

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Bioensayo con Nanopartículas de Óxido de Manganeso ( $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ ) Aplicadas a Semillas de Pepino (*Cucumis sativus* L.) Variedad SMR 58, y Su Efecto en la Germinación y Desarrollo de Plántula.

Por:

**ADÁN VÁZQUEZ GONZÁLEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Bioensayo con Nanopartículas de Óxido de Manganeso (NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Aplicadas a Semillas de Pepino (*Cucumis sativus* L.) Variedad SMR 58, y Su Efecto en la Germinación y Desarrollo de Plántula.

Por:

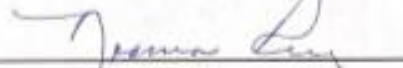
**ADÁN VÁZQUEZ GONZÁLEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres  
Asesor Principal



Dr. Josué Israel García López  
Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda  
Coasesor



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

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2020



## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme llegar hasta este momento y concederme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, y haberme brindado salud para lograr mis objetivos, y por su infinita bondad y amor.

A **mi universidad** por haberme permitido formarme en ella, por brindarme los conocimientos necesarios de un profesionista, por permitirme conocer personas extraordinarias, y por cada experiencia que me concediste, gracias a mi Alma Mater. ¡Buitres por siempre!

A **mis padres Ma. Guadalupe González Pelagio & Adán Vázquez Torres**. Les agradezco por apoyarme en todo momento, por permanecer conmigo y brindarme su amor y cariño; les doy gracias por los valores que me inculcaron para formarme, por su constancia, por cada día de confianza y creer en mí, creo que nunca terminare de agradecer su gran esfuerzo que hicieron para que mis objetivos se cumplieran, por esto y más les agradezco infinitamente.

A **Mis Hermanos** por el apoyo absoluto y permanecer en momentos de necesidad, gracias por sus consejos y ánimos, Fany, Hugo son unos increíbles hermanos a los cuales amo demasiado y siempre les tendré un gran aprecio.

A **Mi Tío Víctor Vázquez Torres**. Por el gran apoyo y confianza que me brido en mi formación profesional.

A **la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres**. Le agradezco por la aceptación en la asesoría de tesis, por brindarme su confianza, sus conocimientos, experiencia, su paciencia y el apoyo brindado, ya que sin su tiempo y apoyo no hubiese sido posible la realización de esta investigación.

A **Dr. Josué Israel García López**. Por participar como coasesor en esta tesis, por su disposición y apoyo en aportar observaciones para el mejoramiento de la misma.

A **Dr. Antonio Flores Naveda**. Por participar como coasesor en la elaboración de esta investigación y el apoyo de la elaboración de la misma.

A mis amigos **Diana Rodríguez, Bladimir Dimas y Geovany Franquez**. Por ser grandes personas y brindarme el apoyo cuando lo llegue a necesitar, por los buenos momentos que me brindaron, por escucharme, motivarme, por regalarme increíbles experiencias y en especial a ti **Diana** por que fuiste una de las primeras personas que conocí al llegar a la universidad.

A mis amigos **Daniela Irdian Avilés, Jessica Marlene Orozco y Jesús Gpe. Izaguirre**. Les agradezco a ustedes por el apoyo, consejos, amistad y su compañía brindada durante mi estancia en la universidad, por momentos agradables, divertidos e inolvidables que crearon un fuerte lazo de amistad.

## **DEDICATORIA**

### **A Mis Padres**

**Ma. Guadalupe González Pelagio & Adán Vázquez Torres.**

A quienes con amor admiro y anhelo demasiado, quienes son las personas más maravillosas de la existencia, que con ilusión de su vida ha sido verme convertido en una persona de bien y de provecho, gracias por conducirme por la vida con amor, paciencia y sacrificio. A ustedes que me brindaron su apoyo y consejo, que en momentos difíciles me alentaron a seguir, he logrado una de mis metas lo cual considero que es la herencia más valiosa que pudieron ofrecerme, este sueño, esta meta no es solo mía es para y por ustedes, que me enseñaron a sobre pasar cualquier adversidad, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño. Sin ustedes esto no hubiese sido posible, tengan por seguro que todo el sacrificio que tuvieron que hacer valdrá la pena, pondré todo mi esfuerzo para seguir creciendo como persona y ser el profesionalista que siempre soñaron que fuese, con los pies en la tierra, sencillez y humildad. Nunca terminare mi deuda con ustedes, les agradezco eternamente.

### **A Mis Hermanos**

**Stephany Gpe. Vázquez González & Víctor Hugo Vázquez González**

Por brindarme siempre su apoyo incondicional, los buenos momentos, los consejos, por darme siempre su cariño y está en todo momento, es una gran bendición tenerlos en mi vida.

Por esto y más gracias

¡Los amo!

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Nanotecnología.....	4
2.2. Aplicaciones de la nanotecnología.....	4
2.2.1. Medicina.....	4
2.2.2. Industria.....	5
2.2.3. Agricultura.....	5
2.3. Agronanotecnología.....	6
2.4. Tipos de nanopartículas.....	7
2.4.1. Nanopartículas metálicas.....	7
2.4.2. Dendrímeros.....	9
2.5. Efecto de las nanopartículas en la germinación.....	9
2.6. Funciones del manganeso en la planta.....	10
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1. Localización del sitio experimental.....	12
3.2. Material Genético.....	12
3.3. Prueba de Germinación.....	12

3.4.	Imbibición de la semilla.....	13
3.5.	Evaluación del bioensayo.....	13
3.5.1.	Variables evaluadas.....	13
3.5.2.	Metodología de variables evaluadas.....	14
3.6.	Análisis Estadístico.....	15
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>16</b>
4.1.	Prueba de germinación.....	16
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>24</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>25</b>
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** Cuadrados medios de análisis de varianza de variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*), sometidas a la aplicación de nanopartículas de óxido de manganeso (NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).....17

**Cuadro 2.** Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*), tratadas con nanopartículas de óxido de manganeso (NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). ..... 19



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Anexo 1.** Porcentaje vigor de germinación y germinación por la aplicación a diferentes concentraciones de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  en semillas de pepino. .... 30

**Anexo 2.** Longitud de Plúmula y Longitud de Radícula obtenida del efecto de la aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  a diferentes concentraciones en semillas de pepino..... 30

## RESUMEN

Las tecnologías habituales en la agricultura convencional han tenido gran impacto ambiental con la utilización excesiva e inadecuada de los insumos agrícolas, y pese a ello no se ha podido lograr una mejor productividad, por esto es indispensable adoptar nuevas tecnologías, como la utilización de nanopartículas que pueden ser empleadas a manera de un agroinsumo en programas de agricultura sustentable, destacando sus efectos en la nutrición y protección de los cultivos, obteniendo producciones de mayores rendimientos. Ante este panorama, la presente investigación tiene como objetivo estudiar el efecto de la aplicación durante el proceso de imbibición de nanopartículas (NPs) de óxido de manganeso ( $Mn_2O_3$ ), en semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Este trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), que consistió de un bioensayo donde se establecieron 3 repeticiones de 25 semillas para cada concentración (Testigo 0, 20, 50, 100, 200, 300, 400 ppm). Posteriormente las semillas fueron colocadas en cajas Petri con papel filtro en el interior, y se imbibieron con 15 mL de suspensión de  $NPsMn_2O_3$ , con la concentración que se estableció para cada tratamiento, para después ser colocadas en una cámara bioclimática a una temperatura de 25°C, durante 24 h. Después se sembraron, colocando 25 semillas entre dos capas de papel Anchor humedecidos con agua destilada, enrollados en forma de taco, colocándolos en bolsas de polietileno transparente, las cuales se ubicaron dentro de una cámara bioclimática a una temperatura 25°C y con un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad. Las variables evaluadas fueron porcentaje de vigor de germinación, porcentaje de germinación, plántulas anormales, semillas sin germinar, peso seco de plántula, longitud de plúmula y longitud de radícula. El experimento fue realizado bajo un diseño experimental completamente al azar, los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas por concentración, y posteriormente se realizó una comparación de

medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), utilizando el paquete estadístico SAS Institute (2004). Con los resultados obtenidos se observó que la concentración de 100 ppm de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , promovió de manera positiva la capacidad germinativa de las semillas logrando incrementar el porcentaje de un 47% (testigo) a un 96%, expresándose en un mayor peso seco y longitud de vástago y radícula, por lo tanto esta investigación demuestra que la aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , tiene potencial para utilizarse como promotor, mejorando los procesos fisiológicos de la semillas como su capacidad germinativa.

**Palabras Clave:** *Cucumis sativus* L, Nanopartículas, Óxido de Manganeso, Vigor, Germinación.

# I. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología (NT) es la ciencia que revoluciona tecnologías multidisciplinares que permiten maximizar la eficiencia en procesos productivos; mide, manipula y organiza la materia a escala manométrica, entre 1 y 100 nanómetros ( $10^{-9}$  m) (Duhan *et al.*, 2017). Esta tecnología se puede aplicar a múltiples sectores tales como industria, medicina y en la agricultura.

Debido al incremento poblacional se ha aumentado la demanda alimentaria, en este sentido los investigadores agrícolas del siglo XIX deben de innovar y generar tecnología que promueva la producción necesaria para satisfacer la demanda sin repercutir o degradar suelos o los agroecosistemas (Bharadwaj, 2016).

Los nanomateriales son componentes como nanocristales, nanofibras, nanocables, nanopartículas y nanotubos, los cuales tienen una gran utilidad en una amplia gama de aplicaciones por sus propiedades mecánicas, electrónicas, ópticas, magnéticas y catalíticas (Gajewicz *et al.*, 2012), el desarrollo de estos nanomateriales y la aplicación en la agricultura y en la biotecnología promete la posibilidad de utilizar NPs en agroquímicos y fertilizantes que podrían reducir el daño ambiental.

En la agricultura, la aplicación de nanofertilizantes ha tenido efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas, garantizando la seguridad alimentaria a través del incremento del sector primario impactando en los rendimientos de producción (Razzaq *et al.*, 2016). No obstante, existe poca información relacionada con el efecto de nanopartículas de óxido de manganeso (NPs $Mn_2O_3$ ) en la germinación y el crecimiento temprano de plántulas. Por lo anterior, este trabajo de investigación evaluó el impacto de nanopartículas de NPs $Mn_2O_3$ , sobre la

germinación de semillas de pepino. A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos de esta investigación.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto a la aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , a diferentes concentraciones en semillas de pepino (*Cucumis sativus*), variedad SMR 58, sobre el proceso de germinación, vigor y desarrollo de la plántula.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación de las  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , a diferentes concentraciones para identificar si mejoran o inhiben el proceso de germinación en semillas de pepino (*Cucumis sativus*), variedad SMR 58.
- Evaluar la respuesta a la aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , en semillas de pepino (*Cucumis sativus*), variedad SMR 58, para determinar si actúa como un estimulante en el desarrollo de la plántula.

## 1.2. HIPÓTESIS

H1: La aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , actúa como promotor en los procesos fisiológicos, estimulando la capacidad germinativa y desarrollo de plántulas de pepino (*Cucumis sativus*), variedad SMR 58.

Ho: La aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , no actúa como promotor en los procesos fisiológicos, ni estimulan la capacidad germinativa y desarrollo de plántulas de pepino (*Cucumis sativus*), variedad SMR 58.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Nanotecnología

La Nanotecnología (NT) es definida como la tecnología que se relaciona con nuevos materiales y procesos, es decir la manipulación de la materia a una escala nanométrica en intervalo de 1 a 100 nm ( $10^{-9}$  m) (Lugo *et al.*, 2010). Las propiedades físicas y químicas de algunos nanomateriales suelen ser las mismas o si no similares a la escala convencional; sin embargo, en algunos casos estas características se modifican de acuerdo con el tamaño de la partícula. Hay varias razones por las cuales ocurre este cambio en el comportamiento físico y químico. En primer lugar, las distintas propiedades termodinámicas pueden ser alteradas por la presencia de curvaturas, por el área superficial y por la energía superficial libre, entre otros factores. Finalmente, está el simple hecho de que a medida que disminuye el tamaño de las partículas, la proporción de átomos que se encuentran en su superficie aumenta drásticamente (Powers *et al.*, 2005).

Prasad *et al.* (2014) mencionaron que la nanotecnología tiene un uso potencial y benéfico en distintos sectores, como en la medicina, la industrial, la agricultura por mencionar algunos revolucionando el implemento de tecnologías e innovando en sus distintos procesos productivos o mejorando la calidad de ellos.

### 2.2. Aplicaciones de la nanotecnología

#### 2.2.1. Medicina

La implementación de la NT en el campo médico incluye distintas áreas de la medicina por ejemplo: diagnóstico, terapia y medicina generativa. Saini *et al.* (2010) mencionaron la ejecución de algunos métodos terapéuticos que utiliza la implementación de nanopartículas o dispositivos como transportadores (nanotubos,

liposomas), donde su función es llevar el fármaco a células o tejidos afectados, también se utiliza técnicas de diagnóstico para la obtención de nanoimágenes, como el uso de NPs de óxido de hierro que por magnetismo actúa como agente de contraste en el caso de análisis molecular *in-vivo*.

Saade *et al.* (2016) encontraron que el fármaco como el ibuprofeno cargado con partículas poliméricas de 9.2 nm dispersado en un medio acuoso, es considerado seguro para su consumo y se utiliza en el desarrollo de píldoras con carga de micro y nanopartículas del mismo fármaco.

### **2.2.2. Industria**

En la industria textil, ha surgido la necesidad de implementar tecnologías en donde la nanotecnología y biotecnología se combinan para elaborar prototipos de telas en cuyas fibras se le añaden NPs provenientes de plantas (Geranio *et al.*, 2009).

La NT en la industria alimentaria, se utiliza para el desarrollo de materiales inteligentes que al hacer contacto con los alimentos tienen la finalidad de monitorear las condiciones del medio que lo rodea (Silvestre *et al.*, 2011). Un ejemplo de ello, son los nanosensores que responden al cambio del medio ambiente (temperatura, humedad, niveles de oxígeno) y degradación por microorganismos, ayudando a un mejor control de la calidad y sanidad de los alimentos (Arshak *et al.*, 2007).

### **2.2.3. Agricultura**

Otro uso es en el sector agrícola, debido a la problemática de la degradación de los suelos, el impacto negativo en el medio ambiente y en la salud humana (Delonge *et al.*, 2016). Por lo que se requiere generar materiales y tecnologías más



amigables con el medio ambiente, la NT tiene el potencial de transformar las prácticas agrícolas convencionales mejorando la productividad con ayuda de las nanopartículas, que es una nueva forma de liberar lentamente agroquímicos, promoviendo el uso eficiente de ellos (Singh y Jajpura, 2016).

### **2.3. Agronanotecnología**

Según Rodríguez (2016), define a la agronanotecnología como la ciencia que manipula nanopartículas (NPs) y los nanoelementos elaborados para utilizarse como insumos agrícolas, los cuales permiten ayudar en la solución de problemas de contaminación ambiental, mejorando los procesos productivos de manera sustentable en el campo.

En el sector agrícola, la utilización de la nanotecnología se empezó a implementar porque las tecnologías habituales han tenido un gran impacto ambiental con la utilización excesiva de insumos agrícolas, y aun así no podían ser capaces de lograr una mejor productividad (Muckhopadhyay, 2014).

Ditta *et al.* (2015) y Kashyap *et al.* (2015) mencionaron que se han hecho esfuerzos para impulsar la investigación sobre la NT con la finalidad de obtener innovaciones en la aplicación de esta emergente ciencia sobre la producción sustentable. Es por eso que la agronanotecnología va en aumento, gracias a su benéfico potencial en la agricultura (Razzaq *et al.*, 2016). Esta ciencia incide en la resolución de problemas relacionados con la producción, entre los que se incluyen la poca eficiencia en el rendimiento, el poco aprovechamiento de los fertilizantes por el uso inadecuado, cambio climático. Ante tal situación, y para contrarrestar esta problemática, se propone explorar esta nueva tecnología (Quispe, 2010).

El uso indiscriminado de agroquímicos sintéticos en la agricultura convencional tiene origen desde la revolución verde, esto provocó problemas ambientales, aparición de patógenos y plagas resistentes a los pesticidas, así como la pérdida de la biodiversidad microbiana disminuyendo la fertilidad de los suelos (Saldivar *et al.*, 2014).

Por lo tanto, la utilización de nanomateriales y nanodispositivos en la agricultura tiene un gran potencial (Srilatha, 2011). Con la intervención de la nanotecnología en la agricultura utilizando nanopartículas se tienen como perspectiva la eficiencia de uso de nutrientes a través de nanoformulaciones de fertilizantes (Xue *et al.*, 2014). Otro uso de la NT, es que permite detectar la presencia de plagas y patógenos, contaminación del alimentos y aplicación de la dosis correcta de pesticidas que promuevan la productividad garantizando la seguridad ambiental y eficiencia de los insumos agrícolas (Nuruzzaman *et al.*, 2016).

## **2.4. Tipos de nanopartículas**

### **2.4.1. Nanopartículas metálicas**

Las nanopartículas metálicas son agregados aislados de tamaños entre 1 y 50 nm, los cuales son un conjunto de átomos rodeados de una cápsula protectora o estabilizadora, que evita la aglomeración. Son de gran interés gracias a sus propiedades catalíticas, ópticas, electrónicas, magnéticas y bacterianas (Sifontes *et al.*, 2010).

- **Nanopartículas de Titanio**

Las nanopartículas de dióxido de titanio por sus propiedades se pueden utilizar en la microbiología, nanotecnología y medicina (Herrera *et al.*, 2012). El TiO<sub>2</sub> es un semiconductor que absorbe radiación UV, siendo un material químicamente

estable, su función como fotocatalizador se utiliza para degradar moléculas orgánicas en la purificación del agua (Vargas *et al.*, 2011).

- **Nanopartículas de Oro**

Las nanopartículas de oro presentan propiedades físicas, químicas y biológicas resistentes a la oxidación (Auffan *et al.*, 2009). Pueden ser producidas en distintos tamaños, formas y pueden ser fácilmente funcionalizadas con anticuerpos, polímeros, fármacos y material genético (AlQadi y Remuñán, 2009).

- **Nanopartículas de Plata**

La plata ha ganado mucho interés como aplicación en nanopartículas, y ha tenido un gran desarrollo debido a sus propiedades como buena conductividad, estabilidad química y actividad catalítica antibacteriana (Ávalos *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2016). Debido a sus propiedades se han implementado en varios campos, donde se incluyen medicina, industria alimenticia, industria textil. Además, se han aplicado en el desarrollo de materiales poliméricos por su funcionalidad antibacteriana y en algunos casos antifúngicas (Fages, 2012).

- **Nanopartículas de Zinc**

El óxido de Zinc (Zn) en agronomía es de gran interés por su potencial como nanofertilizantes y promotores de crecimiento (Dimkpa *et al.*, 2015). El Zn es participe en la producción de clorofila, en el proceso de germinación y acumulación de biomasa (Pandey *et al.*, 2010). Las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) en la planta tiene efecto en el crecimiento, debido a la funcionalidad que tiene el Zn en la producción de auxina las cuales regulan el crecimiento (Rehman *et al.*, 2012). El efecto es atribuido a que el Zn es un micronutriente esencial para la planta contribuyendo como componente de algunas enzimas responsable de reacciones metabólicas (Shyla y Natarajan, 2014). Además, son estudiadas por su actividad antimicrobial (Sabir *et al.*, 2014)

- **Nanopartículas de Cobre**

El cobre por sus propiedades antimicrobianas es de interés, además de que las nanopartículas son más económicas (Beyth *et al.*, 2015). El cobre en agronomía es de gran interés por su interacción biológica en el proceso fotosintético, además de que se ha utilizado ampliamente como fungicida y bactericida y como un promotor de crecimiento vegetal (Jaiswal *et al.*, 2012).

- **Nanopartículas de Manganeso**

Existen distintos tipos de nanopartículas de manganeso (Mn), las cuales son huecas, revestidas de sílice, así como nanopartículas dopadas con Mn, NPs multifuncionales de óxido de manganeso, nanopartículas de óxido de manganeso, siendo esta última la que se utiliza en la aplicación del sector agronómico (Zhen y Xie, 2012). La aplicación de NPs de óxido de Mn en la planta tiene efecto positivo en los procesos fotosintéticos como lo es la fotólisis del agua y en la división de cloroplastos, además influye en la reserva de energía (Pradha *et al.*, 2014).

#### **2.4.2. Dendrimeros**

Polímeros que presentan una arquitectura regular bien definida y altamente ramificada y cuya originalidad radica en el hecho de que su tamaño y geometría pueden ser específicamente controladas en su síntesis, con el fin de que posean propiedades físicas y químicas prediseñadas y específicas (Newkome, 1994-2005; Fréchet y Tomalia, 2002).

#### **2.5. Efecto de las nanopartículas en la germinación**

Existen pocas investigaciones relacionadas al estudio del efecto de las nanopartículas de óxido de manganeso en la germinación en semillas, pero se ha encontrado que estas NPs metálicas aplicadas en semillas a pequeñas

concentraciones tienen respuesta positiva mejorando los procesos fisiológicos de ellas. Por tal motivo, en esta investigación se comparará con la aplicación de NPs de Zn, ya que este elemento tiene función y efecto similar al Mn.

Afrayem *et al.* (2017) reportaron en su estudio que la aplicación de nanopartículas de ZnO en semillas de chile, tuvieron un efecto positivo sobre la germinación, longitud de raíz, plúmula y crecimiento de plántulas.

Estudio reportado por Anandaraj y Nataranjan (2017), evaluaron concentraciones de NPs ZnO en concentraciones de 750, 1000, 1250, y 1500 mg kg<sup>-1</sup>, en semillas de cebolla, se observó que la dosis de 1000 mg kg<sup>-1</sup> mejoró de manera significativa la germinación, la longitud de plúmula y el índice de vigor en comparación al testigo.

## **2.6. Funciones del manganeso en la planta**

El Mn en la planta interviene en la síntesis de hormonas, proteínas y ácidos grasos, metabolismo y ayuda a la asimilación del nitrógeno. Una de sus funciones es la activación metabólica de varias enzimas y formando metaloproteínas, que a su vez son componentes de dos enzimas: una de función antioxidante como la Mn-superóxido dismutasa (MnSOD), prescindible en la protección contra radicales libres, y la otra que junto con el cloro, ayudan a la disociación fotosintética del agua (Humphries *et al.*, 2007; Kirkby y Römheld, 2008; Broadley *et al.*, 2012).

En la fotólisis del agua, un grupo formado por cuatro átomos de Mn se combina con el complejo que se desarrolla con el oxígeno, unido con la proteína del centro de reacción del fotosistema II (Goussias *et al.*, 2002). Este grupo acumula cuatro cargas positivas, las cuales oxidan a dos moléculas de agua liberando a una

molécula de O<sub>2</sub> y cuatro protones. El manganeso es considerado un compuesto catalizador en la oxidación del agua (Zouni *et al.*, 2001).

Según los autores Marschner (2006) y Kirkby y Römheld (2007), mencionaron que el Mn interviene en el mantenimiento de las biomenbranas y del aparato fotosintético afectado por los radicales libres.

Otra función imprescindible del Mn es su participación en la realización de la biosíntesis de clorofila (a través de la activación de enzimas específicas) productos secundarios como lignina y flavonoides. Además, participa en la ruta biosintética de isoprenoides (Lidon *et al.*, 2004). Por lo tanto, el Mn está estrechamente relacionado en procesos metabólicos como la respiración, la fotosíntesis, la síntesis de aminoácidos y activación de hormonas a través de las IAA-oxidasas.

La aplicación de NPs de óxido de manganeso en las plantas influyen en la partición de la formación de los cloroplastos, además intervén en la reserva energía gracias al control de metabolismo de carbohidratos y solo con la presencia de iones de manganeso ocurre la reducción de nitritos (Pradhan *et al.*, 2014). El exceso de este nutriente puede ocasionar daños para el aparato fotosintético (Mukhopadhyay y Sharma, 1991). Por lo tanto, el Mn en la planta adquiere dos papeles fundamentales en los procesos metabólicos: ya sea como micronutriente esencial y fitotóxico en grandes cantidades (Kochian *et al.*, 2004; Ducic y Polle, 2005). El siguiente apartado, corresponde a la parte de materiales y método para el desarrollo del trabajo de investigación.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo durante el mes de junio del 2018, en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con coordenadas 25° 23' 25" de latitud norte 100° 50' 57" de longitud oeste y a una altitud de 1742 msnm en Buenavista, Saltillo, Coahuila México, durante el mes de junio del 2018.

#### 3.2. Material Genético

El material con el que se llevó a cabo el experimento fue semillas de pepino (*Cucumis sativus*), variedad SMR 58.

#### 3.3. Prueba de Germinación

El experimento consistió en establecer un bioensayo sometiendo semillas de pepino (*Cucumis sativus*), a diferentes dosis de NPs $Mn_2O_3$ , con el objetivo de determinar su efecto en la germinación, estas NPs tenían un tamaño de partícula en el rango de 40 a 60 nm. Se establecieron siete tratamientos (0, 20, 50, 100, 200, 300, 400 ppm), con 3 repeticiones de 25 semillas cada una.

La preparación de tratamientos de NPs $Mn_2O_3$ , consistió en pesar el producto en una balanza analítica (AND modelo HR-200), esto de acuerdo con las concentraciones deseadas. Después se colocaron en tubos tipo Falcón con tapa de rosca, aforando con agua destilada a 50 ml. Posteriormente, para suspender las NPs en la solución se colocaron durante 15 minutos en un sonicador Branson (AS20608).

### **3.4. Imbibición de la semilla**

Las 100 semillas por cada tratamiento (0, 20, 50, 100, 200, 300, 400 ppm), se colocaron en cajas de Petri sobre papel filtro en el interior, después se aplicó 15 ml de la suspensión de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  con las diferentes dosis; las cajas Petri fueron colocadas por 24 horas en una cámara bioclimática, la cual mantenía una temperatura de  $25 \pm 2$  °C, con una humedad de 50% y fotoperiodo 16 h/8 luz/oscuridad.

Después de que transcurrió el tiempo, se desarrolló una prueba de germinación, con ayuda de unas pinzas de disección previamente esterilizadas, se sembraron las 3 repeticiones de 25 semillas de pepino entre dos capas de papel Anchor humedecido con agua destilada, posicionando las semillas de forma horizontal con el embrión hacia abajo, se enrollaron en formar de un taco, para después ponerlos en bolsas de polietileno transparente con el fin de evitar la pérdida de humedad y se colocarlos en contenedores de plástico, y así introducirlos en una cámara bioclimática la cual mantenía una temperatura de  $25 \pm 2$  °C, con una humedad de 50% y fotoperiodo 16 h/ 8luz/oscuridad.

### **3.5. Evaluación del bioensayo**

#### **3.5.1. Variables evaluadas**

Las variables evaluadas para este experimento fueron: porcentaje de germinación (%), el porcentaje de vigor de germinación (%), porcentaje de plántulas anormales (%), porcentaje de semillas sin germinar (%), longitud de plúmula (cm), longitud de radícula (cm) y el peso de materia seca (mg/plántula).



### **3.5.2. Metodología de variables evaluadas.**

#### **a) Porcentaje de vigor de germinación**

Al cuarto día después de que se inició el proceso de imbibición y la siembra, se realizó el primer conteo para la toma de datos de plántulas normales (plántulas que tienen bien desarrolladas la raíz y la plúmula (vástago), con la finalidad de determinar el vigor de germinación de la semilla, expresado en porcentaje, ya que este parámetro es importante porque se puede identificar la uniformidad y capacidad con la cual se puede establecer con mejor facilidad en campo.

Una vez que se obtuvieron los datos, se volvió a colocar los tacos en la cámara bioclimática, la cual mantenía una temperatura de  $25 \pm 2$  °C, con una humedad de 50% y fotoperiodo 16 h/ 8 luz/oscuridad.

#### **b) Porcentaje de Germinación**

El porcentaje de germinación, se evaluó al segundo conteo que se realizó 8 días después de la siembra, consistió en el conteo del total de plántulas normales y el resultado fue expresado en porcentaje.

#### **c) Plántulas Anormales (PA)**

Para obtener este porcentaje se consideró como plántulas anormales todas aquellas plántulas con raíz primaria dañadas, con deformidades, geotropismo negativo, sin raíces secundarias y con poco vigor limitando su óptimo desarrollo.

#### **d) Semilla sin Germinar (SSG)**

Se contabilizó aquellas semillas que no presentaron ningún signo de emergencia de radícula y el resultado fue expresado en porcentaje.

### **e) Longitud de plúmula (vástago) y de radícula (LP) y (LR)**

Para estas variables se midieron las plantas normales, considerando todas aquellas que no presentaron alguna anomalía, la medición de cada una de las estructuras esenciales se llevó a cabo utilizando una tabla con una hoja milimétrica graduada en la escala en cm.

### **f) Peso Seco de Plántula (PS)**

Después de que se determinaron las variables anteriores, la toma de esta variable consistió en depositar todas las plántulas normales (PN) por cada repetición en bolsas de papel estraza perforadas e identificadas dependiendo la repetición y el tratamiento, después se colocaron en una estufa de secado marca (RIOSA modelo H-24), con una temperatura de 72°C durante un lapso de 24 horas, al pasar ese tiempo se situaron las muestras en un desecador con la finalidad de evitar que se humedecieran por efecto del ambiente, y no afectara en la toma de los datos. Posterior a eso, por cada repetición se pesaron las muestras en una balanza analítica (AND modelo HR-200), para determinar el valor del peso seco y se representó en mg/plántula.

## **3.6. Análisis Estadístico**

El análisis estadístico de este experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar, con 7 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento, con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), utilizando el paquete estadístico SAS Institute (2004).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Prueba de germinación

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron con el análisis de varianza (Cuadro 1), del bioensayo de germinación en semillas de pepino (*Cucumis sativus*), sometidas a la aplicación de diferentes concentraciones de NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, se encontró lo siguiente:

Para la fuente de variación concentración, se identificaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), para las variables porcentaje de vigor de germinación, germinación, semillas sin germinar, peso seco de plántula, longitud de plúmula y longitud de radícula, mientras que para la variable plantas anormales indicó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Con estos resultados, se observó que la aplicación de diferentes concentraciones de NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> influye de alguna manera en la respuesta de ciertas variables evaluadas en el bioensayo, por lo tanto, tienen relación directa con el proceso de germinación. Al examinar las comparaciones de medias se razonará de manera más clara el efecto de las NPs.

**Cuadro 1.** Cuadrados medios de análisis de varianza de variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*), sometidas a la aplicación de nanopartículas de óxido de manganeso (NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Vigor (%)</b>	<b>Germinación (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>SSG (%)</b>	<b>PS (mg/plántula)</b>	<b>LP (cm)</b>	<b>LR (cm)</b>
TRAT.	6	794.4126**	1324.1904**	404.3174*	1004.1904**	148.0804**	27.4896**	84.6598**
Error	14	165.3333	156.1904	99.8095	69.3333	2.9687	6.2979	7.1839
CV (%)		5.0037	18.9085	63.1927	46.0157	8.5015	34.4466	23.0614

\*\*= Altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ); \*= Significativo ( $P \leq 0.05$ ); FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; Vigor= Plántulas normales al primer conteo; Germinación= Plántulas normales al segundo conteo; PA= Plántulas anormales; SSG= Semillas sin germinar; PS= Peso seco de plántula; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; TRAT= Tratamiento; ERROR= Error experimental; CV= Coeficiente de variación.

Los resultados de la comparación de medias indican que la aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  a 100 ppm, afectó positivamente la variable porcentaje vigor de germinación, con incrementos del 47% en comparación con el control (Cuadro 2), sin embargo, fue estadísticamente igual a los tratamientos con  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ .

El vigor en las semillas es por lo tanto el potencial biológico que favorece el establecimiento rápido y uniforme, incluso en condiciones desfavorables de campo (Gonzales *et al.*, 2008). La aplicación de estas NPs tiene un efecto positivo en el vigor de germinación, ya que incrementó de manera considerable.

Delouche (2016) mencionó que el vigor es el principal componente de la calidad y atributo exclusivo de las semillas capaces de germinar, sus efectos determinaran el comportamiento de la semilla en la germinación y desarrollo positivo de plántula.

La variable porcentaje de germinación mostró un incremento con respecto al testigo, esto al tratar las semillas a concentraciones de 100, 300 y 400 ppm (Anexo 1), que estadísticamente se colocaron en el mismo grupo, pero quien obtuvo el mayor valor numéricamente fue el tratamiento de 100 ppm, con un 96% de germinación, superando en 51% al tratamiento control (Cuadro 2).

Lo anterior indica que, tratando las semillas a una concentración de 100 ppm, se incrementa de manera favorable el porcentaje de germinación, ya que interviene aumentando y mejorando el vigor de las semillas, favoreciendo el proceso de germinación.

El efecto de las NPs comienza a manifestarse desde la germinación de las semillas, reflejándose en una mayor emergencia y uniformidad, debido a la penetración de los nanomateriales en la semilla, acelerando la metabolización de las reservas que benefician de manera positiva las primeras etapas del proceso germinativo (Ruiz-Torres *et al.*, 2017).

**Cuadro 2.** Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*), tratadas con nanopartículas de óxido de manganeso (NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

<b>TRAT.</b> <b>(ppm)</b>	<b>VIGOR</b> <b>(%)</b>	<b>G</b> <b>(%)</b>	<b>PA</b> <b>(%)</b>	<b>SSG</b> <b>(%)</b>	<b>PS</b> <b>(mg/plántula)</b>	<b>LP</b> <b>(cm)</b>	<b>LR</b> <b>(cm)</b>
0	8 b	47 bc	32 a	21 b	16.86 b	5.16 b	7.90 c
20	36 ab	63 abc	28 ab	9 b	19.32 b	7.48 a	11.92 ab
50	25 ab	64 abc	20 ab	16 b	16.71 b	8.12 a	13.37 a
100	55 a	96 a	1 b	3 b	15.16 b	7.92 a	12.42 ab
200	9 b	35 c	8 ab	57 a	35.81a	7.04 a	10.63 b
300	32 ab	76 a	16 ab	8 b	18.97 b	7.29 a	11.73 ab
400	35 ab	83 a	5 ab	12 b	19.01 b	6.98 a	11.42 b
$\bar{X}$	28.57	66.27	15.71	18	20.27	9.43	11.35
Tukey (P≤0.05)	35.85	34.84	27.85	23.22	4.80	1.70	1.81

Valores con la misma literal en cada columna son estadísticamente iguales, Tukey (P≤0.05); G=Germinación; PA= Plántulas anormales; SSG= Semilla sin germinar; PS= Peso seco de plántula; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula.

La variable de plántulas anormales se observaron diferencias significativas en los tratamientos, el menor porcentaje lo adquirió el tratamiento de 100 ppm con solo 1% de plántulas anormales, lo que indica que es posible disminuir la presencia de plántulas anormales, mejorando la germinación e incrementando el número de plántulas, y con esto poder tener un establecimiento homogéneo en campo.

En la variable similla sin germinar, la comparación de medias indicó que la concentración de 200 ppm obtuvo el valor mayor con un 57%, y la concentración de 100 ppm presentó la menor tasa de semillas sin germinar con un 3%, esto indica que la aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  a 100 ppm promueve la germinación, mientras que a una concentración más elevada se reduce la germinación.

En la variable peso seco de plántula, se encontró diferencia estadística para el tratamiento de 200 ppm, con un valor de 36 mg/plántula superando al testigo, el cual obtuvo un valor de 17 mg/plántula de peso seco (biomasa), las concentraciones 20, 50, 100, 300 y 400 ppm, colocándose estadísticamente en la misma agrupación, con valores de 19, 17, 15, 19 y 19 mg/plántula respectivamente (Cuadro 2). Entre las ventajas que presenta el obtener el peso seco de plántula, se encuentra el revelar el tratamiento que obtuvo la mayor acumulación de biomasa. Indica la cantidad de reservas de la semilla que fueron metabolizadas y usadas para generar tejidos.

Al realizar la comparación de medias, para determinar las diferencias entre los distintos tratamientos de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$ , sobre la longitud de la plúmula, se observó que estadísticamente el tratamiento testigo (0 ppm) es diferente al resto de los tratamientos, pero numéricamente hablando, el que obtuvo el valor mayor fue la concentración de 50 ppm con 8.12 cm, seguido de la concentración de 100 ppm con 7.92 cm, las concentraciones de 20, 200, 300, 400 tuvieron los menores valores 7.48, 7.04, 7.29, 6.98 cm (Anexo 2). La longitud de plúmula es de suma importancia



porque es un indicativo de que la plántula tendrá una mejor calidad y resistencia en cuanto a la adaptabilidad en campo facilitando su establecimiento. El tallo sirve de soporte a hojas, y en la etapa reproductiva a flores y frutos, y cumple la función de transporte, por medio de la savia, y de almacenamiento de agua y de sustancias de reserva. El desarrollo en longitud de un tallo y su ramificación se producen de las yemas, constituidas en el meristemo apical.

Para la variable longitud de radícula, el tratamiento testigo tuvo el valor menor con 7.90 cm, mientras que el valor mayor lo obtuvo la concentración de 50 ppm, presentando 13.37 cm de longitud, seguido de la concentración de 100 ppm que tuvo 12.42 cm; por otra parte, las concentraciones 20, 200, 300, 400 ppm se mantuvieron con longitudes similares con valores de 11.92, 10.63, 11.73, y 11.42 cm, respectivamente. Por lo tanto, la aplicación de estas NPs a concentraciones de 50 y 100 ppm fomentó el desarrollo positivo de las plántulas, esto es de suma importancia ya que, a mayor longitud de radícula, mayor será su capacidad de absorción de agua y nutrientes.

En estudios realizados por Arredondo (2016), encontró que con la aplicación de NPs<sub>Cu</sub> en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), se manifestaron modificaciones en el vigor, la germinación, y crecimiento de plántula. Además de que las longitudes de plúmula y radícula obtuvieron valores más altos a concentraciones de 5 ppm de NPs<sub>Cu</sub>.

En la investigación realizada por Karunakaran *et al.* (2016), mencionaron que el comportamiento de NPs y macropartículas (MPs) de óxidos metálicos, Aluminio ( $Al_2O_3$ ), Titanio ( $TiO_2$ ), Sílice ( $SiO_2$ ) y de Zirconia ( $ZrO_2$ ), en función de la germinación de semillas de maíz y longitud de raíz establecidas en distintos ambientes de crecimiento (caja Petri, algodón y suelo), identificó que en todas las condiciones de crecimiento manifestaron resultados similares. Además, observaron

reducción significativamente en la variable porcentaje de germinación por parte de las NPs  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , pero las NPs  $\text{SiO}_2$  mejoraron la misma. Por otro lado, la longitud de raíz se incrementó mediante los tratamientos de NPs de  $\text{SiO}_2$ , y MPs de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$ , detectaron que los óxidos metálicos a nano escala probados en su investigación penetraron las semillas con mayor facilidad. Este estudio destaca los impactos negativos y positivos de la aplicación de la NT en los sistemas agrícolas.

En este trabajo se observó que las NPs  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , promovieron de manera positiva la capacidad germinativa de las semillas, y el desarrollo de la plántula, expresándose en un mayor peso seco y longitud de vástago y radícula.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los estudios realizados en esta investigación, se concluye que las  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  pueden afectar de manera positiva, mejorando el porcentaje de germinación y de vigor de las semillas, pero de igual forma, presentar efectos negativos dependiendo a que concentración sean sometidas.

La aplicación de NPs a una concentración de 100 ppm durante el periodo de imbibición en semillas de pepino (*Cucumis sativus*), manifestó un efecto positivo en el vigor de germinación con un 55%, logrando incrementar el porcentaje de germinación de un 47% (testigo) a un 96%, como también se incrementó el desarrollo de plúmula y de radícula, que mostraron una mayor elongación, sin embargo, a una concentración de 50 ppm las longitudes fueron mayores.

Lo que indica que las  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  tienen un efecto de mejora en la fisiología de la germinación en semillas, aumentando el vigor de las mismas, por lo tanto, la capacidad germinativa aumenta considerablemente, reflejándose en un mayor crecimiento y desarrollo de plántulas saludables.

La aplicación de  $\text{NPsMn}_2\text{O}_3$  puede ser empleada como un agroinsumo en programas de agricultura sustentable siempre y cuando las concentraciones sean las adecuadas, ya que puede funcionar como promotor o inhibidor de la capacidad germinativa que poseen las semillas.

## VI. LITERATURA CITADA

- Afrayem, S. M. and A. K. Chaurasia. 2017. Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination and seed vigour in chilli (*Capsicum annuum* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.6 (5):1564-1566.
- AlQadi, S. y L.C. Remuñán. 2009. Nanopartículas metálicas: oro. *En: Real Academia Nacional de Farmacia. Nanotecnología farmacéutica. Madrid. pp. 223-248.*
- Anandaraj, K. and N. Natarajan. 2017. Effect of Nanoparticles for Seed Quality Enhancement in Onion [*Allium cepa* (Linn) cv. CO (On)] 5. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 6(11): 3714-3724.
- Arredondo, Q., J.A. 2016. Nanopartículas de cobre como promotores de germinación de semillas y crecimiento de plantas de *Capsicum annuum* y *Lycopersicum esculentum*. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrícola y Ambiental. Universidad Autónoma Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 69 pp.
- Arshak, K., Adley C. Moore F. Cunniffe, C. Champion, M. Harris, J. 2007. Characterization of polymer nanocomposite sensors for quantification of bacteria cultures. Sensors and Actuators B; Chemical 126; 226-231.
- Auffan, M., Rose J., Bottero J.Y., Lowry G.V., Jolivet J.P., Wiesner M.R. 2009. Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. Nat Nanotechnol. 2009; 4(10):634-641.
- Ávalos, A., Haza, A., Mateo, D., & Morales, P. 2013. Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias, 1-23.
- Beyth, Y. Hourihaddad, A. Domb, W. Khan, R. 2015. Hazan, Alternative Antimicrobial Approach: Nano-Antimicrobial Materials, Evidence-Based Complement. Altern. Med.16.

- Bharadwaj, D. 2016. Sustainable agriculture and plant breeding. *En* Al-Khayri, J., Mohan, s. & Johnson, D. (Eds.) *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits* (pp. 3-34).
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, Z. Rengely F. Zhao. 2012. Capítulo 7: Function of nutrients: Micro-nutrients. pp. 191-243. *En*: Marschner, P. (ed.). *Marschner´s mineral plant nutrition of higher plants*. 3a ed. Elsevier, Londres.
- Delonge, G. y M.B. Rodríguez. 2011. Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolita. *Ciencia del suelo (Argentina)* 29:285-294.
- Delouche, J.C. 2016. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Revista Seed Newa*, 6 (6) 160-903.
- Dimkpa, C. O., McLean, J. E., David, W., Britt, D. W. and Anderson, A.J. 2015. Nano CuO and interaction with nano-ZnO or soil bacterium provide evidence for the interference of nanoparticles in metal nutrition of plants. *Ecotoxicology*. 24:119–129.
- Ditta, A.; Arshad, M.; Ibrahim, M. (2015). Nanoparticles in Sustainable Agricultural Crop Production: Applications and Perspectives. In *Nanotechnology and Plant Sciences*. Springer International Publishing. 55-75pp.
- Ducic, T., and A. Polle. 2005. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17, 103-112.
- Duhan, J.S., Kumar, R. Kumar, N. Kaur, P. Nehra, K. 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports* 15: 11-23.
- Fages, S. E. 2012. Investigación de fibras de polipropileno aditivas con nanopartículas de plata para la mejora de propiedades bioactivas en el sector textil. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 399.
- Gajewicz, A., B, Rasulev., C, Dinadayalane., P, Urbaszek., T, Puzyn., D, Leszczynska., J, Leszczynski. 2012. "Advancing risk assessment of

- engineered nanomaterials: Application of computational approaches". *En Adv Drug Deliv. Rev.* 64(15), pp 1663-1693.
- Geranio, L., M, Heuberger., & B, Nowacj. 2009. The behavior of silver nanotextioles during washing. *Environmental Science & Techonology*, 43(21), 8113-8118.
- González, G., F.M. Mendoza, J. Covarrubias, N. Morán, and J.A. Acosta. (2008). Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajío. *Agricultura Técnica en México* 34(4):421.430.
- Goussias, C., A. Boussac, and W. Rutherford. 2002. Photosystem II and photosynthetic oxidation of water: an overview. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 357, 1369-1381.
- Herrera, E. F. Cadena y L. Lascano. 2012. "Estudio de la influencia del número de lavados y del tiempo de envejecimiento en la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc por el método de precipitación controlada: materiales y métodos". *Revista Politécnica*, vol. 31 pp. 41–50, 2012.
- Humpries, J. L., J. Stangoulis y R. Graham. 2007. Man-ganese. pp. 351-374. *En: Barker, A. y D. Pilbeam (eds.). Handbook of plant nutrition.* Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Jaiswal, M., D. Chauhan, and N. Sankaramakrishnan. 2012. Copper chitosan nanocomposite: synthesis, characterization, and Application in removal of organophosphorous pesticide from agricultural runoff. *Environmental Science and Pollution Research.* 2055-2062.
- Karunakaran, G., R. Suriyaprabha, V. Rajendran and N. Kannan. 2016. Influence of  $ZrO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , and  $TiO_2$  nanoparticles on maize seed germination under different growth conditions. *IET Nanobiotechnology.* 10(4):117-7.
- Kashyap, P.L.; Xiang, X.; Heiden, P. (2015). Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *International journal of biological macromolecules.* 77: 36-51.

- Kirkby, E. y V. Römheld. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad. International Plant Nutrition Institute: Informaciones Agronómicas 68, 1-13.
- Kochian, L., O. Hoekenga, and M. Pineros. 2004. How do crops plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Annu. Rev. Plant Biology*. 55,459-93.
- Lidon, F. C., M. Barreiro., and J. Ramalho. 2004. Manganese accumulation in rice: implications for photosynthetic functioning. *J. Plant Physiol*. 161, 12351244.
- Lugo, M., García, C., Ruelas, R. 2010. Nanotecnología y Nanoencapsulación de Plaguicidas. *Ra Ximhai* vol. 6, pp. 63-67.
- Marschner, H. 2006. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, New York, NY.
- Muckhopadhyay, S. 2014. Nanotechnology in agriculture: Prospects and constraints. *Nanotechnology, Science and Application*. 7(1):63-71.
- Mukhopadhyay M., and A. Sharma. 1991. Manganese in cell metabolism of higher plants *Bot. Rev.* 57, 117-149.
- Newkome, G.R. (1994, 1995, 1996, 2000, 2005): *Advances in dendritic macromolecules*, JAI Press, Connecticut.
- Nuruzzaman, M.; Rahman, M.M.; Liu, Y.; Naidu, R. 2016. Nanoencapsulation, Nano-Guard for pesticides: A New Window for Safe Application. *Journal of agricultural and food chemistry*. 64:1447-1483.
- Pandey, A. C., S. Sanjay., and R. S. Yadav. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental nanoscience*. 488-497.
- Powers, K.W., Brown, S.C., Krishna, V.B., Wasdo, S.C., Moudgil, B.M., Roberts, S.M. 2005. "Research strategies for safety evaluation of nanomaterials. Part

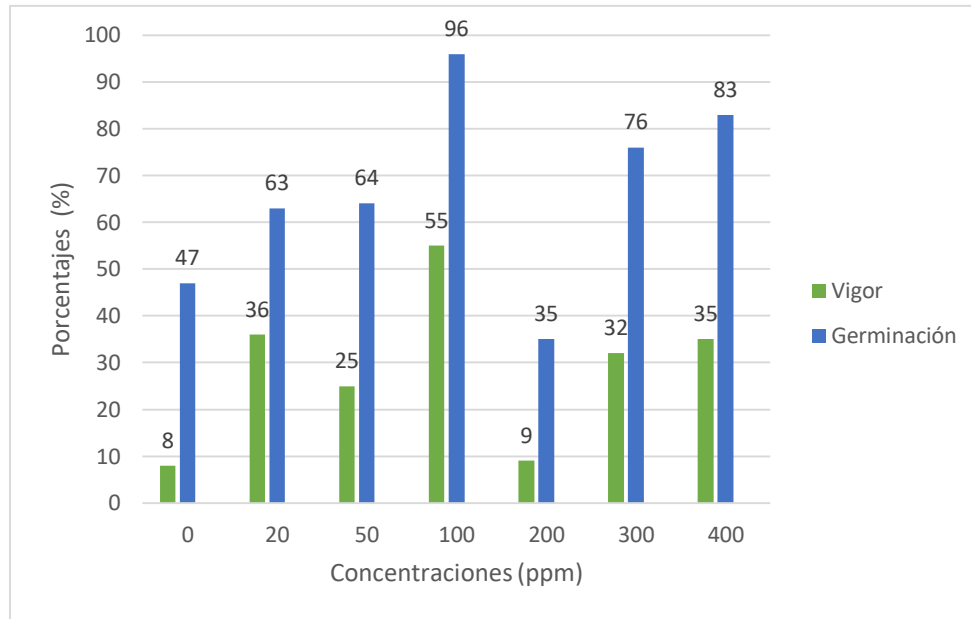
- VI. Characterization of nanoscale particles for toxicological evaluation". En Toxicol Sci. 90(2), pp 296-303.
- Pradhan, S., P. Patras., S. Mitra., K. K. Dey., S. Jaint., S. Samapd., S. Roy., P. palit., and A. Goswami. 2014. Manganese Nanoparticles: Impact on Nonmedullated Plant as a Potent Enhancer in Nitrogen Metabolism and Toxicity Study both in Vivo and in Vitro Journal of Agricultural and food Chemistry, 62 (35), 8777–8785.
- Prasad, R., V. Kumar, and K. S. Prasad. 2014. Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. African Journal of Biotechnology. 13(6):705-713.
- Quispe, C. 2010. Nanotecnología en la agricultura. Revista de información, tecnología y sociedad. pp. 72-73.
- Razzaq, A., R. Ammara, H.M. Jhanzab, T. Mhamood, A. Hafeez, and S. Hussain. 2016. A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. Journal of Nanoscience and Technology 2, pp. 55–58.
- Rehman, H., T. Aziz., M. Farooq., A. Wakeel., Z. Rengel. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and soil.203-226.
- Rodríguez, F. O. 2016. Desarrollo de la Investigación Sobre Nanotecnología en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA-CONACYT). Agronanotecnología Nueva Frontera de la Revolución Verde. 7-19.
- Ruiz-Torres, N.A., L.I. Cruz Ruiz, R.H. Lira-Saldívar, J.I. García López, I. Vera Reyes. 2017. Respuesta a la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc y hierro, en el proceso germinativo de semillas de calabaza (*Cucurbita pepo*). In: International symposium on agrobio nanotechnology. Saltillo, Coah. UAAAN. pp:306.
- Saade, H., Díaz de León-Gómez, R., Enríquez-Medrano, F.J. y López, R.G. 2016. Preparation of ultrafine poly (methyl methacrylate-co-methacrylic acid)



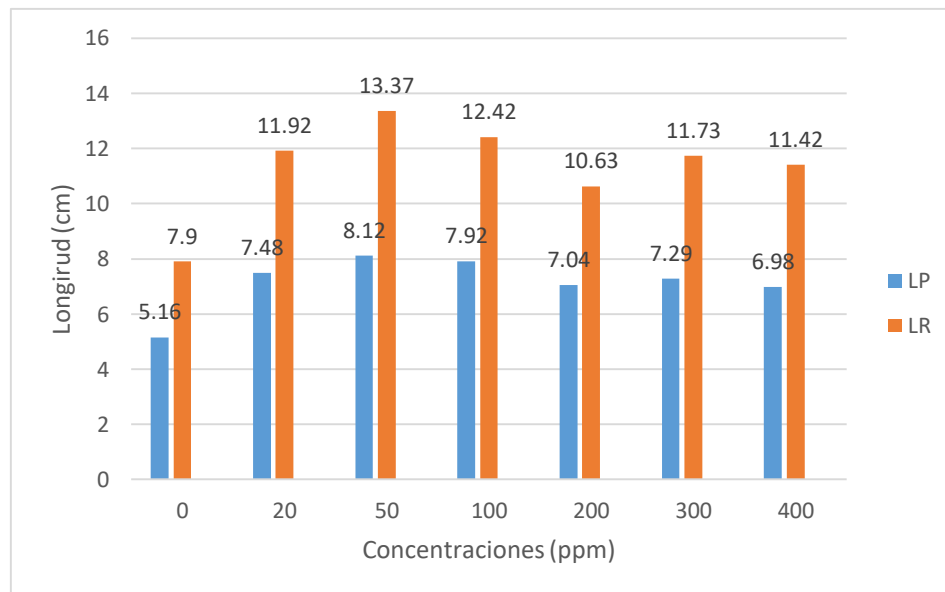
- biodegradable nanoparticles loaded with ibuprofen. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 1-28.
- Sabir, S., Arshad, M. and Chaudhari, S. K. 2014. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: Synthesis and applications. *The Sci. World Journal*. 1: 1-8.
- Saini, R., Saini, S., & Sharmas, S. 2010. Nanotechnology: The future medicine. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*, 3(1). [Http//doi.org/10,4103/0974-2077.63301](http://doi.org/10.4103/0974-2077.63301).
- Saldivar, L., R. H., Corrales-Flores, J., Hernández-Suárez, M., Betancourt-Galindo, R., García-Cerda, L. A., y Puente-Urbina, B. 2014. Nanopartículas de cobre y óxido de zinc contra hongos y bacterias causantes de enfermedades en cultivos agrícolas. VII Congreso Internacional, Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología. Pachuca, Hidalgo, 11-12 de junio.
- Shyla, K., and N. Natarajan. 2014. Customizing zinc oxide, silver and titanium dioxide nanoparticle for enhancing groundnut seed quality. *Indian Journal of Science and Technology*. 1376-1381.
- Sifontes, B. M. Luis, M. Carlos, J. M, Juan, M. Marta, L. B. Joaquín, Z. Tamara, A. Alberto. 2010. Preparación de nanopartículas de plata en ausencia de polímeros estabilizantes. *Quim.Nova*. Vol.33.6.
- Silvestre C., D, Duracci., S, Cimmino. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science* 36: 1766-1782.
- Singh, B., y Jajpura, L. 2016. Sustainable Agriculture: A Key to the Healthy Food and Better Environment, Economic Prosperity for Farmers and a Step Towards Sustainable Development. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 5(1), 148-156.
- Srilatha, B. 2011. Nanotechnology in agriculture. *J. Nanomedic Nanotechnoloy* 2(7):1-5.

- Tomalia, A.; Fréchet, J.M.J. (2002). "Discovery of dendrimers and dendritic polymers: A brief historical perspective". *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*. 40:2719-2728.
- Vargas, M., Y. H. Ochoa., Y. Ortegón., P. Mosquera., J. E. Rodríguez y J. Camargo. 2011. Nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, fase anatasa, sintetizadas por métodos químicos, ingeniería y desarrollo. *Universidad del Norte*, 29(2): 1- 172.
- Xue, J., Luo, Z., Li., P., Ding, Y., Cui, Y., and Wu, Q. 2014. A residue-free green synergistic antifungal nanotechnology for pesticide thiram by ZnO nanoparticles. *Scientific Reports*. 4(5408):1-9.
- Zhang, X., Z. Liu. W. Shen, and S, Gurunathan. 2016. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *En t. J. Mol. Sci.* 2016 17 (9), 1534.
- Zhen, Z., and J. Xie. 2012. Development of manganese-Besad Nanoparticles as Contrast Probes for Magnetic Resonance Imaging Theranostics. 2(1):45-54.
- Zouni, A., H. Witt., J. Kern., P. Fromme., N. Kraub., W. Saenger, and P. Orth. 2001. Crystal structure of photosystem II from *Synechococcus elongatus* at 3.8 Å resolutions. *Nature* 409, 739-743.

## VII. ANEXOS



**Anexo 1.** Porcentaje vigor de germinación y germinación por la aplicación a diferentes concentraciones de NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en semillas de pepino.



**Anexo 2.** Longitud de Plúmula y Longitud de Radícula obtenida del efecto de la aplicación de NPsMn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a diferentes concentraciones en semillas de pepino.