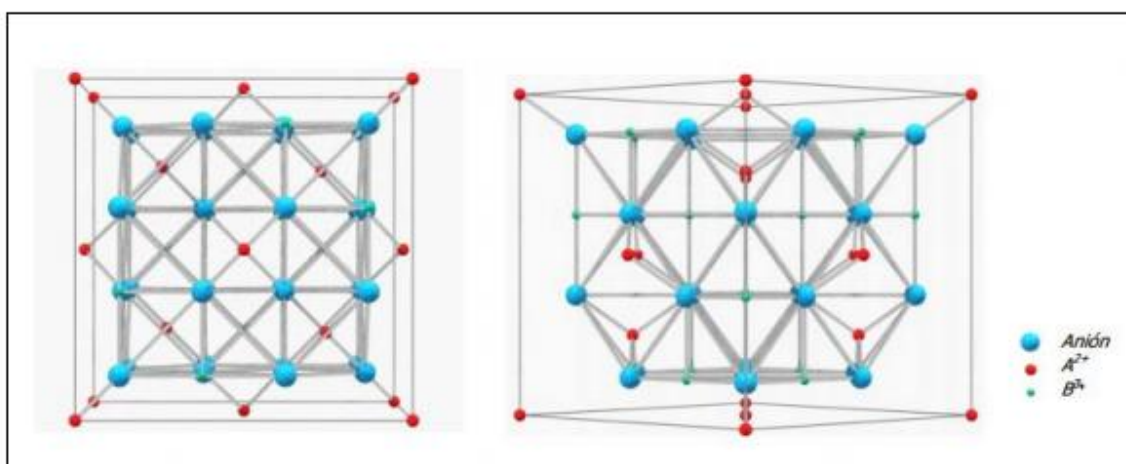


Figura 3.- Estructura cristalina de espinela inversa propia de la magnetita.

(Lopez,2013).

2.10.1 Síntesis de nanopartículas de Fe₃O₄ (Magnetita).

Las Nanopartículas de óxidos de hierro han sido sintetizadas por diferentes métodos químicos, entre ellos se encuentra el de coprecipitación. Además, estos métodos ofrecen un buen control en el tamaño y forma al igual que permiten recubrir las Nanopartículas con moléculas estables y biocompatibles con aplicación en diferentes campos de la ciencia. Su caracterización puede ser llevada a cabo mediante técnicas no destructivas tales como microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (Rx), así como su comportamiento magnético el cual es evaluado usando un magnetómetro de gradiente alternante. Estos equipos permiten determinar tanto la estructura como la forma obtenida de dichas Nanopartículas (Soto, 2015).

2.10.2 Síntesis de nanopartículas por Co-Precipitación.

Este método consiste en la mezcla de iones férrico y ferroso en una proporción molar 1:2 en disoluciones. El tamaño y forma de las NPs obtenidas dependen de varios factores como el tipo de sal empleada (cloruros, sulfato, nitratos, percloratos, etc.), la proporción de iones férrico y ferroso adicionados, la temperatura de reacción, los valores de pH, la fuerza iónica del medio y de otros parámetros de reacción como la velocidad de agitación y velocidad de adición de la disolución básica. La principal ventaja de esta aproximación es que las muestras obtenidas son directamente hidrofílicas y, por lo tanto, estables en medios acuosos. Sin embargo, una desventaja importante es que habitualmente, el número de grupos funcionales presentes en la superficie para una posterior biofuncionalización es reducido, complicando la obtención de muestras biológicamente activas (Soto, 2015).

2.10.3 Síntesis de nanopartículas por descomposición Térmica.

Es posible obtener nanocristales magnéticos monodispersos al sintetizar por descomposición térmica componentes organometálicos en disolventes orgánicos de alto punto de ebullición conteniendo surfactantes como estabilizadores. Los precursores organometálicos incluyen acetilacetonatos metálicos, cupferronatos metálicos, o carbonilos. Como surfactantes, normalmente se emplean los ácidos grasos, ácido oléico y hexadecilamina. En principio, los parámetros decisivos para controlar el tamaño y la morfología de las Nanopartículas magnéticas son las proporciones iniciales de los reactivos (componente organometálico, surfactante y disolvente). Para tener un control preciso en estas características, también son importantes la temperatura de reacción, el tiempo de reacción y otros (López, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y Características del Sitio Experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de Buenavista, en el municipio de Saltillo Coahuila, en un invernadero ubicado, entre las coordenadas geográficas 25° 23" Latitud Norte y 101°02" Longitud Oeste, a una altitud de 1743 msnm (INEGI, 2020) ,en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El sitio experimental tiene las dimensiones aproximadamente de 30 metros de largo y 10 metros de ancho con una cubierta de polietileno color blanco, dicho invernadero cuenta con 1 extractor de aire, pared humedad y un calentador.

3.2 Material Genético

Para el experimento se utilizó la variedad CLERMON de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo TOV que produce excelentes rendimientos en racimos de 4 a 5 frutos, resistente a enfermedades. Características de la planta: abierta con entrenudos semi-cortos, el fruto; racimos con presentación muy atractiva, peso del mismo promedio 140 g, redondos de color rojo intenso, sabor agradable (SYNGENTA, 2020).

La siembra directa se realizó el 18 de febrero del 2018. Se utilizaron charolas de unicel con 200 cavidades. Para preparar el medio de siembra, se requirió peat moss y perlita a una relación 70/30, posteriormente se midió la cantidad necesaria que se iba ocupar para llenar los orificios. Por lo que preparó 11 litros de peat moss y 4.7 litros de perlita. Ajustando el pH del peat antes que nada para luego mezclar el material y realizar el llenado de la charola y la siembra directa.

3.3 Descripción de los tratamientos

El experimento fue realizado con la finalidad de conocer la aplicación de nuevas fuentes de fertilizantes (Nano fertilizantes de magnetita) las cuáles podrían incrementar el rendimiento y crecimiento en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L*). Las cuáles se aplicaron al Drench (Cuadro 2). Por lo que se tuvo 8 tratamientos a diferentes concentraciones de Magnetita con Fe y sin Fe de las que se tomaron 6 repeticiones por tratamiento quedando 46 unidades experimentales. La solución que se usó al inicio fue Steiner al 50 %, en la segunda etapa Steiner al 100%.

Cuadro 2.- Tratamientos evaluados dos soluciones nutritivas (con fe y sin fe), con concentraciones de nanoparticulas (NPs) de magnetita a 0, 10, 100, 1000 ppm.

TRATAMIENTO	Magnetita ppm	Iónico
T1	0	Con Fe
T2	10	
T3	50	
T4	1000	
T5	0	Sin Fe
T6	10	
T7	50	
T8	1000	

3.4 Conducción del Experimento.

Después de pasar las plántulas de la charola al contenedor, se realizó el tutoreo con la finalidad de que la planta tenga mayor soporte esto para evitar la quebradura de la planta durante su ciclo de producción. Esto consistió en colocar un anillo en la hoja más baja de planta al cuál se le coloca la rafia para tuturar, hasta la parte aérea. Esta actividad se realizó desde que el experimento fue establecido y a medida que la planta crecía se iba sosteniendo la planta por medio del tutoreo.

3.5 Deschupone

Esta práctica consiste en eliminar los brotes axilares del tallo de la planta, con la finalidad de evitar exceso de follaje, la planta se manejó a un tallo. Esta actividad se realizaba a medida que la planta crecía.

3.6 Bajado de planta

Esta es una actividad que se le realiza al tomate de crecimiento indeterminado este con la finalidad de que la planta este fácil de manejar al operario, esta actividad se hacía cada vez que la planta rebasaba la altura de 3 m. Durante todo el ciclo solo se bajó la planta en 3 ocasiones.

3.7 Deshoje

Esta actividad tiene como finalidad mantener el equilibrio de crecimiento de la planta de tal manera que el cultivo entre mayor intensidad lumínica entre las plantas, mayor aireación, menos enfermedades. Por lo que, esta actividad se practicaba cada vez que se cosechaba un racimo, por motivos del experimento se realizaba así. Solo se realizó una poda imprevista debido a que se enfermó el cultivo de tizón temprano (*Alternaría solani*) y se hizo la poda para tratar de disminuir el hongo.

3.8 Aclareo de flores

Esta práctica se realiza con la finalidad de que el fruto tenga una mayor calidad y uniformidad en tamaño, en el experimento esta actividad se realizó 16 ocasiones por lo que se dejaba 5 frutos al amarre por racimo.

3.9 Control de plagas y enfermedades

En el caso de las plagas solo se presentó la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), su radicación se usaron dos productos químicos los cuales se intercalaban cada cuatro días. En caso de enfermedades se tuvo problemas con tizón temprano (*Alternaria solani*) el cual se presentó cuando la planta iba en el doceavo racimo, para su radicación se usaron también productos químicos intercalados de igual forma cada 4 días.

3.10 Variables evaluadas

Las variables que se tomaron durante el ciclo de crecimiento de la planta, se clasificaron en **Agronómicas y Fisiológicas**:

Agronómicas

Rendimiento (g/planta)

Diámetro de tallo (mm)

Altura de planta (cm)

P (ppm)

Diámetro polar y ecuatorial del fruto

Peso seco de parte aérea (g)

Fisiológicas

Nivel de Verdor (SPAD)

Análisis Mineral;

N (%), P, K, Ca, Mg y Fe (ppm),

3.10.1 Rendimiento (g/planta)

Esta variable se determinó con un total de 12 racimos cortados de los cuales era 5 frutos por racimo.

3.10.2 Diámetro de tallo (mm)

El diámetro del tallo fue determinado al final del ciclo utilizando un vernier con escala milimétrica.

3.10.3 Altura de planta (cm)

La altura de la planta se midió una vez que se capó la planta, esperando hasta que el último racimo se evaluara.

3.10.4 Diámetro polar y ecuatorial

Esta variable se midió cada vez que se cosechaba. Para estimar esta variable se usó un vernier tomando el diámetro ecuatorial y polar en centímetros.

3.10.5 Nivel de verdor

Para esta variable, se utilizó un SPAD-502 Plus es un instrumento que mide la cantidad de clorofila (un factor importante para la comprensión de la situación nutricional de una planta) en una hoja, y muestra los resultados como valores SPAD. Para estimar esta variable se tomaron 6 plantas, 1 hoja por planta, de manera uniforme, las mediciones se realizan con sólo insertar la hoja que se quiere medir en la cabeza de medición y presionando la cabeza cerrándola. Puesto que no hay necesidad de cortar las hojas, las medidas se pueden tomar sin dañarlas, lo que permitió tomar la variable en la misma hoja a medida que continuaba creciendo y desarrollándose. Se realizaron 6 mediciones de cada una de las repeticiones, en total se midieron las 48 unidades experimentales y se tomaron las hojas de la parte aérea ya el fierro solo se presenta en hojas nuevas.

3.10.6 Nitrógeno

El nitrógeno se determinó siguiendo el procedimiento de Kjeldahl (Bremner, 1996).

3.10.7 Fósforo

Se determinaron en tejidos vegetales digeridos en una mezcla 2: 1 de H₂SO₄: HClO₄ y 2 ml de H₂O₂ al 30% usando plasma acoplado inductivamente. Espectrómetro de emisión (ICP-AES, modelo Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour et al., 1996).

3.10.8 Potasio

Se determinaron en tejidos vegetales digeridos en una mezcla 2: 1 de H₂SO₄: HClO₄ y 2 ml de H₂O₂ al 30% usando plasma acoplado inductivamente. Espectrómetro de emisión (ICP-AES, modelo Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour et al., 1996).

3.10.9 Calcio

Se determinaron en tejidos vegetales digeridos en una mezcla 2: 1 de H₂SO₄: HClO₄ y 2 ml de H₂O₂ al 30% usando plasma acoplado inductivamente. Espectrómetro de emisión (ICP-AES, modelo Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour et al., 1996).

3.10.10 Magnesio

Se determinaron en tejidos vegetales digeridos en una mezcla 2: 1 de H₂SO₄: HClO₄ y 2 ml de H₂O₂ al 30% usando plasma acoplado inductivamente. Espectrómetro de emisión (ICP-AES, modelo Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour et al., 1996).

3.10.11 Hierro

Se determinaron en tejidos vegetales digeridos en una mezcla 2: 1 de H₂SO₄: HClO₄ y 2 ml de H₂O₂ al 30% usando plasma acoplado inductivamente. Espectrómetro de emisión (ICP-AES, modelo Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour et al., 1996).

3.11 Diseño Experimental

El diseño que se usó para este experimento fue factorial 2x4 en un diseño de tratamientos de bloques completamente al azar en el que se utilizaron seis repeticiones con un total de 8 tratamientos y 46 unidades experimentales. El análisis de datos se determinó utilizando el sistema SAS 9.0 con la prueba de Duncan al 0.05 de significancia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento Total de Frutos.

En el Cuadro 3, se observa que la aplicación de Fe no afectó en el rendimiento total de fruto de la planta de tomate, el cual estuvo cercano a los 7.5 kg por planta. Sin embargo, la concentración de Nanopartículas de magnetita sí manifestaron efecto en el rendimiento total del fruto (Cuadro 3) ya que este fue mayor al de las plantas testigo cuando la magnetita se aplicó entre 50 y 1000 ppm, superándolo en un 7.1% y 11.9%, respectivamente.

Aunque la interacción no fue significativa (Cuadro 3), el rendimiento de fruto fue mayor en plantas que recibieron Fe cuando la concentración de magnetita fue de 0 a 50 ppm (Figura 4), sin embargo, en plantas que no recibieron Fe en la solución nutritiva, el rendimiento de frutos superó al de aquellas que sí recibieron Fe cuando la magnetita se aplicó a una concentración de 1000 ppm. Estas observaciones sugieren que la magnetita sí fue capaz de suplementar la demanda de Fe por parte de las plantas pero solo a altas concentraciones, en cambio, a dosis de 50 y 100 ppm, las plantas sin Fe en la solución nutritiva manifestaron una reducción en el rendimiento comparado con aquellas que recibieron Fe en la solución, lo cual estuvo asociado con la falta del micronutriente. El rendimiento de fruto de las plantas sin Fe en la solución y con magnetita aplicada en drench a una dosis de 1000 ppm fue 14% superior al de las plantas control (con Fe y sin magnetita).

El Fe es un elemento requerido en reacciones de transporte de electrones en la reacción luminosa del proceso de fotosíntesis (Taiz y Zieger, 2002); de esta manera, una deficiencia de Fe se manifiesta en una menor tasa de fijación de CO₂ y en menor acumulación de carbohidratos, lo que a su vez explicaría la reducción en el rendimiento observado.

Cuadro 3.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el rendimiento total de frutos de tomate.

Tratamientos		Rendimiento g/planta	
Fe	Con	7446.7	a
	Sin	7345.4	a
Magnetita	0	6975.4	c
	10	7337.4	bc
	50	7469.4	ba
	1000	7807.9	a
Fe	p=0.512		
Magnetita	p=0.005		
Fe x Magnetita	p=0.143		

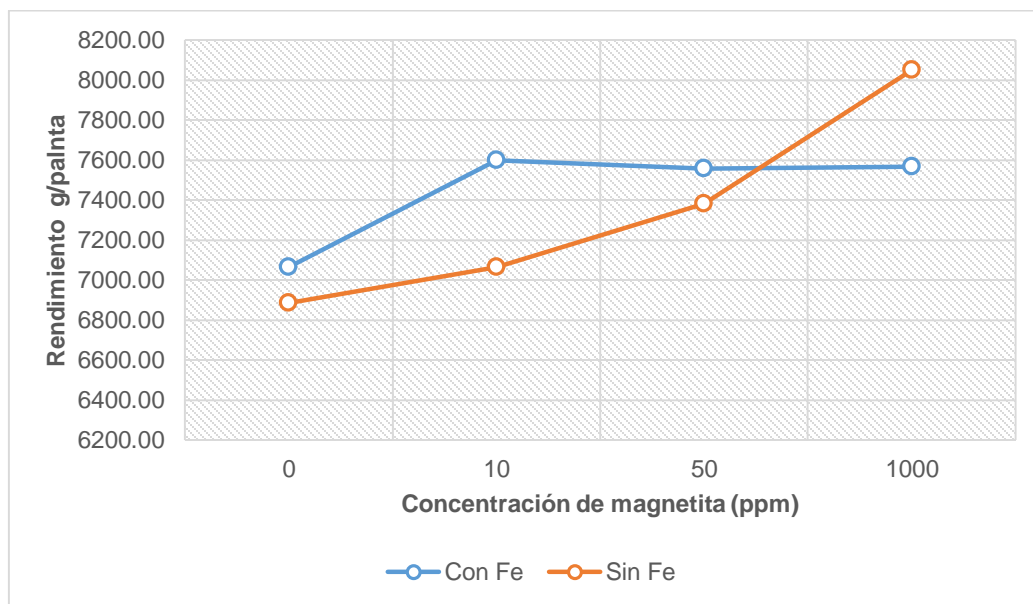


Figura 4.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones contenido Fe sobre el rendimiento total de fruto.

4.2 Diámetro de Tallo de la Planta.

En el Cuadro 4 se observa que la aplicación de Fe no afectó el diámetro de tallo de la planta de tomate, siendo que no hubo diferencia entre las soluciones nutritivas, en tanto que la concentración de magnetita aplicada tampoco afectó el diámetro de tallo en la planta de tomate. Aunque la interacción no fue significativa, en la Figura 5 se observa que en plantas sin suplemento de Fe a través de la solución nutritiva logran igualar el diámetro de tallo solo cuando se les aplicó magnetita en dosis de 100 y 1000 ppm. Jiménez *et al.* (2019) reportan reducciones significativas en el diámetro de tallo en plantas de tomate expuestas a deficiencia de Fe desde los 9 días después del trasplante.

Cuadro 4.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el diámetro de tallo de la planta de tomate.

Tratamientos		Diámetro de tallo / mm	
Fe	Con	15.57	a
	Sin	15.04	a
Magnetita	0	14.74	a
	10	15.47	a
	50	15.5	a
	1000	15.54	a
Fe	p= 0.286		
Magnetita	p= 0.611		
Fe x Magnetita	p= 0.191		

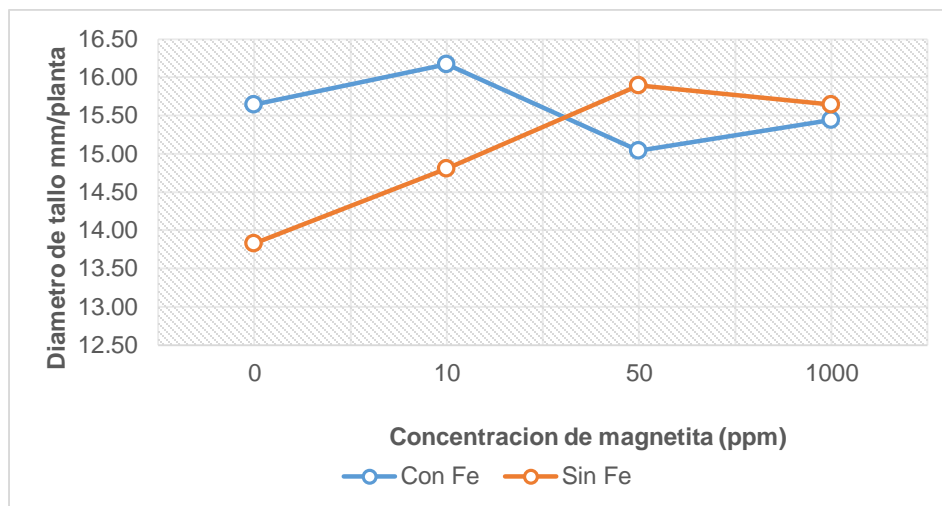


Figura 5.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones contenido Fe sobre diámetro de tallo de la planta .

4.3 Altura de planta de la planta.

En el Cuadro 5 se observa que la aplicación de Fe y la aplicación de Nanopartículas de magnetita no afectaron la altura de la planta del tomate; resultados similares son reportados por Jiménez *et al.* (2019) quienes reportan reducciones significativas en la altura de plantas de tomate debido a la deficiencia de Fe desde los 6 días después del trasplante. Aunque la interacción no resultó significativa, se observó que la altura de la planta fue mayor cuando la concentración de magnetita de 10 y 50 ppm en la planta que no recibieron en el Fe en la solución nutritiva (Figura 6).

Cuadro 5.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en la altura de la planta de tomate.

Tratamientos		Altura de la planta / cm	
Fe	Con	423.1	a
	Sin	420.42	a
Magnetita	0	411.28	a
	10	438.63	a
	50	423.63	a
	1000	422.28	a
Fe	p= 0.286		
Magnetita	p= 0.611		
Fe x Magnetita	p= 0.191		

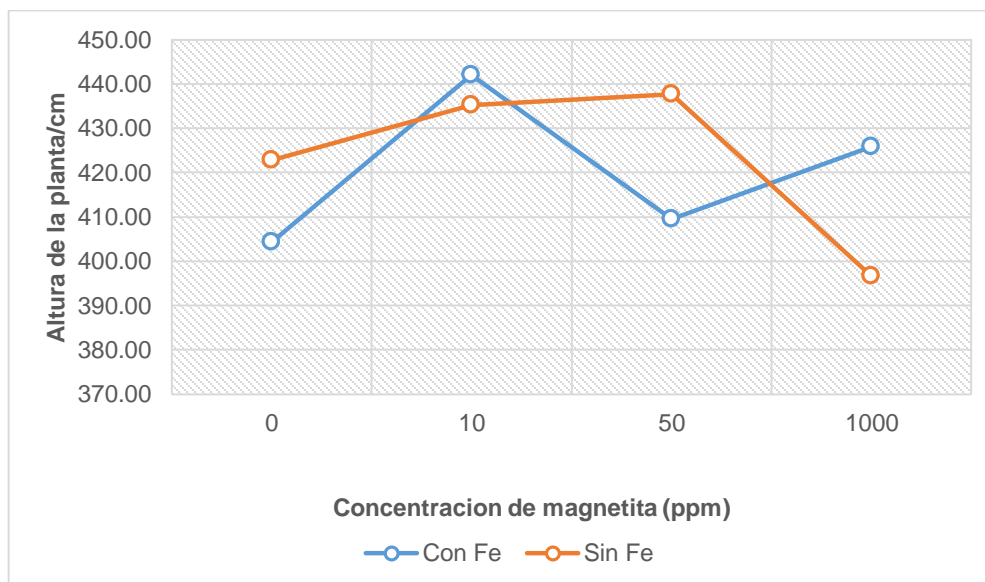


Figura 6.- Efecto de la combinación de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones Fe sobre la altura de tomate al finalizar el estudio.

4.4 Diámetro Ecuatorial del Fruto.

La aplicación de Fe ni la aplicación de NPs de magnetita afectaron el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (Cuadro 6); resultados contrarios a los obtenidos fueron reportados por García (2018) ya que demostró que la aplicación de NPs Cu más injerto tuvo un efecto positivo en el diámetro, mientras que en otra trabajo realizado por Ando *et al.* (2014) reportan que con la aplicación de NPs (NPs) Cu aumentó a 22 mm mientras que sin NPs estos fueron de 20 cm, aunque la interacción no resulto significativa. En la Figura 7 se observa que el diámetro ecuatorial fue mayor cuando la concentración de magnetita fue de 1000 ppm en plantas que no recibieron en el Fe en la solución nutritiva.

Cuadro 6.- Efecto de la aplicación de nanoparticulas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate.

Tratamientos		Diámetro ecuatorial / mm	
Fe	Con	63.17	a
	Sin	62.4	a
Magnetita	0	63.46	a
	10	62.78	a
	50	63.15	a
	1000	63.46	a
Fe	p= 0.368		
Magnetita	p= 0.514		
Fe x Magnetita	p= 0.149		

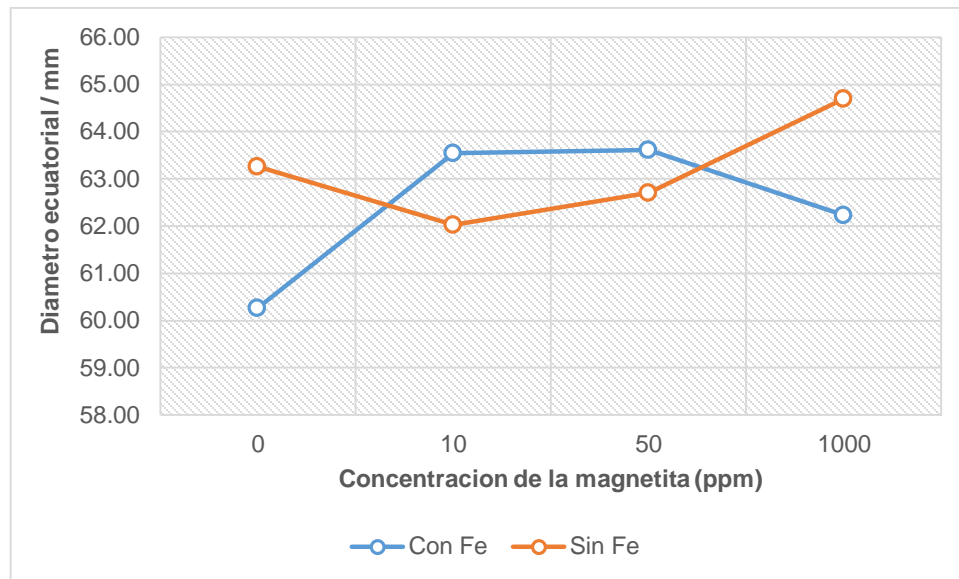


Figura 7.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el diámetro ecuatorial de fruto de tomate al finalizar estudio

4.5 Diámetro Polar del Fruto.

En cuadro 7 se observa que la aplicación de Fe ni la concentración de NPs de magnetita afectaron el diámetro polar del fruto de tomate; estos resultados concuerdan con resultados reportados con Abdón *et al* (2016) que la aplicación de NPs de Oxido de Grafito en rábano no tuvo un incremento en el diámetro polar, aunque la interacción no resultó significativa. En la Figura 8 se observa que el diámetro polar fue mayor cuando la concentración de magnetita fue 0 y 10 ppm en la planta que no recibió el Fe en solución nutritiva (Figura 8).

Cuadro 7.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el diámetro polar del fruto de tomate.

Tratamientos		Diámetro Polar / mm	
Fe	Con	52.79	a
	Sin	52.25	a
Magnetita	0	51.72	a
	10	52.75	a
	50	52.98	a
	1000	52.64	a
Fe		p= 0.417	
Magnetita		p= 0.547	
Fe x Magnetita		p= 0.426	

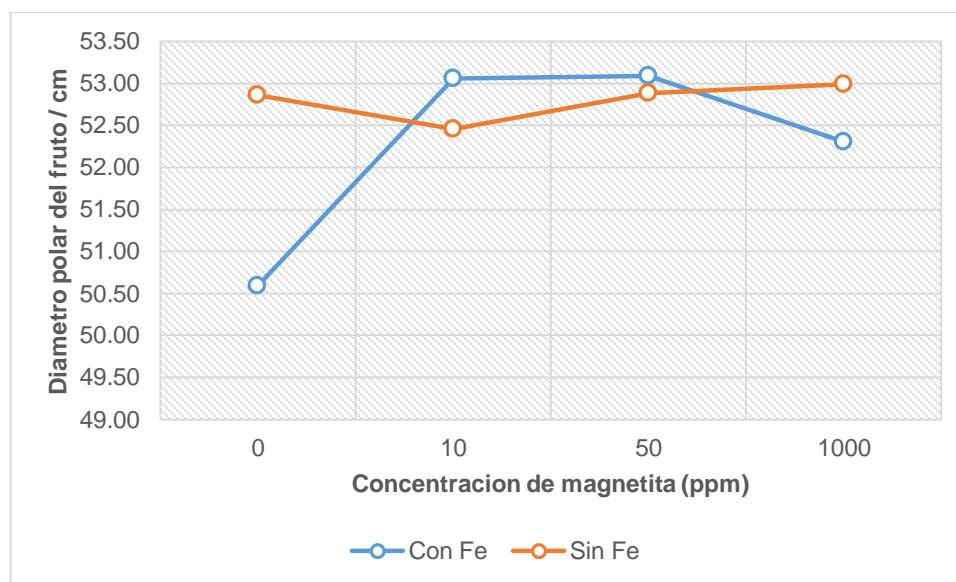


Figura 8.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el diámetro polar del fruto de tomate al finalizar estudio.

4.6 Nivel de Verdor

En el cuadro 1 se observa que la aplicación de Fe afectó el nivel de verdor en las hojas jóvenes de tomate, siendo 7.4 % mayor el obtenido en la planta que recibieron Fe en la solución nutritiva (Cuadro 8). En el trabajo realizado por Mohammad y Shamsul (2019) encontraron resultados similares a los obtenidos en esta investigación, pero con NPs de ZnO, ya que con 50 ppm lograron incrementar el nivel de verdor en tomate. Sin embargo, en el presente estudio, la concentración de NPs de magnetita no afectaron el nivel de verdor (Cuadro 8). En la Figura 7 se observa a que el nivel de verdor fue mayor cuando la concentración de magnetita fue de 10 y 50 ppm en la planta que recibieron el Fe, sin embargo, es interesante también observar que en plantas que no recibieron Fe en la solución nutritiva, la magnetita a 1000 ppm permitió que las plantas tuvieran un nivel de verdor similar al de las plantas que recibieron Fe, lo que corrobora que esta NPs suplementa las necesidades de este elemento a altas concentraciones.

Cuadro 8.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el nivel de verdor de hoja de la planta de tomate.

Tratamientos		Nivel de Verdor SPAD	
Fe	Con	50.41	a
	Sin	46.92	b
Magnetita	0	46.92	a
	10	46.61	a
	50	50.35	a
	1000	50.98	a
Fe	p= 0.417		
Magnetita	p= 0.547		
Fe x Magnetita	p= 0.426		

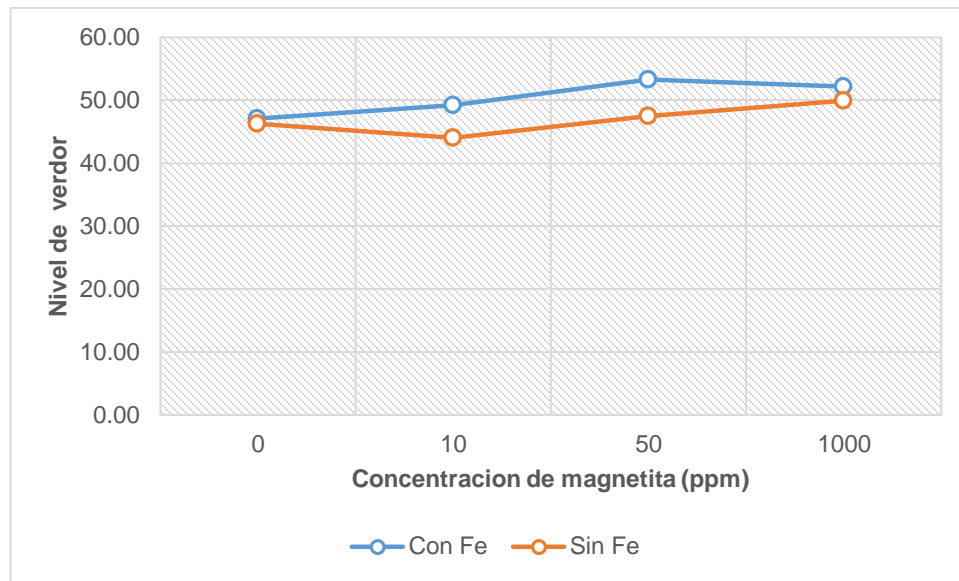


Figura 9.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones contenido Fe sobre el nivel de verdor al finalizar estudio.

4.7 Nitrógeno

La aplicación de Fe en la solución nutritiva estuvo asociada con un aumento en el contenido de Nitrógeno (Cuadro 9), siendo las plantas que en la solución nutritiva no recibieron Fe la que tuvo mayor contenido de Nitrógeno. La concentración de magnetita no tuvo efecto significativo con el contenido de Fe en el fruto. En un trabajo realizado por Abou *et al.*, (2015), se reporta que con la concentración de 250 ppm Fe_3O_4 se pudo aumentar el contenido de Nitrógeno ya que en plantas control este fue de 1.77 %, mientras que a cuando se aplicó NPs (NPs) se elevó a 2.47 %; esto no concuerda con el presente trabajo. En la Figura 10, se observa que el contenido de nitrógeno fue mayor con la concentración de magnetita de 0 ppm en el fruto.

Cuadro 9.- Efecto de la combinación de nanopartículas de magnetita y suplemento de Fe solución nutritiva en el contenido de nitrógeno en el fruto de tomate.

Tratamientos	Contenido de Nitrógeno / %		
	Fe	Con	1.68
Sin		1.87	a
Magnetita	0	1.81	a
	10	1.78	a
	50	1.77	a
	1000	1.74	a
Fe	P= 0.02		
Magnetita	p= .		
Fe X Magnetita	P= 0.597		

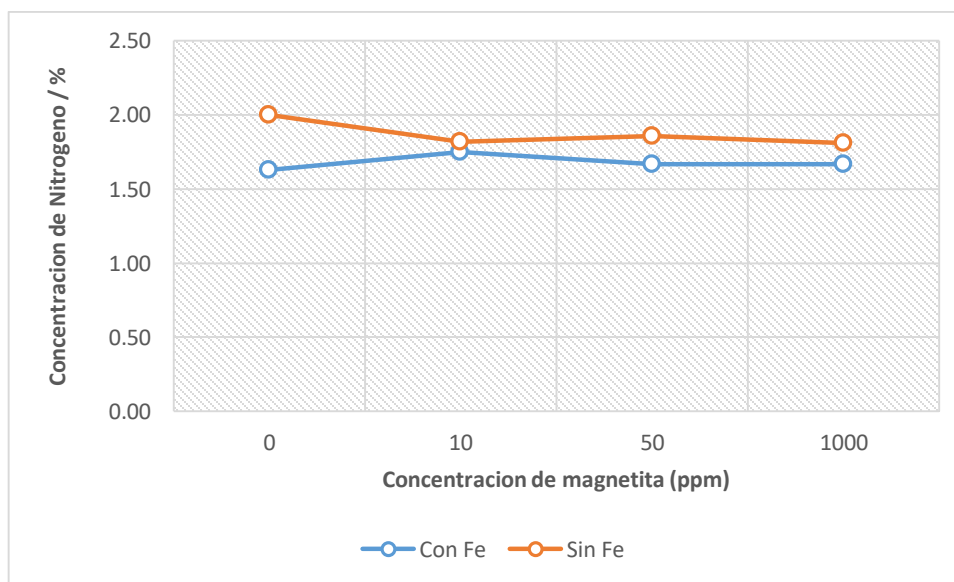


Figura 10.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de nitrógeno en el fruto al finalizar estudio.

4.8 Fosforo

En el Cuadro 10 se observa que la aplicación de Fe afectó el contenido de Fosforo en el fruto, siendo 5.8 % mayor al obtenido en el fruto que recibió la solución nutritiva con Fe; sin embargo, la concentración de NPs de magnetita no tuvo efecto significativo en el contenido de fosforo. En un trabajo realizado por Antisari. (2014) se demostró que las NPs TiO_2 aumentaba el contenido de Fosforo hasta 15.4 %, lo cual que no concuerda con el trabajo realizado ya que el efecto de NPs no fue el esperado. En la Figura 9, se puede observar el comportamiento de la magnetita que con una concentración de 0 y 10 ppm, el contenido de Fosforo en el fruto fue mayor que a concentraciones altas de magnetita, lo que quiere decir que los efectos de altas concentraciones no interfieren con el contenido de Fosforo en el fruto de tomate.

Cuadro 10.- Efecto de la combinación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de fosforo en los frutos de tomate.

Tratamientos		Contenido de Fosforo / ppm	
Fe	Con	5581.8	a
	Sin	5274.1	b
Magnetita	0	5548.7	a
	10	5424.8	a
	50	5418.6	a
	1000	5319.6	a
Fe		p= 0.02	
Magnetita		p= .	
Fe x Magnetita		p= 0.597	

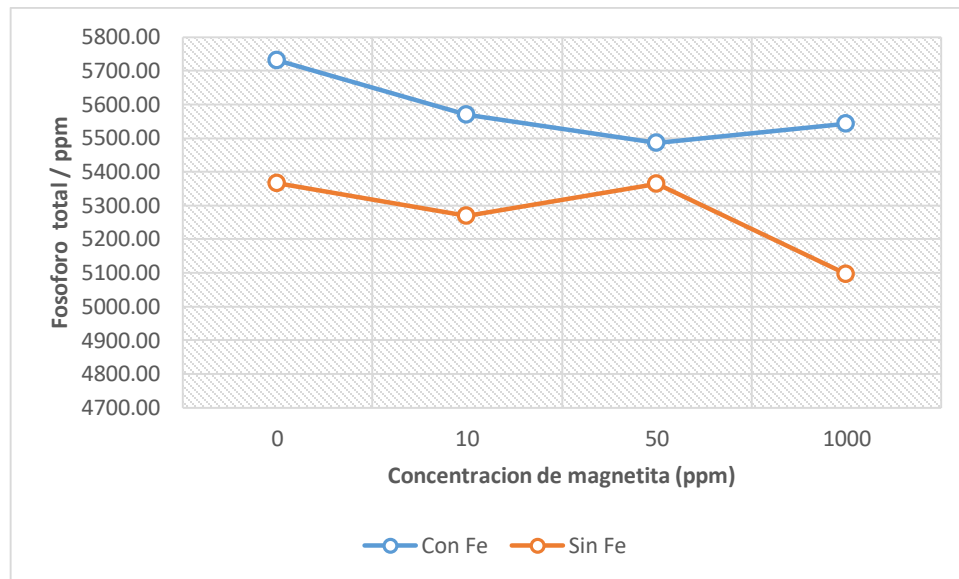


Figura 11.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre contenido de fosforo en el fruto al finalizar estudio.

4.9 Potasio

La aplicación de Fe afectó el contenido de K en el fruto, siendo 35.8 % mayor obtenido en el fruto de plantas que no recibieron Fe en la solución nutritiva (Cuadro 10); sin embargo, la concentración de NPs de magnetita no afectaron el contenido de K. En la Figura 11, se observa que él de las NPs de magnetita no influyeron en la concentración de K, lo cual no concuerda con el trabajo realizado por López. (2013), quienes señalan que con la aplicación de NPs Cu en las concentraciones de 250 y 500 mg manifestó un aumento significativo de K en el fruto de tomate. Por otro lado, Gonzales (2017) reportó que aplicación NPs de cobre en hidrogeles de quitosán-pva aumentó el contenido de K en el fruto de tomate cuando la concentración de magnetita fue 0 y 1000 ppm en plantas que lo recibieron.

Cuadro 11.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de potasio en el fruto de tomate.

Tratamientos		Contenido de K ⁺ / ppm	
Fe.	Con	18593.9	a
	Sin	13692.6	b
Magnetita	0	16195.5	a
	10	16081.4	a
	50	16110.2	a
	1000	16186	a
Fe	p= 0.0001		
Magnetita	p= .		
Fe x Magnetita	p= 0.796		

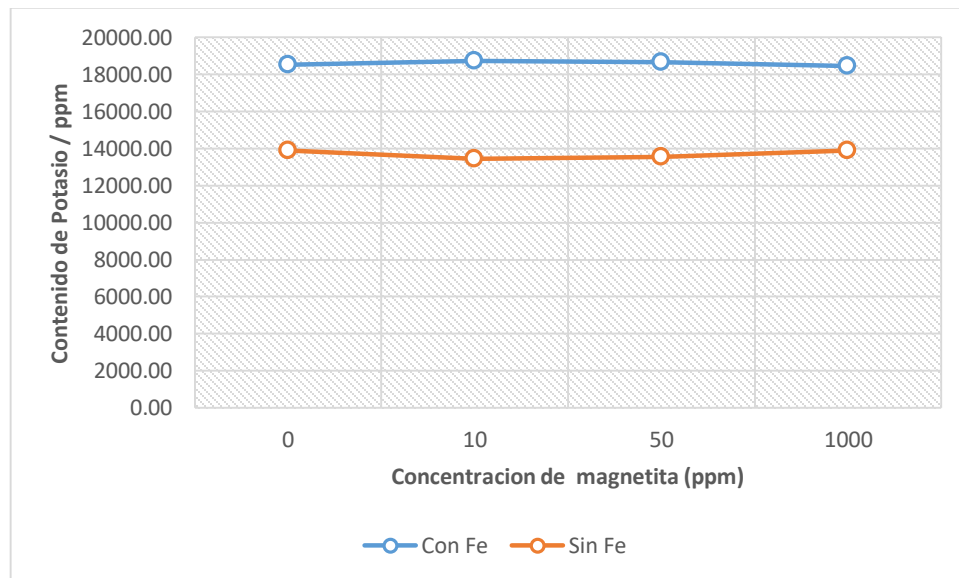


Figura 12.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a las plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de potasio en el fruto al finalizar estudio.

4.10 Calcio

En el cuadro 11 se observa que la aplicación de Fe en la solución nutritiva afectó el contenido de Calcio en el fruto de tomate, mientras que en plantas tratadas con una solución nutritiva que carecía de Fe resultaron en que se superó el contenido de Calcio hasta con un 71 % sobre la planta que recibieron una solución nutritiva que si aportaba el Fe. De igual forma la concentración de NPs de magnetita no afectaron el contenido de calcio en el fruto de tomate. En trabajos realizados por Antisari (2014) reporta que la aplicación de NPs-Ag incrementó de 54.2 % y 37.5 % con respecto al control, lo cual no concuerda con este trabajo debido que las NPs de Fe no promovieron un incremento de Calcio en este trabajo. En la Figura 12 se observa que el contenido de Calcio fue mayor cuando la concentración Fe fue de 0 a 10 ppm en las plantas que lo recibieron.

Cuadro 12.- Efecto de la aplicación de nanoparticulas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de calcio en los frutos de tomate.

Tratamientos	Contenido de Ca / ppm		
	Fe	Con	1917.6
Sin		2199.8	a
Magnetita	0	2110.89	a
	10	2060.66	a
	50	2021.07	a
	1000	2042.22	a
Fe	p= 0.0001		
Magnetita	p= .		
Fe X Magnetita	p= 0.7356		

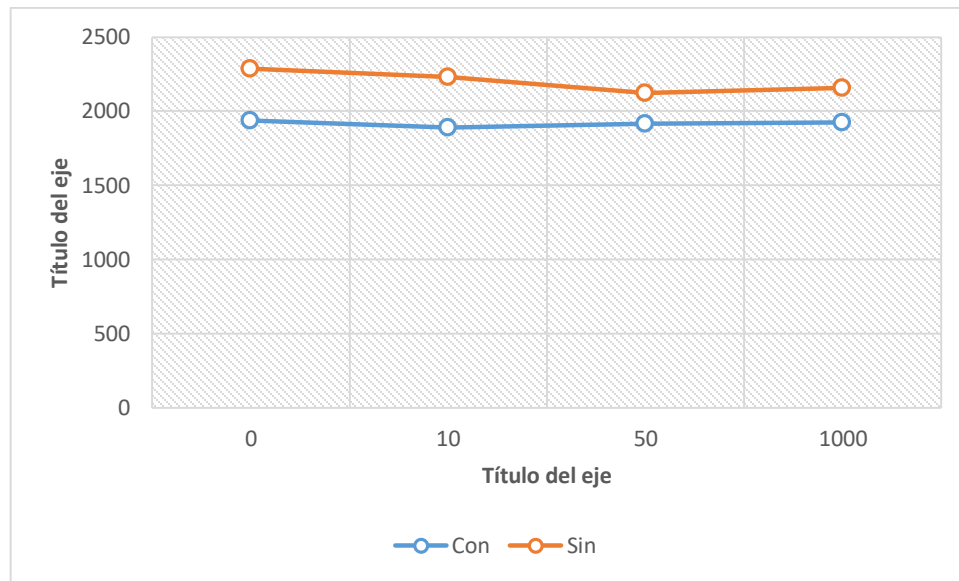


Figura 13.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de calcio en el fruto al finalizar estudio.

4.11 Magnesio

En el Cuadro 12 se observó que la aplicación de Fe si afecto el contenido de magnesio en el fruto, siendo 86 % mayor al obstino en el fruto que no recibieron Fe en la solución nutritiva, sin embargo, la concentración de NPs de magnetitas no afectaron el contenido de Mg (Figura 14) se observa que el contenido de Ca fue mayor cuando la concentración de magnetita de 50 y 1000 ppm en la planta que recibieron el Fe.

Cuadro 13.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y el suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de magnesio en el fruto de tomate.

Tratamientos	Contenido Magnesio / ppm		
	Fe	Con	
Sin		1183.86	b
Magnetita	0	1243.99	a
	10	1300.8	a
	50	1248.98	a
	1000	1243.25	a
Fe	p= 0.0001		
Magnetita	p= .		
Fe x Magnetita	p= 0.3211		

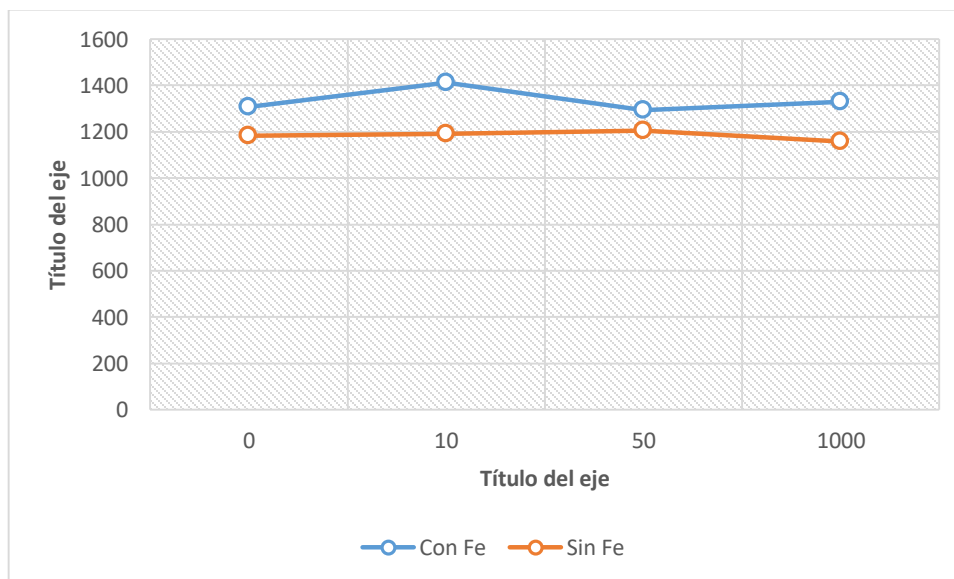


Figura 14.- Efecto de la combinación de magnetita aplicada en drench a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre contenido de magnesio en el fruto al finalizar el estudio.

4.12 Hierro

En el Cuadro 14 se observa que la presencia o ausencia de Fe en la solución nutritiva no afectó significativamente la concentración de este mineral en el fruto de tomate, mientras que la concentración de NPs de magnetita de igual manera no afectaron el contenido de Fe. Por otro lado, en el trabajo realizado por Wide *et al* (2016) encontró que la aplicación de NPs (de cobre en el cultivo de tomate incrementó el contenido de este mineral en las plantas del cultivo en cuestión, lo cual no coincide con lo encontrado en este trabajo ya que la aplicación de NPs de magnetita no incrementaron la concentración de Fe en los frutos de tomate. En otro trabajo realizado por Mohammad y Shamsul (2019), En la Figura 15 se observa que el contenido de Fe en el fruto siempre fue menor en aquellas plantas que no recibieron Fe en la solución nutritiva, e incluso esta diferencia se hace aun mayor cuando se aplicaron 1000 ppm de NPs de magnetita en el drench. Estos resultados sugieren un probable efecto de dilución en los frutos de tomate ya que al producirse un mayor rendimiento el Fe absorbido y asimilado por la planta debió de haberse distribuido en una mayor cantidad de frutos, ocasionando la menor concentración observada.

Cuadro 14.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita y suplemento de Fe en la solución nutritiva en el contenido de Fe en el fruto de tomate.

Tratamientos		Concentración de Fe / ppm	
Fe	Con	64.69	a
	Sin	59.26	a
Magnetita	0	60.35	a
	10	65.48	a
	50	60.9	a
	1000	61.98	a
Fe		p= 0.469	
Magnetita		p= .	
Fe x Magnetita		p= 0.7	

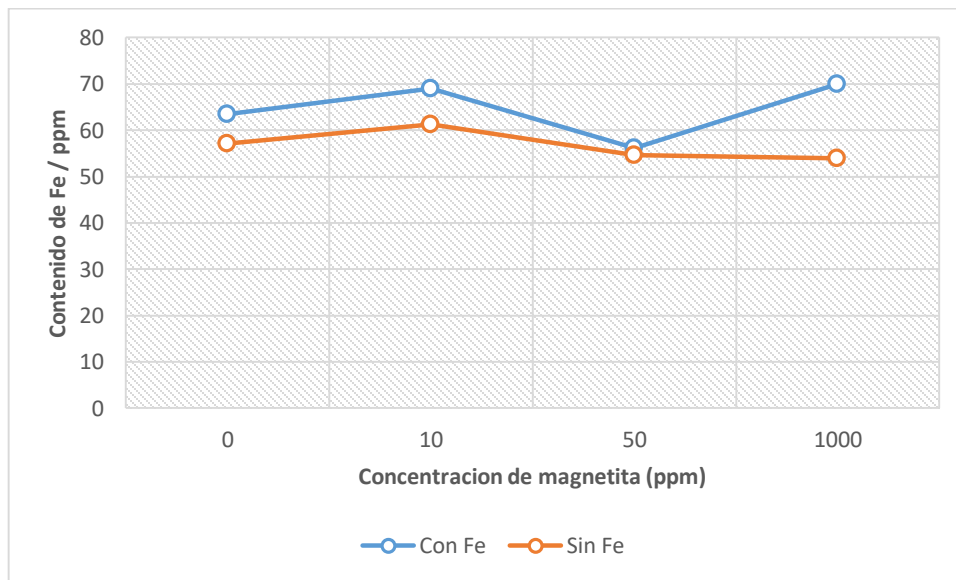


Figura 15.- Efecto de la concentración de magnetita aplicada a plantas de tomate en combinación con soluciones conteniendo Fe sobre el contenido de Hierro en el fruto al finalizar estudio.

V. CONCLUSIONES

En cuanto a el análisis mineral se puede observar que la aplicación de Fe en la solución no estuvo asociada con el aumento con ninguno de los minerales como son N, Ca, K, P, Mg y Fe siendo que las plantas que en solución nutritiva no recibieron Fe fueron las que obtuvieron mayor contenidos de N, Ca, K, P, Mg y Fe, en todos los caso se pudo observar que las bajas concentraciones de magnetita o nulas concentraciones contrallaron mayor contenido de N, Ca, K, P, Mg y Fe dando por resultado que la aplicación de 0 , 10, 50 ppm de magnetita iba aumentar el contiendo de minerales en los frutos de tomate

La aplicación de Fe ni la aplicación de NPs de magnetita no afectaron la altura de la planta, diámetro de tallo, diámetro ecuatorial, diámetro polar, nivel del verdor del tomate y rendimiento. Sin embargo, en plantas que no recibieron Fe en la solución nutritiva, el rendimiento de frutos superó al de aquellas que si recibieron Fe cuando la magnetitia se aplicó a una concnetración de 1000 ppm. Estas observaciones sugieren que la magnetita si fue capaz de suplementar la demanda de Fe por parte de las plantas pero solo a altas concentraciones, en cambio, a dosis de 50 y 100 ppm, las plantas sin Fe en la solución nutritiva manifestaron una reducción en el rendimiento comparado con aquellas que recibieron Fe en la solución, lo cual estuvo asociado con la falta del micronutrimiento. El rendimiento de fruto de las plantas sin Fe en la solución y con magnetita aplicada en drench a una dosis de 1000 ppm fue 14% superior al de las plantas control (con Fe y sin magnetita).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abadía M. G., (2007).** Respuesta Postransplante del Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), en Suelo Acolchado Bajo Invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 108 p.
- Abdón A, G., (2016).** Aplicación Foliar de Nanopartículas de Óxido de Grafeno, Nanotubos de Carbono y su Efecto en Plantas de *Raphanus sativus Cultivadas con Sustratos Zeolíticos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 53 p.
- Abou El-Nasr, M, k., H, M, El-Hennawy, A. M. H. El-Kereamy, A Abou El-Yazied and T. A. Salah Eldin, (2015).** Effect of Magnetite Nanoparticles (Fe_3O_4) as Nutritive Supplement on Pear Saplings. Middle East Journal of Applied Sciences. 77-785 p.
- Antisari, L. V., Carborne, S., Gatti, A., & Nannipieri P. Vitt (2015).** Uptake and translocation of metals and nutrients in tomato grown in soil polluted with metal oxide (CeO_2 , Fe_3O_4 , TiO_2) or metallic (Ag, Co, Ni) engineered nanoparticles. Environmental science and pollution research international. 22. 10.1007/s113556-014-3509-0.
- Ascencio, A., A.; López, B. A.; Borrego E., F.; Rodríguez, H., S. A.; Flores, O., A.; Jiménez D., F.; Gámez, V., A. J. 2008.** Marchitez Vascular de tomate: I. Presencia de razas de *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* (sacc). Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología, Julio-diciembre, pp. 114-120 p. Pág. Consultadas 117.
- Betancur. J. D., J. Restrepo., O. Arnache., J. Mazo-Zuluaga., A. L. Morales, C. A. Barrero., J. J. Fernández., O. Pérez., A. Bohórquez. (2002).** Análisis Mössbauer de la Transformación Hematita a Magnetita Bajo Tratamiento Térmico en Atmosfera Controlada. Revista Colombiana de Física. Volumen (34). Pp 1-5.
- Bremner, J. M. 1996.** Total, nitrogen. In: Sparks, D. L. (Ed.). Methods of soil analysis. Part II. Chemical Methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, WI. USA. 1085-1086 pp.
- Bustamante O., J. D., J. M. P. Vázquez A., A. Trujillo C., J. Reyes R., y O. Escalona F. (2013).** Manual para el cultivo de jitomate en Bioespacio e invernadero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental Zacatepec, Zacatepec, Morelos. Libro Técnico. No 11. 190p.

- Cabrera V. F. A., Salazar E. E. I., (2004).** Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia, Cali. 348p.
- Cabrera, V., F. 1999.** Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmaria. Cali, Colombia. 65-75 p.
- Chamarro, J., 2001.** Anatomía y Fisiología de la planta pp. 43-91 En: Nuez, F. El cultivo de tomate. Ediciones mundi-prensa. Primera edición, 1995. Reimpresion 2001. España. 793.
- Eichert, T., Kurtz. A., Steiner. U., Goldbach. H.E. (2008).** Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and wáter-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum*. 134: 151-160p.
- FIRA. (2019).** Programa Agroalimentario de Tomate Rojo. <https://www.inforural.com.mx/Fira-panorama-agroalimentario-tomate-rojo-2019/>
- Fraceto, L.F.; Grillo, R.; De Medeiros, G.A.; Scogmamiglio, V.; Rea, G.; Bartolucci, C. (2016).** Nanotechnology in agricultura: Which innoation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*. 4:1-5.
- García, A. E., (2018).** Respuesta Fisiológica de la Germinación de Semilla de Tomate (*Solanum lycopersicum*) Variedad Rio Grande a Tratamientos con NPs Óxido de Zinc y Oxido de Manganeso. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- González G. H., (2017).** Nanoparticulas de Cobre en Hidrogeles de Quitosan-PVA en el Desarrollo y Calidad Nutraceutica de Sandía Injertada. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, Mexico.54p.
- INIA., 2017.** Manual de Cultivo del tomate al aire libre. Instituto de Desarrollo Agropecuario. Santiago de Chile. 81: 14-16 p.
- INTAGRI. 2015.** La Nanotecnología en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 13. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 9p.
- INTAGRI. 2018.** El Cultivo de Tomate. Serie Hortalizas. Núm. 14. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 9p.
- Jiménez, M. R., Casanova, L., Saavedra, T., Gama, F., Suárez, M. P., Correia, P. J., & Pestana, M. (2019).** Responses of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants to iron deficiency in the root zone. *Folia Horticulturae*, 31(1), 223-234.
- Lara. N. P., (2011).** Caracterización y Evaluación de Variedades Tradicionales de Tomate en Invernadero Ecológico. Trabajo de Investigación. Universidad de Almería. Almería, España. 205 p.

- Larin M. A., Díaz A. L., De Serrano. F. R., (2018).** Manual del Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentu*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador. Guía Técnica. 49 p.
- Leon, G. H. M., y Arosemena, B. M., 1980.** El cultivo del tomate para consumo fresco en el valle de Culiacán. SARH-INIA. México. 80 p.
- Lincoln Taiz., Eduardo Zeiger. (2002).** Plant Phydology. Sinauer Associates: 3 Edition. 675 p.
- López R. AA., (2012).** Estudio de la Síntesis y Caracterización de Nanoparticulas de Magnetita por Métodos Electroquímicos. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Santiago de Querétaro, México. 166 p.
- López. C. L., (2013).** Estudio y Caracterización de la Magnetita para su Aplicación a la Fertilización de Suelos Agrícolas. Tesis de Licenciatura. Universitst Politécnica de Catalunya. Barcelona. 91 p.
- Marín L. M. L., (2016).** Manual Técnico del Cultivo de Tomate *Solanum lycoersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola. San José, Costa Rica. 130 p.
- Méndez A. B., I. Vera-Reyes, E. Mendoza-Mendoza, L.A. Garcia-Cerda, B.A. Puente-Urbina y R.H. Lira-Saldívar. 2016.** Growth promotion of *Campsicum annum* plants by zinc oxide nanoparticles. Nova Scientia: 140-156.
- Méndez-Arguello, B., V., 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 annum* por nanoparticulas de Oxido de Zinc. Nova Scientia. 8: 140-156.
- Mohammad Faizan., Shamsul Hayat. (2019).** Effect of Foliar Spray Of ZnO-NPs on the Physiological Parameters and Antioxidants Systems of *Lycopersicon esculentum*. Polish Journal Of Natural Sciences. Vol 34(1): 85-105.
- Mondares H. M., Escalona C. V., Alvarado V. P., Urbina. Z. C., Martin B. A., (2009).** Manual del Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Innovación Chile. Facultad de CS. Agronómicas, Universidad de Chile. Manual Técnico. 60 p.
- Nuez, F. y R. del Rincón. 2001.** El cultivo de tomate. (Ed). Mundi-prensa 194p.
- Peng, C., Duan, D., Chen., Y., Sun, L., Zhang, H., Yuan, X., Zheng, L., Yang, Y Yang, J., Zhen, X., Chen, Y., Shi, J. (2015).** Translocation and biotransformation of CuO nanoparticles in rice (*Oryza sativa L.*) plants. Environmental Pollution. 197: 99-107 p.

- Reséndiz, M., R. 2019.** Evaluación de Nanopartículas de Óxido de Hierro en un Cultivo Hidropónico de Rosa (*Rosa hybrida L.*) en invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 16-20 p.
- Soltanpour, P. N., Johnson, G. W., Workman, S. M., Jones, J. B. Jr. and Miller, R. O. 1996.** Inductively coupled plasma emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. In: Sparks, D. L. (Ed.). 42 Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI. 91-139 pp.
- Soto, B, M., (2015).** Evaluación del efecto de nanopartículas de óxidos de hierro y un elicitador sobre el crecimiento en plantas de *Solanum lycopersicum L. cv. Micro-Tom*. Memoria de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico de Colima. Colima, México. 44p.
- SYNGENTA. 2020.** SYNGENTA, Mexico. <https://www.syngenta.com.mx/clermon> (28 de noviembre del 2020).
- Tejada, E. S., (2015).** Efecto del Calcio y Potasio en las Respuestas al Estrés por Boro, Alcalinidad y Salinidad en el Crecimiento Vegetativo del Tomate (*Solanum lycopersicum*) en Cultivo Hidropónico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 73p.
- Telizhenko, V., & Gorobets, S.** FRUIT YIELD OF TOMATO (*Solanum lycopersicum L.*) GROWN UNDER DIFFERENT MAGNETITE CONCENTRATIONS. БІОТЕХНОЛОГІЯ XXI СТОЛІТТЯ, 137.
- Thomas Eichert., Andreas Kurtz., Ulrike Steiner., Heiner E Goldbach. 2008.** Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum*: 134: 151-160.
- Valadez López, A. 1998.** producción de hortalizas. Editorial Limusa S.A de C.V. México, D.F.
- Velázquez M., (2017).** Guías Técnicas para el Cultivo de Hortalizas Pepino, Tomate y Chile. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. El Salvador. 47p.
- Velázquez, M. A. 2014.** Observatorio de Precios Tomate Rojo (Jitomate), comentario 28 de noviembre 2020, Pp7.
- Wide. J. C., Wade H. E., 2016.** The use of metallic oxide nanoparticles to enhance growth of tomatoes and eggplants in disease infested soil or soilless medium. *Environmental Science: Nano* 1-7 p.
- Zayago-Lau, E y Foladori, G. (2010).** La nanotecnología en Mexico: un desarrollo incierto. *Econ. Soc. Territ.* 10:143-178.