

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Evaluación de Nanopartículas de Óxido de Hierro en un Cultivo Hidropónico de Rosa (*Rosa hybrida* L.) en Invernadero

Por:

REMEDIOS RESÉNDIZ MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Evaluación de Nanopartículas de Óxido de Hierro en un Cultivo Hidropónico de
Rosa (Rosa hybrida L.) en Invernadero.

Por:

REMEDIOS RESÉNDIZ MARTÍNEZ

TESIS

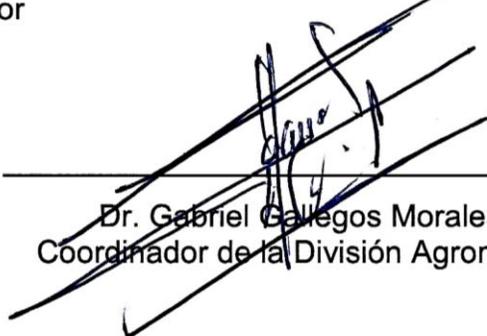
Presentada como requisito principal para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Asesor Principal


Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Coasesor
Dr. Pedro Pérez Rodríguez
Coasesor
Dr. Gabriel Callegos Morales
Coordinador de la División Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por brindarme conocimiento ético y vital que me hizo formar mis valores como ser humano, y que a través de mi estancia dentro de mi alma mater me permitió conocer muchas personas con las cuales forme grandes lazos de amistad.

También quiero recalcar que gracias a ti mi *alma mater* logré uno de mis más grandes sueños, que a través de tu programa de movilidad estudiantil pude conocer Europa.

Un sinfín de cosas que me brindaste mi alma mater y que ahora con mucho orgullo puedo decir soy buitre de la narro.

A MIS MAESTROS

Que formaron parte de mi vida académica y que siempre tuvieron esa disponibilidad de brindarme lo mejor de ellos.

A MIS ASESORES DE TESIS

Dra. Daniela Alvarado Camarillo, Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, Dr. Pedro Pérez Rodríguez, Silvia Yudith Martínez Amador, por darme la oportunidad de llevar a cabo el proyecto el cual me permitió recibirme como un profesionalista.

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme salud y fortaleza en el trayecto de mi vida, que he encontrado en él un refugio cuando las adversidades de la vida me han puesto a prueba.

Por brindarles salud a todos mis familiares y amigos, que son fundamentales en la formación ética y como ser humano, porque cada una de ellas ha sembrado en mí algún valor importante.

A MIS PADRES

J. Saúl Reséndiz y Eufrosina Martínez por darme la vida y sobre todo más importante enseñarme a vivirla de una manera decente, demostrando siempre respeto y humildad hacia los demás, también por brindarme tan grandiosa oportunidad de formarme con un profesionalista y que valoro mucho el gran esfuerzo que hicieron como padres para lograr esto. No se tiene nombre cuando no hay un padre y todo ese orgullo me lo diste a mí, tu mi ejemplo de vida J. Saul Reséndiz que por razones de la vida no pudiste verme logrado como un profesionalista, pero de donde estas me sigues apoyando y guiando día a día mis pasos que doy.

A MIS HERMANOS

A todos mis hermanos que siempre están al pendiente de mí y dispuestos a apoyarme en todo, pero en especial a dos de ellos.

Yadira Reséndiz, porque tú eres como mi segunda madre, que siempre has dado lo mejor de ti para que yo salga adelante, porque desde que tengo memoria me has brindado mucho cariño y mucho apoyo para lograr mis sueños.

Romeo Reséndiz, por enseñarme lecciones de vida y que me has enseñado a trabajar arduamente y aprovechar siempre las oportunidades que se presentan de la mejor manera, y como siempre dices nunca dar paso sin huarache y siempre como los venados nunca bajar al agua, sin ventear el peligro.

A MIS TIOS Y PRIMOS

A mi tío Isauro Reséndiz que me ha apoyado en toda mi trayectoria de vida formación académica dándome consejos y buenas lecciones de vida.

A mi primo Víctor Hugo Reséndiz que me motivo a formarme como un profesionalista en esta maravillosa universidad.

A mis primos Alan Reséndiz y Sergio Jalil Reséndiz que son mis compañeros de vida, que siempre sé que cuento con su máximo apoyo.

A MI MADRE

Eufrosina Martínez, que desde pequeño me has brindado tu apoyo, que incontables noches pasaste en vela cuidándome cuando me enfermaba, que siempre me tuviste el desayuno preparado para antes de partir a la escuela y que nunca te importo cuanto tenías que madrugar para hacer eso y que al regreso me recibías con una sonrisa tan bonita y con un plato de comida en la mesa.

Tu bella mujer que siempre has brindado tu apoyo incondicional y más que mi madre mi amiga, que siempre encuentro en ti la confianza para contarte mis problemas, tú que siempre encuentras la manera de sacarme una sonrisa y darme la fuerza de seguir adelante y esforzarme siempre.

Yo tu hijo el más pequeño, el que te hizo derramar lágrimas cuando me cargaste en tu vientre, el que te hizo derramar lágrimas cuando me salí de casa en busca de un sueño, ahora que estoy por cumplirlo quiero que te sientas orgullosa de mi como yo de ti mamá, que este logro es para ti.

A MIS AMIGOS

Jaqueline Alcázar, Leticia Castillo, Carlos Díaz, Kenya Evelin Aguilar, Abraham Zarazúa, por tantos momentos que compartimos como amigos de clase y amigos de fiestas, que en ambas partes siempre brindaron mucha alegría en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | 1 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 3 |
| RESUMEN | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 5 |
| Objetivo general | 7 |
| Objetivos específicos | 7 |
| Hipótesis | 7 |
| CAPÍTULO 1 | 8 |
| REVISIÓN DE LITERATURA..... | 8 |
| 1.1 Origen, historia y domesticación de la rosa..... | 8 |
| 1.2 Variedad Freedom | 8 |
| 1.3 Porta injerto Natal Brier | 9 |
| 1.4 Clasificación taxonómica..... | 9 |
| 1.5 Características botánicas | 10 |
| 1.5.1 Raíz..... | 10 |
| 1.5.2 Tallo | 11 |
| 1.5.3 Hojas..... | 11 |
| 1.5.4 Flores | 11 |

| | |
|---|----|
| 1.5.5 Frutos..... | 12 |
| 1.5.6 Semillas..... | 12 |
| 1.5.7 Estacas | 12 |
| 1.6 Condiciones climáticas y edáficas..... | 13 |
| 1.6.1 Temperatura..... | 13 |
| 1.6.2 Iluminación | 13 |
| 1.6.3 Humedad..... | 13 |
| 1.6.4 Suelo..... | 14 |
| 1.7 La nanotecnología en la agricultura | 14 |
| 1.8 Modo de absorción y translocación de las nanopartículas | 16 |
| 1.9 Nanopartículas de Fe ₃ O ₄ (magnetita)..... | 18 |
| 1.9.1 Síntesis de nanopartículas de Fe ₃ O ₄ | 19 |
| 1.9.2 Síntesis de nanopartículas por coprecipitación | 19 |
| 1.9.3 Síntesis de nanopartículas por descomposición térmica..... | 20 |
| CAPÍTULO 2. | 20 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| 2.1 Ubicación | 20 |
| 2.2 Nanopartículas de magnetita (Fe ₃ O ₄) | 21 |
| 2.3 Material experimental vegetal | 21 |
| 2.3 Instalación, preparación y manejo del sistema hidropónico cerrado | 22 |

| | |
|---|----|
| 2.4 Manejo del experimento | 23 |
| 2.5 Caracterización del material vegetativo por microscopía electrónica de barrido (SEM)..... | 24 |
| 2.6 Análisis de datos | 24 |
| CAPÍTULO 3..... | 25 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 25 |
| CONCLUSIÓN | 33 |
| LITERATURA CITADA..... | 34 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Aplicaciones potenciales de la nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo la fabricación de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas | 15 |
| Figura 2.- Efecto fisiológico de NP aplicadas al follaje | 17 |
| Figura 3.- Trasplante de rosas en contenedores a tresbolillo..... | 22 |
| Figura 4.- Conformación de planta: zona de reservas (ZR), zona de hojas activas (ZHA) y zona de corte (ZC) | 23 |
| Figura 5.- Cultivo de rosa 120 días después del trasplante..... | 24 |
| Figura 6.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en la longitud de raíz de plantas de rosal..... | 26 |
| Figura 7.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en la longitud del tallo de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte. | 27 |
| Figura 8.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el diámetro del tallo de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte. | 28 |
| Figura 9.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso fresco de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte. | 29 |
| Figura 10.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso fresco total de plantas de rosal..... | 29 |

Figura 11.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso seco de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte. 30

Figura 12.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso seco total de plantas de rosal. 30

Figura 13.- Microscopias electrónicas de barrido (SEM) de la raíz del cultivo de rosa (T0 – Control, T2 – 100 ppm NP Fe_3O_4)..... 32

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Concentraciones usadas de magnetita | 22 |
|--|----|

RESUMEN

Debido a que México cuenta con un clima favorable para el desarrollo del cultivo de rosa además de la cercanía a mercados internacionales, es necesario desarrollar un sistema de producción óptimo para la obtención de flor de corte apta para su comercialización en el mercado nacional e internacional. A consecuencia de que actualmente existe un incremento en el uso excesivo de fertilizantes se ha buscado la manera de hacer una aplicación que implique un menor gasto de sales minerales, por lo que en este trabajo se plantea una nueva técnica de aplicación de hierro, un micronutriente esencial para el desarrollo de la planta, en forma de nanopartícula de Fe_3O_4 bajo condiciones de agricultura protegida. El experimento se desarrolló en contenedores de plástico, tanto para el almacenamiento de la solución nutritiva como para el sustrato (perlita), usando un sistema hidropónico de recirculación, manteniendo el pH y la conductividad en un rango de 5.5 ± 0.1 y 1.5 ± 0.1 , respectivamente. En base a lo obtenido, se pudo determinar la concentración óptima de este material en el cultivo de rosa siendo de 250 mg L^{-1} . En general, se observó que al utilizar nanopartículas de Fe_3O_4 como nano-fertilizante se lograron incrementar de forma significativa las variables fisiológicas (longitud de raíz, longitud de tallo, diámetro de tallo, peso seco, peso fresco) estudiadas en el cultivo de rosa.

Palabras clave: nanopartículas, ornamentales, invernadero, magnetita, *Rosa* sp.

INTRODUCCIÓN

Un problema muy común, pero de fuerte impacto al ambiente y al costo de producción de rosa en México, es que los productores no cuentan con un programa de fertilización basado en la demanda real del cultivo durante todo su ciclo de crecimiento (Quesada-Roldán y Bertsh-Hernández, 2013).

En la actualidad, en los países avanzados tecnológicamente, los sistemas de producción de rosas se llevan a cabo en invernaderos y cultivos sin suelo, pero hasta la fecha, en nuestro país esta tecnología está enfocada principalmente a la producción de hortalizas y no a la flor de corte. Por esta razón, la integración de esta tecnología le permitirá a la floricultura incrementar la producción de flores de corte equiparables a las hortalizas para los mercados de exportación (Barrera-Aguilar *et al.*, 2012).

Se considera a la agronotecnología como un conocimiento emergente que procura encontrar sistemas ambientalmente sustentables para mejorar la eficiencia y sustentabilidad de las prácticas agrícolas modernas (Ditta *et al.*, 2015; Grillo, *et al.*, 2016), incluyendo el control de plagas y enfermedades ante el ataque hacia los cultivos (Patel *et al.*, 2014). 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 (Servin *et al.*, 2015). Esta novedosa tecnología consiste en manipular nanopartículas (NP) 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 (Lira Saldívar y Méndez Arguello, 2016).

Diversos autores han desarrollado investigaciones con varios tipos de NPs, entre ellas las de hierro, demostrando un efecto positivo en el crecimiento de cereales y hortalizas en diversas etapas vegetativas. También se ha observado que con una concentración adecuada de NP de magnetita incrementan los niveles de clorofila "a", el cual es un pigmento esencial para la fotosíntesis y la síntesis de ácidos nucleicos. Sumando a esto, también se ha detectado un aumento en las enzimas que moderan el estrés oxidativo, reduciendo la concentración de las especies reactivas de oxígeno. Por lo anterior, se dice que las NPs de hierro como las de magnetita, pueden ser consideradas una buena fuente de hierro (Nicolaza, 2012).

Objetivo general

Evaluar la respuesta de plantas de rosal a la aplicación de nanopartículas de Fe_3O_4 en la solución nutritiva.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de diferentes dosis de nanopartículas de Fe_3O_4 en el crecimiento de plantas de rosal.
2. Determinar el efecto de diferentes dosis de nanopartículas de Fe_3O_4 en la acumulación de biomasa en plantas de rosal.
3. Determinar si existe acumulación de nanopartículas de Fe_3O_4 en las raíces de plantas de rosal.

Hipótesis

La aplicación de nanopartículas de Fe_3O_4 en la solución nutritiva incrementará el crecimiento y biomasa en plantas de rosa (*Rosa* sp.) desarrollada en condiciones de hidroponía.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Origen, historia y domesticación de la rosa

El origen de la rosa no está definido con exactitud, se tienen registros de que existió en China, África y Estados Unidos alrededor de hace 30 millones de años; se tiene un mejor conocimiento de la rosa moderna. En la historia de la rosa se data que las variedades definidas llegaron de China a Europa en barcos que trasportaban té. En Europa estas variedades se cruzaron con las nativas europeas, dando origen a una gran variedad de rosas. A principios del siglo XVIII se comenzaron a realizar cruces entre los híbridos de China y Europa los cuales se caracterizaron por tener botón grande y tallos largos (Palacios, 2017).

El famoso cultivar American Beauty fue introducido alrededor de 1880 y por años permaneció como una de las flores cortadas más populares, de floración forzada (Larson, 1988).

Sin embargo, el gran avance en la producción comercial de rosas tiene lugar en Estados Unidos, por los años treinta, gracias a la tecnificación del cultivo y la promulgación de una ley en el año de 1932 que protegía a los obtentores de rosas (Bañon *et al.*, 1993).

1.2 Variedad Freedom

Las rosas de variedad Freedom, son de gran interés en los mercados internacionales por sus sobresalientes características. Presenta una flor de color rojo intenso, botón grande, tallos rectos, posee un follaje frondoso de coloración

verde intenso por lo cual la planta se tiene un desarrollo robusto y resistente a enfermedades, especialmente al mildéu vellosa (*Perenospora sparsa*). Tiene una vida de florero que está dentro de un rango de 14 días, su transporte puede ser en seco o en hidratación de las dos maneras se conserva en condiciones favorables. Presenta una productividad muy buena, por todo lo cual ha tenido un gran éxito en el mercado norteamericano y ruso (Rosen Tantau, 2005).

1.3 Porta injerto Natal Brier

Es un patrón muy vigoroso en comparación con Canina y Manetti, especialmente porque induce una producción más alta de flores con colores fuertes que la mayoría de las otras variedades de estacas, pero tiene una desventaja ya que no es compatible con todas las variedades. Hay informes de que después de dos o tres años baja su vigor considerablemente. En Japón la variedad de porta injerto más usada es la multiflora, pero es muy susceptible a *Agrobacterium Tumefaciens* y es portadora de una gran cantidad de virus, pero tiene una mejor resistencia frente a la mayoría de las enfermedades del rosal (Ferrer y Salvador, 1986).

1.4 Clasificación taxonómica

Las rosas pertenecen a la familia de las Rosaceas. Dentro de la especie se distinguen las variedades o cultivares. La palabra cultivar proviene del inglés y se usa como contracción de la frase variedad cultivada y designa un solo grupo de plantas propagables. El nombre de la variedad o cultivar lo suele seleccionar el dueño de la variedad (López, 2008).

Fainstein, en el 2000, asigna la siguiente clasificación a la planta de rosal.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Arquiclamídeas

Orden: Rosales

Familia: Rosáceas

Género: Rosa

Especie: sp

1.5 Características botánicas

El rosal es una planta arbustiva, de porte abierto, con ramas leñosas y normalmente espinosas, la rosa se cultiva desde hace muchos años, si además consideramos la gran facilidad de la planta para generar hibridaciones, se entiende que los tipos cultivados de hoy día difieran bastante del rosal silvestre (Bañon *et al.*, 1993).

Al ser el rosal una planta leñosa y caduca, en invierno vive de sus propias reservas un tiempo, lo que nos da una idea de la capacidad de respuesta de la a sus condiciones de cultivo (Bañon *et al.*, 1993).

1.5.1 Raíz

Es una planta que cuenta con una raíz vigorosa, pivotante y profunda. Cuando las plantas proceden de estacas pierden esta cualidad, ya que en estacas el sistema radical se induce y se vuelve relativamente pequeño (aproximadamente entre el 5-10 % del peso total), debido a esto el rendimiento disminuye y al paso de unos dos años se ve afectada de una manera muy significativa la calidad de la flor de corte.

Cuando las plantas son injertadas, poseen su sistema radical bien desarrollado permitiendo mantener una buena producción y además de buena calidad (Vidalie, 1992).

1.5.2 Tallo

Las plantas de rosal presentan lignificación en el tallo y un crecimiento erecto, con tonalidad verde o tintes ligeramente rojizos o marrón en su estado juvenil, este varia de pardo a grisáceo a medida que la planta se va envejeciendo, presenta espinas más o menos desarrolladas de formas variadas y existen algunas variedades que tienen poca presencia de ellas. El tallo de la rosa es leñoso y termina siempre en una flor, si es que este no llegara a presentar un aborto. (Weyler y Kusery, 2001).

1.5.3 Hojas

La hoja típica de los rosales tiene una superficie lisa y está compuesta de cinco o siete foliolos, generalmente presentan un color verde oscuro, algunas son brillantes como si recientemente se hubiera tratado con aceite; pero otras al contrario, son totalmente mates, con el borde dentado y algunas veces con estipulas. No todas las hojas tienen cinco o siete foliolos y algunas tienen un follaje denso, muy atractivo, compuesto de numerosos folíolos pequeños (Boffelli, 1995).

1.5.4 Flores

En este caso, presenta flores completas con cinco pétalos y perigonios, es decir, con los bordes del cálamo más o menos a la altura del gineceo, lo que le confiere formas de tasa o copa, y lleva inserto en lo alto de los sépalos, pétalos y estambres (Weyler y Kusery, 2001).

1.5.5 Frutos

Los frutos tienen un receptáculo carnoso, en forma de peonza hueca que rodea muchos carpelos monospermos situados en su pared interna (Bañon *et al.*, 1993).

1.5.6 Semillas

Las semillas tienen un proceso de germinación retardado por el efecto de la cubierta dura que esta presenta. Al paso de un tiempo después de la madurez, las semillas estarán listas para germinar. Las semillas son retiradas y colocadas en un semillero con sustrato húmedo, se incuban a 4 °C por al menos 3 o 4 semanas hasta que exista una germinación de aproximadamente el 5% (Larson, 1988).

Los genetistas de rosa usan a propagación de semillas para el desarrollo de nuevas variedades. Se sabe que el método más importante y el más utilizado es el injerto de yema para la producción de nuevas plantas para flor de corte de invernadero (Larson, 1988).

1.5.7 Estacas

Por la variedad genética que existe en la planta, no todas las variedades crecen tan vigorosamente como lo hacen si se injertan sus yemas en otros patrones. Las estacas son seleccionadas de vástagos a los que se les ha permitido un desarrollo completo de flor. Las estacas que sobresalen son las de tres yemas, siendo estas más largas y con tejido nodal en la en la base (Larson, 1988).

1.6 Condiciones climáticas y edáficas

1.6.1 Temperatura

Un factor clave muy influyente en la velocidad con la que el botón se desarrolla se ve propiciado por la temperatura, debido a esto, el promedio de la temperatura tendrá un efecto significativo. Durante la iniciación floral, la temperatura influye poco, aunque presenta un efecto negativo sobre los sépalos que hace que se reduzca la cantidad incrementando el porcentaje de la malformación de flores (Hoog, 2001).

1.6.2 Iluminación

Respecto al periodo de floración, el rosal no ha mostrado un fotoperiodo determinado en este sentido, por lo que puede producirse rosa todo el año sin la necesidad de variar artificialmente la duración del día o la noche, sin embargo, presenta una calidad de flor un poco más baja cuando se presenta en zonas de bajo nivel de iluminación, el color de la flor es menos brillante, la vegetación más dificultosa y las posibilidades de desarrollo fúngico mayores (Bañon *et al.*, 1993).

1.6.3 Humedad

Es un factor que estimula el crecimiento de yemas y brotes, de modo que es aconsejable que la humedad se mantenga en un 80-90%. Si esta llegara a sufrir un desplome por debajo del 60% puede generar malformaciones fisiológicas en determinadas variedades, como podría ser: deformación de botones, hojas pequeñas o una caída total de hojas. Por otro lado, una elevada humedad relativa tiene por consecuencia el desarrollo de enfermedades. Los valores óptimos son de 70 a 75% (Bañon *et al.*, 1993).

1.6.4 Suelo

El cultivo de rosas regularmente tiende a estar activo en los suelos por el periodo de seis o siete años, por lo tanto, el suelo debe poseer buena permeabilidad y un buen aireado para que las raíces de las rosas puedan expandirse con facilidad y de esta manera también habrá un buen drenaje ayudando a que se realice una buena infiltración en el sustrato y se evite los excesos de sales (Vidalie, 2001).

1.7 La nanotecnología en la agricultura

La nanotecnología se ha ido implementando como una nueva área de investigación y desarrollo (Figura 1), la cual diversos autores han llegado a describir como el diseño, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas, mediante el control del tamaño y la estructura de materiales a escala atómica y molecular confeccionándolas con dimensiones menores a los 100 nm, donde el mayor interés se enfoca en el estudio de las propiedades químicas y físicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala (FAO 2008).

La agronanotecnología, la cual se puede definir como la ciencia de manipular NPs y nanoelementos para producir insumos agrícolas, destacando principalmente en la fabricación de nanocensores, nanoplaguicidas, nanofertilizantes y nanohervicidas, 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).

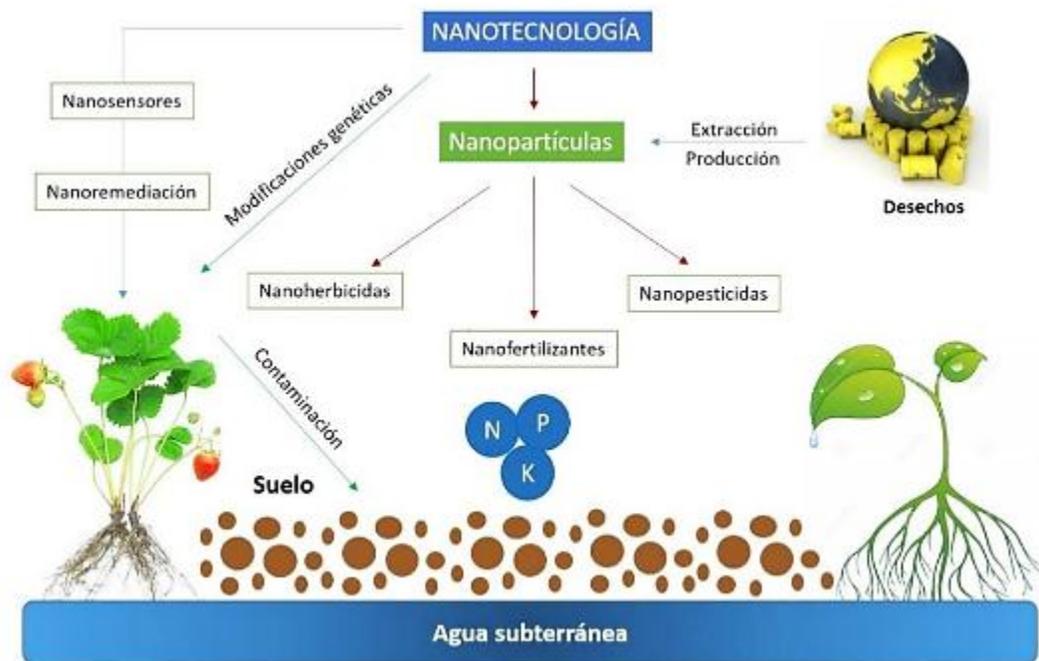


Figura 1.- Aplicaciones potenciales de la nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo la fabricación de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas (Fraceto *et al.*, 2016)

Respecto de la agronanotecnología, los avances de investigación señalan que nanopartículas 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-Argüello, 2016).

1.8 Modo de absorción y translocación de las nanopartículas

Cuando las NP son aplicadas al follaje se absorben a través de los 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 del 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 NP y que la efectividad de su entrada y transporte está determinado 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 NP 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 nanofertilizante 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 NP de ZnO durante 15 días en

plantas de garbanzo (*Cicer arietinum*), lo cual promovió una mayor altura y biomasa seca (Burman *et al.*, 2013).

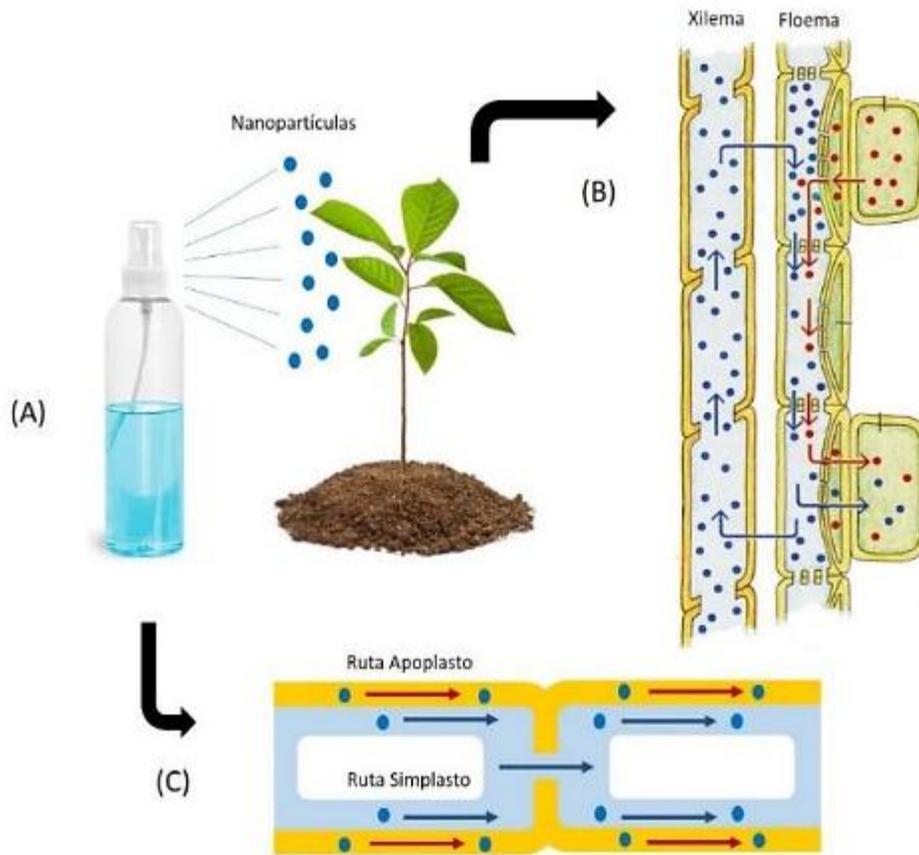


Figura 2.- Efecto fisiológico de NP aplicadas al follaje.

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

Cuando son absorbidas a través de los estomas se translocan 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 conductivo del xilema (Peng *et al.*, 2015)

Otras NP como las de TiO₂ aplicadas al follaje, muestran un incremento en la actividad de varias enzimas y promueven la absorción del nitrato, el cual acelera la

transformación del nitrógeno inorgánico a orgánico haciéndolo más asimilable, reflejándose esto en mayor crecimiento vegetal (Capaldi *et al.*, 2015).

1.9 Nanopartículas de Fe₃O₄ (magnetita)

Las nanopartículas magnéticas han tenido un gran potencial de aplicaciones en óptica, magnetismo, catálisis, biomedicina, ambiental y bioquímica. Estas partículas tienen la capacidad de combinar las propiedades inherentes de distintos materiales generando múltiples propiedades y aplicaciones. Los óxidos de hierro del tipo magnetita (Fe₃O₄) forman fluidos magnéticos característicos que presentan un gran cantidad de aplicaciones, entre las más importantes se encuentra la liberación controlada de fármacos (Lloret *et al.*, 2007).

Una ventaja que presenta el utilizar este tipo de nanopartículas, es que se le atribuye a que el hierro es un microelemento esencial para el desarrollo de la mayoría de seres vivos, tiene participación en diferentes funciones biológicas como lo es el transporte de electrones, fijación de nitrógeno, síntesis de ADN y en varias reacciones de la fotosíntesis. Por otro lado, tiene también participación en las reacciones tipo redox de muchas enzimas (catalasas, peroxidasas y oxigenasas) y proteínas (hemoglobina, mioglobina y la transferrina). Además de todo lo anterior, el hierro es un co-factor de muchas enzimas involucradas en la síntesis de distintas hormonas de plantas, por esta razón las hace versátiles para su posible aplicación en la agricultura (Manzer *et al.*, 2008).

1.9.1 Síntesis de nanopartículas de Fe₃O₄

El estudio de las propiedades magnéticas de la magnetita, ha demostrado su estabilidad química, representando una ventaja al utilizar este tipo de partículas, en comparación con las nanopartículas de hierro comúnmente usadas. La magnetita como medio magnético es un cerámico ferrimagnético que presenta baja coercitividad, es decir, es un material suave magnéticamente (Robert *et al.*, 2000).

Por la relevancia en tecnología de materiales magnéticos, los óxidos de hierro, su preparación y propiedades han sido puestos a diferentes estudios utilizando distintas técnicas de síntesis, como lo es; descomposición térmica y coprecipitación (García *et al.*, 2003).

1.9.2 Síntesis de nanopartículas por coprecipitación

Este método consiste en precipitar simultáneamente al menos dos sales de compuestos metálicos (nitratos, sulfatos, etc) en una solución acuosa, la cual luego se precipita usando un agente de pH básico, conocido como reactivo precipitante. Esta estrategia de síntesis de nanopartículas permite preparar grandes cantidades de material, de manera sencilla, económica y con rendimientos muy altos. Otra de las ventajas de este método de síntesis radica en que la superficie de las nanopartículas queda químicamente activa, lo que posibilita su posterior funcionalización con diferentes moléculas. Sin embargo, tiene como principal contraparte que el control de la distribución de tamaños y formas no es del todo preciso. Esta ruta de síntesis ha sido ampliamente usada para la síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro (Wang *et al.*, 2004).

1.9.3 Síntesis de nanopartículas por descomposición térmica.

A diferencia de las nanopartículas producidas por el método de coprecipitación, las nanopartículas obtenidas por descomposición térmica son, en principio, hidrofóbicas, lo cual introduce un desafío extra si se plantea su uso en una aplicación de tipo biomédico. Este método se fundamenta en el mecanismo propuesto por LaMer y Dinegar, en donde un precursor, generalmente orgánico, se descompone a temperaturas que oscilan entre los 200 °C y 400 °C (dependiendo del material a sintetizar). Este método, consta de etapa de nucleación a partir de una solución sobresaturada, que es seguida por una etapa de lento crecimiento de partículas. Este método provee una excelente separación de las fases de nucleación y crecimiento.

CAPÍTULO 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación

El experimento se estableció en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas geográficas de 25°21'24" Latitud Norte y

101°2'5" Longitud Oeste, a una altitud de 1761 msnm. La temperatura mínima y máxima promedio que se registró durante el estudio fue de 9.3 y 24.3 °C, respectivamente. La humedad relativa osciló entre 14.5% y 90.4%. La radiación fotosintéticamente activa incidente durante el periodo de mayor insolación (12:00 a 14:00 h) fue en promedio de 558 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2.2 Nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4)

El material experimental fue proporcionado por el CINVESTAV unidad Saltillo, contando con las siguientes características: se recibió seco, con un tamaño de partícula < 10 nm y funcionalizado con citrato de sodio para estabilizar las partículas y evitar la formación de aglomerados.

2.3 Material experimental vegetal

El estudio se realizó en plantas de rosal (*Rosa sp.*) cv Freedom injertada sobre Natal Brier de 2 años de edad. La rosa se trasplantó en sustrato de perlita (previamente cribada para homogenizar el tamaño de la partícula) en contenedores de plástico rígido con dimensiones de 30 x 48 x 20 cm. Los contenedores fueron ubicados en una superficie elevada de manera que pudiera colocarse el sistema de riego de recirculación, contando con 5 contenedores todos con solución Steiner al 80% como base (4 de ellas con NP a diferente concentración y un testigo), cada contenedor de solución abastecía a 2 contenedores con 4 plantas cada uno, las plantas de rosal fueron plantadas a tresbolillo (Figura 3).



Figura 3.- Trasplante de rosas en contenedores a tresbolillo.

2.3 Instalación, preparación y manejo del sistema hidropónico cerrado

Se usaron cinco tratamientos, cuatro con distinta concentración de NP de Fe_3O_4 y un testigo con la formulación Steiner (1984) para la nutrición de las plantas (Tabla 1), todas las soluciones fueron elaboradas con agua potable considerando la composición química de la misma. El pH de la solución fue ajustado a 5.5 ± 0.1 con H_2SO_4 y la conductividad eléctrica (CE) fue de 2.0 dS m^{-1} , mismos que se ajustaban diariamente para mantenerlos uniformes. La solución nutritiva se aplicó mediante un sistema de riego automatizado a través de goteros de 4 L h^{-1} y 4 piquetas en cada contenedor. Los riegos se aplicaron durante 15 min en intervalos de 45 min entre las 7:00 y 19:00 h.

Tabla 1 Concentraciones usadas de magnetita.

| Testigo | Tratamiento 1 | Tratamiento 2 | Tratamiento 3 | Tratamiento 4 |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|

| | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Solución | Solución | Solución | Solución | Solución |
| Steiner al 80 % | Steiner al 80 % | Steiner al 80 % | Steiner al 80 % | Steiner al 80 % |
| | + 50 ppm de | + 100 ppm de | + 250 ppm de | + 500 ppm de |
| | Fe ₃ O ₄ |

2.4 Manejo del experimento

Se trabajó con plantas de 2 años de edad. Estas plantas se podaron a una altura de 50 cm aproximadamente dando lugar a la zona de reservas (ZR).

En la hoja pentafoliada de la ZR brotó la yema que dará lugar al siguiente piso que es la zona de hojas activas (ZHA) en donde se trabajó para generar la flor de corte

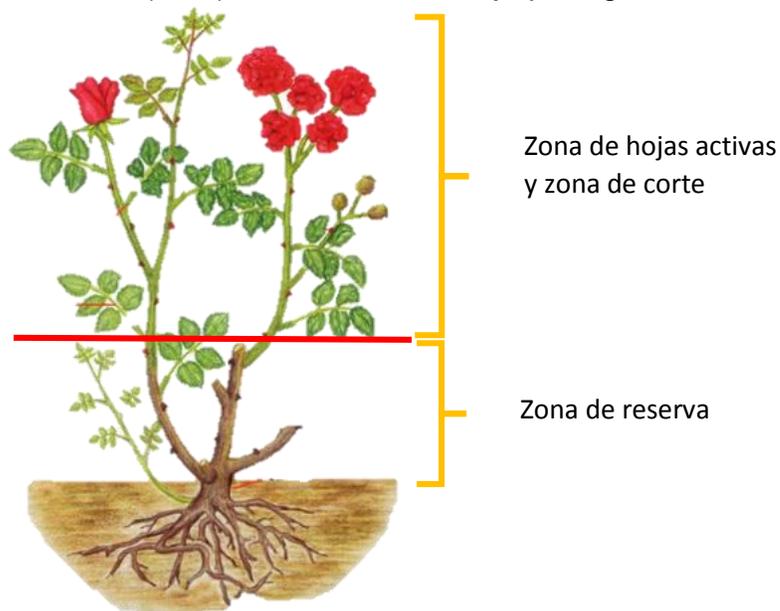


Figura 4.- Conformación de planta: zona de reservas (ZR), zona de hojas activas (ZHA) y zona de corte (ZC). Imagen extraída de <http://jardineriamuerdago.blogspot.com/2012/01/la-poda-de-los-rosales.html>

a evaluar (Figura 4). Finalmente, el material vegetativo fue colectado 120 días después del trasplante (Figura 5) para determinar los parámetros agronómicos

(peso fresco, peso seco, diámetro y longitud del tallo) que demuestren la presencia o ausencia de diferencia significativa entre los tratamientos aplicados (efecto en la biomasa).



Figura 5.- Cultivo de rosa 120 días después del trasplante.

2.5 Caracterización del material vegetativo por microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se analizaron muestras de raíz, tallo y hoja, mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para determinar la presencia (o ausencia) de nanopartículas de magnetita realizando cortes transversales a los tejidos vegetales y refrigerando hasta su análisis bajo vacío.

2.6 Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de regresión con EXCEL.

CAPÍTULO 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el análisis de los parámetros agronómicos como son la longitud de raíz, longitud y diámetro de tallo, peso fresco y seco del cultivo de rosa desarrollado en condiciones de agricultura protegida, teniendo en cuenta que se aplicó la NP de magnetita en distintas concentraciones (0 – 500 mg L⁻¹) como tratamiento en la solución nutritiva (Tabla 1).

En base a los resultados se puede notar que la aplicación de Fe_3O_4 favorecen al cultivo incrementando todos los parámetros evaluados, logrando un efecto más notorio en la longitud de la raíz de las plantas de rosa (34 cm más larga que en el testigo) y con menor proporción (pero aun con efecto significativo) en el resto de las variables (Figura 6).

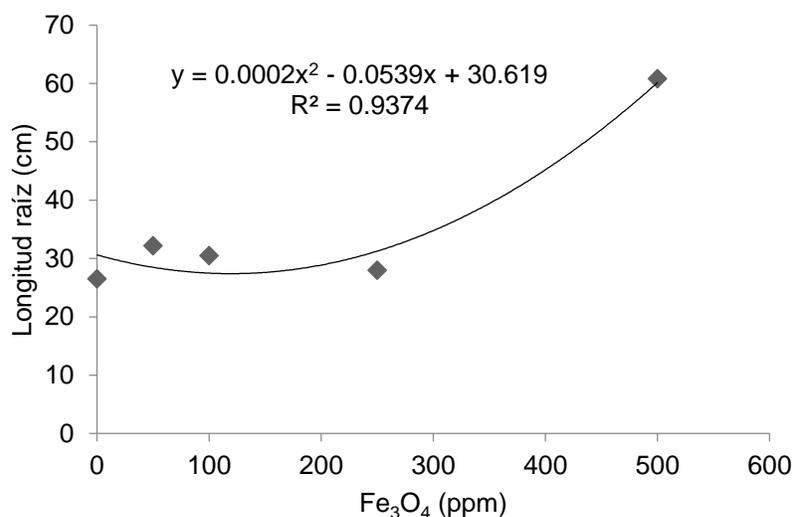


Figura 6.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en la longitud de raíz de plantas de rosal.

El tratamiento con una concentración de 250 mg L^{-1} , tuvo un efecto muy positivo, dicha concentración le permitió a la planta tener una mayor absorción del hierro elemental que libera la nanopartícula (Figura 7), teniendo en cuenta que una concentración adecuada de magnetita incrementa los niveles de la clorofila "a" uno de los principales pigmentos de la fotosíntesis.

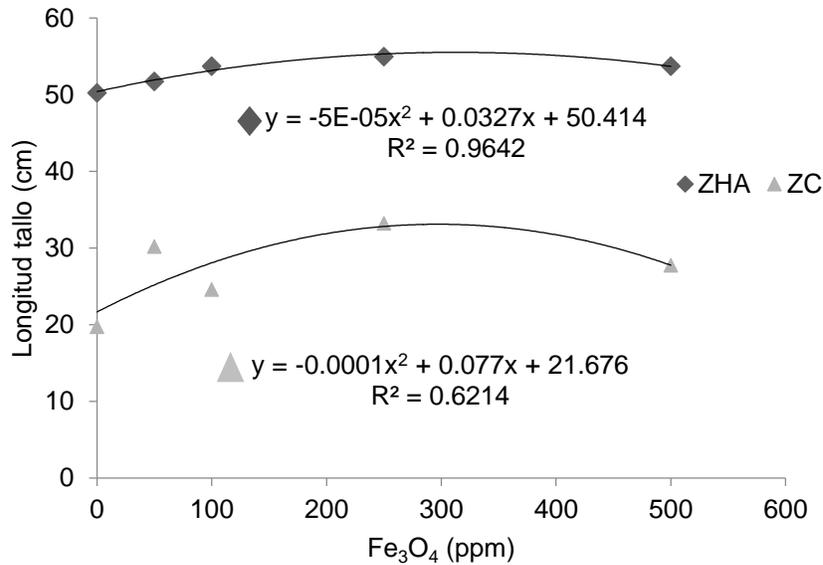


Figura 7.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en la longitud del tallo de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte.

Así mismo, el incremento en el rendimiento se pudo deber a que la síntesis de la enzima catalasa está sujeta a la disponibilidad de hierro elemental, por lo que a dicha concentración se deduce que está más disponible este elemento para la planta. La enzima catalasa está implicada en la descomposición del peróxido de hidrogeno, dicho compuesto es considerado una molécula señal y regulador de expresión de algunos genes en las células, su acumulación en la planta, activa factores de transcripción encargados de regular diferentes procesos fisiológicos, inhibe el crecimiento y desarrollo vegetal, aparte estimula defensas contra estrés biótico y abiótico (Yu *et al.*, 2002). Dicho elemento, el cual exhibe un comportamiento superparamagnético que podría tener una influencia sobre las estructuras enzimáticas implicadas en las diferentes etapas de las reacciones de la

fotosíntesis, lo cual puede explicar el efecto positivo en las variables estudiadas (Nicolaza, 2012).

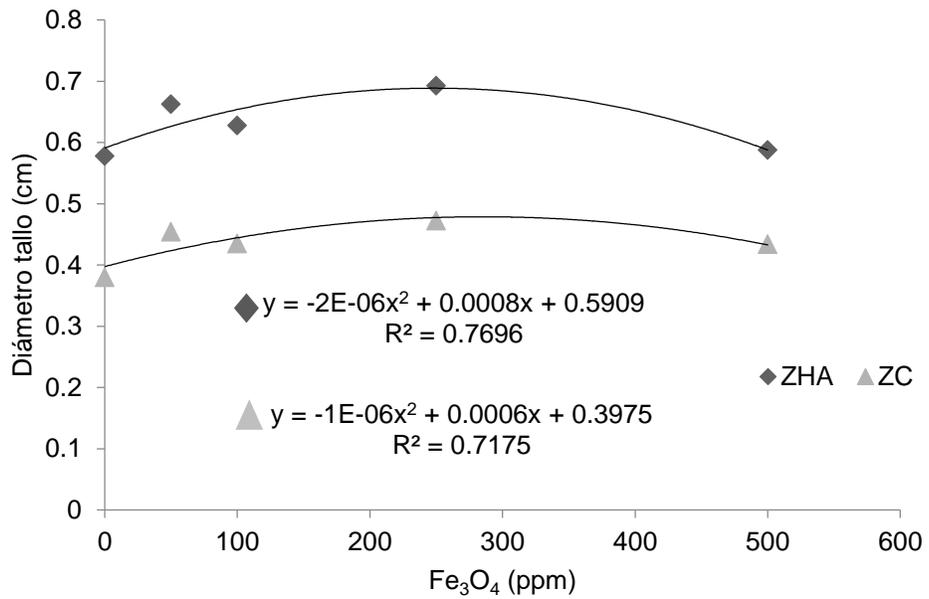


Figura 8.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el diámetro del tallo de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte.

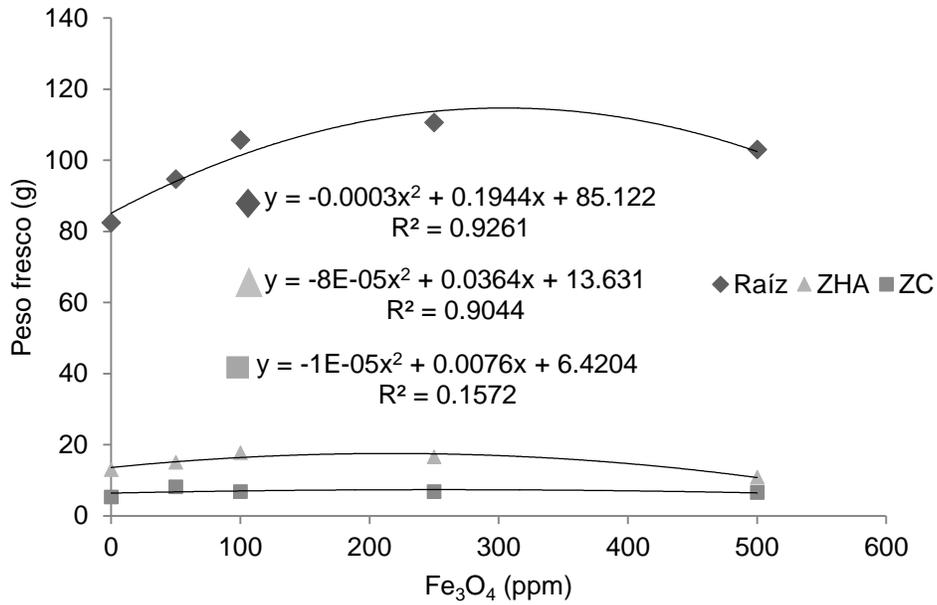


Figura 9.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso fresco de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte.

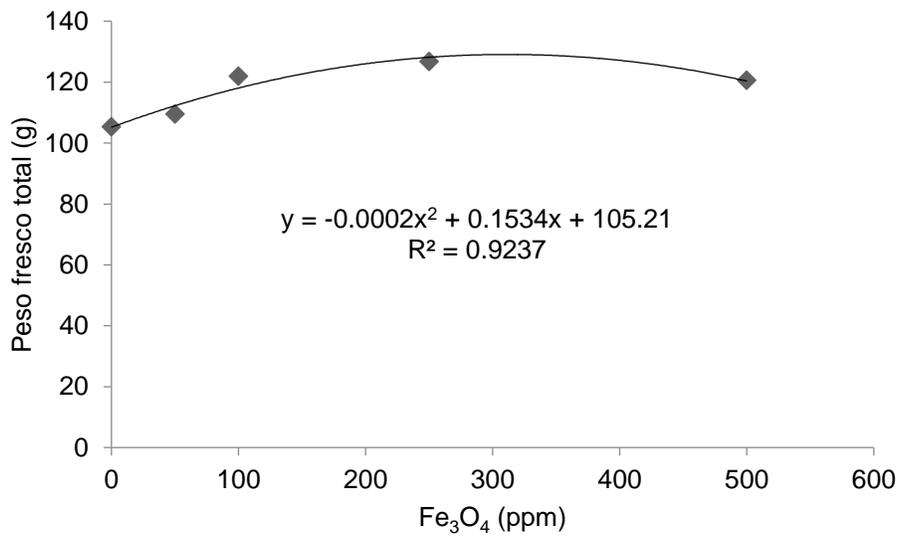


Figura 10.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso fresco total de plantas de rosal.

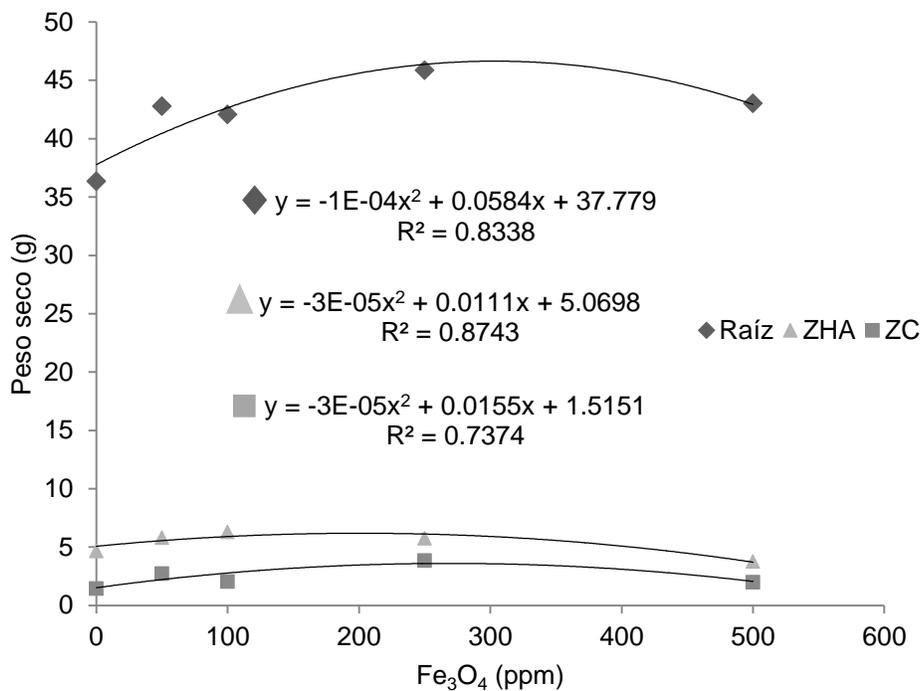


Figura 11.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso seco de plantas de rosal. ZHA = zona de hojas activas, ZC = zona de corte.

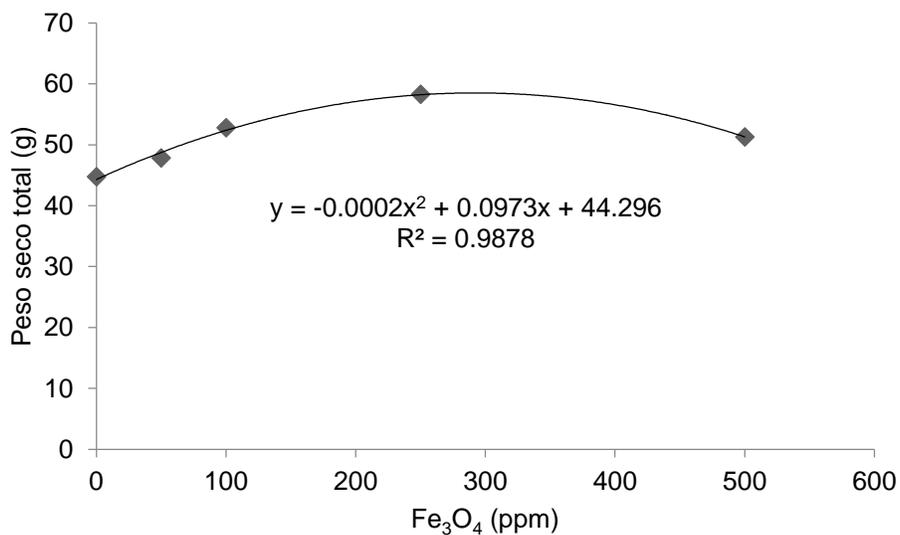


Figura 12.- Efecto de la aplicación de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) en el peso seco total de plantas de rosal.

Por otra parte, se presentó un fenómeno generalizado (con excepción de la longitud de la raíz) donde a altas concentraciones de NP ($> 250 \text{ mg L}^{-1}$) el rendimiento del cultivo disminuía (Figura 12).

Las nanopartículas son consideradas como fuente de estrés en la planta, existiendo la posibilidad de que modifique la estructura y constitución de la pared celular y membrana celular (Liu *et al.*, 2013).

En este caso, debido a que la magnetita por su naturaleza es un oxidante en altas concentraciones pudiera generar especies de ROS (especies reactivas al oxígeno), lo que sometería a un estrés a las plantas, pudiendo afectar las proteínas, lípidos, carbohidratos y ADN. También se sabe que la alta concentración de nanopartículas puede alterar la eficiencia fotosintética, la fluorescencia fotoquímica y el rendimiento de las plantas, debido a las interacciones que hay con los fotosistemas, al ceder energía libre a la planta por las propiedades fotocatalíticas de estas sustancias (Olejnik, *et al.*, 2013).

La nanopartícula al ser aplicada directamente al suelo o si se suministran por sistema de riego (el cual fue el modo de aplicación) logran penetrar por la epidermis de la raíz y la corteza, después pasan por la endodermis hasta llegar al tejido conductivo del xilema, por este medio son translocadas a larga distancia hasta llegar a todo el follaje, siempre y cuando el tamaño de partícula sea el adecuado (menor a 10 nm) (Peng, *et al.*, 2015).

Las microscopías electrónicas de barrido (SEM) obtenidas a partir del análisis del material vegetal, demuestran la interacción entre las nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) y la raíz de las plantas del cultivo de rosa (Figura 13).

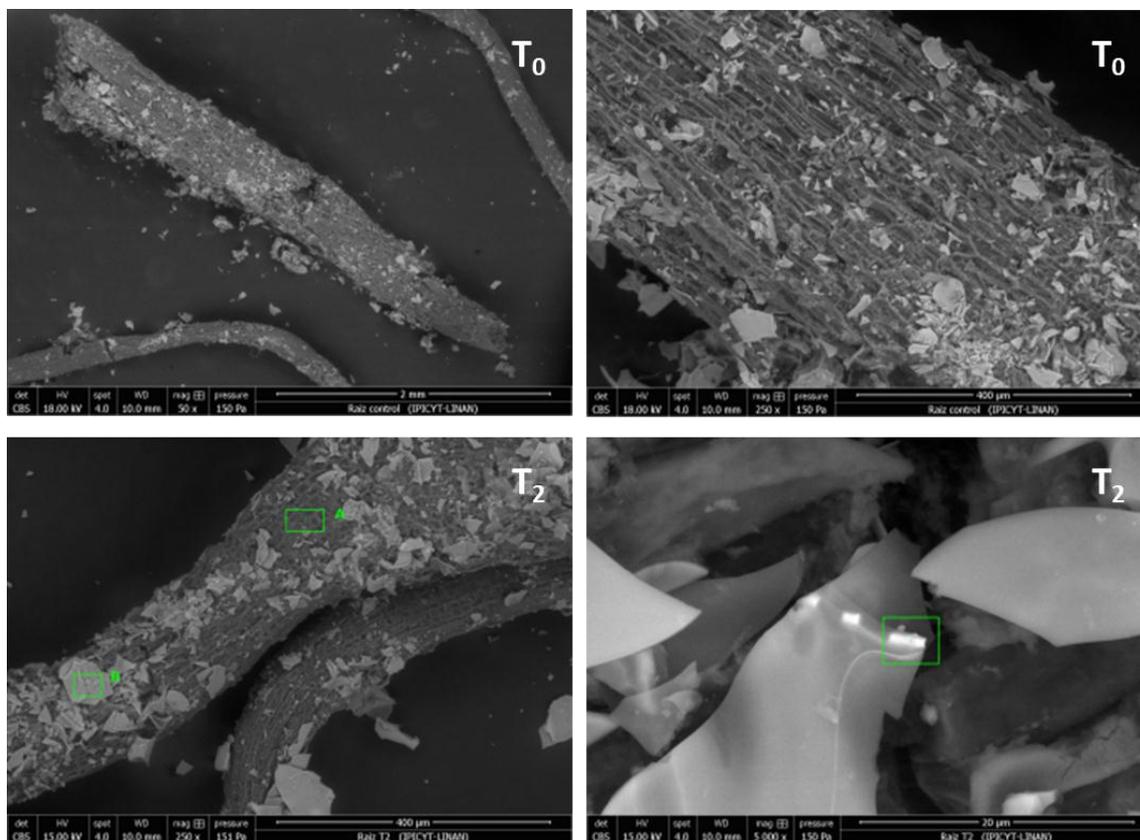


Figura 13.- Microscopías electrónicas de barrido (SEM) de la raíz del cultivo de rosa (T0 – Control, T2 – 100 ppm NP Fe₃O₄).

Se ha registrado que las paredes y membranas celulares actúan como una barrera para la entrada de cualquier NP, así que la efectividad de la entrada y transporte está determinado por el tamaño de los poros de la pared celular, el cual está entre un rango de 5 a 20 nm (Eichert, *et al.*, 2008). Tomando como referencia lo anterior y sabiendo que la nanopartícula usada se encuentran en un rango de 10 a 20 nm, se puede decir que esto facilitó el transporte dentro de la planta, pero no se logró demostrar si la nanopartícula llegó a la parte arbórea de la planta, por otro lado el incremento de las variables agronómicas se debió a la lenta liberación controlada del hierro, además si bien es sabido es un micronutriente de gran importancia para el desarrollo del cultivo de rosa.

CONCLUSIÓN

Las nanopartículas de magnetita a una concentración de 250 mg L⁻¹ permiten un mayor crecimiento en las plantas de rosal en condiciones de cultivo sin suelo. Por otro lado, el uso de la magnetita en la agricultura se ofrece como una buena opción como nanofertilizante de lenta liberación ofreciendo el aporte nutricional adecuado de este microelemento al cultivo de rosa, sin embargo, se requieren más pruebas en distintas especies vegetales para así poder determinar su aplicación a mayor escala y determinar si presenta un efecto negativo en el medio ambiente y/o salud humana.

LITERATURA CITADA

Bañon, A.S., Gonzales, B.G.A., Fernández, H.J.A., Cifuentes R.D. (1993).

Gerbera, liliun, tulipán y rosa. Madrid. pp. 203-248.

Barrera, A. E., Valdez. A. L. A., Castillo. G. A. M., Ibarra. J. L., Rodríguez. G. R.

and Alia. T. I. (2012). La nutrición potásica afecta el crecimiento y fotosíntesis en

Lilium cultivado en turba ácida. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

3: 1011-1022.

Burman, U., Saini, M. y Kumar, P. (2013). Effect of zinc oxide nanoparticles on

growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological and*

Environmental Chemistry. 95: 605-612.

Capaldi, A.S., Diniz, S.A., Moretto, G.R., Antunes, A.R. y Zezzi, A.M. (2015).

Nanoparticles applied to plant science. A review. Talanta. 13: 693-705.

Ditta, A., Arshad, M., y Ibrahim, M. (2015). Nanoparticles in sustainable

agricultural crop production: Applications and Perspectives. In *Nanotechnology*

and Plant Sciences. pp. 55-75.

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 water-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum*. 134: 151-

160.

Fainstein, R. (2000). Manual para el cultivo de rosas en Latinoamérica. Quito:

Marketing Flowers.

(FAO), (2008). Nanotecnología. INFOSAN.

Ferrer, M. y Palomo, P. (2001). La producción de rosas en cultivo protegido. Sevilla (España): pirámide. pp. 30-40.

Ferrer, M.F., Salvador. P.P.J. (1986). Nutrición. La producción de rosas en cultivo protegido. Universal Plantas, S.A. Sevilla, España. pp 167-178.

Fraceto, L.F.; Grillo, R.; De Medeiros, G.A.; Scognamiglio, V.; Rea, G.; Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: Which innovation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*. 4:1-5.

Hoog, J. (2001). Handbook for modern greenhouse rose cultivation. Appl. Plant Res. 220 pp.

Larson, R. A. 1998. Introducción a la floricultura. AGT editor. México. 551 pp.

García-Cerda, L.A, O.S. Rodríguez-Fernández, R. Betancourt-Galindo and R. Saldívar-Guerrero. (2003). "Síntesis y propiedades de ferro fluidos de magnetita", *Superficies y Vacío*, 16: 28-31.

Liu, Q., Zhang, X., Zhao, Y., Lin, J., Shu, C., Wang, C. y Fang, X. (2013). Fullerene-induced increase of glycosyl residue on living plant cell wall. *Environ. Sci. Technol.* 47: 7490-7498.

López, J. & Losada, M. (2006) Bases para la Propagación y manejo de riesgos localizados. En avances sobre fertirrigación en la floricultura Colombiana. 350-385. Colombia: Sena.

Lloret, P.E., Moina. C.A., Ybarra. G.O. (2007). Síntesis, funcionalización y caracterización de nanopartículas magnéticas con estructura núcleo-cáscara. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina.

Manzer, H., Siddiqui. M. H., Al-Whaibi. M. F., Mutahhar. Y., Al-Khaishany., KSA Marschner. H. (1995). Mineral nutrition of higher plants (1025) chapter 2: Role of nanoparticles in plants. Department of Botany and Microbiology, College of Science, King Saud University, Riyadh 11451, 2nd edn. London: Academic Press.

Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L.A., Puente-Urbina B.A. y Lira--Saldivar, R.H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*. 8: 140-156.

Nicolaza, M. P. (2012). Efecto de nanopartículas de óxidos de hierro en la germinación y crecimiento de tres especies forestales. Tesis de maestría. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Olejnik, M., Krajnik. B., Kowalska. D., Twardowska. M., Czechowski. N., Hofmann. E., Mackowski. S. (2013). Imaging of fluorescence enhancement in photosynthetic complexes coupled to silver nanowires. *Applied Physics Letters*. 102: 083-703.

Palacios, M. E. (2017). Análisis de riesgo de plagas para importar tallos porta yemas de rosa (*Rosa* sp.) para plantar originarios de Holanda. Tesis de grado. Quito. Ecuador.

Patel, N., Desai, P., Patel, N., Jha, A. y Gautam, H. K. (2014). Agronanotechnology for plant fungal disease management: A review. *International Journal Current Microbiology and Applied Science*. 3: 71-84.

Peng, C., Duan, D., Xu, C., 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.

Quesada, R. G., and Bertsch. H. F. (2013). Obtaining of the absorption curve for the FB-17 tomato hybrid. México. *Terra Latinoamericana*. 31: 1-7.

Rosen Tantau, En: www.rosen-tantau.com; consulta: Mayo 2019.

Rodríguez, E., Flórez. W. J. V. (2006). Fisiología de cultivos. Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de temperatura. *Agronomía Colombiana*. 24: 250.

Robert, C. O'Handley, (2000). "Modern Magnetic Materials, Principles and Applications", (New York: John Wiley & Sons, Inc., pp. 303-308.

Sedano, C. G., González. H. V.A., Saucedo. V. C., Soto. H. M., Sadoval. V. M., y Carrillo. S. J.A. (2011). Rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de N y K. México. *Terra Latinoamericana*. 29: 133–142.

Torres, P. J.G. (2011). Manejo de flor cortada de acuerdo con los parámetros establecidos para satisfacción de los clientes. SlideShare.

uV. K. LaMer, R. H. Dinegar. (1950) *Journal of the American Chemical Society*. 72: 4847–4854.

Vidalie, H. (1992). La producción de flor cortada. Producción de Flores y Plantas Ornamentales. Madrid. Editorial Mundi-Prensa. p. 167-178

Vidalie, H. (2001). La producción de flor cortada. Producción de flores y plantas ornamentales. Barcelona. pp 129-141.

Weyler y Kusery, E. W. (2001) Propagation of roses from cuttings. *HortScience*. 15: 85-86.

Yeo, K. H., Cho, Y. Y. and Lee, Y. B. (2010). Estimation of shoot development for a single-stemmed rose 'Vital' based on thermal units in a plant factory system. Korea. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 28: 768–776.

Zayago-Lau, E. y Foladori, G. (2010). *La nanotecnología en México: un desarrollo incierto*. Econ. Soc. Territ.10: 143-178.