

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta De La Flor De Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Wild.) A La
Aplicación Foliar o En Drench De Nanopartículas De Magnetita

Por:

BRENDA VALERIA FUENTES VÁSQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Satillo, Coahuila, México

Septiembre , 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta De La Flor De Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Wild.) A La
Aplicación Foliar o En Drench De Nanopartículas De Magnetita

Por:

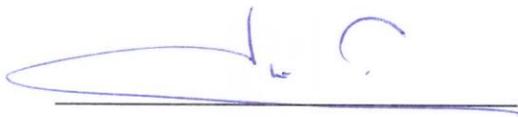
BRENDA VALERIA FUENTES VÁSQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



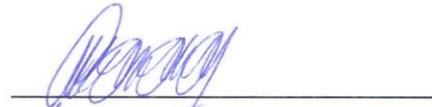
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal Interno



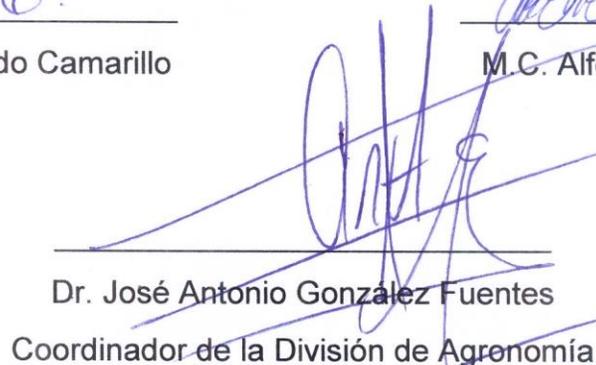
M.C. Etelberto Cortez Quevedo
Asesor Principal Externo



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



M.C. Alfonso Rojas Duarte
Coasesor



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



Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2021

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

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

Pasante



Brenda Valeria Fuentes Vásquez

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Agradezco infinitamente a Dios que me ha dado la oportunidad de la vida, salud, por permitirme las ganas de ir sobresaliendo.

A la U.A.A.A.N.

Por haberme permitido realizar los estudios superiores en este centro de estudios, por permitirme desarrollarme de manera profesional como de forma personal. Por todos los momentos buenos de estudiante y por los aprendizajes que me ha dejado tanto para mi vida profesional como personal.

A mis profesores

Que se dedicaron a transmitir lo mejor de ellos para poder tener buenos aprendizajes, a aquellos que también influyeron con consejos para la vida profesional y por todos los aprendizajes que nos brindaron a lo largo de la carrera.

A mis asesores

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto, por haber compartido conocimientos a la realización de este experimento.

A mis co-asesores por haberme brindado el apoyo y su atención a la realización de este proyecto, Dra. Daniela Alvarado Camarillo, M.C. Alfonso Rojas Duarte y al M.C. Etelberto Cortez Quevedo.

DEDICATORIAS

A mis padres

Sra. Juana Vásquez Guadarrama

Sr. Román Fuentes Millán (+)

Ellos quienes me han dado la vida, quienes inculcaron en mí valores, ejemplos a seguir, por la buena educación que me han dado, quienes me ayudaron a desarrollarme como persona en todo momento. Les agradezco tanto haberme dado la oportunidad de poder culminar mi carrera universitaria, gracias por haber confiado en mí, gracias por apoyarme en las decisiones que he tomado. De todo corazón les agradezco su apoyo brindado, su cariño, su comprensión. Aunque ahora ya no estés con nosotros papa Román Fuentes Millán (+) aquí te entrego este trabajo que va a dedicado a ti, que tu confiaste desde el primer momento en mí y que estabas muy orgulloso de mis logros, en donde quiera que estés te entrego lo que tenía pendiente. Mi mama Juana Vásquez Guadarrama por estar en todos los momentos, por apoyarme y por ser lo más importante en mi vida.

A mi abuelito, hermanos, tíos, primos

A mi abuelo Francisco por su cariño, a mi hermano Gabriel y Ángel que nos hemos apoyado como familia, a mis tíos por ser tener su apoyo y cariño. A mis primos que también nos han apoyado en todo momento; Dulce, Kevin, Azucena, Rocío, Alicia, Martin, Amelia.

A mis amigos

Por todos los momentos vividos y el apoyo brindado, Diana y Jesús por haber estado en todo el transcurso de la carrera. A Lupita Secundino una buena amiga que siendo del mismo estado la fui a conocer en España, una linda persona que me brindo de su apoyo en momentos muy difíciles. También a mis buenas compañeras de cuarto del internado a Iram y Monse con quien conviví y pasamos

buenos momentos. A mi amigo Rodrigo por su apoyo brindado y a Rosalino una buena persona.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Relación de tamaño de maceta con respecto a la densidad de población más adecuada.	15
Cuadro 3.1. Solución nutritiva Steiner al 100%, para 100 litros de agua, utilizada para el riego del cultivo de nochebuena.	24
Cuadro 3.2. Lista de fungicidas e insecticidas utilizados en las aplicaciones para el control de plagas y enfermedades en el cultivo de nochebuena.	25
Cuadro 3.3. Tratamientos aplicados con las nanopartículas de magnetita	29
Cuadro 3.4. Croquis de los tratamientos utilizados en el proyecto	30
Cuadro 4.1. Peso fresco y seco de la raíz, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	33
Cuadro 4.2. Peso fresco y seco del tallo, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	34
Cuadro 4.3. Peso fresco y seco de las hojas, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	35
Cuadro 4.4. Peso fresco y seco de las brácteas, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	36
Cuadro 4.5. Peso fresco y seco total de la planta, de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	37
Cuadro 4.6. Altura de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita	38
Cuadro 4.7. Diámetro basal del tallo, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	39
Cuadro 4.8. Diámetro de la inflorescencia de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	40
Cuadro 4.9. Diámetro de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	41
Cuadro 4.10. Número de inflorescencias de la nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.	42

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
ÍNDICE DE CUADROS	IV
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	3
HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
La flor de nochebuena.....	4
Origen de la nochebuena	4
Domesticación.....	5
Importancia en el mundo.....	5
Importancia en México	6
Clasificación Taxonómica	7
Características botánicas de la especie.....	7
Raíz	7
Tallo.....	7
Hoja	8
Brácteas.....	8
Flor.....	8
Fruto	8
Requerimiento y manejo del fotoperíodo	8
Factores de manejo en el cultivo de nochebuena.	9
Requerimiento de temperatura	9
Sustratos.....	9
Cascarilla de arroz	10
Turba	10
Corteza de pino	11
Fibra de coco	11
Lana de roca	11
Tezontle.....	12
Perlita	12

Arena	12
Grava	13
Vermiculita	13
Trasplante.....	13
Poda en el cultivo de nochebuena	14
Densidad de plantación.....	14
Cultivares.....	15
Cultivar Freedom.....	16
Cultivar Prestige	16
Cultivar Winter rose	16
Cultivar Jester	16
Cultivar Snowcap.....	17
Plagas importantes que afectan el cultivo de nochebuena	17
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia tabaci</i>)	17
Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>).....	17
Áfidos (<i>Myzus persicae</i>).....	17
Enfermedades importantes que afectan el cultivo de nochebuena	18
<i>Botrytis cinerea</i>	18
<i>Pythium sp.</i>	18
Nanotecnología	18
Origen de la nanotecnología	18
Nanopartículas	19
Tipos de nanopartículas	20
Nanotubos de carbón y grafeno.....	21
Magnetita (óxido de hierro)	21
Efectos en cereales.....	21
Efectos en hortalizas	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Localización del experimento.....	23
Material vegetal utilizado	23
Materiales utilizados	23
Trasplante.....	23
Solución nutritiva y método de riego.....	24

Podas realizadas	24
Control de plagas y enfermedades	25
Aplicaciones de nanopartículas de magnetita	26
Primera aplicación.....	26
Segunda aplicación.....	27
Tercera aplicación	27
Cuarta aplicación.....	28
Descripción de tratamientos	29
Manejo del fotoperiodo	30
Diseño experimental y análisis estadístico	31
IV. RESULTADOS	32
Peso fresco y seco de la raíz.....	33
Peso fresco y seco del tallo	34
Peso fresco y seco de las hojas	35
Peso seco y fresco de brácteas	36
Peso seco y fresco total.....	37
Altura de la planta.....	38
Diámetro basal del tallo	39
Diámetro de la inflorescencia	40
Diámetro de la planta.....	41
Número de inflorescencias	42
V. DISCUSIÓN	43
VI. CONCLUSIÓN.....	47
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	48

RESUMEN

El incremento de la producción de plantas de nochebuena en el país va creciendo conforme a la demanda que se tiene en los últimos años, pues esta es utilizada en las fiestas decembrinas. Los estados productores de este cultivo en maceta se encuentran localizados en lo que es el centro de México, destacando los estados de: Morelos, Estado de México, Ciudad de México, Puebla, y Guerrero. Los mercados cada vez van incrementando el consumo por lo tanto se requieren plantas de calidad, el objetivo de este trabajo fue utilizar nanopartículas (NPs) de magnetita (óxido de hierro) sobre la calidad de plantas. El experimento se desarrolló en nueve tratamientos usando diferentes dosis aplicadas de manera foliar y en drench. Los tratamientos fueron el testigo con la aplicación de 0mgL^{-1} en drench y 0mgL^{-1} vía foliar, el segundo constó de 0mgL^{-1} en drench y 125mgL^{-1} vía foliar, el tercero constó de 0mgL^{-1} en drench y 250mgL^{-1} vía foliar, el cuarto de 125mgL^{-1} en drench y 0mgL^{-1} en foliar, en el quinto se aplicó 125mgL^{-1} en drench y 125mgL^{-1} en foliar, el sexto tratamiento se aplicó una dosis de 125mgL^{-1} en drench y 250mgL^{-1} en vía foliar, el séptimo se aplicó 250mgL^{-1} en drench y 0mgL^{-1} en vía foliar, mientras que en el octavo tratamiento una dosis de 250mgL^{-1} en drench y 125mgL^{-1} vía foliar y en el noveno tratamiento se trató con una dosis de 250mgL^{-1} en drench y 250mgL^{-1} en forma foliar. Las aplicaciones se realizaron cada mes, la primera a los 34 días después del trasplante. Se evaluaron las variables: el peso fresco y seco de raíz, peso fresco y seco del tallo, peso fresco y seco de las hojas, peso fresco y seco de las brácteas, peso fresco y seco total, altura de la planta, número de flores, diámetro de la flor, diámetro de la planta y diámetro del tallo. De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que las NPs de magnetita funcionaron mejor de manera foliar que en drench, a dosis de 125mgL^{-1} pues este tratamiento se obtuvo mayor peso, diámetro, y altura de planta, y similarmente el tercer tratamiento (0mgL^{-1} vía drench y 250mgL^{-1} en vía foliar) respecto al testigo que alcanzo menores resultados ya que también se obtuvieron mayores resultados que aplicando NPs de magnetita a las plantas de nochebuena.

Palabras clave: floricultura, cultivos de invernadero, micronutrientes

I. INTRODUCCIÓN

La flor de nochebuena es un cultivo de gran importancia en el país; debido que se tiene una alta producción, alrededor de 330 hectáreas de invernaderos, lo que equivale a 20 millones de plantas en macetas de 15cm, el cual es el tamaño el más común de comercializar (SAGARPA, 2020). La producción de este cultivo ornamental se concentra en diferentes estados del centro del país, entre los cuales se encuentran Morelos, Michoacán, Puebla, Estado de México, ciudad de México, Jalisco, Veracruz y Baja California (SAGARPA, 2020).

Lo que más ha impactado en la nanotecnología es el cambio radical que sufren las propiedades físicas y químicas de la materia cuando se trabaja a esta escala, por ejemplo: características como la conductividad eléctrica, el color, la resistencia o la elasticidad, entre algunas otras propiedades se tienden a comportar de forma diferente de como lo hace el material en partículas de tamaño mayor (Aldridge, 2012).

Las nanopartículas (NPs) en muchos casos tienen excelentes propiedades de adsorción de metales y sustancias orgánicas. Esta propiedad puede ser útil para la recolección y eliminación de sustancias contaminantes en el ambiente e incluso para el tratamiento de aguas residuales.

El suelo y aguas subterráneas contaminadas y de uso agrícola se pueden “limpiar” por la acción de NPs de hierro (NPsFe), estas son capaces de catalizar la oxidación de agentes contaminantes orgánicos tales como tricloroetileno, tetracloruro de carbono, dioxinas, y PCBs para formar compuestos más simples y menos tóxicos. Las NPs del óxido de hierro se han mostrado con muy alta eficacia para atrapar y eliminar el arsénico del agua subterránea (Holden, 2012).

En cuanto a la aplicación de NPs de hierro en ornamentales, Azarpour *et al.*, (2013) señalaron que aplicadas de manera foliar y luego transportadas al interior por los haces vasculares del floema, mejoró la producción de flores y también el rendimiento en las plantas de azafrán (*Crocus sativus*).

La producción de nochebuena es un cultivo de crecimiento, aunque en la mayoría de los estados en los que se produce la flor de nochebuena aún se realiza de manera empírica, por lo cual se buscan alternativas de producción, para obtener mayor calidad. En la agricultura moderna ya se están utilizando las NPs para la producción de alimentos y ornamentales, y el efecto de estas ha sido significativo, aunque aún se tiene mucho por conocer de estas. Por lo anterior, se plantea lo siguiente: en este estudio se pretende determinar si el uso de las NPs de magnetita permite obtener una planta de nochebuena con mejor calidad.

OBJETIVO

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar y drench de nanopartículas de magnetita en el cultivo de la planta de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*).

HIPÓTESIS

- Con la aplicación foliar y en drench de nanopartículas de magnetita en las plantas de nochebuena las variables de calidad serán modificadas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La flor de nochebuena

La flor de nochebuena corresponde al género *Euphorbia*, el cual se caracteriza por tener solamente una flor femenina sin pétalos ni sépalos, rodeada por flores masculinas individuales que están contenidas en una estructura denominada ciatio, y es común que una o más glándulas surjan a su alrededor (Ecke *et al.*, 2004).

Pertenece a la subdivisión de las angiospermas, a la clase de las dicotiledóneas, al grupo de las apétalas, al orden geraniales, a la familia Euphorbiaceae (Cabrera *et al.*, 2006).

El fruto de esta especie corresponde a una capsula trilocular son placentas suculentas, son hierbas o arbustos con látex, con hojas alternas u opuestas (Sánchez, 1979).

Origen de la nochebuena

La nochebuena es originaria de México y los Aztecas la cultivaban antes de la llegada de los españoles, en los estados de Morelos y Guerrero, cerca de Taxco, la planta era llamada "Cuetlaxochitl", que es una palabra nahúatl, que está formada por "Cuetlah", que significa marchitez y de "Xochitl", que significa flor, es decir "flor marchita", era muy apreciada por los Reyes Netzahualcoyotl y Moctezuma, debido a que representaba para ellos el símbolo de la pureza (Quintanar, 1961).

La flor de nochebuena se introdujo por primera vez en los Estados Unidos en 1985 por Joel Robert Poinsett cuando él fue el primer embajador de los Estados Unidos en México (Lee, 2000).

Los esquejes llegaron a manos de un distinguido botánico alemán de nombre Karl Willdenow, quien en el año de 1834 clasificó la taxonomía de la planta y la llamó *Euphorbia pulcherrima* (Ecke *et al.*, 2004).

Domesticación

La planta crece en forma silvestre en los bosques tropicales mexicanos, como un arbusto largo, de pocos tallos o un árbol pequeño. Lleva sus llamativas exhibiciones de brácteas de color rojo brillante, o más raramente blancas (hojas modificadas que rodean las flores discretas) en la estación seca de invierno, cuando las plantas a menudo se caen (Quintanar, 1961). En comparación con las plantas domesticadas, las plantas silvestres tienen tallos altos y no ramificados con entrenudos largos, las brácteas son mucho más estrechas y menos brillantes, las flores y los frutos son mucho más numerosas y grandes (Trejo *et al.*, 2012).

Con respecto a la flor de pascua, documentos históricos indican que la especie fue introducida en la horticultura por Joel Roberts Poinsett, el primer Plenipotenciario del Ministro de los Estados Unidos en México (Quintanar, 1961). En 1828, Poinsett, miembro de la Sociedad Filosófica Estadounidense, viajó por México y, obtuvo flores de pascua y las envió ese mismo año al Jardín Botánico Bartram en Filadelfia, donde fueron cultivadas y exhibidas al público en junio de 1829; Poinsett recolectó sus plantas silvestres cerca de la ciudad de Taxco, en la parte norte del estado mexicano de Guerrero (Trejo *et al.*, 2012).

Importancia en el mundo

El mercado mundial de flores y plantas ornamentales pasó en los últimos tres años de 3 mil 500 a 5 mil millones de dólares, una tasa del 6% anual (Ruiz, 2015). La flor de nochebuena se comercializa en el mundo durante las fiestas decembrinas en un número cercano de 500 millones de plantas, en los últimos años se ha registrado un importante aumento en ventas de flor y plantas en maceta a través de grandes comerciantes tales como supermercados, almacenes de jardinería, locales de flores y vendedores ambulantes (Ruiz, 2015).

A escala mundial la flor de nochebuena es reconocida como símbolo de la Navidad; los principales países productores son: México, Estados Unidos, Costa Rica, Francia, Alemania, Italia y España.

Importancia en México

En México, la producción de flores data desde los tiempos prehispánicos, con los jardines flotantes en chinampas, los jardines de Netzahualcóyotl y el cultivo de la nochebuena (cuetlaxochitl) por los aztecas (Quintero *et al.*, 2011).

La SADER refiere que México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en superficie cultivada, dio a conocer que la flor de nochebuena en México superará las 19.1 millones de plantas a nivel nacional, mismas que se comercializarán en todo el país (SADER, 2019).

Las nochebuenas se comercializan en macetas de 6 pulgadas de diámetro, siendo ésta la presentación o el tamaño más común, aunque también se cultiva en una gran variedad de macetas y contenedores, desde macetas de 2 pulgadas de diámetro, hasta en contenedores de 50 galones (SADER, 2019). Hoy en día no se puede concebir a las festividades de cada fin de año si no están acompañadas de nochebuenas en macetas, adornando algún espacio público o privado (SADER, 2019). Para el abasto para la temporada decembrina del 2019 la flor de nochebuena se sembró en 285 ha, donde se estima un volumen de producción de 19 millones 113 mil 464 plantas. Entre los principales productores se encuentran las entidades de Morelos, 5 cinco millones 790 mil plantas; Michoacán, con 3 millones 975 mil; Ciudad de México, con 3 millones 593 mil; Puebla, con 2 millones 938 mil; Jalisco, con 1 millón 728 mil, y el Estado de México, con 1 millón 103 mil (SADER, 2019).

El Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera dio a conocer que en el año de 2018 el valor de la producción de la flor de nochebuena fue de 718 millones 372 mil pesos, con una superficie cosechada de 276 hectáreas, así como una producción similar a la estimada para el presente año, pues es de destacar que de 2016 a 2019, la producción de flor de nochebuena aumentó alrededor de 15 por ciento, lo que equivale a cerca de dos millones de plantas en este periodo (SIAP, 2018).

Clasificación Taxonómica

La flor de nochebuena es perteneciente a la familia Euphorbiaceae, clasificada en el género *Euphorbia*, esta especie *E. pulcherrima* es caracterizada por tener solo una flor femenina, sin pétalos ni sépalos, se encuentra rodeada por flores masculinas de forma individual estas se encuentran situadas en una estructura llamada ciato (Canul y García, 2012).

Características botánicas de la especie

La planta de la nochebuena *Euphorbia pulcherrima* es de tipo arbustivo el cual puede llegar a medir de 3-5 m de altura, es una planta caducifolia, con hojas simples clasificadas de manera alterna, está conformada por brácteas que es la parte interesante de la planta, debido a que son hojas modificadas de diferentes colores, estas rodean a lo que son las flores (Cortes, 2007).

Raíz

La raíz de la nochebuena se encuentra clasificada de forma típica, presenta ramificaciones primarias y secundarias en donde se encuentran los pelos absorbentes de donde permite a la planta tomar los nutrientes (López, 2012).

Tallo

El tallo es de consistencia semileñosa, de forma cilíndrica, de ramificación politómica o simpodial; lo que quiere decir que se generan varias ramas, esto se debe al manejo debido que es a base de podas lo que tiende a ramificarse, se considera una planta ramificada con una estructura primaria definida, los brotes laterales ya sean primarios, secundarios o terciarios van a depender del número de podas que se le den a la planta, estos presentan una estructura similar a la del tallo (López, 2012).

Hoja

Las hojas se encuentran clasificadas como alternas, o verticiladas lo que quiere decir que más de dos hojas se desarrollan en un nudo, con peciolo delgado, las hojas membráceas por lo general ovaladas, llegan a medir de 12-20cm de largo (Catalán, 2018).

Brácteas

Las hojas de las brácteas son grandes, éstas son hojas modificadas, las cuales depende de la variedad son de diferentes colores, las más comunes y más atractivas son las de color rojo, estos colores los adquieren de acuerdo al manejo del fotoperiodo (Sánchez, 1998).

Flor

La flor de la nochebuena se caracteriza por tener solo una flor femenina, sin pétalos ni sépalos, está formada por un conjunto de inflorescencias las cuales se encuentran en el centro, se constituyen por un estambre y un ovario estipitado el cual se encuentra en forma de copa, se le conoce como ciato o ciatas, el conjunto de las inflorescencias se encuentra rodeadas de las brácteas (López, 2012).

Fruto

El fruto de la nochebuena son clasificados como típicamente esquizocarpicos capsulares, con mericarpios elásticamente dehiscentes (Steinmann, 2002).

Requerimiento y manejo del fotoperíodo

El fotoperiodo se define como el número de horas de luz por día. El día dura mientras exista una intensidad lumínica solar de 15 bujías pie (Kofranek, 1992).

Entre las especies sensibles al fotoperíodo respecto al fenómeno de inducción floral, pueden distinguirse plantas de día corto, en las que la floración se induce como consecuencia de la exposición a días cortos; plantas de día largo en las que

la floración se induce por exposición a días largos; y plantas neutras, en las que el proceso de inducción floral no es afectado por la duración del día (Wareing *et al.*, 1986).

La nochebuena se clasifica como una planta de día corto (noches largas), la pigmentación de las brácteas comienza cuando se tienen la oscuridad de 12 horas o más tras pasar de 4 a 5 semanas seguidas con estas condiciones. Existen variedades que no requieren la inducción del fotoperiodo para la pigmentación de las brácteas.

Las últimas 5 semanas de noches largas son requeridas para una conveniente iniciación floral. Las plantas son extremadamente sensibles a la luz durante su periodo oscuro, 1 o 2 bujías de luz incandescente puede evitar la iniciación floral y desarrollo de los brotes (Heins *et al.*, 1982).

Factores de manejo en el cultivo de nochebuena.

Requerimiento de temperatura

La temperatura requerida para el cultivo de la nochebuena puede variar dependiendo del cultivar y de la fase de crecimiento en que esta se encuentre.

Para el desarrollo vegetativo las temperaturas oscilan alrededor de 15 a 20 °C en la noche y 24 a 35 °C en el día. Mientras en la etapa de floración se recomienda de 15 a 18 °C en la noche y de 18 a 25 °C en el día (Carmichael, 1990).

En general la temperatura recomendada es de 18°C y 21°C a 24°C en el día. El control apropiado de la temperatura es de gran importancia para producir una cosecha de máxima calidad y a buen tiempo (Bing, 1987).

Sustratos

Un sustrato se puede definir como cualquier medio sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo que sirva de soporte para las raíces de la planta interviniendo o no en el proceso de nutrición (Penningsfeld *et al.*, 1983). El sustrato puede contener material químicamente activo o inerte que

intervenga en el complejo proceso de la nutrición mineral e hídrica de la planta (Abad *et al.*, 2005).

El sustrato cumple con dos funciones principales, una es anclar las raíces del cultivo protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda contener al agua y los nutrientes que la planta necesite (Calderón *et al.*, 2003).

Cascarilla de arroz

La cascarilla es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición por su alto contenido de sílice, es liviano (densidad aparente entre 0,090 y 0,22 g de masa seca por cm³), tiene alta porosidad y baja capacidad de retención de humedad, su conductividad hidráulica es elevada, su pH es neutro, mientras que su conductividad eléctrica (CE) y su capacidad de intercambio catiónico (CIC) son bajas (Abad, 2005). Tiene la característica de ser un material rico en potasio (3,000 a 3,500 mgL⁻¹) y fósforo (80 a 120 mgL⁻¹) y pobre en nitrógeno (menos de 100 mgL⁻¹) (Burés, 1997).

Turba

Las turbas son fundamentalmente vegetales fosilizados. Es una forma disgregada de la vegetación de un pantano, descompuesta de modo incompleto a causa del exceso de agua y la falta de oxígeno, que se va depositando con el transcurso del tiempo, lo que favorece la formación de estratos más o menos densos de materia orgánica, con el que se pueden identificar los restos de diferentes especies vegetales (Penningsfeld *et al.*, 1983).

La densidad aparente varía entre 0.06 y 0.10 gcm³, para las turbas *Sphagnum* rubias, y hasta 0.30 gcm³ para las negras. El espacio poroso total oscila entre el 95% (vol.) o más, en el caso de las turbas rubias, hasta menos del 80% (vol.), para las turbas negras muy descompuestas, el pH puede oscilar entre 3,5 (turbas acidas) hasta 8.5 (turbas eutróficas), las turbas presentan una capacidad de intercambio catiónico elevado, propiedad que está estrechamente ligada con su

humificación, este material orgánico presenta un bajo nivel de fertilidad, estimado por el contenido de nutriente asimilable (Hernández, 2011).

Corteza de pino

La corteza es un término genérico que incluye a la corteza interna (floema vivo) y a la corteza externa (ritidoma) de los árboles, esta última incluyendo, a su vez, a las células suberosas (floema), representa usualmente del 6 al 16% del volumen del árbol (Calderón et al., 2003). Se puede utilizar cortezas de muy distintas especies de árboles (*Melaleuca*, *Picea*, *Pinus*, etc.). En nuestro país, la corteza más utilizada es la de pino (*Pinus spp.*), que procede básicamente de la industria maderera. Las especies más importantes son: *Pinus halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea* y *P. sylvestris* (Abad et al., 2005).

Fibra de coco

La fibra de coco (*Cocos nucifera*) es un material orgánico de lenta descomposición que resulta como subproducto de las plantaciones de coco de los países situados en los trópicos, como Sri Lanka, India, Filipinas, Costa de Marfil y México, entre otros. la fibra de coco consiste en partículas de lignina y celulosa, con una relación C/N de 80; en general, la fibra de coco se utiliza fresca (Calderón et al., 2003). Para algunos tipos de fibra que presentan toxicidad en el material fresco es aconsejable el compostaje antes de su uso en mezcla para sustratos, debiendo añadir nitrógeno durante el proceso de compostaje (Burés, 1997).

Lana de roca

Este tipo de sustrato se obtiene a partir de la fundición industrial de una mezcla de rocas basálticas a 1600°C, el producto que se obtiene se le da una estructura fibrosa, el cual se prensa se endurece y se corta de la manera que se requiera, sus componentes químicos son sílice y óxidos de aluminio, calcio, magnesio, hierro, este sustrato es considerado inerte, el cual presenta una estructura homogénea (Fernández et al., 1998).

Tezontle

El tezontle es una grava de origen volcánico muy porosa, de color rojo, amarillento o negro, abundante en varias regiones de México y, al igual que el “picón” de la isla de Tenerife, muy popular como sustrato hortícola (Díaz, 2004). Se considera un material químicamente inerte. Tiene pH de neutro a ligeramente alcalino, muy baja CIC, alta porosidad total, aunque sus propiedades físicas dependen mucho del tamaño de las partículas, mantiene su estructura inalterada a lo largo del tiempo (Chávez, *et al.*, 2008).

Perlita

La perlita es un sustrato mineral de origen volcánico que pasa por un proceso térmico el cual le da una textura porosa y una coloración blanquecina, la vida útil del sustrato de larga, es un material cien por ciento ligero y fácil de manipular, el cual se puede mezclar con otros sustratos como turba, fibra de coco, *sphagnum* moss y humus de lombriz para potenciar sus cualidades (Díaz, 2004). Este sustrato es utilizado para germinación de semillas el cual funciona de manera adecuada debido a que no se tiene problemas de retener demasiada agua (Díaz, 2004).

Arena

El tamaño de las partículas de este sustrato oscila entre 0.5 y 2 mm de diámetro. Tiene una densidad aparente es similar a la grava. Su capacidad de retención del agua es media (20 % del peso y más del 35 % del volumen); la capacidad de aeración disminuye con el tiempo a causa de la compactación. Su capacidad de intercambio catiónico es nula (Díaz, 2004). El pH de este sustrato oscila entre 4 y 8, el tiempo de vida útil es largo, se utiliza como un medio de enraizamiento, mezclado con la turba. (Fernández *et al.* ,1998).

Grava

Se entiende por grava a todo material mineral natural de tamaño comprendido entre los 2 y los 20 mm de diámetro, este sustrato es un material de baja porosidad, por lo que sus porcentajes en agua y/o aire no sean elevados, tiene una estructura muy estable (Díaz, 2004).

Vermiculita

La vermiculita es un mineral cuya estructura se parece a la de la mica, el proceso de fabricación es muy parecido al de la perlita, la capacidad de retención hídrica es muy alta (superior a la de la turba y la perlita), tiene un elevado índice de intercambio catiónico (Díaz, 2004). Este material se calienta a una temperatura de poco más de 1000 grados C, el agua se convierte en vapor, mismo que expande a la vermiculita, hasta que ésta alcanza de seis a doce veces su volumen original (Sánchez, 1988).

La vermiculita como un material que se obtiene de depósitos naturales de varias partes del mundo, se describe como un silicato de aluminio, con la estructura de la mica, que contiene elementos como el magnesio y hierro, la estructura está constituida por estratos paralelos que encierran moléculas de agua (Sánchez, 1988).

Trasplante

El esqueje se trasplanta en contenedores una vez que se han desarrollado las raíces, cada contenedor se debe llenar con un sustrato nuevo o deberá ser desinfectado, los sustratos brindan el soporte físico para las plantas, por lo que ayuda a desarrollarse la raíz, el cual será un medio de crecimiento, se debe tener en cuenta la importancia de seleccionar un sustrato para que le permita la óptima absorción de agua e intercambio gaseoso (Telechana, 2018).

Hernández et al., (2019) evaluaron diferentes sustratos para la producción de flor de pascua “Freedom Red” evaluados bajo las condiciones de Honduras, concluyeron que el sustrato compuesto cascarilla de arroz, turba, compost, suelo y

arena en proporciones volumen/volumen (2:1:1:1:1), presentó las mejores características de altura de tallo y peso fresco radicular.

Poda en el cultivo de nochebuena

La poda en las plantas de nochebuena se realiza con el fin de romper la dominancia apical y estimular el crecimiento de los brotes axilares, esta técnica para mejorar el desarrollo foliar de la planta y acelerando su crecimiento (Vázquez *et al.*, 2004).

La poda consiste en la eliminación del brote apical, dos semanas después del trasplante, esto para evitar que la planta no sufra demasiado estrés ya que estará adaptada a su medio de desarrollo, el ápice se elimina dejando de cinco a seis yemas, se inicia contando el número de yemas de abajo hacia arriba, asegurando dejar de cinco a seis yemas, posteriormente con la ayuda de una navaja previamente desinfectada con una solución de cloro se realiza el corte, la desinfección para evitar infecciones en la herida, por último, se realiza la eliminación del brote apical (Galindo *et al.*, 2012).

Densidad de plantación

La densidad de población dependerá del tamaño de las macetas, en cada maceta se suele colocar una planta, aunque a veces pueden contener más de una. En el siguiente Cuadro 2.1 se muestra una correlación entre el tamaño de la maceta y la densidad de población (número de macetas por metro cuadrado en el invernadero).

Cuadro 2.1 Relación de tamaño de maceta con respecto a la densidad de población más adecuada.

Tamaño de maceta (pulgada)	Plantas/maceta	Nº de podas	Espaciamiento (cm)	Macetas/m ²
3	1	0	15x15	44
3	1	1	15x15	44
4	1	0	20x20	25
4	1	1	23x22	20
5	2	0	30x28	12
5	1	1	30x28	12
6	1	1	34x34	8.6
6	2	1	38x38	6.9
6	3	0	38x38	6.9
6	4	0	43x43	5.4
6.5	1	1	35x35	8
6.5	2	1	40x40	6.3
7	1	2	43x43	5.4
7	2	1	43x43	5.4
7	3	1	48x48	4.3
7	7	0	48x48	4.3
8	1	2	56x56	3.2
8	3	1	56x56	3.2
8	9	0	62x62	2.6
10	3	2	70x70	2
11	3	2	76x76	1.7
12	3	2	82x82	1.5

Fuente: SAGARPA (2016)

Cultivares

Los cultivares más comunes que se tienen en la producción de nochebuena se describen a continuación.

Cultivar Freedom

- Los colores disponibles en este cultivar se tiene; rojo, rosa, blanco y mármol, el ciclo de coloración es de aproximadamente 7.5 semanas.
- Hojas de color verde oscuro.
- Son de tamaños muy uniformes (Ecke, 1990).

Cultivar Prestige

- Los colores disponibles para esta variedad son; rojo y blanco, con 8.5 semanas en pigmentación.
- Las hojas son de color verde oscuro, con brácteas grandes y vistosas.
- Es de vigor mediano, la arquitectura de la planta es en forma de V.
- Esta variedad se puede cultivar en macetas desde 2.5 pulgadas y en forma de árbol, es ideal para cultivo de alta densidad (Ecke, 1990).

Cultivar Winter rose

- Los colores que se tienen disponibles son; rojo, blanco, marmoleado, rosado y salmón, esta variedad es de 9.5 semanas de coloración.
- Hojas de color verde oscuro, las brácteas y hojas se encuentran curvadas.
- Es muy uniforme en tamaños, con larga vida postcosecha.
- Esta variedad se caracteriza porque las brácteas se presentan de manera uniforme y sin ramificación dominante (Ecke, 1990).

Cultivar Jester

- Los colores que se tienen disponibles son rojo y blanco, el tiempo en pigmentar es de 7.5-8 semanas.
- Las brácteas son erectas y únicas, con hojas de color verde oscuro.

-Hacen una ramificación vertical, es de vigor medio.

-Jester responde a diferentes tratamientos para el control de altura (Ecke, 1990).

Cultivar Snowcap

-Cultivar con brácteas de color blanco, rosa, mármol y naranja, es un cultivar que tarda 8.5 semanas en pigmentar.

-Es una variedad adecuada para la producción de un solo tallo, para producir árboles.

-Snowcap es un cultivar vigoroso y se beneficiará de la utilización de hormonas para el control de la altura y para fortalecer los tallos (Ecke, 1990).

Plagas importantes que afectan el cultivo de nochebuena

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*)

Es la plaga principal del cultivo. Esta puede atacar en sus estadios de ninfas y adultos, succiona la savia, así interrumpiendo el proceso de fotosíntesis en las hojas y el correcto crecimiento de la planta. Esta plaga se encuentra en el envés de la hoja. Se recomienda la aplicación de Imidacloprid en intervalos de 7 a 14 días (SAGARPA, 2016).

Araña roja (*Tetranychus urticae*)

Estos se pueden ubicar en el envés de la hoja y en las brácteas. Estos ácaros succionan savia así debilitando la planta causando amarillamiento y textura arenosa en las brácteas y hojas. Se recomienda la aplicación de Abamectina. Máximo cuatro aplicaciones en el ciclo del cultivo (SAGARPA, 2016).

Áfidos (*Myzus persicae*)

Los áfidos se juntan en colonias, atacando los brotes de la planta y alimentándose de la savia de la misma causando un crecimiento atípico en tallos y hojas. Se

recomienda la aplicación de Imidacloprid en intervalos de 7 a 14 días (SAGARPA, 2016).

Enfermedades importantes que afectan el cultivo de nochebuena

Botrytis cinerea

Bajo condiciones de alta humedad relativa y baja temperatura, este hongo ataca las plantas en desarrollo de pigmentación e incluso en etapa de floración. Se recomienda el uso de Azoxystrobin y Clorotalonil en intervalos de aplicación de 7 a 14 días (SAGARPA, 2016).

Pythium sp.

Esta enfermedad causa pudrición en tallo y sistema radicular. Las hojas inferiores presentan amarillamiento en los bordes, lo que causa su caída. Se recomienda el uso Azoxystrobin con intervalos de 7 a 14 días (SAGARPA, 2016).

Nanotecnología

Origen de la nanotecnología

Los orígenes de la nanotecnología (NT) obtenidos por el físico estadounidense Richard Phillips Feynman, quien se catalogó como ganador del premio Nobel de Física, quien, en 1959 ante la Sociedad Americana de Física, impartiendo la conferencia “Hay mucho sitio en el fondo”. En aquella conferencia, Feynman propuso manipular y fabricar artefactos con la precisión de unos pocos átomos, a pesar de dicho razonamiento, esas ideas permanecieron estancadas y sin prosperar por mucho tiempo (Hulla *et al.*, 2015).

La nanotecnología es una alternativa para el desarrollo de sistemas de producción más eficientes. El prefijo “nano” es de origen griego el cual quiere decir “muy pequeño”. Un nanómetro representa la milmillonésima parte de 100 cm ($1 \cdot 10^{-9}$), lo cual lo hace equivalente a aproximadamente a 10 átomos. Por lo tanto; la nanotecnología se centra en procesos a nivel atómico y celular. A través de la nanotecnología se han estado manipulando átomos y moléculas para hacer

nuevos materiales o dispositivos que se encuentran entre 1 y 100 nanómetros (McIntyre, 2014).

La NT en la agricultura y la industria de alimentos han estado recibiendo gran atención en la actualidad. Las inversiones en agricultura y alimentación nanotecnológica han ido en crecimiento esto se debe a los beneficios potenciales, los cuales incluyen desde la mejora en la calidad e inocuidad de los insumos agrícolas hasta un mayor procesamiento y un alto valor nutricional de los mismos (Dasgupta *et al.*, 2015).

La NT ha tomado auge logrando avances tecnológico-científicos lo cual puede transformar los sectores de la agricultura aportando herramientas innovadoras como el poder detectar molecularmente de estrés biótico y abiótico, y así lograr una detección rápida de enfermedades fitopatógenas y mejorar la capacidad de las plantas para absorber el agua, los nutrientes y los pesticidas. De esta manera se podrá tener mayor eficacia en la producción de cultivos (Khot *et al.*, 2012).

La nanobiotecnología ha permitido la comprensión de la biología de los cultivos y, por lo tanto, potencialmente puede mejorar la productividad, calidad, rendimientos y/o valores nutricionales (Fraceto *et al.*, 2016).

Los investigadores del sector agrícola se enfrentando a una amplia gama de desafíos como el estancamiento en el rendimiento de los cultivos, la baja eficiencia en el uso de macro y microelementos, la disminución de materia orgánica del suelo, deficiencias multinutricionales, el cambio climático, la reducción de la disponibilidad de tierras cultivables, así como la escasez de agua y mano de obra para el campo (Khot *et al.*, 2012).

Nanopartículas

Las NPs, ya sean metálicas derivadas del carbón u otros materiales como arcillas, etc., suelen emplearse en muchos aspectos como la agricultura y el proceso de inocuidad de los alimentos para generar incrementos en la eficiencia de los

agroinsumos y así mismo para disminuir significativamente las cantidades de productos por aplicar, así como para la elaboración de productos alimenticios con mayor calidad, mejores sabores, aromas y texturas (Singh *et al.*, 2015).

El uso principal de las NPs de origen metálico de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), plata (Ag), titanio (Ti) y otras, en la agricultura e industria alimentaria, se debe principalmente a su actividad antimicrobiana. Como ejemplo tenemos que el dióxido de Ti es un colorante alimenticio que se puede utilizar como barrera de protección en el envasado de consumibles (Zhang *et al.*, 2008).

Los nanofertilizantes (NF) pueden tener propiedades que son positivas para los cultivos, liberan los nutrientes bajo demanda, liberación controlada de fertilizantes químicos que regulan el crecimiento de las plantas y mejoran la actividad (De Rosa *et al.*, 2010).

Las NPs cuentan con propiedades fisicoquímicas únicas y la potencial para impulsar el metabolismo de las plantas (Giraldo *et al.*, 2014).

Según Galbraith (2007) las NPs diseñadas pueden intervenir en las plantas células y hojas, y también puede transportar ADN y productos químicos a las células vegetales.

Tipos de nanopartículas

Existen diferentes tipos de NPs, en la clasificación de estas se encuentran las NPs metálicas de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), plata (Ag), titanio (Ti), estas son muy utilizadas en la agricultura y la industria agroalimentaria, las NPs de plata, estas son más utilizadas en el sector de la industria agroalimentaria (Lira *et al.*, 2018).

Se tienen las NPs orgánicas (micelas, vesículas, liposomas, dendrímeros, cápsulas, etc.) estas se emplean en humanos como antimicrobianos y para tener un mejor valor nutritivo de los alimentos utilizándose como vehículos para encapsulación y posterior liberación gradual o controlada de medicamentos, vitaminas y otros nutrimentos los cuales se encuentran incorporados en las nanocápsulas (Perni *et al.*, 2015).

Nanotubos de carbón y grafeno

Los nanotubos de carbono (NTC) son considerados como una nueva forma de carbono puro, como hojas enrolladas de grafito con una red hexagonal unida por átomos de carbonos, existen de dos tipos: de pared simple, pareciendo ser como un cilindro y de paredes múltiples, consistiendo de muchos cilindros unidos, cuyos radios sucesivos difieren en el espacio entre capas de grafito (Lira *et al.*, 2018).

Los NTC en el sector agrícola han sido utilizados para promover el crecimiento de las plantas, estos han servido como un estimulante para inducir su crecimiento. También se tienen resultados en la germinación de semillas de tomate, lo cual se ha visto una germinación más rápida. (Lira *et al.*, 2018).

Magnetita (óxido de hierro)

La magnetita en un futuro tendrá un gran uso, debido a que comprende amplias aplicaciones; se ha tenido una biodetección en tratamientos contra el cáncer. Estas mismas NPs de tamaño nanométrico tienen la aplicación en la catálisis y remediación ambiental, pues las NPs tienen la capacidad de adsorber contaminantes presentes en el agua debido a que tienen características de eliminar iones de metales pesados y diferentes tipos de colorantes, como los colorantes azoicos (Robles *et al.*, 2019).

Las NPs de Fe_3O_4 han mostrado que tienen un efecto positivo en la activación de la biosíntesis de ácido salicílico, aumentando su acción fitoestimulante (Robles *et al.*, 2019).

Efectos en cereales

Las NPs de óxido de zinc (ZnO) tuvieron un efecto promotor del crecimiento en el cultivo de sorgo (*Sorghum*), lo que se reflejó un incremento significativo en la longitud del tallo, longitud de raíz, área radicular, contenido de clorofila, estas variables se apreciaron en plantas que tenían seis semanas tratadas con NPs de

ZnO, el rendimiento del grano también fue significativo, debido a que también se realizaron aplicaciones con nanofertilizantes de zinc (Tarafdar *et al.*, 2014).

Efectos en hortalizas

Los NTC se han utilizado en hortalizas como el repollo, zanahoria, pepino, lechuga, cebolla y tomate para promover el crecimiento y desarrollo de estas plantas, se encontró que los NTC de pared sencilla estimularon el crecimiento de algunas de esas especies, los NTC con multiparedes inducen a una germinación más acelerada en las semillas de tomate, así mismo también se observó un mayor crecimiento y mejores rendimientos en esta hortaliza (Cañas *et al.*, 2008).

Pérez *et al.*, (2021) reportó que con la aplicación de las NPs de ZnO se tiene un mejor crecimiento en las plantas. La aplicación de las NPs se hizo vía foliar en plantas de tomate y se observó que se tuvo mayor concentración de los nutrientes de P, K, Ca, Mg, Mn y Si con la aplicación de ZnO de forma hexagonal, la aplicación de estas NPs ya sea esféricas o hexagonales aumentaron el crecimiento y rendimiento en el cultivo de manera similar.

El efecto del uso de las NPs de ZnO en las plantas han tenido como resultado un mayor porcentaje de germinación en semillas, cultivos de mayor calidad y aumento de rendimiento en los mismos. La aplicación de NPs de ZnO en plantas de tomate se observaron con un diámetro mayor, aumento de altura de la planta y se tuvo un mayor peso seco en los órganos de la planta (hojas, tallo, raíz) a diferencia de las plantas que no fueron tratadas con NPs de ZnO (Pérez *et al.*, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se realizó en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México, a 1782 m.s.n.m, 25° 23` 42" latitud norte y 100° 59 57 latitud oeste. Su clima predominante es seco semicálidos, con una temperatura media anual es de 14°C a 18°C.

Material vegetal utilizado

El material vegetal utilizado fueron 54 esquejes de nochebuena de la variedad Prestige. Al momento del trasplante la planta tenía una altura entre 12 y 15cm de largo, con un promedio de 8 hojas, el calibre basal era de 8mm y estas venían en contenedores de 5x5cm.

Materiales utilizados

- Bolsas de polietileno con capacidad de 6 L
- Sustrato sphagnum moss
- Sustrato perlita
- Palas
- Bicarbonato
- Fertilizantes
- NPs de magnetita (óxido de hierro)
- Agua destilada
- Conductivímetro y peachímetro
- Tensiómetro

Trasplante

El trasplante se realizó el día 10 de junio de 2019, en contenedores de capacidad de 6 L, utilizando como sustrato sphagnum moss y perlita en relación 70:30 (v/v); antes de esto se ajustó el pH del sphagnum moss a 5.6, seguido de esto se incorporó la proporción del 30% de perlita para realizar la mezcla de los sustratos.

Cuando se obtuvo la mezcla de los sustratos se incorporó a cada contenedor 6 L de la mezcla de sustratos, posteriormente se preparó una solución fungicida para la aplicación del cepellón, con 0.5 gL⁻¹ de Rydomil. Cada cepellón se sumergió a la solución para después trasplantarlo al contenedor con el sustrato preparado.

Solución nutritiva y método de riego

Para las labores de riego se requirió un tensiómetro para sustratos el cual ayudó a determinar cuándo regar, cuando el tensiómetro del sustrato llegaba de 9-10 centibares, los riegos se realizaban con una solución Steiner la cual fue utilizada al 50% y posteriormente a la etapa de crecimiento de la planta se incrementó al 100% (Cuadro 3.1). El agua de riego tenía un pH alcalino de 7.7, y para neutralizar se utilizó el ácido nítrico y ácido sulfúrico, hasta lograr un pH de 5.5-5.7 para una mejor absorción de los microelementos.

Cuadro 3.1. Solución nutritiva Steiner al 100%, para 100 litros de agua, utilizada para el riego del cultivo de nochebuena.

Fertilizantes utilizados	Cantidad
Nitrato de calcio Ca (NO ₃) ₂	66 g
Nitrato de potasio KNO ₃	23 g
Ácido nítrico HNO ₃	34 MI
Sulfato de potasio K ₂ SO ₄	40 g
Ácido sulfúrico H ₂ SO ₄	6.9 MI
Sulfato de magnesio MgSO ₄	18 g
Microelementos	7.6 g

Podas realizadas

La primera poda se realizó el 22 de junio, la cual consistió en el pinch de la planta, esta con el fin de romper la dominancia apical y favorecer la brotación de yemas axilares, lo que permitió la presencia de varios brotes laterales por planta, esta se realizó con la ayuda de una navaja. La poda que se realizó es conocido como

pinch duro, el número de hojas que quedaron en la planta después de la poda fue de 5-6.

El día 25 de junio se realizó una poda de hoja dejando solamente el peciolo, esta fue de las dos a tres primeras hojas de la planta, del ápice hacia la raíz, esta poda se realizó para que los brotes crecieran al mismo ritmo.

Control de plagas y enfermedades

Se realizó un calendario de aplicaciones de productos para el control de plagas y enfermedades, donde consistió en aplicar cada cuatro días un fungicida, alternando con un insecticida, estos se aplicaban de manera foliar y en drench. Se utilizaron diferentes productos los cuales se iban alternando para su aplicación (Cuadro 3.2). Para la aplicación de cada producto se utilizaba diferente dosis de acuerdo a la etapa de la planta, cada producto se tenía que aplicar con el agua acidulada a un pH de 5.0-5.5.

Cuadro 2.2. Lista de fungicidas e insecticidas utilizados en las aplicaciones para el control de plagas y enfermedades en el cultivo de nochebuena.

Fungicidas	Insecticidas
Mancolaxil, i.a. Metalaxil y mancozeb	Yuddo delta, i.a. Lambdacylotrihrina
Manzate, i.a. Mancozeb	Abamectina, i.a. Abamectina
Ridomil	Danapyr, i.a. dimetoato
Milor, i.a. Metalaxil + cloratonil	Mitac 20, i.a. Amitraz
Previcur, i.a. Propamocarb	Confidor, i.a. Imidacloprid
Prozycar, i.a. Carbendazim	Permefos 34, i.a. Permetrina
Pistop, i.a. Propamocarb	
Eminem, i.a. Procloraz	

La segunda poda de la planta se realizó el día 15 de julio, en donde se retiraron cada brote de cada planta, esto permitió que se promovieran más brotes en cada planta.

Aplicaciones de nanopartículas de magnetita

Primera aplicación

La primera aplicación de los tratamientos se realizó el día 6 de julio, fue 3 días después del riego con solución nutritiva, el tensiómetro marcaba 7 centibares.

Donde a cada contenedor se le proporcionó 400 mL del tratamiento correspondiente en drench. De acuerdo a la dosis de cada tratamiento se pesó las NPs de magnetita para diluirla en la proporción correspondiente y esta alcanzara para las 6 repeticiones de cada tratamiento. La magnetita se colocaba en un vaso de precipitado con el agua destilada esta se disolvía con la ayuda de un agitador de vidrio, esto se realizaba hasta que la magnetita se encontrara muy bien disuelta.

Las aplicaciones en drench se llevaron a cabo para los tratamientos 1, 2 y 3, siendo el tratamiento 1 el testigo.

Los tratamientos 4, 5, y 6 se les aplico una dosis de 125mgL^{-1} de NPs de magnetita, la aplicación fue en drench. Se aplicó 400 mL del tratamiento por cada planta por lo que se preparó 2.4L del tratamiento a aplicar debido a que se tienen 6 repeticiones, en los 2.4 L se disolvió 0.3g de magnetita que es la proporción que se ocupó de acuerdo a la dosis del tratamiento 125mgL^{-1} .

Para los tratamientos 7, 8 y 9 la aplicación en drench consistió en 250mgL^{-1} de NPs de magnetita, de igual forma se aplicó 400 mL por planta, por lo que se preparó 2.4 L en total para alcanzar a cubrir las 6 repeticiones que se tienen por tratamiento, en los 2.4L se disolvió 0.6 g de magnetita para poder aplicar la dosis requerida de 250mgL^{-1} .

La aplicación foliar se realizó el mismo día utilizando $\frac{1}{2}$ L de agua destilada para cada tratamiento, se aplicó con un atomizador cubriendo solo el haz de las hojas de cada planta. Los tratamientos se aplicaban cada mes, mientras tanto la planta se regaba con la solución nutritiva de Steiner cada que se requería.

En la aplicación foliar los tratamientos 1, 4 y 7 se aplicó una dosis de 0mgL^{-1} de las NPs de magnetita.

Los tratamientos 2, 5, y 8 se les aplicó una dosis de 125mgL^{-1} a cada uno de magnetita. Debido a que las plantas de acuerdo a su etapa fenológica se encontraban con poco desarrollo vegetativo se aplicó $\frac{1}{2}$ L por tratamiento, pesó 0.0625g de magnetita y se diluyo en $\frac{1}{2}$ L de agua destilada para aplicar a las 6 repeticiones de cada tratamiento.

En la aplicación de los tratamientos 3, 6 y 9 se aplicó una dosis vía foliar de 250mgL^{-1} de magnetita para cada tratamiento, al igual que las demás plantas se utilizó solo $\frac{1}{2}$ L por tratamiento, por lo que se pesó 0.125g de magnetita para disolverla en $\frac{1}{2}$ L de agua destilada y aplicarla vía foliar en cada tratamiento.

Segunda aplicación

La segunda aplicación de los tratamientos se realizó el día 1 de agosto del 2019, después de 4 días del riego con solución nutritiva, el tensiómetro se encontraba a 7 centibares.

Para la aplicación de los tratamientos en drench y vía foliar se realizó de la misma manera que se realizó la primera aplicación, debido a que se utilizó la misma cantidad de solución aplicada para cada tratamiento.

Tercera aplicación

La tercera aplicación de los tratamientos se realizó el día 1 de septiembre de 2019, después de 3 días del riego con solución nutritiva, el tensiómetro marcaba en 8 centibares.

Para la aplicación de los tratamientos en drench y vía foliar se realizó de la misma manera que se realizó la primera aplicación, debido a que se utilizó la misma cantidad de solución aplicada para cada tratamiento.

Cuarta aplicación

La cuarta aplicación se realizó el día 3 de octubre de 2019, fue de 3 días después del riego con solución nutritiva, el tensiómetro del sustrato marcaba 9 centibares.

La aplicación de los tratamientos 1, 2 y 3 fue de 0mgL^{-1} en drench.

Para los tratamientos 4, 5 y 6 se aplicó en drench 125mgL^{-1} de magnetita por cada tratamiento. Debido a que la planta ya se encontraba en mayor desarrollo fenológico se aplicó $\frac{1}{2}$ L por planta. Se prepararon 3.0 L de agua destilada para disolver 0.375 g de magnetita y poder aplicar a las 6 repeticiones de cada tratamiento.

La aplicación de los tratamientos 7, 8 y 9 consistió en una dosis de 250mgL^{-1} de NPs de magnetita por cada tratamiento en vía drench. Para la aplicación de cada tratamiento se preparó 3.0 L de agua destilada para disolver con 0.125g de magnetita y aplicarlo $\frac{1}{2}$ L por planta.

Los tratamientos 1, 4 y 7 se les aplicó 0mgL^{-1} de NPs de magnetita de manera foliar.

Para la aplicación de los tratamientos 2, 5 y 8 se aplicó una dosis de 125mgL^{-1} de NPs de magnetita por cada tratamiento. Debido a la etapa fenológica de la planta, estas ya se encontraban con mayor follaje se preparó 1 L de la solución aplicada para aplicarlo en las 6 repeticiones que se tenían por tratamiento. Se pesó 0.125 g L^{-1} de magnetita para disolverla en 1 L de agua destilada y aplicarlo en cada tratamiento.

La aplicación de los tratamientos 3, 6 y 9 vía foliar consistió en una dosis de 250mgL^{-1} de magnetita para cada tratamiento. En 1 L de agua destilada se disolvió 0.25g de magnetita para aplicarlo en las 6 repeticiones de cada tratamiento.

Descripción de tratamientos

Cuadro 3.3. Tratamientos aplicados con las nanopartículas de magnetita

Tratamientos	Drench mgL ⁻¹	Foliar mgL ⁻¹
1	0	0
2	0	125
3	0	250
4	125	0
5	125	125
6	125	250
7	250	0
8	250	125
9	250	250

T1: este tratamiento fue el testigo ya que la dosis fue de 0 mgL⁻¹ en drench y 0 mgL⁻¹ foliar.

T2: para el drench se utilizó 0 mgL⁻¹ y en foliar se utilizó 125mgL⁻¹ de NPs de magnetita.

T3: para el drench se utilizó 0 mgL⁻¹ y en foliar se ocupó 250 mgL⁻¹ de NPs de magnetita.

T4: para este tratamiento se utilizó 125 mgL⁻¹ de NPs de magnetita en drench y 0 mgL⁻¹ en foliar

T5: se utilizó 125 mgL⁻¹ de NPs de magnetita en drench y 125 mgL⁻¹ de NPs de magnetita en foliar.

T6: para este tratamiento se utilizó 125 mgL⁻¹ de NPs de magnetita en drench y 250 mgL⁻¹ en foliar.

T7: para el drench de este tratamiento se utilizó 250 mgL⁻¹ de NPs de magnetita y 0 mgL⁻¹ en foliar.

T8: se utilizó 250 mgL⁻¹ de NPs de magnetita en drench y 125 mgL⁻¹ en foliar.

T9: para este tratamiento se utilizó 250 mgL⁻¹ de NPs de magnetita en drench y 250 mgL⁻¹ en foliar.

Para la aplicación de cada tratamiento foliar cada planta se aislaba de las demás para evitar la contaminación con las plantas de diferente tratamiento. Así mismo para evitar la contaminación de los tratamientos en drench cada planta se encontraba encima de una placa de unicel la cual ayudaba a que la planta tuviera contacto con el suelo y está por osmosis pudiera tomar el drench de algún otro tratamiento.

Los tratamientos se aplicaban con agua destilada, previamente se pesaba la magnetita en una balanza analítica para mayor exactitud.

En el Cuadro 3.4 se muestran cómo se tenían acomodadas las plantas de acuerdo a los tratamientos utilizados, estas estaban acomodadas completamente al azar. En la primera fila se muestran el número de repeticiones y en las demás filas posteriores se muestran los tratamientos por número.

Cuadro 3.4. Croquis de los tratamientos utilizados en el proyecto

I	II	III	IV	V	VI
4	9	1	8	9	6
7	2	5	4	1	8
1	6	8	2	7	3
3	4	6	1	6	4
2	5	9	3	5	2
8	3	4	7	3	1
9	7	2	5	8	5
6	8	3	6	2	7
5	1	7	9	4	9

Manejo del fotoperiodo

Para la implementación de las noches largas artificiales se instaló una estructura que permitió sostener el plástico negro, se formaron tipo cortinas para poder cubrir la superficie donde se encontraban las nochebuenas y poder acortarles los días y

esto ayudo a la pigmentación de las brácteas, esta práctica se inició el día 6 de septiembre en donde se bajaban las cortinas a las 5:00 pm y al día siguiente se abrían a las 7:30 am, las noches artificiales tuvieron una duración de 2 meses, terminando el día 7 de noviembre.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con 9 tratamientos y 6 repeticiones.

Los datos se analizaron con el sistema SAS v. mediante ANOVA y la prueba de comparación de medias de Duncan.

IV. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos con los tratamientos utilizados en el experimento, donde fueron medidas diferentes variables para poder determinar la calidad en las plantas de nochebuena, se determinaron peso seco y fresco de los diferentes órganos de la planta, esto para determinar la biomasa que se pudo alcanzar con la aplicación de las NPs de magnetita, así como el diámetro basal del tallo, de la planta y de las inflorescencias, también se evaluó la altura de las plantas, se realizó para poder medir como influyeron las NPs aplicadas en las plantas de nochebuena.

Peso fresco y seco de la raíz.

El peso fresco de la raíz no fue afectado significativamente con la aplicación de las NPs de magnetita (Cuadro 4.1). Las plantas que se les aplicó una dosis de 0mg L^{-1} en forma de drench y 125mg L^{-1} de manera foliar resultaron con un mayor peso seco de la raíz, a diferencia de las que recibieron una mayor dosis de NPs via drench o foliar. En cuanto a los resultados del peso fresco de la raíz se tienen las mismas tendencias, pues se obtuvo un mayor peso fresco con las plantas que se les aplicó 0mg L^{-1} en forma de drench y 125mg L^{-1} de manera foliar, aunque sin efecto significativo.

Cuadro 4.1. Peso fresco y seco de la raíz, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mgL^{-1}	Foliar mgL^{-1}	Peso seco de raíz g	Peso fresco de raíz g
1	0	0	12.26a	78.76a
2	0	125	13.36a	82.26a
3	0	250	10.63a	68.73a
4	125	0	10.83a	68.2a
5	125	125	11.2a	68.96a
6	125	250	10.76a	66.6a
7	250	0	13.23a	79.66a
8	250	125	12.2a	78.13a
9	250	250	10.46a	66.83a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

Peso fresco y seco del tallo

El peso fresco del tallo fue afectado significativamente con la aplicación de NPs de magnetita (Cuadro 4.2.); a una dosis de 0mg L^{-1} y 125mg L^{-1} de manera foliar, se obtuvo con mayor peso fresco en el tallo a diferencia del tratamiento número 3 en el que se aplicó 0mg L^{-1} en drench y 250mg L^{-1} de forma foliar ya que esta fue la dosis más alta aplicada de forma foliar. En los resultados del peso seco del tallo se tuvo una mayor diferencia en el tratamiento 2, similar al peso fresco del tallo pues la dosis aplicada son 0mg L^{-1} en forma drench y 125mg L^{-1} de forma foliar, esta dosis superó al tratamiento 3 que es donde se tiene una mayor dosis de aplicación en forma foliar.

Cuadro 4.2. Peso fresco y seco del tallo, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mg L^{-1}	Foliar mg L^{-1}	Peso seco del tallo g	Peso fresco del tallo g
1	0	0	14.45c	75.95b
2	0	125	19.28a	97.40a
3	0	250	19.06a	95.24a
4	125	0	17.94ab	89.74ab
5	125	125	14.10c	72.53b
6	125	250	17.06abc	82.98ab
7	250	0	18.16ab	92.64a
8	250	125	15.47bc	89.70ab
9	250	250	16.30abc	80.85ab

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

El incremento que se tuvo en el peso seco del tallo fue de un 26% cuando se aplicó la magnetita a una concentración de 125mg L^{-1} , mientras que al aplicarla de manera foliar a una dosis de 250mg L^{-1} el incremento fue de un 23%. La aplicación de magnetita de forma en drench en las diferentes concentraciones que se

evaluaron no se detectó efectos significativos, así como tampoco la magnetita se aplicó a diferentes dosis de manera foliar y en drench.

Peso fresco y seco de las hojas

En el Cuadro 4.3 se muestran los resultados a la aplicación de NPs de magnetita en sus diferentes dosis, en el peso fresco de las hojas. El tratamiento donde hubo una diferencia significativa fue el número 3, utilizando una dosis de 0mg L⁻¹ en forma drench y 250mg L⁻¹ en forma foliar pues se tuvo mayor peso fresco en las hojas de nochebuena con la aplicación de las NPs de magnetita.

Para los resultados del peso seco de las hojas de nochebuena se tuvo una diferencia significativa con la aplicación de las NPs de magnetita a una dosis de 0mg L⁻¹ en forma drench y 250mg L⁻¹ de forma foliar, esta dosis superando al testigo que no se le aplicó (NPsFe).

Cuadro 4.3. Peso fresco y seco de las hojas, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mg L ⁻¹	Foliar mg L ⁻¹	Peso seco de las hojas g	Peso fresco de las hojas g
1	0	0	13.35bc	80.63bc
2	0	125	17.02a	105.66ab
3	0	250	17.18a	113.56a
4	125	0	16.10ab	93.92abc
5	125	125	12.34c	78.6c
6	125	250	15.44ab	91.20abc
7	250	0	15.46ab	101.10abc
8	250	125	14.40abc	102.70abc
9	250	250	15.43ab	97.40abc

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05

Peso seco y fresco de brácteas

El peso fresco de las brácteas fue afectado significativamente por los tratamientos con NPs de magnetita (Cuadro 4.4). Las plantas que se les aplicó una dosis de 0mg L^{-1} en forma de drench y 250 mg L^{-1} de manera foliar tuvieron mayor peso fresco en las brácteas, lo cual quiere decir que a mayor dosis vía foliar las NPs de magnetita son absorbidas de mejor manera por la planta de nochebuena.

En cuanto a los resultados del peso seco de las brácteas fue similar al peso fresco, pues con el mismo tratamiento 3 (Cuadro 4.4) se obtuvo mayor peso de las brácteas, siendo la misma dosis utilizada 0mg L^{-1} en forma drench y 250 mgL^{-1} de forma foliar a la aplicación de NPs de magnetita.

Cuadro 4.4. Peso fresco y seco de las bracteas, de la nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mgL^{-1}	Foliar mgL^{-1}	Peso seco de bracteas g	Peso fresco de bracteas g
1	0	0	11.80d	89.55d
2	0	125	15.24ab	113.60abc
3	0	250	17.22a	124.54a
4	125	0	15.58ab	115.48ab
5	125	125	12.15cd	98.0bcd
6	125	250	14.42bc	106.06abcd
7	250	0	14.56bc	113.42abc
8	250	125	12.17cd	95.72cd
9	250	250	14.98ab	111.60abc

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

Peso seco y fresco total

El peso fresco total fue afectado significativamente por los tratamientos con NPs de magnetita (Cuadro 4.5). Las plantas que recibieron una dosis de 0mgL^{-1} en forma drench y 250mgL^{-1} en forma foliar tuvieron un mayor peso fresco total, lo que quiere decir que el mejor tratamiento fue el 3 ya que se tuvo mayor resultado pues las NPs de magnetita se absorbe mejor de manera foliar que vía drench. En cuanto a los resultados del peso seco total fue similar al peso fresco pues se tuvo un mayor resultado utilizando el mismo tratamiento (Cuadro 4.5) lo que son las mismas dosis 0mg L^{-1} en forma drench y 250mgL^{-1} vía foliar.

Cuadro 4.5. Peso fresco y seco total de la planta, de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mgL^{-1}	Foliar mgL^{-1}	Peso seco total g	Peso fresco total g
1	0	0	39.60cd	243.13c
2	0	125	51.54a	316.66a
3	0	250	53.46a	333.34a
4	125	0	49.62ab	299.14ab
5	125	125	38.59d	249.13bc
6	125	250	46.92abc	280.24abc
7	250	0	48.18ab	307.16a
8	250	125	42.05bcd	288.13abc
9	250	250	46.71abc	289.85abc

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

El incremento en peso seco total fue de 25% cuando se aplicó la magnetita a una concentración de 125mgL^{-1} , mientras que al aplicarla a una dosis de 250mgL^{-1} el incremento fue del 30%. Al aplicar magnetita en drench en las concentraciones bajo evaluación no se detectó efectos significativos, así como tampoco cuando la magnetita se aplicó tanto foliar como al drench.

Altura de la planta

Al realizar una comparación entre los diferentes tratamientos que se aplicaron en las plantas de nochebuena, la variable altura de la planta fue afectada significativamente por el tratamiento número 4; el tratamiento número 6 también obtuvo resultados similares (Cuadro 4.6) con una aplicación de NPs de magnetita a una dosis de 125 mgL⁻¹ en forma de drench y 0 mgL⁻¹ vía foliar para el tratamiento 4 y, una dosis de 125mgL⁻¹ en drench y 250mgL⁻¹ vía foliar para el tratamiento 6, pues estas dosis superó la altura de las plantas tratadas a diferentes dosis de los tratamientos aplicados.

Cuadro 4.6. Altura de la planta de de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita

Tratamiento	Drench mg L⁻¹	Foliar mg L⁻¹	Altura de la planta (cm)
1	0	0	39.37 ab
2	0	125	42.06 a
3	0	250	38.18 ab
4	125	0	43.60a
5	125	125	36.51b
6	125	250	43.60a
7	250	0	40.40 ab
8	250	125	37.12 b
9	250	250	36.66b

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

Diámetro basal del tallo

De acuerdo a los resultados obtenidos para el diámetro basal del tallo no se tuvo una diferencia significativa a la aplicación de NPs de magnetita como se observa en el Cuadro 4.7. Sin embargo, el mayor resultado se obtuvo con el tratamiento número 6 con NPs de magnetita a una dosis de 125mg L⁻¹ en forma drench y 250mgL⁻¹ vía foliar, aunque con el tratamiento número 4 se tienen resultados similares pero las dosis varían ya que se aplicaron vía drench 125mgL⁻¹ y 0mgL⁻¹ en vía foliar.

Cuadro 4.7. Diámetro basal del tallo, de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mgL ⁻¹	Foliar mgL ⁻¹	Diámetro basal del tallo (mm)
1	0	0	14.77 a
2	0	125	14.91 a
3	0	250	15.89a
4	125	0	16.61a
5	125	125	15.31a
6	125	250	17.71a
7	250	0	16.11a
8	250	125	16.10a
9	250	250	14.17a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

Diámetro de la inflorescencia

De acuerdo a los resultados obtenidos a través de un análisis de varianza, se encontró una respuesta significativa para el diámetro de la inflorescencia con los tratamientos aplicados de NPs de magnetita (Cuadro 4.8). Las plantas a las que se les aplicó una dosis de 0mgL^{-1} en forma de drench y 125mgL^{-1} en vía foliar se obtuvo un mayor diámetro en las inflorescencias de la nochebuena a diferencia de los demás tratamientos aplicados. A diferencia del testigo que fue el que tuvo un menor diámetro de la inflorescencia.

Cuadro 4.8. Diámetro de la inflorescencia de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamiento	Drench mgL^{-1}	Foliar mgL^{-1}	Diámetro de la inflorescencia (mm)
1	0	0	24.31 b
2	0	125	28.52 a
3	0	250	27.55ab
4	125	0	25.70ab
5	125	125	27.01ab
6	125	250	26.52ab
7	250	0	25.79ab
8	250	125	27.72ab
9	250	250	26.64ab

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

Diámetro de la planta

De acuerdo con la comparación entre las diferentes dosis aplicadas a las plantas de nochebuena, se obtuvo un efecto significativo para la variable diámetro de la planta, como se puede observar en el Cuadro 4.9. Las plantas que se les aplicó una dosis de NPs de magnetita en forma drench 0mgL^{-1} y vía foliar 125mgL^{-1} se obtuvo un mayor diámetro en la planta, lo que se tuvo mayores resultados comparados con el testigo.

Cuadro 4.9. Diámetro de la planta de nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamientos	Drench mgL^{-1}	Foliar mgL^{-1}	Diámetro de la planta (cm)
1	0	0	44.66 cd
2	0	125	50.35a
3	0	250	48.60ab
4	125	0	45.50 bcd
5	125	125	42.60d
6	125	250	42.62bcd
7	250	0	46.55bc
8	250	125	43.12 cd
9	250	250	43.25cd

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

Número de inflorescencias

Al obtener los resultados de la variable de número de inflorescencias, se observa en el Cuadro 4.10 que se obtuvo un efecto significativo por los tratamientos aplicados con NPs de magnetita; en esta variable se obtuvieron resultados similares en el tratamiento 2 debido que se obtuvieron el mismo número de inflorescencias y el mayor número de inflorescencias, esto con una dosis aplicada de 0mgL^{-1} en drench y 125mgL^{-1} vía foliar, para el tratamiento 3 se tienen los mismos resultados pero con una dosis de 0mgL^{-1} vía drench y 250mgL^{-1} en forma foliar. A comparación con el testigo este se obtuvo un menor número de inflorescencias a diferencia de los demás tratamientos aplicados.

Cuadro 4.10. Número de inflorescencias de la nochebuena en una respuesta a la aplicación de nanopartículas de magnetita.

Tratamientos	Drench mgL^{-1}	Foliar mgL^{-1}	Número de inflorescencias
1	0	0	7.4abc
2	0	125	9.0a
3	0	250	9.0a
4	125	0	7.6abc
5	125	125	7.0bc
6	125	250	8.4ab
7	250	0	8.4ab
8	250	125	6.4c
9	250	250	7.6abc

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$

V. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos con esta investigación se observó en general que es posible aumentar la calidad de las plantas de nochebuena con la aplicación de NPs de magnetita, estas aplicadas de forma foliar debido a que se observó que de esta forma fueron mejor absorbidas por las plantas a diferencia de la forma de aplicación en drench. Las dosis que se tuvieron mejores resultados fueron 125mgL^{-1} vía foliar debido que las plantas con este tratamiento se vieron con mayor tamaño en las variables evaluadas, el tratamiento 3 con una dosis de 250mgL^{-1} vía foliar de NPs de magnetita también resulto ser altamente significativo, pues se obtuvo mayor biomasa en la planta.

La aplicación de las NPs en las plantas se está demostrando que se tiene el potencial de alterar los sistemas convencionales de producción de las plantas, esto permite la liberación de los agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, y herbicidas) de una manera más controlada. Las plantas pueden absorber las NPs intactas y transportarlas a los tejidos vegetales (Wang *et al.*, 2016). De acuerdo a las investigaciones se han demostrado que las NPs de magnetita (Fe_3O_4) se captan y se trasladan en las plantas, esto se observó en el cultivo de plantas de calabaza (*Cucurbita máxima*), se observó que no se tuvo algún efecto toxico aun con una concentración de 5gL^{-1} (Wang *et al.*, 2016).

Las NPs han tenido tendencia debido a que los cultivos fertilizados de manera convencional los nutrientes que son tomados del suelo o los microelementos se asimilan más lentamente o en su caso algunos se volatilizan y la planta no llega a tomarlos (Hofmann *et al.*, 2020). Las NPs en especial los óxidos de Fe, Zn, Cu y Mn tienen mayor potencial para poder suministrar nutrientes a las plantas a través del suelo o también de forma foliar estas aplicaciones resultaron con un mayor aumento en la cosecha (Montereal *et al.*, 2016). De acuerdo a estos estudios realizados por investigadores concuerda con el experimento realizado ya que se vieron mejores resultados en la aplicación de las NPs de magnetita de forma foliar, esto a una concentración de 125mgL^{-1} y también el tratamiento 3 que fue a una dosis foliar de 250mgL^{-1} , por lo que también tiene relación en que la aplicación de estas NPs aumentan la cosecha, en las nochebuenas se vio reflejado en el

aumento de tamaño en las variables evaluadas como fue; peso seco y fresco de la raíz, peso seco y fresco del tallo, peso seco y fresco de las hojas, peso seco y fresco de las brácteas, peso seco y fresco total, altura de la planta, diámetro de la inflorescencia y planta, diámetro del tallo y número de inflorescencias.

En el presente trabajo se observó que las plantas de nochebuena absorbieron de mejor manera las NPs de magnetita de manera foliar que de forma en drench.

De acuerdo a estudios realizados por Achari y Kowshik (2018) las NPs se pueden estar moviendo bidireccionalmente y acumular en órganos de la planta como son raíz, tallo, frutos, granos y hojas jóvenes; esto nos da a entender que las NPs aplicadas en el cultivo de nochebuena pudieron ser acumuladas en los diferentes órganos de la planta. Un efecto importante de las NPs de magnetita se concentró en el peso seco total y en el peso seco del tallo, lo que sugiere que ayuda a generar en la planta mayores reservas por lo que se llega a tener plantas con mayor calidad y por consecuencia con una mayor vida postcosecha. Esto se puede llegar a deber por el hierro de la magnetita que pudo haber influido en la clorofila, pues se requiere para la síntesis de este pigmento, que pudo haber afectado positivamente la fotosíntesis y así a la acumulación de reservas y carbohidratos, por lo que se tuvo un aumento en mayor peso seco y fresco en la planta.

Elfeky *et al.* (2013) informaron que con la aplicación foliar de NPs de magnetita aplicada en la planta de albahaca dulce (*Ocimum basilicum*) se estimuló la síntesis de clorofila y carbohidratos y se notó un aumento de crecimiento en la planta; así mismo se tuvieron resultados en el aumento de biomasa y generación del aceite esencial, por la formación de complejos insolubles de Fe_3O_4 . Estos resultados se obtuvieron con una dosis foliar de $1.3mgL^{-1}$. En este mismo estudio se observó que la aplicación foliar de NPs de magnetita en plantas de calabaza (*Cucurbita máxima*) a una concentración de $250-500mgL^{-1}$ fueron las óptimas para mejorar el contenido de biomasa y aumentar la clorofila.

En la actualidad en la agricultura se busca aprovechar los fertilizantes de la mejor manera, que estos puedan ser tomados por las plantas y aprovechados para que

se puedan tener cultivos con un mayor rendimiento. La aplicación de los nanofertilizantes en lo que respecta a los micronutrientes pueden generar efectos positivos indirectos al mejorar la absorción de los macronutrientes. La aplicación de micronutrientes en forma de NPs se ha demostrado que las plantas pueden generar tolerancia al estrés abiótico (Hofmann *et al.*, 2020).

En otra investigación se encontró que el uso de nanofertilizante de Fe_2O_3 en plantas de vinca (*Catharanthus roseus*) se tuvo un aumento de crecimiento en comparación con las plantas que no se les aplicó las NPs de Fe_2O_3 (Kopittke *et al.*, 2019). Estas aplicaciones se realizaron en el suelo, lo que quiere decir que la aplicación en el suelo tiene efectos positivos; en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea*) se tuvo efectos altamente significativos en el aumento de la longitud de raíz, altura de la planta y biomasa, también se notó un aumento significativo en el peso seco de la raíz y el número de ramas comparadas con el testigo que no se le aplicó Fe_2O_3 (Kopittke *et al.*, 2019).

De acuerdo a Tovar *et al.* (2020) en un estudio de la aplicación de NPs de óxido de hierro en hojas de moringa (*Moringa oleifera*), los resultados arrojaron que las hojas que recibieron este tratamiento la formación de proteínas y péptidos por lo que se tienen mayor generación de reservas en esas hojas comparadas con el testigo que no recibió la aplicación de NPs de óxido de hierro. De acuerdo a investigaciones se tiene que los aminoácidos quelatan iones metálicos y los reducen para formar NPs. Esto es posible por el grupo COOH . NH_2 de la cadena principal como la cadena lateral pueden mediar la unión de iones metálicos, siendo hojas de moringa de alto contenido de amino (Tovar *et al.*, 2020).

Lo que se busca de forma comercial en la producción de cultivos es que estos sean de buena calidad, que tengan una mayor vida de anaquel, por lo tanto, se busca tener plantas con buen vigor, pues al tener plantas con una biomasa alta se tendrán plantas con vigor y de calidad. De la misma manera al tener plantas con tallos con mayor biomasa se tendrá una planta con mayor vigor, de la misma forma se tendrán buenas hojas que aumentarán la actividad fotosintética y por

consecuencia se tendrán inflorescencias de mayor tamaño y con calidad que es lo que se busca en la producción comercial.

VI. CONCLUSIÓN

La aplicación de NPs de magnetita vía foliar aumento el crecimiento y biomasa de las plantas tratadas de nochebuena probablemente el papel del Fe que contienen las NPs de magnetita participaron en la síntesis de clorofila y su papel en la clorofila. Con la aplicación en drench no se vio favorecida pues no se observaron mejoras significativas en el crecimiento de las plantas.

El uso de 250 mgL^{-1} vía foliar incremento el peso seco total lo cual mejoro mayor cantidad de biomasa en las plantas, no así con la aplicación en drench; por lo tanto, no se obtuvo una respuesta altamente significativa vía drench y solo en la variable altura de planta se observó significancia aplicando 125 mgL^{-1} de NPs de magnetita en drench y 250 mgL^{-1} vía foliar.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Abad B., M., Noguera M., P. y Carrión B., C. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: Cadahía L., C. (Ed.) Fertirrigación, cultivos hortícolas frutales y ornamentales, 3ª ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 299 Pp.

Achari, G. A., y Kowshik, M. 2018. Recent developments on nanotechnology in agriculture: plant mineral nutrition, health, and interactions with soil microflora. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(33), 8647-8661.

Aldridge, S. 2012. Biotechnology. In B. W. Lerner & K. L. Lerner (Eds.), In Context Series. Biotechnology. Detroit: Gale.

Azarpour, E., Asghari, J., Bozorgi, H., y Kamalpour, G. 2013. Foliar spraying of *Ascophyllum nodosum* extract, methanol and iron fertilizers on fresh flower cover yield of saffron plant (*Crocus sativus* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(17), 1854-1862

Bing, A. 1987. Cornell poinsettia guidelines for New York State. Cornell University. USA

Burés, S. 1997. Sustratos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas S.L. 342 Pp.

Cabrera, J. R., y Orozco, M. R. R. 2003. Diagnóstico sobre las plantas ornamentales en el estado de Morelos. INIFAP. México. 26 Pp.

Cabrera, R. J., Morán, F. M., y Torres, R. Q. 2006. Producción de nochebuena *Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch. en Morelos. Folleto Técnico No. 23. 20 Pp.

Calderón, S. F., y Cevallos, F. 2003. Los sustratos. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm. Consultado en enero 2009.

Canul K. J., y García, P. F. 2012. Efecto sobre la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1496 Pp.

Cañas, J., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M., Ambikapathi, R., y Olszyk, D. 2008. Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(9), 1922-1931

Carmichael, J. L., 1990. Manual de Nochebuena PLANTEC. Ed. No. 4 Amacuzac, Morelos México. 10 Pp.

Catalán, P. W. O. 2018. Caracterización de cultivares de (*Euphorbia pulcherrima*, willd. ex klotzch) para mercado local; San Miguel Dueñas, Sacatepéquez. Tesis de de Grado de la Universidad Rafael Landivar. Escuintla, Guatemala. 4Pp.

Cortes, V. R. A. 2007. El cultivo de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima Will.*) una alternativa de producción en el valle del ocotito, estado de Guerrero, México. Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 23-28 Pp.

Chávez, A. N., Romantchik, K. E., Gracia, L. C., y Velázquez, M. B. 2008. Desinfección de suelos y sustratos en la agricultura. Métodos y equipos. Universidad Autónoma Chapingo. 229 Pp.

Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R., y Kumar, A. 2015. Nanotechnology in agro-food: from field to plate. *Food Research International*, 69, 381-400.

De Rosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., y Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nat Nanotechnol* 5:91. doi:10.1038/nnano.2010.2

Díaz, S. F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coahuila, México. 44 – 68 Pp.

Ecke, P., Faust, J. E., Higgins, A., y Williams, J. 2004. The ecke poinsettia manual. 1er edition. Ball publishing. Batavia, Illinois 60510. 287 Pp.

Ecke, P. 1990. The Poinsettia Manual. En P. E. jr. USA: Paul Ecke de Third Edition Encinitas California

- Elfeky, S. A., Mohammed, M. A., Khater, M. S., Osman, Y. A., y Elsherbini, E. 2013. Effect of magnetite nano-fertilizer on growth and yield of *Ocimum basilicum* L. *Int. J. Indigenous Med. Plants* 2013, 46, 1286– 1293.
- Fernández, M.M., Aguilar, M.I., Carrique D. D. R., Tortosa, J., García, C., López, M., y Pérez, J. M. 1998. Suelo y medio ambiente en invernaderos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Fraceto, L., Grillo, R., Medeiros, G., Scognamiglio, V., Rea, G., y Bartolucci, C. 2016. Nanotechnology in Agriculture: which innovation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*, 4(20), 1-5 Pp.
- Galbraith, D. W. 2007. Nanobiotechnology: silica breaks through in plants. *Nanotechnology* 2:272–273
- Galindo, G. D., Alia, T. I., Andrade, R. M., Colinas, L. M., Canul K. J., y Sainz, A. M. 2012. Producción de nochebuena de sol en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4):751-763.
- Giraldo, J.P., Landry, M.P., Faltermeier, S. M., Nicholas, T. P., Iverson, N. M., Boghossian, A. A., Reuel, N. F., Hilmer, A. J., Sen, F., Brew, J. A., y Strano, M. S. 2014. Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. *Nat Mater*. doi:10.1038/nmat3890
- Heins, R., y Carlson, W. H. 1982. Producing poinsettias for profit. A commercial grower's guide. Extension bulletin e---1382, February. Michigan state university.
- Hernández, N., y Mata, F. 2019. Evaluación de tres sustratos en el crecimiento de pascuas (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Zamorano. Tesis de pregrado. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 25 Pp.
- Hernández, C. N. 2011. Evaluación de sustratos para la propagación de gerbera (*Gerbera Jamesonii*) en el CECYTEH plantel Huautla Hidalgo. Memoria presentada como requisito para obtener el título de Técnico Superior Universitario en Agrobiotecnología. 33 Pp.

Hofmann, T., Lowry, G. V., Ghoshal, S., Tufenkji, N., Brambilla, D., Dutcher, J. R., y Wilkinson, K. J. 2020. Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. *Nature Food*, 1(7), 416-425.

Holden, 2012 nano-toxicologías ecológicas de P.A. y otros el nanomaterial de integración aventura consideraciones a través del subcclular, de la población, de la comunidad, y de los niveles de los ecosistemas. CRNA. Chem. Res., 46, 813-822.

Hulla, J., Sahu, S., y Hayes, A. 2015. Nanotechnology History and future. *Human & Experimental Toxicology*, 34(12), 1318-1321.

Khot, L., Sankaran, S., Maja, J., Ehsani, R., y Schuster, E. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. *Crop Protection*, 35, 64-70

Kofranek, A. A. 1992. Cut chrysanthemums. En: LARSON R. A., ed. Introduction to floriculture: 2ed. San Diego, California: Academic Press. 5 Pp.

Kopittke, P. M., Lombi, E., Wang, P., Schjoerring, J. K., y Husted, S. 2019. Nanomaterials as fertilizers for improving plant mineral nutrition and environmental outcomes. *Environmental Science: Nano*, 6(12), 3513-3524.

Lee, I. 2000. Phytoplasma casts a magic spell that turns the fair poinsettia into a Christmas showpiece. Online. Plant Health Progress doi: 1094/PHP-2000-0914-01-RV.

Lira, S. R. H., Méndez, A. B., De los Santos, V. G., y Vera, R. I. 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28 (2), 9-24. doi: 10.15174/au.2018.1575

López, M. N. N. 2012. Respuesta de brotación de dos variedades de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima Will.*) a reguladores de crecimiento y manejo. Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 6-33 Pp.

McIntyre, I. A. 2014. Nanotechnology. In K. L. Lerner & B. W. Lerner (Eds.), *The Gale Encyclopedia of Science* (5th ed.). Farmington Hills, MI: Gale

Nuruzzaman, M., Rahman, M., Liu, Y., y Naidu, R. 2016. Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: a new window for safe application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(7), 1447-1483

Monreal, C. M., De Rosa, M., Mallubhotla, S. C., Bindraban, P. S., y Dimkpa, C. 2016. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biology and fertility of soils*, 52(3), 423-437.

Penningsfeld, F., y Kurzmann, P. 1983. *Cultivos Hidropónicos y en Turba*. 2ª. Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 343 Pp.

Pérez, V. E. A., Betancourt, G. R., Valdez, A. L. A., González, F. J. A., Puente, U. B. A., Lozano, M. S. A., y Sánchez, V. S. 2020. Effects of the morphology, surface modification and application methods of ZnO-NPs on the growth and biomass of tomato plants. *Molecules* 25(6):1282.

Pérez, V. E. A., Valdez, A. L. A., Betancourt, G. R., Martínez, J. J., Lozano, M. S. A., González, F. J. A., y Puente, U. B. A. 2021. Gas Exchange Parameters, Fruit Yield, Quality, and Nutrient Status in Tomato Are Stimulated by ZnO Nanoparticles of Modified Surface and Morphology and Their Application Form

Perni, S., Thenault, V., Abdo, P., Margulis, K., Magdassi, S., y Prokopovich, P. 2015. Antimicrobial activity of bone cements embedded with organic nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 10(1), 6317-6329

Quintanar, A.F. 1961. *Las Plantas Ornamentales*. SARH México, D.F. 87-91 Pp.

Quintero, C. M. F., González, M., y Guzmán, J. M. P. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *In: Flórez R., V. J. (ed). Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*. Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. 79-108 Pp.

Robles, A. D. P., Rodríguez, P. N., y Pataquiva, M. A. 2019. Synthesis of magnetite nanoparticles using papaya peel extract for the azo dyes degradation in

aqueous solutions. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(3), 431-442. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000300431>

Ruíz, A. C. 2015. Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima Willd ex Klotzch*) tratado con 1-MCP. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 3(5), 1149-1158.

SADER 2019. Comunitado. Obtenido de la red www.Edo.Mexico.gob.mx

SAGARPA. 2016. Curso Taller Cultivo de la Nochebuena: Retos sobre nutrición y sanidad. [internet]. Ciudad de México: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). [consultado el 04 de jul. De 2020]. <https://docplayer.es/68622548-Curso-taller-cultivo-de-la-nochebuena-manual-delparticipante-retos-sobre-nutricion-y-sanidad.html>

Sánchez, A. J. M. 1998., Evaluación de enraizadores y fertilizantes foliares sobre el enraizamiento y desarrollo del cultivo de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima Will ex.*). Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México. 21 Pp.

Sánchez, C. 1988. Hidroponía principios y métodos de cultivo. Tercera edición. Ed. Uni. A. ChSingh, A., Lal, M., Singh, S., Khan, A., Singh, S., & Tiwari, A. (2015). Scope of nanotechnology in future agriculture-an overview. *Agrica*, 3(2), 1-13 Pp.

Sánchez, S. O. 1979. Flora del Valle de México. Ed. Herrero. México, D. F. 230-240 Pp.

SIAP 2018. Comunitado. Obtenido de la red www.Edo.Mexico.gob.mx.

Steinmamnn, V. W. 2002. Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en Mexico. Instituto de Ecología. A. C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro Michoacán 61: 61-93 Pp.

Tarafdar, J., Raliya, R., Mahawar, H., y Rathore, I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Agricultural Research*, 3(3), 257-262 Pp.

Telechana, J. 2018. Evaluación de sustratos alternativos a base de cascarilla de arroz y compost en plántulas de pascuas. Tesis de pregrado. Ecuador: Universidad Técnica De Ambato. 63 Pp. [consultado el 25 de sept. de 2020].

Tovar, G. I., Briceño, S., Suarez, J., Flores, S., y González, G. 2020. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management.

Trejo, L., Arroyo, T. P. F., Olsen, K. M., Eguiarte, L. E., Arroyo, B., Gruhn, J. A., y Olson, M. E. 2012. Poinsettia's wild ancestor in the Mexican dry tropics: historical, genetic, and environmental evidence. *American Journal of Botany*, 99(7), 1146-1157

Vázquez, L. M., y Castañeda, E. S. 2004. Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) Cuetlaxochitl. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. [consultado el 5 de sept. de 2020]; 12: 2345-2357. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263143809008.pdf>

Wang, P., Lombi, E., Zhao, F. J., y Kopittke, P. M. 2016. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in plant science*, 21(8), 699-712 Pp.

Wareing, P. F., y Phillips, I. D. J. 1981 Growth and differentiation in plants. 3ed. New York: Pergamon Press. 343 Pp.

Zhang, X., Su, H., Zhao, Y., y Tan, T. 2008. Antimicrobial activities of hydrophilic polyurethane/titanium dioxide complex film under visible light irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 199(2-3), 123-129 Pp.