

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación Foliar de Nanopartículas de Hierro y su Efecto en las Plantas de
Frijol Ejotero cv. Strike

Por:

YOANA GUADALUPE DIAZ CASTAÑEDA.

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2020.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación Foliar de Nanopartículas de Hierro y su Efecto en las Plantas de
Frijol Ejotero cv. Strike.

Por:

YOANA GUADALUPE DIAZ CASTAÑEDA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el comité de asesoría:

Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor principal

Dra. Rebeca Betancourt Galindo
Asesor principal externo

Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor

Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez
Coasesor

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

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2020.



AGRADECIMIENTOS

Cuando comencé mis estudios sabía que delante de mí había un camino muy largo y difícil de recorrer, sin embargo, puede continuar adelante con mucho esmero y dedicación. Doy gracias a **DIOS** por haberme dado las herramientas, el coraje, la gracia y aprendizaje en cada desempeño estudiantil a lo largo de estos cinco años (2015-2020), por ahora culminar mi carrera profesional, porque sé que soy capaz de mucho más. Te doy muchas gracias Dios por mis padres, porque fueron ellos los que me dieron la educación que necesitaba, los valores por los que guio mi vida y los motivos de superación constante.

A mi gran y extraordinaria casa de estudios: **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)** por haber sido un hogar para mí durante cinco años, por formarme como profesional. Mi amada Alma Terra Mater, mis más sinceros agradecimientos, te llevaré siempre en mi corazón.

Al **Dr. Armando Hernández Pérez** por asumir junto conmigo la responsabilidad de la elaboración de este trabajo; gracias por su tiempo, tolerancia y por transmitirme sus conocimientos para enriquecer mi formación. Mi respeto y admiración para usted porque es una excelente persona y profesor.

A la **Dra. Rebeca Betancourt** por su disponibilidad, colaboración y ayuda en la realización de este trabajo de investigación, por brindarme su apoyo moral, brindarme ánimos en todo momento. Seguramente sin su ayuda, no habría obtenido los resultados con los métodos mejor aconsejados.

DEDICATORIA

Con dedicatoria muy especial a mis padres **Oscar Díaz Fonseca** y **Rosario Castañeda Méndez** por ser los principales motores de mis sueños, gracias por siempre confiar y creer en mí y en mis expectativas, a mi madre por siempre acompañarme y apoyarme en todo momento, por cada una de las agotadoras y largas noches de desvelo con el único fin de proveernos alimento y estudio, agradezco todo tu esfuerzo, eres mi luz en la oscuridad, eres mi TODO; gracias a mi padre por siempre desear lo mejor para mí y luchar para que lo tuviera, gracias por cada palmada en la espalda y por cada palabra que fueron mi guía en el transcurso de la carrera y de mi vida. Eres quien despertó en mi la curiosidad y gusto por la agronomía, recuerdo aquellos días cuando de niña te acompañaba a fertilizar la milpa, pero antes de empezar el trabajo me quitabas los aretes y los guardabas en tu bolsillo para no perderlos, disfrutaba mucho acompañarte, me hacías sentir la niña más importante para ti, me encantaba montar a caballo, pasar por el río y todo ello escuchándote; a veces historias o cualquier otra cosa pero todo me parecía interesante, tengo muy bonitos recuerdos a tu lado papá.

¡LOS AMO!

A mi abuelo **Artemio Castañeda Cantoral (†)** sé que desde el cielo me estás viendo; te dedico este trabajo tan importante para mí, lo prometido es deuda.

A mis hermanos **Yesica Yanir** y **Oscar de Jesús** por darme a cuatro hermosas sobrinas; **Mildred Hassel, Stephanie, Dalila Jaqueline y Kaori Raquel** quienes han sido parte fundamental de este logro académico. Hoy se ven culminados nuestros esfuerzos y deseos.

La pieza perfecta para lograr tan dichosa y merecida victoria **Francisco Javier del Ángel Santiago**, aprecio todo lo que haces por mí, la ayuda que me has brindado es de gran importancia, este logro es para ambos pues confío en Dios compartiremos esta vida juntos.

Muchas gracias mi amor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
21 Importancia del frijol ejotero	4
22 Hábitos de crecimiento del frijol.....	4
2.2.1 Tipo I: hábito de crecimiento determinado arbustivo.....	5
2.2.2 Tipo II: hábito de crecimiento indeterminado arbustivo	5
2.2.3 Tipo III: hábito de crecimiento indeterminado postrado	5
2.2.4 Tipo IV: hábito de crecimiento indeterminado trepador.....	6
23 Aporte nutricional del frijol	6
24 Importancia de Fe en el ser humano	7
25 ¿Qué es la nanotecnología?	8
26 Antecedentes de la nanotecnología	8
27 Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura.....	9
28 Nanopartículas	10
29 Origen de las nanopartículas.....	11
210 Toxicidad de las nanopartículas en las plantas.....	11
211 Nanofertilizantes	12
212 Modo de Absorción y Translocación de las Nanopartículas.....	13
213 Nanopartículas como herbicidas.....	13
214 Nanopartículas como plaguicidas	14
215 Nanopartículas como pesticidas	15
216 Nanotubosdecarbón(NTC)	15
217 Óxidos de hierro.....	16

218 Magnetita	16
219 Nanopartículas magnéticas.....	17
220 Aplicaciones.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
31 Localización del sitio experimental.....	20
32 Preparación de solución (Nanopartículas de magnetita).....	20
33 Descripción del material genético.....	20
34 Preparación de sustrato y semillas.....	20
35 Siembra	21
36 Tratamientos	21
37 Fertilización	22
38 Manejo del cultivo.....	22
3.8.1 Riego	22
3.8.2 Tutorio	22
3.8.3 Podas.....	22
3.8.4 Control de plagas y enfermedades.....	22
39 Toma de datos.....	23
3.10 Variables evaluadas.....	23
3.10.1 Peso fresco del fruto (g).....	23
3.10.2 Peso seco del fruto (g).....	23
3.10.3 Peso fresco follaje (g).....	23
3.10.4 Peso seco del follaje (g).....	23
3.10.5 Peso fresco de la raíz (g).....	23
3.10.6 Peso seco de la raíz (g).....	24
3.10.7 Longitud del fruto (cm).....	24
3.11 Diseño del experimento y análisis estadístico.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
41 Peso fresco foliar (PFFo).....	25
42 Peso fresco de vaina (PFV).....	26
43 Peso seco de vaina (PSV).....	27
44 Peso seco total.....	28
45 Peso seco de la vaina (PSV) vs peso seco de raíz (PSR)	29
46 Peso seco foliar Vs peso seco de raíz.....	29
V. CONCLUSIONES.....	31
VI. LITERATURA CITADA.....	32

LISTA DE FIGURAS

figura 1. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso fresco foliar	25
figura 2. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso fresco vaina.....	26
figura 3. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso seco de vaina.....	27
figura 4. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso seco total.....	28
figura 5. Peso seco de vaina de 6 tratamientos con diferente peso seco de raíz.....	29
figura 6. Peso seco foliar de 6 tratamientos con diferente peso seco de raíz	29

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Ingestas recomendadas de hierro en el ser humano	7
Tabla 2. Descripción de los tratamientos.....	21

RESUMEN

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el área de invernaderos del Departamento de Agrobiología, en Saltillo, Coahuila, México, durante el periodo marzo-mayo 2020. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de las nanopartículas de hierro (NPsFeO) en crecimiento y producción de biomasa en plantas de frijol ejotero de la variedad Strike. Se evaluaron seis concentraciones de NPsFeO (0, 50, 100, 200, 300 y 500 ppm) con 7 repeticiones cada una, dando un total de 42 plantas. El diseño utilizado fue completamente al azar. Se realizaron tres aplicaciones; en semilla, etapa de floración y llenado de vainas. El crecimiento y rendimiento de las plantas de frijol ejotero disminuye con concentraciones de 500 ppm de NPsFeO, mientras que aplicaciones de 300 ppm de NPsFeO e inferiores a esta (0, 50, 100 y 200) el crecimiento y rendimiento aumenta. La aspersión de diferentes concentraciones de NPsFeO afectó significativamente cada una de las variables evaluadas. Para el Peso fresco foliar (PFFo), las aplicaciones de 300 ppm NPsFeO mostraron un aumento en PFFo en un 54.8% respecto al testigo. Para la variable Peso fresco de vaina (PFV) se obtuvo mayor rendimiento en plantas tratadas con 300 ppm de NPsFeO, superando a las plantas tratadas con 500 ppm en un 26.88%. El peso seco de la vaina (PSV) aumenta con el incremento de concentración de NPsFeO en un 74.95% aunque a concentraciones mayores a 300 ppm se observa una reducción de masa seca de un 28.48%. El peso seco total (PSTo) disminuye en un 26.2% en plantas tratadas con 500 ppm NPsFeO con respecto a las plantas tratadas con 300 ppm NPsFeO.

Palabras clave: frijol ejotero, nanotecnología, nanopartículas, magnetita.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es considerado como una hortaliza de importancia mundial (Rosales *et al.*, 2019), además de ser un producto estratégico dentro del panorama del desarrollo rural en México, esto se debe a que juntamente con el maíz representa toda una tradición productiva y de consumo, es la principal fuente de proteína vegetal de la población mexicana, además de proveer carbohidratos, vitaminas, minerales y fibras. En México se ha convertido junto con el maíz y chile como un alimento tradicional en la dieta alimentaria (SIAP, 2019), el frijol es cultivado principalmente para consumirse como grano seco y en menor cantidad es utilizado para alimentación como semillas frescas y vainas (Fernández y Sánchez, 2017)

Por otra parte, la nanotecnología (NT) estudia los materiales que están dentro de la escala atómica y molecular (1-100 nm), los más estudiados son las nanopartículas metálicas (NPs) y las derivadas del carbón. En la agricultura han comenzado a investigarse estos nanomateriales que prometen incrementar la producción de alimentos hortícolas (Ricardo *et al.*, 2018). Además, han sido utilizadas como nanofertilizantes y nanoplaguicidas para el manejo eficiente de nutrientes, mejora genética, tratamiento de enfermedades y promover el crecimiento de las plantas (De la Rosa *et al.*, 2017), mismo que las NPs de magnetita exhiben una gran superficie que, por su baja toxicidad y la tolerancia por el organismo humano, las hace convenientes para una gran gama de aplicaciones en diversas áreas como la agronomía, biotecnología, ambiental, medicina, entre otras.

Por otra parte, el hierro es de gran importancia en el cuerpo humano, es indispensable para la formación de la hemoglobina, en el organismo, el hierro se encuentra principalmente en la sangre, pero también en los órganos y en los músculos. Una alimentación deficiente en hierro hace que se produzca anemia, cuando los niveles de hemoglobina en la sangre son menores de 12 miligramos por decilitro en los hombres y 11 miligramos por decilitro en mujeres, lo que se traduce en cansancio, debilidad y palidez (Rojas, 2012). En el campo agrícola, diversos experimentos se han realizado para conocer el tamaño óptimo, forma y concentración de las NPs para que sean aplicadas

a las plantas tratando de mejorar su penetración y su efecto sobre el rendimiento y calidad (Da Costa y Sharma, 2016).

Un experimento realizado por Siva y Benita (2016) en un sistema hidropónico usando una solución Hoagland con 100 ppm de NPs de óxido de hierro en comparación con el quelato de hierro EDTA. Los datos generados muestran que las raíces de jengibre absorben NPs de óxido de hierro, mejorando rendimientos, además de mostrar un incremento en los niveles de proteína y contenido de hierro en el rizoma.

Moreno (2017) menciona que el uso de NPs de Fe_2O_3 (5 ppm y 10 ppm) mostró un desarrollo favorable en las plántulas de tomate, sobre todo en altura y diámetro de tallo, además de estimular la floración temprana e incremento de biomasa fresca en todos los tratamientos en comparación con el control. Lo anterior coincide con Moghadam et al. (2015), quienes indican que la aplicación de NPs metálicas en plantas genera un mayor porcentaje de germinación, tasa de crecimiento, biomasa de raíz y brotes, propiciando un aumento en parámetros fisiológicos y en las actividades fotosintéticas y metabólicas de los cultivos.

El trabajo de Méndez (2016), señala que las NPs FeO , actúan como promotores del crecimiento de plantas de pimiento. Debido a eso, los nanofertilizantes son uno de los productos potenciales que podrían ser una innovación importante para la agricultura, ya que las NPs son muy pequeñas, permiten la interacción mejorada y la absorción eficiente de los nutrientes por hojas y raíces para la fertilización del cultivo.

La utilización de NPs como un pretratamiento en semillas mejora el porcentaje de germinación. La aplicación de NPs estimula la germinación de la mayoría de las especies, pero su respuesta está en función de la concentración y el genotipo (Janmohammadi y Sabaghnia, 2015).

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de las NPsFeO sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de frijol ejotero cv. Strike.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de las concentraciones de NPsFeO sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de frijol ejotero cv. Strike.
- Determinar la mejor concentración de NPsFeO que incremente la biomasa fresca y seca de las vainas de frijol ejotero cv. Strike.

1.3 HIPÓTESIS

Al menos una de las concentraciones de NP-FeO mostrará efectos positivos en el crecimiento y rendimiento de las plantas de frijol ejotero cv. Strike.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del frijol ejotero

En 2018, el frijol ocupó la tercera posición en importancia por la superficie sembrada en México, con 7.9 por ciento del total, el consumo anual per cápita es de 9.9 kg. Durante el año agrícola 2018 se cosecharon 1.596 millones de hectáreas de frijol: 86.8 por ciento de temporal y 83 por ciento en el ciclo Primavera-Verano (P-V). Se reportó siniestro total en 4.7% de la superficie sembrada.

Durante el 2019 se sembraron 1,411,550 ha del cual se obtuvo un rendimiento de 12.96 toneladas/ha, los estados con mayor producción son; Sinaloa con 128,311 ton, Nayarit 71,460 ton, Chiapas 41,104 ton. La producción nacional satisface 89.24% de los requerimientos nacionales con producción interna, mientras que las importaciones provienen principalmente de Estados Unidos, Canadá y China (Cedrssa, 2020; SIAP, 2019).

De acuerdo con datos de la FAO a nivel mundial México es el séptimo productor con 1.18 millones de toneladas al año, lo que representa alrededor del 3.4% de la producción mundial en 2017. Los países con mayor producción mundial son la India 20.3%, Myanmar (Birmania) 17.4%, Brasil 9.7% y Estados Unidos con el 5.2%. La superficie cosechada mundial de este grano se estima en 36 millones de hectáreas observándose un incremento en la superficie cosechada y una mayor producción mundial (Cedrssa, 2020; FAO, 2017). El consumo per cápita mundial es de 2.5 kilogramos por persona por año.

2.2 Hábitos de crecimiento del frijol

Este concepto morfoagronómico puede ser definido como el resultado de la interacción de varios caracteres de la planta que determinan su arquitectura final. Debido a que algunos de estos caracteres son influenciados por el ambiente, el hábito de crecimiento puede ser afectado por éste.

Los principales caracteres morfoagronómicos que ayudan a determinar el hábito de crecimiento son:

- El tipo de desarrollo de la parte terminal del tallo: determinado o indeterminado.
- El número de nudos.
- La longitud de los entrenudos y, en consecuencia, la altura de la planta.
- La aptitud para trepar.
- El grado y tipo de ramificación. Es necesario incluir el concepto de guía definida como la parte del tallo o de las ramas que sobresale por encima del follaje del cultivo.

2.2.1 Tipo I: hábito de crecimiento determinado arbustivo.

Según Fernández (2016);

El tallo principal y las ramas laterales terminan en una inflorescencia. Al expresarse estas inflorescencias, el crecimiento, ya sea del tallo principal o de las ramas, se detiene. El tallo principal es vigoroso y presenta 5 a 10 entrenudos comúnmente cortos. La altura de las plantas varía normalmente entre 30 y 50 cm, existiendo casos de plantas enanas (15 a 25 cm). La etapa de floración es rápida y la madurez de las vainas ocurre en forma bastante concentrada.

2.2.2 Tipo II: hábito de crecimiento indeterminado arbustivo.

Las plantas presentan un hábito indeterminado, continuando con su crecimiento en los tallos luego de ocurrida la floración. Las plantas presentan un crecimiento erecto y un bajo número de ramas. El tallo principal normalmente desarrolla una guía de escaso crecimiento.

2.2.3 Tipo III: hábito de crecimiento indeterminado postrado.

Las plantas presentan un hábito postrado o semipostrado, con un importante sistema de ramificación. El tallo principal y las numerosas ramas existentes pueden presentar aptitud trepadora a partir de las guías que presentan en su parte terminal, especialmente si cuentan con algún tipo de soporte. Las guías, que corresponden a prolongaciones de los tallos que se aíslan de la cobertura del cultivo, comienzan a expresarse luego de iniciada la floración; los entrenudos de las guías, en tanto, son mucho más largos que los entrenudos

de los tallos. La etapa de floración es más prolongada que en los hábitos Tipo I y Tipo II, y la madurez de sus vainas es bastante menos concentrada.

2.2.4 Tipo IV: hábito de crecimiento indeterminado trepador.

El tallo principal, que puede tener de 20 a 30 nudos, alcanza hasta 2 o más metros de altura si es guiado, ya sea a través de tutores o de plantas de cultivo que le sirvan como soporte. La floración se prolonga durante varias semanas, pudiendo presentarse vainas casi secas en la parte basal de la planta, mientras en la parte alta continúa la floración. Las ramas, que son muy poco desarrolladas a consecuencia de la fuerte dominancia apical, se presentan además en baja cantidad.

2.3 Aporte nutricional del frijol

Por cada 100 gramos de Frijol:

- ✓ 28 miligramos de calcio, 3% del valor diario recomendado para una persona media.
- ✓ 1,61 miligramos de hierro, esto el 9% del valor diario recomendado para una persona.
- ✓ 285 miligramos de potasio, el 6% de la ingesta del total recomendado.
- ✓ 71 miligramos de fósforo, el 7% de la cantidad de fósforo recomendada a diario.
- ✓ 252 miligramos de sodio, el 17% del valor diario recomendado para una persona.
- ✓ 1,1 microgramos de Selenio, el 2% del valor diario recomendado para un adulto medio.

2.4 Importancia de Fe en el ser humano

El hierro es un mineral necesario para el crecimiento y desarrollo del cuerpo. El cuerpo utiliza el hierro para fabricar la hemoglobina, una proteína de los glóbulos rojos que transporta el oxígeno de los pulmones a distintas partes del cuerpo, y la mioglobina, una proteína que provee oxígeno a los músculos. Cuando los niveles de hierro en el cuerpo son deficientes, se produce la anemia por deficiencia de hierro. Los glóbulos rojos se achican y contienen menos hemoglobina. Como resultado, la sangre transporta menos oxígeno de los pulmones al resto del cuerpo. Los síntomas de anemia por deficiencia de hierro (anemia ferropénica) incluyen el cansancio y la falta de energía, trastornos intestinales, falta de memoria y concentración, y disminución de la habilidad de combatir gérmenes e infecciones o de controlar la temperatura del cuerpo. Los bebés y los niños con anemia ferropénica pueden desarrollar dificultades de aprendizaje. El cuerpo también requiere hierro para elaborar hormonas y tejido conectivo (Toxqui *et al.*, 2010)

Tabla 1. Ingestas recomendadas de hierro en el ser humano.

	Edad (años)	Fe (mg/día)
Niños/niñas	0.0-0.5	7
	0.5-1	7
	1-4	7
	4-6	9
	6-10	9
Hombres	10-13	12
	13-16	15
	16-20	15
	20-40	10
	40-50	10
	50-60	10
	60-70	10
	> 70	10
	10-13	18

	13-16	18
	16-20	18
Mujeres	20-40	18
	40-50	18
	50-60	10
	60-70	10
	> 70	10
Gestación	2. ^a mitad	18
Lactancia	–	18

2.5 ¿Qué es la nanotecnología?

La nanotecnología es el estudio y la manipulación de la materia en escala muy pequeña, un rango entre 1 y 100 nanómetros, la nanotecnología manipula átomos y moléculas para construir cosas o seres vivos (Folarodi, Invernizzi., 2016)

Un nanómetro es una milésima de una millonésima de metro, o lo que es lo mismo, una milmillonésima de metro y en un nanómetro caben entre tres y cinco átomos. (Confederacion de consumidores y usuarios (CECU)., 2013)

La NT está trabajando junto a la agricultura y a producción de alimentos frescos, alcanzando un alto nivel de eficiencia y calidad. De tal forma que se estiman más de 300 nanoproductos alimenticios disponibles en el mercado actual (Lira *et al.*, 2018)

2.6 Antecedentes de la nanotecnología

La NT ha estado presente en la civilización desde la antigüedad y ha ido creciendo tan rápido, especialmente en los años 80 hasta la fecha. (Alonso *et al.*, 2015).

Richard Feynmann ganador del premio Nobel de Física fue quien dio las referencias iniciales a la nanotecnología en el año 1959 en una conferencia titulada: *There's Plenty of Room at the Bottom*, en la cual dejó entrever la posibilidad de manipular materiales a escala atómica y molecular.

Para 1974 Norio Taniguchi uso por primera vez el término “nanotecnología” en una conferencia sobre Ingeniería de la Producción. Según su definición la Nanotecnología era la tecnología necesaria para poder fabricar objetos o

dispositivos con una precisión de 1 nm., quien remarcaba así la capacidad de manejar materiales a nivel nanométrico (Domingo, 2012)

“El padre fundador de la nanotecnología” Eric Drexler, llamado así por pronosticar los potenciales de la nanotecnología durante 1970 y 1980 estableció los principios fundamentales de la ingeniería molecular y las posibilidades de desarrollo de las nanotecnologías avanzadas.

En 1974 Aviram y Seiden registraron la primer patente de un dispositivo molecular; en 1982 el suizo Gerd Binnig y el alemán Heinrich Rohrer inventaron el microscopio de barrido de efecto túnel, el cual permite ver objetos de tamaño nanométrico; en 1985 se descubrieron las jaulas esféricas con 60 átomos de carbono conocidas como fulerenos por Binnig y Rohrer del microscopio de fuerza atómica (Mendoza y Rodríguez., 2017).

1986, Eric Drexler publicó el libro “Los motores de la creación”, con una amplia visión del futuro de la Nanotecnología Molecular; para 1989, científicos de IBM hicieron posible la grabación de datos a escala nanométrica y en 1991 el japonés Sumio Iijima reveló la existencia de nanotubos de carbono (Risk, 2015). El ser humano, ha usado las “nanotecnologías” durante siglos, por ejemplo, nanopartículas de oro y plata se han utilizado como pigmentos colorantes para cristales desde el siglo X d.C. Dependiendo de su tamaño, dichas nanopartículas pueden parecer rojas, azules o doradas (Mendoza, Rodríguez., 2017).

2.7 Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura

La aplicación de la nanotecnología (NT) en el sector agroalimentario es uno de los campos de más rápido crecimiento en la nano-investigación. Innovar y generar tecnología para producir la cantidad y calidad que demanda una población mundial en rápido crecimiento (Lira *et al.*, 2018)

La agricultura se enfrenta a un gran reto; estancamiento en el rendimiento de los cultivos, baja eficiencia en el uso de macro y micronutrientes, la disminución de materia orgánica del suelo, carencias nutricionales, el cambio climático, la reducción de la disponibilidad de tierras cultivables, la escasez de agua y mano de obra para el campo (Shiva, 2016).

Frente a estas problemáticas la NT ofrece el uso de diversos nanomateriales tanto en producción y contenedor de alimentos (Echegoyen, Y. y Nerín, C., 2013).

Las nanopartículas nos ayudan a evitar el ataque de microorganismos patogénicos, permiten precisar, detectar y entregar la cantidad correcta de nutrientes y plaguicidas que promueven la productividad sustentable (Ghormade *et al.*, 2015; Subramanian *et al.*, 2015).

Las NPs ya sean metálicas derivadas del carbón u otros materiales como arcillas pueden emplearse en la agricultura en procesos de producción para hacer uso eficiente de los agroinsumos y con ello reducir significativamente las cantidades de productos por aplicar, también permite obtener mejores sabores, aromas y texturas de productos agrícolas (Singh *et al.*, 2015).

En horticultura se están utilizando nanomateriales para el tratamiento de algunas enfermedades de plantas, para la detección precoz de los patógenos que las producen (Krishnaraj *et al.*, 2016), para mejorar la asimilación de nutrientes esenciales (Martínez *et al.*, 2016), e incluso para construir nanobiosensores importantes en determinados procesos biológicos (Vimala *et al.*, 2016). La NT puede incrementar la eficacia de los pesticidas e insecticidas comerciales, reduciendo la cantidad de aplicación al suelo o follaje a dosis significativamente menores que las requeridas convencionalmente y además trae consigo un beneficio ambiental (Xue *et al.*, 2014).

2.8 Nanopartículas

Las nanopartículas se definen como una partícula cuya medida están en el rango de 100 nanómetros o menos, siempre y cuando sus dimensiones estén dentro de la nanoescala (Naranjo, 2016).

El principal objetivo del uso de nanopartículas es el de innovar y desarrollar nuevas herramientas y materiales en distintas áreas, como la medicina, la agricultura, la electrónica o la cosmética, que permita obtener excelentes resultados (Xue *et al.*, 2014).

Reportes sobre el uso de NPs en diferentes cultivos han revelado que incrementan la germinación y crecimiento de plántulas, su actividad fisiológica, la expresión de los genes y el nivel bioquímico de proteínas y

enzimas en las plantas, indicando eso su potencial para mejorar el rendimiento de cultivos agrícolas (Lira *et al.*, 2018). El trabajo de Azarpour *et al.* (2013) señala que las NPsFeO aplicadas foliarmente y luego transportadas al interior por los haces vasculares del floema mejoró la producción de flores y rendimiento del azafrán (*Crocus sativus*).

2.9 Origen de las nanopartículas

Aunque no existe una clasificación única de NPs Gutiérrez *et al* (2013) menciona que existen NPs de origen biológico, como por ejemplo muchos virus y bacterias. Otras son de origen mineral o medioambiental, como las que contiene el polvo de arena del desierto o las nieblas y humos derivados de la actividad volcánica o de los fuegos forestales.

Otra clasificación de nanopartículas son las industriales; como la pirolisis a la llama del carbón negro, la producción de materiales a gran escala por procedimientos a altas temperaturas (como el humo de sílice, partículas ultrafinas de óxido de titanio y metales ultrafinos), los procesos de combustión (diesel, carbón), la obtención de pigmentos, o los procesos domésticos (barbacoas, humos de aceite). Estas nanopartículas también se llaman partículas ultrafinas (PUFs) (Gutiérrez *et al.*, 2013).

También hay nanopartículas que se generan mediante nanotecnologías, se consideran dos tipos de los métodos para la obtención de dichas NPs; los "top-down", en los que se llega a nanomateriales sometiendo materiales convencionales a diversos procesos y los "bottom-up" en los que se construyen nanopartículas a partir de átomos o moléculas (Gutiérrez *et al.*, 2013).

2.10 Toxicidad de las nanopartículas en las plantas

Si bien las nanopartículas llegan utilizarse en la agricultura, algunos estudios demuestran que pueden causar toxicidad en las plantas; dentro de los efectos tóxicos observados está la disminución en: crecimiento, biomasa, producción y calidad de los granos (Aslani *et al.*, 2014).

La toxicidad de los NPs puede atribuirse a las siguientes acciones: una toxicidad química en base a la liberación de iones (tóxicos) y el estrés o estímulos causados por la superficie, el tamaño y/o forma de las partículas.

Se ha confirmado que la solubilidad de las NPs de óxido afecta significativamente la respuesta del cultivo (Brunner *et al.*, 2016).

De acuerdo con Wang *et al* (2016) las plantas sometidas a altas concentraciones de NPs sufren pérdida en la capacidad de la germinación, reducción en la tasa relativa de crecimiento, menor viabilidad del polen, modifica la expresión de genes y altera la generación de especies reactivas de oxígeno.

Thuesombat *et al* (2014) evaluaron los posibles efectos de diferentes NPs de plata en la germinación de semillas y crecimiento en plantas de arroz (*Oryza sativa L.*), usando diferentes concentraciones (0 mg L⁻¹, 1 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹, 100 mg L⁻¹ y 1000 mg L⁻¹). Los resultados revelan que la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas disminuyeron paulatinamente con el aumento en tamaños y concentraciones de NPs.

Salama (2012) aplicó foliarmente dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ppm de NPs de planta (NPsAg), aplicaciones diarias con 15 ml de cada concentración durante 12 días, demostrando que concentraciones altas (>80 ppm) indujeron un efecto fitotóxico.

El trabajo de Cifuentes *et al* (2010) dejar ver que las NPs magnéticas recubiertas de carbono forman un fluido magnético biocompatible penetrando fácilmente a través de la raíz en diferentes cultivos: frijol, girasol, tomate y trigo. También determinaron que las NPs alcanzaron el cilindro vascular, se movieron con el flujo de la transpiración y se translocaron a través de la parte aérea de las plantas en menos de 24 horas. La acumulación de estas NPs se detectó en los tricomas de las hojas de trigo, lo cual sugiere una forma de excreción para contrarrestar efectos de una posible intoxicación por las NPs aplicadas.

2.11 Nanofertilizantes

Últimamente están realizando experimentos con diversos cultivos para poder explicar el efecto de las NPs metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de las plantas. Reportes sobre la aplicación de las NPs en diferentes cultivos han evidenciado que incrementan el crecimiento de las plantas, el contenido nutricional y la actividad enzimática (Engates y Shipley, 2011).

Las nanopartículas de plata (NPs Ag) en concentraciones bajas poseen un efecto positivo en la germinación de semillas y en la promoción del crecimiento en plantas. Sharma *et al* (2012) reportan que las NPs Ag promueven el crecimiento de plántulas de mostaza (*Brassica juncea*) en concentraciones de 25 y 50 mg L⁻¹, obteniendo mayor longitud de raíz, biomasa seca y altura.

Siddiqui *et al* (2015) confirman que las NPsZnO promueven la germinación y crecimiento de plántulas. En el reporte de Panwar *et al.* (2012) se señala un mayor crecimiento y producción de biomasa seca en plántulas de tomate cuando aplicaron 20 mg L⁻¹ al follaje.

Experimentando con plantas de frijol y maíz, Salama (2012) aplicó foliarmente dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ppm de NPs de plata (NPsAg), aplicaciones diarias con 15 ml de cada concentración durante 12 días, mostraron que bajas concentraciones (20-60 ppm) incrementaron el diámetro de tallo, longitud de raíz, área foliar, índice de clorofila, concentración de carbohidratos y contenido de proteína en las plantas.

2.12 Modo de Absorción y Translocación de las Nanopartículas

Cuando las NPs son aplicadas al follaje se absorben a través de los estomas y su translocación o transporte basipétalo hacia la base del tallo es por el floema. Al ser aplicadas al suelo o en el agua de riego penetran a través de la epidermis de la raíz y la corteza, posteriormente pasan a la endodermis y finalmente entran al tejido conductor del xilema para ser traslocados a larga distancia hasta las ramas y el follaje de las plantas (Peng *et al.*, 2015). Se ha señalado que las paredes y membranas celulares actúan como una eficaz barrera a la entrada de cualquier tipo de NPs y que la efectividad de su entrada y transporte está determinado por el tamaño de los poros de la pared celular, que están en el rango de 5 a 20 nm (Lira Saldivar *et al.*, 2018). Por lo tanto, sólo NPs de un tamaño menor al de los poros de la pared celular pueden pasar con facilidad y penetrar al citoplasma celular

2.13 Nanopartículas como herbicidas

Uno de los problemas en el manejo de los cultivos en la agricultura es la presencia de malezas, fuente principal de hospederos para la propagación de plagas vectores de virus y enfermedades. Para combatir este tipo de

problemas se ha optado por emplear nanoherbicidas (Mehrazar, Rahaie y Rahaie, 2015), algunas NPs tienen como objetivo específico destruir malezas, se logra evitar competencia con las plantas cultivadas para conseguir mayores rendimientos (Prasad, *et al.*, 2014). Los nanoherbicidas se están desarrollando para hacer frente a los problemas en el manejo de malezas perennes y el banco de semillas del suelo.

Se han realizados estudios respecto a la liberación controlada de herbicidas para limitar el daño que causan a humanos y ecosistemas. Ya se han utilizado nanoencapsulados de herbicidas a base de atrazina, triazina y ametrina, los cuales fueron probados y obtuvieron 84% de eficiencia en su liberación hacia las plantas (Grillo, Rosa y Fraceto, 2015). La atrazina es un herbicida utilizado ampliamente para eliminar malezas. Su uso continuado ocasiona que los suelos pierdan nutrientes y causan la generación de resistencia por las plantas. Campos de Oliveira y Fraceto (2014) han acreditado que la aplicación de carboximetilcelulosa, la cual se emplea en detergentes y como auxiliar en la degradación de fertilizantes que son altamente contaminantes, al ser modificarla con NPs Ag hace que la degradación del herbicida sea mucho más fácil y efectivo contra las malezas.

2.14 Nanopartículas como plaguicidas

Según su modo de acción los plaguicidas se dividen en subcategorías. Estas categorías incluyen herbicidas que actúan sobre las malezas; insecticidas para el control de plagas; fungicidas y bactericidas contra el ataque de microorganismos causantes de enfermedades y para prevenir que se sigan propagando. La preparación de pesticidas a base de nanoencapsulados, hace que la liberación sea más lenta y controlada (Sun *et al.*, 2014), aumentando así su nivel de acción y, por ende, una disminución del producto o ingrediente activo por aplicar, lo cual causa menor impacto ambiental y además se mejora su solubilidad al aplicarlo en el suelo para tener una mayor disponibilidad en las plantas (Shang, Feng y Zheng, 2016; Kah, 2015).

Sarлак, Taherifar y Salehi (2014) demostró que al mezclar ácido cítrico con NTC multiparedes se tuvo mejor control del hongo *Alternaria alternata*, en comparación con el efecto de fungicidas sintéticos comerciales como el Zineb y Mancozeb, los cuales son fungicidas de amplio uso en la agricultura

tradicional. Esto sugiere que los NTC pueden ser empleados como fungicidas en la agricultura moderna, pero aplicándolos en muy bajas dosis, lo cual reduciría los costos y el impacto negativo a los agroecosistemas.

2.15 Nanopartículas como pesticidas

Según el destino de acción específica, los pesticidas se dividen en cuatro subcategorías; herbicidas que actúan sobre las malezas, insecticidas para el control de plagas, fungicidas para algunas enfermedades y desinfectantes para las bacterias, y prevenir que estas se sigan propagando. La preparación de pesticidas a base de nanoencapsulados, hace que la liberación en la planta sea mucho más lenta, aumentando su nivel de acción y disminuyendo la cantidad a usarse, mejorando la solubilidad del suelo y las plantas (Aguilar, 2016).

Un trabajo realizado por Sarlak *et al.* (2014), demostraron que al mezclar ácido cítrico con NPs de nanotubos de carbón de pared múltiple, se tenían un mayor control contra el hongo de *Alternaria alternate* a comparación de productos comerciales como el Zineb y Mancozeb.

2.16 Nanotubos de carbón (NTC)

Actualmente, los nanotubos de carbono (NTC) son considerados una nueva forma de carbono puro y pueden ser visualizados como hojas de grafito con una red hexagonal de carbonos enrollada; pueden ser de dos tipos: de pared simple, el cual es como un cilindro y multipared que consiste de muchos cilindros anidados cuyos radios sucesivos difieren en el espacio entre capas de grafito (Ibarra, 2017).

Los NTC poseen una correcta combinación de propiedades: un diámetro nanométrico, integridad estructural, alta conductividad eléctrica y estabilidad química (Aguilar, 2016). Las aplicaciones de los NTC en el campo de la biotecnología son varias y éstas incluyen a los nanotubos como componentes para ADN, proteínas y como biosensores, bloqueadores de canales iónicos, biocatálisis, en neurociencias e ingeniería de tejidos (Aguilar, 2016).

2.17 Óxidos de hierro

Los óxidos de hierro son compuestos químicos formados por hierro y oxígeno/o hidróxidos OH. Pueden estar presentes en sus dos estados de agregación, como Fe+2 y Fe+3 formando óxidos u oxihidróxidos. Se conocen 16 óxidos de hierro, algunos de los más comunes son: goethita, hematita, magnetita, maguemita, akaganeíta, entre otros (Lira Saldivar *et al.*, 2018).

En su mayoría los óxidos de hierro son cristalinos. El grado de orden estructural y tamaño del cristal son variables y dependen de las condiciones bajo las cuales se forme el cristal. Un aspecto importante de los óxidos de hierro es que tienen comportamiento anfotérico, debido a una transferencia de protones en la capa determinante del potencial y consistente en una superficie de grupos OH y OH₂. Generalmente los óxidos de hierro forman cristales minúsculos, tanto en el medio ambiente como cuando se producen industrialmente, esto es gracias a su alta energía de cristalización. Por lo tanto, presentan una elevada área de superficie específica, a menudo mayor de 100 m² /g. Para el caso de la maguemita el valor reportado es de 10 a 150 m² /g. Esta característica los hace sorbentes efectivos para una amplia gama de moléculas, iones y gases disueltos. Recientemente el estudio de los óxidos de hierro ha aumentado en gran proporción debido a sus extensas aplicaciones atribuidas a sus propiedades físicas y químicas, tales como: catalizadores, pigmentos, sensores de gas, dispositivos ópticos y electromagnéticos, descontaminantes, tratamiento de aguas residuales entre otros su aplicación en la agronomía.

2.18 Magnetita

La magnetita es un material ampliamente conocido por sus propiedades magnéticas. Las nanopartículas de magnetita exhiben una gran superficie que les permite ser funcionalizadas para hacer productos biocompatibles. La magnetita es un material adecuado que puede ser implementado en forma de nanopartículas en el organismo humano ya que presenta baja toxicidad, convenientes para una gran gama de aplicaciones en diversas áreas como la biotecnología, ambiental, medicina, entre otras. Su nombre deriva de la ciudad griega llamada Magnesia. Los óxidos de hierro magnéticos, como la magnetita

(Fe_3O_4) son generalmente clasificados como ferritas y son responsables de las propiedades magnéticas de las rocas.

Es un mineral ferromagnético de color negro, compuesto de hierro+2 y hierro+3. Tiene una estructura de espinela inversa. Su celda unitaria está compuesta de 56 átomos, de los cuales 32 son de oxígeno y 24 cationes. Los iones Fe^{2+} ocupan espacios tetraédricos y están colocados en el centro y vértices de un cubo, mientras que los iones de Fe^{3+} ocupan espacios octaédricos

Existen dos formas básicas para la obtención de magnetita: Mediante la oxidación parcial de una solución de sales de Fe^{+2} con KNO_3 bajo condiciones alcalinas o a través de la precipitación de una mezcla de $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$.

2.19 Nanopartículas magnéticas.

Gregorio Jáuregui *et al.*, (2018) en su trabajo titulado “Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones” mencionan que las nanopartículas magnéticas presentan una característica que está relacionada con sus propiedades magnéticas, es decir una enorme fracción de átomos de superficie con simetría local distinta y, por tanto, una anisotropía magnética de distinto valor que el volumen. La estructura electrónica de las nanopartículas también es regulable mediante los enlaces con diferentes tipos de moléculas, los cuales son necesarios para preservar la precipitación y aglomeración de las nanopartículas, de manera que cada una se mantenga aislada del resto de las nanopartículas. Existen otras propiedades en las nanopartículas magnéticas que les permiten tener diversas aplicaciones. Las nanopartículas de magnetita con diámetros menores a 30 nm exhiben un comportamiento superparamagnético, es decir, la curva de magnetización no presenta una curva de histéresis, lo cual significa que, en ausencia de un campo magnético externo, estas partículas tienen magnetización cero y menos tendencia a aglomerarse. Adicionalmente, puede ser posible dirigir las a un órgano o tejido determinado por acción de un campo magnético exterior, para quedar desmagnetizadas una vez que el campo sea retirado.

Además, por su tamaño, las nanopartículas magnéticas se colocan en una dimensión comparable a una entidad biológica, teniendo la capacidad de

aproximarse e incluso interacción con ella, como son: una célula (10-100um) un virus (20-450 nm) o una proteína (5-50 nm). Las nanopartículas magnéticas están generalmente compuestas de un núcleo de óxido de hierro. Debido a la gran superficie que presentan, estas pueden ser recubiertas con materiales orgánicos o inorgánicos que por una parte hacen que el producto sea biocompatible y por otra permiten funcionalizarlo con diversos materiales como enzimas, anticuerpos o medicamentos para hacer su función específica. Con el acoplamiento de otras moléculas en su superficie (fármacos, péptidos, radionucleótidos) se puede conferir a las nanopartículas magnéticas una actividad biológica adicional mucho más especializada. El núcleo de óxido de hierro presenta un comportamiento superparamagnético, el cual es típico de las nanopartículas magnéticas mientras que la coraza tiene grupos funcionales específicos. Los polisacáridos a menudo son incorporados en los nanocompuestos con el objetivo de mejorar su biocompatibilidad, debido a que son hidrófilos y bajo algunas condiciones no son tóxicos. Los polisacáridos poseen grupos químicos funcionales en su estructura y pueden servir para la creación de sistemas multifuncionales a través de la adición de grupos reactivos y bioactivos en la superficie de los materiales compuestos, aumentando de esta forma la gama de aplicaciones. El control y optimización de los grupos funcionales unidos a la superficie de las nanopartículas magnéticas juega un papel crucial en su utilidad final. Los grupos amino son unos de los más frecuentemente.

2.20 Aplicaciones

Sus propiedades magnéticas y baja toxicidad hacen a las nanopartículas especialmente convenientes para una amplia gama de aplicaciones en varios campos como física, medicina, biología, ciencia de los materiales, así como para mejorar la imagen de resonancia magnética, separación de células y ADN, liberación de medicamentos guiados magnéticamente, hipertermia, remoción de metales pesados, entre otras. Gracias a su relativamente amplia área de superficie y por tanto elevados sitios de superficie activa, las nanopartículas superparamagnéticas tienen la capacidad de absorber los iones metálicos de manera que puedan ser removidos muy rápidamente de una matriz usando un campo magnético y ser reusados sin perder los sitios

activos. La separación magnética puede llegar a ser una prometedora técnica de purificación del medio ambiente porque esto no produce contaminantes. Para posibles aplicaciones biológicas, las partículas magnéticas deben poseer determinadas propiedades. Entre ellas están el poseer partículas superparamagnéticas de muy pequeño tamaño, es decir con núcleos magnéticos menores de 20 nm. Los materiales empleados para el recubrimiento de superficie deben ser biocompatibles, biodegradables, y en el mejor de los casos ser capaces de reconocer específicamente biomoléculas como los anticuerpos monoclonales, lectinas, péptidos o medicamentos. (Gregorio *et al.*, 2018)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

La presente investigación se realizó durante el ciclo invierno-primavera del 2020 dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Campus Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en el área de invernaderos del Departamento de Agrobiología, cuyas coordenadas son: 25°21'19.7" latitud N, 101°01'49.7" longitud W con una altitud de 1763 msnm.

3.2 Preparación de solución (Nanopartículas de magnetita)

Las soluciones con Nanopartículas de hierro fueron preparadas a concentraciones de 1.2105 g L⁻¹ en agua destilada y dispersadas con un procesador ultrasónico digital vcx750 Vibram.cell" SONICS por 30 minutos (dos tiempos de 15 minutos) y se aplicó 5 ml por planta.

3.3 Descripción del material genético.

Las semillas que se utilizaron para establecer el experimento fueron de frijol ejotero de la variedad Strike. Es una variedad de crecimiento determinado con un periodo corto de siembra a cosecha altura de 28-35 cm, vainas rectas de color verde claro, longitud de 15 cm, resistencia alta a BCMU ciclo de 55-78 días y un potencial de rendimiento muy alto.

3.4 Preparación de sustrato y semillas.

Previo a la siembra, las semillas se trataron con las soluciones de NPs (a 0, 50, 100, 200, 300 y 500 ppm de NPs, 20 semillas por solución) contenidos en un recipiente con láminas de fieltro en su interior y se dejaron imbibir por 24 horas.

Se preparo el sustrato, mezclando y humedeciendo perfectamente el sustrato a base de Peat moss y perlita, en seguida se llenaron macetas de un litro con la mezcla obtenida el cual fue saturado con aproximadamente 500 ml de agua.

3.5 Siembra.

La siembra se realizó el día 06 de marzo del año 2020, eligiéndose las mejores semillas (por imbibición) obteniendo 6 repeticiones de 14 semillas cada una, las semillas se sembraron (dos semillas por maceta) en vasos de poliestireno con capacidad de un litro, teniendo un total de 42 macetas, mismas que se acomodaron al azar dentro de un invernadero, usando como sustrato una mezcla de Peat moss de la marca Premier con Perlita (70% Peat moss y 30% perlita. En seguida se aplicó el primer riego para conservar la humedad de cada maceta

3.6 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en aplicaciones de 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm y 500 ppm de NPs-FeO aplicando de forma manual, la primera aplicación fue en semilla, esta se puso a imbibir durante 24 horas en 20 ml de NPs, la segunda aplicación fue en la etapa de floración (5 ml), y la tercera aplicación fue exactamente igual solo que en etapa de llenado de fruto.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	NPs de Magnetita (ppm)	Descripción
T1	0	Aplicación de solución nutritiva (SN) durante todo el ciclo del cultivo, 2 o 3 veces por semana
T2	50	Aplicación de SN durante todo el ciclo del cultivo, 2 o 3 veces por semana + tres aplicaciones foliares de 5 ml de NPs
T3	100	durante todo el ciclo del cultivo, en diferentes etapas del cultivo (semilla, floración y llenado de vaina).
T4	200	
T5	300	
T6	500	

3.7 Fertilización

La fertilización durante el ciclo del cultivo se realizó una vez por semana con 500 ml de SN de Steiner al 50% desde los tres DDS, al 70% a los 28 DDS y al 100% a los 42 DDS.

3.8 Manejo del cultivo

3.8.1 Riego

Los riegos se realizaron de forma manual con un gasto entre 300-400 ml por planta, cada dos o tres veces por semana, según las necesidades hídricas de la planta, además se colocaron bandejas de poliestireno por cada planta para hacer cada riego más eficiente. Al tercer día después de la siembra se iniciaron los riegos con la SN.

3.8.2 Tutoreo

El tutoreo se realizó colocando palitos de madera como soporte a la planta, de tal manera que se colocó junto al tallo principal tratando de enrollarla con la misma, de esta manera evitamos el maltrato de los racimos, siendo esta práctica muy importante ya que si se hace correctamente obtendremos una buena calidad del producto.

3.8.3 Podas

La poda de hoja se realizó cuando la planta tenía exceso de hojas, esto con el fin de no tener una planta muy vegetativa, empezando a podar hojas más viejas y dejando las hojas más jóvenes. El aclareo de frutos se hizo cuando la planta presento muchas flores bien amarradas o muchos frutos por racimo.

3.8.4 Control de plagas y enfermedades.

Durante el experimento se presentaron plagas como trips, mosquita blanca y arañita roja controlándolas con aplicaciones de insecticida TORETTO, Suspensión concentrada de la marca Corteva®, tres aspersiones al follaje en horas frescas del día a intervalos de 7 días, 1 cc por litro de agua.

No se tuvo presencia de enfermedades.

3.9 Toma de datos.

Durante el ciclo del cultivo la toma de datos se realizó semanalmente durante un periodo de 10 semanas, para determinar biomasa fresca y seca tanto del área foliar, raíz y vainas se utilizó una balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos y regla de 30 cm.

3.10 Variables evaluadas

3.10.1 Peso fresco del fruto (g).

Para medir el peso fresco del fruto primero fue necesario cosechar la vaina, después con ayuda de una balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos. Se pesó inmediatamente después del corte.

3.10.2 Peso seco del fruto (g).

Los frutos cosechados se identificaron y se dejaron secar a temperatura ambiente, después se introdujo aun horno de secado a 65°C durante 72 h, cuando se deshidrataron por completo se pesó con ayuda de una balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos.

3.10.3 Peso fresco follaje (g).

Terminado el ciclo del cultivo se retiró la planta de la maceta, separando la parte aérea de la planta desde el cuello de la raíz y procedió a pesarse de inmediato, esto con una balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos.

3.10.4 Peso seco del follaje (g).

El follaje se dejó deshidratar a temperatura ambiente, después se introdujo aun horno de secado a 65°C durante 72 h, cuando se deshidrataron por completo con ayuda de una balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos se obtuvo el peso seco por planta.

3.10.5 Peso fresco de la raíz (g).

Cuando el ciclo del cultivo termino y habiendo retirado la planta del sustrato se separó la raíz del resto de la planta, se limpió con una brocha, tratando de quitar sustrato atrapado en la raíz, totalmente limpia y con ayuda de una

balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos se obtuvo el peso fresco de la raíz.

3.10.6 Peso seco de la raíz (g).

Pasado días de haber retirado la planta del sustrato se introdujeron las raíces a un horno de secado a 65°C durante 72 h, cuando se deshidrataron por completo se obtuvo el peso seco una balanza digital marca Truper® con capacidad de 5 kilos.

3.10.7 Longitud del fruto (cm).

Para medir la longitud de la vaina se utilizaron las todas plantas, tomando cada vaina cosechada y se midió en centímetros desde su inserción en el pedicelo hasta el extremo libre del ápice para luego sacar un promedio de la longitud de la vaina.

3.11 Diseño del experimento y análisis estadístico.

El diseño del experimento fue completamente al azar, con seis tratamientos y siete repeticiones. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de rango múltiple Tukey (0.5) con el software estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) v 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Peso fresco foliar (PFFo).

De acuerdo con los datos obtenidos en el ANVA, para las variables; Peso fresco foliar, Peso fresco de vaina, Peso seco de vaina, Peso seco total, las aplicaciones de 300 ppm de NPsFeO obtuvieron mayor peso para cada variable evaluada, al incrementar la concentración de NPsFeO a 500 ppm el peso fresco y seco en cada una de las variables evaluadas disminuyen.

La aspersión de diferentes concentraciones de NPsFeO afecto significativamente el PFFo de las plantas de frijol (Figura 1). Este peso fue mayor cuando se aplicó 300 ppm de NPsFeO superando las plantas testigo por 54.8%, a concentraciones inferior o superior a este la biomasa seca foliar disminuye (Figura 1), ajustándose a un modelo polinomial cuadrático.

De acuerdo con Shailesh *et al* (2013) en su trabajo de investigación sobre el efecto de nanopartículas de FeO (50 ppm) en el cultivo de frijol mungo (*Vigna radiata*) demostró el aumento de biomasa aérea un 50.44%. En complemento, Vasanth *et al.* (2016) señalan que el potencial de las NPs mejora la germinación y el crecimiento de plántulas e inhibe el desarrollo de patógenos.

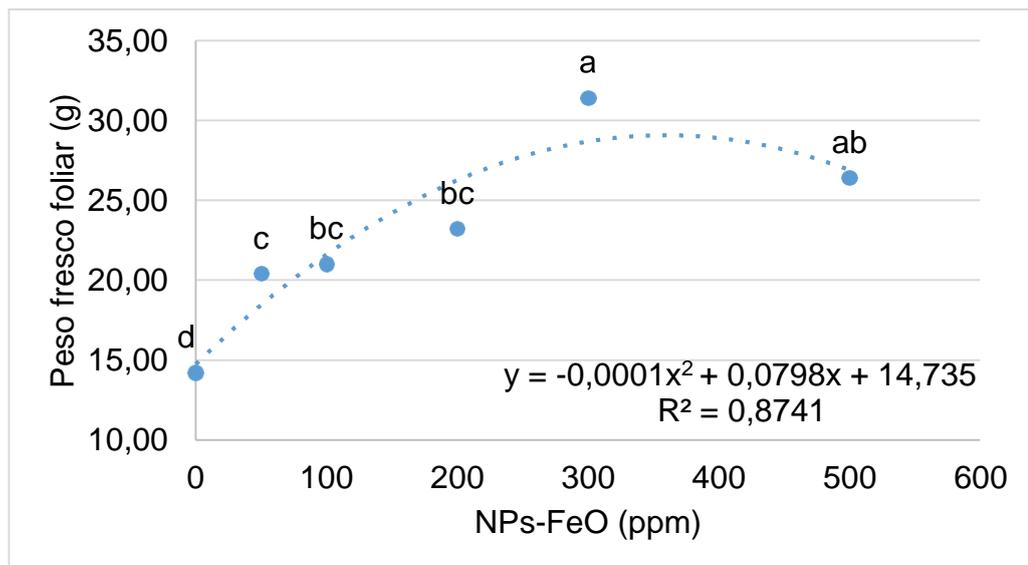


Figura 1. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso fresco foliar. Anova $p \leq 0.001$. Las letras a, b c y d son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

4.2 Peso fresco de vaina (PFV).

El PFV aumenta cuando se incrementa la aplicación foliar de NPs, esta misma variable disminuye con aplicaciones mayores a 300 ppm de NPs, ya que, se obtuvo mayor rendimiento en plantas tratadas con 300 ppm de NPsFeO, superando a las plantas tratadas con 500 ppm en un 26.88% y 70% al testigo (Figura 2).

Janmohammadi *et al* (2016) realizaron aplicaciones de nanofertilizantes (Fe_2O_3) en plantas de cebada, durante la fase de formación de tallos, arranque y etapas lechosas del grano. Los resultados revelaron una mejora considerable en la masa de grano, la longitud de espiga, el número de granos por espiga, el contenido de clorofila, el rendimiento de grano y el índice de cosecha.

En el reporte de Juárez *et al* (2016) se señala que el uso de NPs en la agricultura puede ser favorable, mejorando el crecimiento de plántulas asegurando de alguna manera el rendimiento y calidad del fruto.

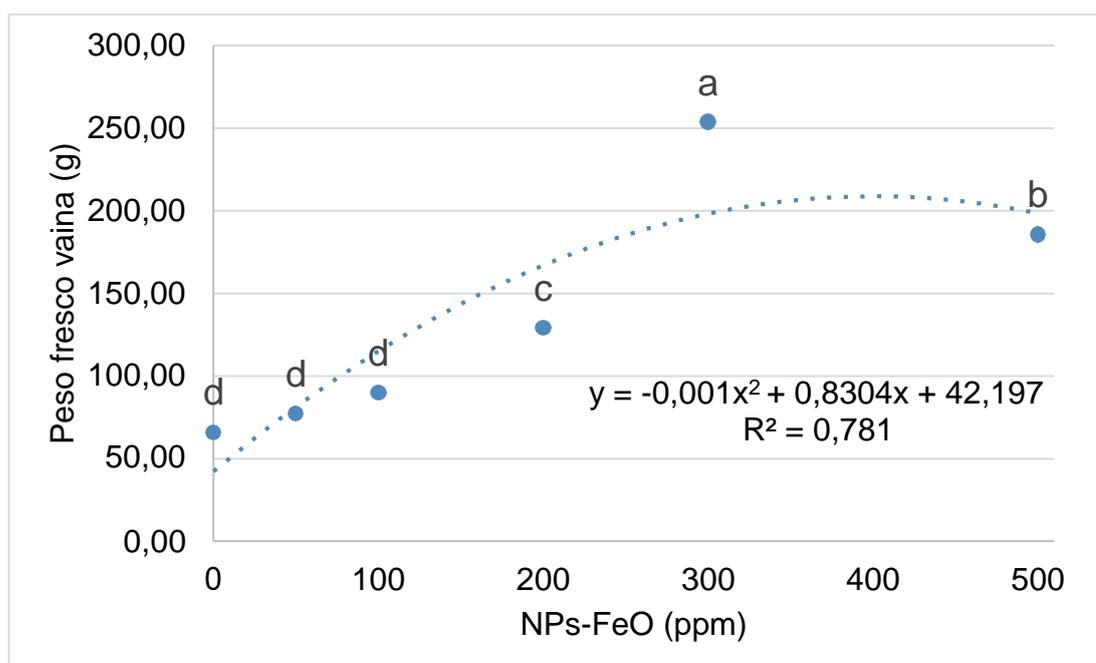


Figura 2. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso fresco vaina. Anova $p \leq 0.001$. Las letras a, b c y d son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

4.3 Peso seco de vaina (PSV).

El incremento de NPsFeO aumenta el PSV en un 74.95% aunque a concentraciones mayores a 300 ppm se observa una reducción de masa seca de un 28.48% (figura 3).

De acuerdo con Shankramma et al. (2015), mencionan que las semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) expuestas a NPs de Fe_2O_3 mostraron una mayor longitud de plúmula y de radícula (vigor de plántula), observando que las NPs aplicadas aumentan rendimientos del cultivo.

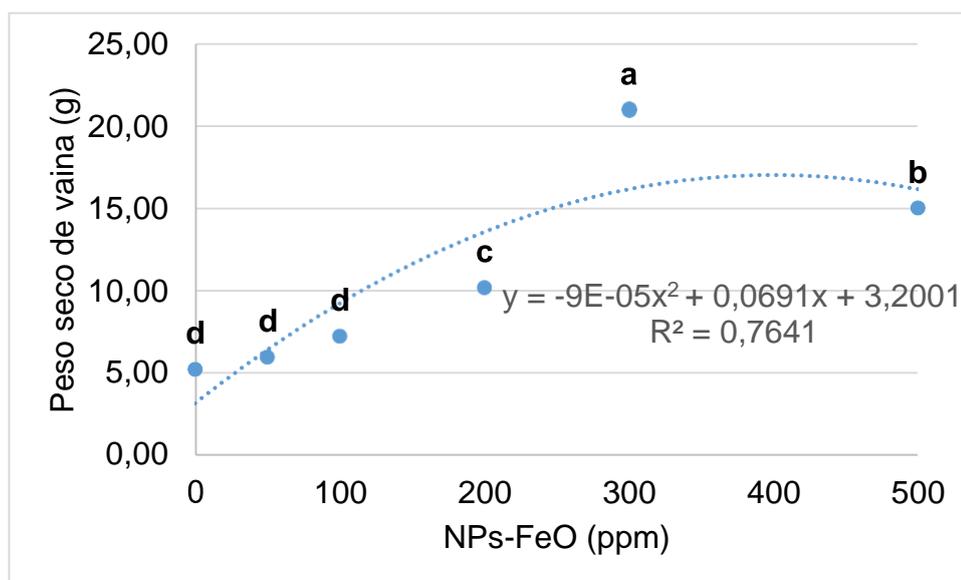


Figura 3. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso seco de vaina. Anova $p \leq 0.001$. Las letras a, b, c y d son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

4.4 Peso seco total

La producción de biomasa seca total de las plantas de frijol se aumentó al incrementar la concentración de NPsFeO (Figura 4). Sin embargo, en aquellas plantas que recibieron aspersiones de 500 ppm de NPsFeO disminuye el peso seco (Figura 4), esto indica que la disminución del peso seco total puede ser debido a una toxicidad por NPsFeO, pues estas plantas fueron sometida a la concentración más alta del experimento (500 ppm). Las investigaciones de Sayed y Joner (2010) determinaron el potencial de toxicidad de las NPs de hierro (Fe), utilizando tres tipos de tamaño de partícula (1 a 20 nm), sobre la germinación de dos especies (cebada y lino).

Las NPs de hierro afectaron la germinación, sin embargo, el crecimiento de brotes resultó más sensible a este tipo de condiciones. Por su parte Panwar *et al* (2012) Señalan mayor crecimiento y producción de biomasa seca en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cuando aplicaron 20 mg L⁻¹ de NPsFeO al follaje.

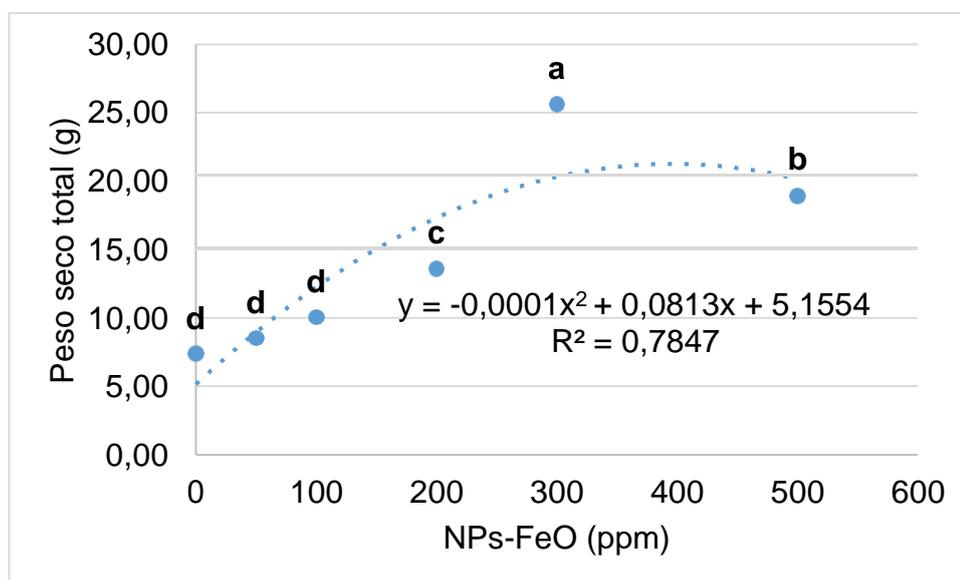


Figura 4. Efecto de la aplicación de nanopartículas de hierro sobre el peso seco total. Anova $p \leq 0.001$. Las letras a, b, c y d son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

4.5 Peso seco de la vaina (PSV) vs peso seco de raíz (PSR).

Existe una relación positiva entre PSV y PSR, donde se determinó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9618$ lo que manifiesta que el PSR tiene una fuerte influencia sobre PSV, ajustándose a un modelo polinomial cuadrático. (Figura 5).

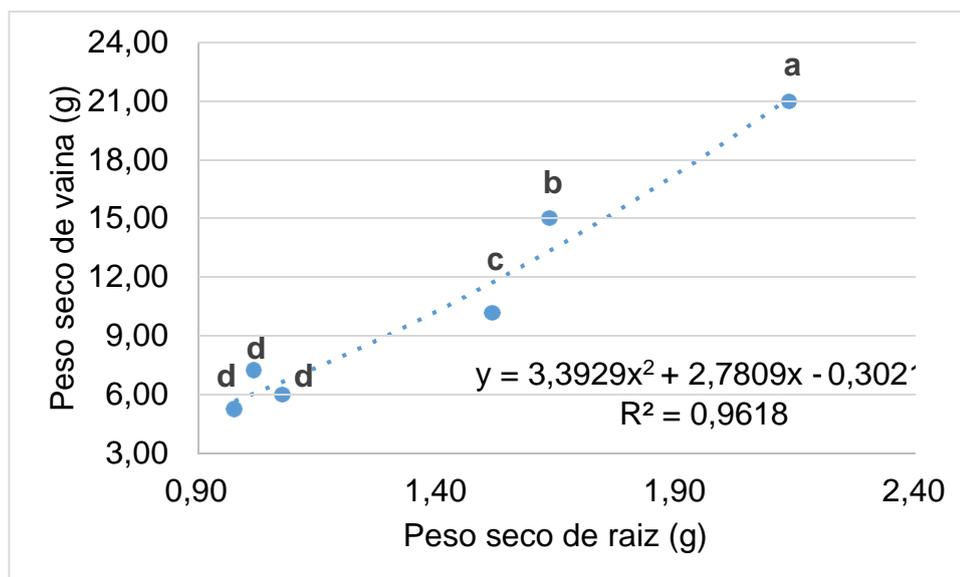


Figura 5. Peso seco de vaina de 6 tratamientos con diferente peso seco de raíz. Las letras a, b, c y d son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

4.6 Peso seco foliar Vs peso seco de raíz

Se ha encontrado una fuerte relación positiva entre PSR y PSF. Donde $R^2 = 0.8167$ manifestando así, que entre mayor sea el peso seco de raíz, mayor será el peso seco foliar, ajustándose a un modelo polinomial cuadrático. (Figura 6). De acuerdo con Shankramma et al. (2015), mencionan que las semillas expuestas a NPs de Fe_2O_3 mostraron una mayor longitud aérea, longitud de plúmula y de radícula, observando que las NPs aplicadas se acumulan principalmente en los pelos radicales de la raíz y la zona media de la planta.

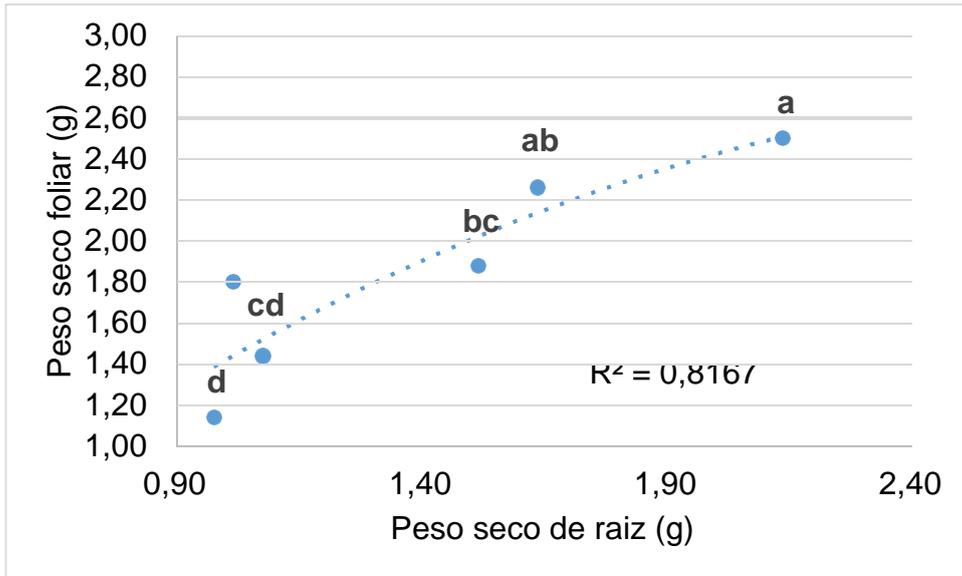


Figura 6. Peso seco foliar de 6 tratamientos con diferente peso seco de raíz. Las letras a, b, c y d son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados sugiere que las plantas de frijol ejotero, variedad Strike, es sensible a aplicaciones foliares de 500ppm de NPsFeO, pues al aplicar esta concentración de NPs disminuye la producción de biomasa total y de rendimiento del cultivo.

Se recomienda aplicar aspersiones de 300 ppm de NPsFeO, pues fue cuando obtuvo mayor crecimiento y peso de vainas.

Se recomienda hacer más investigaciones para conocer el efecto de las NPsFeO sobre el ataque de plagas y enfermedades.

Se recomienda hacer más investigaciones para conocer el aporte de hierro del frijol ejotero cv Strike en la alimentación humana.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, G. A. (2016). Aplicación Foliar de Nanopartículas de Óxido de Grafeno, Nanotubos de Carbón y su Efecto en Plantas de *Raphanus sativus* Cultivadas con Sustratos Zeolíticos. Tesis: Universidad Autonoma agraria Antonio Narro., 23.
- Alonso, B., Lopez, A., Rodriguez, C., Lazaro, D. (2015). La nanotecnología a 40 años de su aparición. Logros y tendencias , 3-13.
- Anusuya, S. and Nibiya, K. (2016). Silver-chitosan nanoparticles induced biochemical variations of chickpea (*Cicer arietinum L.*). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 8:39-44.
- Aslani, F., Bagheri, S., Muhd N., Shukor, A. (2014). Effects of engineered nanomaterials on plants growth: An Overview. The Scientific, 28.
- Azarpour, E., Asghari, J., Bozorgi, H., & 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.
- Burman, U., Saini, M. and Kumar, P. (2013). Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. Toxicological and Environmental Chemistry, 95: 605- 612.
- Brunner, T.J., P. Wick, P. Spohn, P. Grass y R.N. Limbach. (2016). In vitro cytotoxicity of oxide nanoparticles: comparison to asbestos, silica, and the effect of particle solubility. Environ. Sci. Technol., 40:4374-4381.
- Campos, E., de Oliveira, J., y Fraceto, L. (2014). Applications of controlled release systems for fungicides, herbicides, acaricides, nutrients, and plant growth hormones: a review. Advanced Science, Engineering and Medicine, 373-387.
- Cedrssa. 2020. Mercado del frijol, situación y prospectiva. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/53Mercado%20del%20frijol.pdf>. Consultado 29 octubre 2020.
- Cifuentes, Z., Custardoy, L., De la Fuente, J., Marquina, C., Ibarra, R., Rubiales, D. y Pérez, A. (2010). Absorción y translocación a la parte aérea de nanopartículas magnéticas recubiertas de carbono a través

- de la raíz de diferentes plantas de cultivo. Revista de nanobiotecnología., 1-8.
- Confederacion de consumidores y usuarios (CECU). (28 de Octubre de 2013). Nanotecnología. Obtenido de ¿Qué es la Nanotecnología?: <http://cecu.es/campanas/seguridad/Nanotecnologia2.pdf>
- Da Costa y Sharma, P. (2016). Efecto de las nanopartículas de óxido de cobre en el crecimiento, morfología, fotosíntesis y respuesta antioxidante en *Oryza sativa*. *Fotosintetica* 54, 110-119.
- De la Rosa, G., García, C., Vázquez, E., Alonso, Á., Basurto, G., Mendoza, Á., Cruz, G., Molina, C. (2017). Respuesta fisiológica y bioquímica de las plantas a los NM diseñados. León Guanajuato, Mexico: División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato.
- Domingo, F., Tellez, M., Hernandez, H., De la Cruz, E. (2015). Evaluación de cinco sustratos para la obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas*. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 174-176.
- Domingo, P. A. (2012). ¿QUÉ ENTENDEMOS POR NANOTECNOLOGÍA Y NANOCIENCIA? Consejo Superior de Investigaciones Científicas U.A.M, 1-2.
- Echegoyen, Y y Nerín, C. (2013). Liberación de nanopartículas de contenedores de alimentos antimicrobianos de nanoplasta. *Toxicología alimentaria y química*, 16-22.
- Engates, K.E. y Shipley, H.J. (2011). Adsorption of Pb, Cd, Cu, Zn, and Ni to titanium dioxide nanoparticles: effect of particle size, solid concentration, and exhaustion. *Environmental Science and Pollution Research.*, 386-395 (18).
- FAO. 2017. Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. <http://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>. Consultado 29 octubre 2020.
- Fernandez, F. (2016) Etapas de desarrollo en la planta de frijol. León Guanajuato, Mexico: División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de guanajuato. 66
- Fernández, V. y Sánchez, E. (2017) Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia* 9:133-148.

- Folarodi, G., Invernizzi, N. (2016). La nanotecnología: una solución en busca de problemas. *COMERCIO EXTERIOR*, VOL. 56, NÚM. 4., 327.
- Ghormade, V., Gholap, H., Kale, S., Kulkarni, V., Bhat, S., Paknikar, K. (2015). Fluorescent cadmium telluride quantum dots embedded chitosan nanoparticles: a stable, biocompatible preparation for bio-imaging, *Journal of Biomaterials Science. Polymer Edition*, 26, 42-56.
- Gregorio Jáuregui K., Rivera Salinas J., Saade Caballero H., López Campos R., Martínez Hernández J., Anna Iliana. (2018). Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones. Saltillo, Coah.: Departamento de Procesos de Polimerización, Centro de Investigación de Química Aplicada.
- Grillo, R., Rosa, A., y Fraceto, L. (2015). Engineered nanoparticles and organic matter: a review of the state-of-the-art. *Chemosphere*, 119, 608-619.
- Gutiérrez, L.; Hernández, M.; Molina, L. (2013). Daños para la salud tras exposición laboral a nanopartículas. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 231, 276-296.
- Hevia R., Pérez R., Hernández A y Céspedes A. (2010). Nanotecnología: desarrollo y estado actual del conocimiento. *Anuario Científico CECMED*, 5.
- Ibarra, P. E. (2017). Estudio del efecto de un líquido iónico sobre la incorporación y dispersión de grafeno/derivados de grafeno de recubrimientos asepticos a base de hidrogeles con nanopartículas de plata. Tesis; CIQA, 16.
- Janmohammadi, M., Pornour, A. and Sabaghnia, N. 2016. Effects of bio-organic, conventional and nanofertilizers on growth, yield and quality of potato in cold steppe. *Botanica Lithuanica*. 22(2): pp 133–134.
- Juárez, A., H. Ortega Ortiz, F. Pérez Labrada, G. Cadenas Pliego, and A. Benavides Mendoza. (2016). Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 89:183-189.
- Kah, M. (2015). Nanopesticides and nanofertilizers: emerging contaminants or opportunities for risk mitigation? *Frontiers in Chemistry*, 1-6.

- Krishnaraj, C., Ji, B., Harper, S., Yun, S. (2016). Síntesis biogénica de plata, dióxido de manganeso y nanopartículas de dióxido de manganeso dopado con plata mediada por extractos vegetales y su actividad antibacteriana contra patógenos transmitidos por alimentos y agua. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 1-14.
- Lira, S., Méndez, B., De los Santos, G. y Vera, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 9-24.
- Martínez, D., Barroso, D., Komárek, M. (2019). Root water transport of *Helianthus annuus* L. under iron oxide nanoparticle exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 2-11.
- Martinez, F. y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. *Materiales, propiedades y manejo. Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo.*, 50.
- Mehrazar, E., Rahaie, M., y Rahaie, S. (2015). Application of nanoparticles for pesticides, herbicides, fertilizers and animals feed management. *International Journal of Nanoparticles*, 1-9.
- Méndez A., Reyes, I., Mendoza, E., García, L., Puente, U. and Lira, s. (2016). Growth promotion of *Capsicum annuum* plants by zinc oxide nanoparticles. Departamento de plásticos en la agricultura, centro de investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila. *Nova Scientia*.18.
- Mendoza, G., Rodriguez, J. (2017). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles latinoamericanos: revista de la Sede Académica de México de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales*, 2.
- Moghadam, M., and Motalled, G. (2015). Nanoparticles and plant Biotechnology. *Research in Biotechnology*. 1-15.
- Moreno, K. (2017). Aplicación foliar de nanopartículas de zinc, cobre y hierro como estimuladores en el desarrollo de plántulas de tomate. Tesis: Universidad Autonoma agraria Antonio Narro.,34.
- Naranjo, E. B. (2016). Nanopartículas ayudan a contrarrestar efectos de quimioterapia. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química. Departamento de Programas Audiovisuales, 2.

- Panwar, J., Jain, N., Bhargaya, A., Akhtar, M. and Yun, Y. (2012). Positive effect of zinc oxide nanoparticles on tomato plants: A step towards developing nanofertilizers. *International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT)*, 8.
- Peng, C., Duan, D., Xu, C., Chen, Y., Sun, L., Zhang, H., Yuan, X., Zheng, L., Yang, Y., Yang, J., Zhen, X., Chen, Y. and Shi, J. (2015). Translocation and biotransformation of CuO nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Environmental Pollution.*, 99-107.
- Prasad, R., Kumar, V., & Prasad, K. (2014). Nanotechnology in sustainable agriculture: present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*, 705-713.
- Ricardo Hugo Lira Saldivar, Bulmaro Méndez Argüello, Gladys De los Santos Villarreal. Ileana Vera Reyes. (2018). Agronanotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. facultad de ciencias agrarias, 403-404.
- Risk, M. (2015). Nanobioingeniería: Historia y futuro. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 1.
- Rojas R. (2012). MINISTROS DE SALUD. GUIAS ALIMENTARIAS PARA LA EDUCACION NUTRICIONAL EN COSTA RICA, 3-6.
- Rosales, S., Ochoa, M., Acosta, J. (2019) Fenología y rendimiento del frijol en el antiplano de México y su respuesta al fotoperíodo *Agrociencia* 35:513-525.
- Sabir, S., Arshad, M. and Chaudhari, S.K. (2014). Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*, 1: 1-8.
- Salama, H. M. (2012). Effects of silver nanoparticles in some crop. *International Research Journal of Biotechnology*, 1-8.
- Sarlak, N., Taherifar, A. and Salehi, F. (2014). Synthesis of nanopesticides by encapsulating pesticide nanoparticles using functionalized carbon nanotubes and application of new nanocomposite for plant disease treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62.
- Sarlak, N., Taherifar, A., and Salehi, F. (2014). Synthesis of nanopesticides by encapsulating pesticide nanoparticles using functionalized carbon

- nanotubes and application of new nanocomposite for plant disease treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62.
- Sayed, Y. and J. Joner. (2010). Impact of Fe and Ag Nanoparticles on Seed Germination and Differences in Bioavailability During Exposure in Aqueous Suspension and Soil. *Bioforsk Soil and Environment*. p. 42-49.
- Shailesh, K., Pramod, M., Rajashri, K., Anand, K. 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. *Nanotechnology Development*. 5.
- Shang, Q., Feng, S., and Zheng, H. (2016). Preparation of abamectin-nanocapsules suspension concentrate. *Agrochemicals*, 2-10.
- Shankamma, K., S. Yallappa, M.B. Shivanna, and, J. Manjanna. (2015). Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Appl. Nanosci*. p. 1-8.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M., Saradhi,,P., Khanna, P., and Arora, S. (2012). Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. *Applied biochemistry and biotechnology*, 2225-2233.
- Shiva, V. (2016). *La violencia de la revolución verde: agricultura, ecología y política del Tercer Mundo*. Lexington: The University Press of Kentucky.
- Siap. 2019. Avance de Siembras y Cosecha de frijol. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do. Consultado 29 de octubre 2020).
- Siddiqui, H.M., Al-Whaibi, H., M. y Mohammad, F. (2015). *Nanotechnology and Plant Sciences. Nanoparticles and Their Impact on Plants*. Springer International Publishing Switzerland, 305.
- Singh, A., Lal, M., Singh, S., Khan, A., Singh, S., and Tiwari, A. (2015). Scope of nanotechnology in future agriculture an overview. *Agrica*, 2-13.
- Siva, G. and Benita, L. (2016). The iron oxide nanoparticles promotes Agronomic Traits ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *Int J. adv. Res. Biol. Sci (India)*, 3(3):230-237.
- Subramanian, V., Semenzin, E., Hristozov, D., Zondervan, E., Linkov, I., Marcomini, A. (2015). Revisión de herramientas de análisis de

- decisiones para nanotecnología sostenible. *Environ Syst Decis*, 29–30, 35.
- Sun, C., Shu, K., Wang, W., Ye, Z., Liu, T., Gao, Y., Zheng, H., He, G., y Yin, Y. (2014). Encapsulation and controlled release of hydrophilic pesticide in shell cross-linked nanocapsules containing aqueous core. *International Journal of Pharmaceutics*, 108-114.
- Thuesombat, P., Hannongbua, S., Akasit, S. & Chadchawan, S. (2014). Effect of silver nanoparticles on rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 302-309.
- Torres, B. U. (2013). Evaluación de seis mezclas de sustratos alternativos en la producción de plántula de lechuga *Lactuca sativiva* L. Tesis. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de agronomía y veterinaria, 5.
- Toxqui, L., De Piero, A., Courtois, V., Bastida, S., Sánchez, F y Vaquero, P. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo. *Nutricion Hospitalaria*, 1-3.
- Vasanth, N., Melchias, G. and P. Kumaravel. (2012). Evaluation of silver nanoparticles synthesized with the mediation of *Zizyphus jujuba* fruit extract on bactericidal compatibility and seed viability 6(7):6125-6135.
- Vimala, V., Clarke, S.K., Kaur, S. . (2016). Pesticides detection using acetylcholinesterase nanobiosensor. *Biosens Journal*, 1-4.
- Wang, Z., L. Xu, J. Zhao, X. Wnag, J. White y B. Xing. (2016). CuO nanoparticle interaction with *Arabidopsis thaliana*: toxicity, parent-progeny transfer, and gene expression. *Environmental Science & Technology*, 50:6008-6016.
- Xue, J., Luo, Z., Li, L., Ding, P., Cui, Y., Wu, Q. (2014). A residue-free green synergistic antifungal nanotechnology for pesticide thiram by ZnO nanoparticles. *Scientific Reports*, 2-9.
- Zhao, L., Sun, Y., Hernandez, V., Servin, J., Niu, G., Peralta, J., Duarte, G. and Gardea, T. (2014). Influence of CeO₂ and ZnO nanoparticles on cucumber physiological markers and bioaccumulation of Ce and Zn: A life cycle study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61:11945-11951.

