

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Nanopartículas de Óxido de Zinc de Forma Hexagonal y Varita y su Efecto en la Germinación y Crecimiento de Plántulas de Melón (*Cucumis melo*)

Por:

HÉCTOR ALONSO HERNÁNDEZ MEZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Nanopartículas de Óxido de Zinc de Forma Hexagonal y Varita y su Efecto en la Germinación y Crecimiento de Plántulas de Melón (*Cucumis melo*)

Por:

HÉCTOR ALONSO HERNÁNDEZ MEZA

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. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Coasesor


Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2018

DEDICATORIAS

Con respeto y amor a mis padres

J. Jesús Hernández Fernández y Araceli Meza Ramos

No tengo palabras para expresar lo agradecido que estoy, por todo el apoyo y la confianza en mí depositada la cual me brindaron a lo largo de todo este trayecto de mi vida, dándome palabras de aliento en los momentos más difíciles las cuales me ayudaron para no darme por vencido, gracias por todas las veces que con sacrificio y esfuerzo pudieron ayudarme económicamente, ahora le pido a Dios que me ayude a colmarlos infinitamente. “MIL GRACIAS”

A MIS HERMANOS

A mi hermana **Gemma Angélica Hernández Meza** gracias por regalarnos una de las mejores bendiciones que hemos recibido en casa, ese pequeño ser que nos alegra todos los días mi sobrino **José David Osorio Hernández**, aunque sé que el camino no ha sido fácil, siempre te has mostrado fuerte y valiente a pesar de todas las adversidades que te ha puesto la vida, no te das por vencida. Y tanto es así que tenemos a un angelote cuidándonos desde el cielo **Cristhoper Kaled Osorio Hernández** que siempre está presente en nuestros corazones.

A mis hermanos **Luis Ángel** y **Belén Adylene Hernández Meza**, por todos los buenos y malos momentos que hemos pasado, les doy las gracias por estar siempre apoyándome.

“Mi familia lo es todo. Soy lo que soy gracias a mi madre, mi padre, mi hermano, mis hermanas y mi sobrino... La educación que tengo es gracias a ellos” Los Amo.

A MIS TIOS

Elva Meza Ramos, Ma. Dolores Meza Ramos y Raúl Meza Ramos

Por ser parte importante de este proyecto que sin ellos no se hubiera logrado, agradecido por todo el apoyo económico que me brindaron, y por los consejos que me dieron a lo largo de esta etapa por eso y muchas cosas más mil gracias.

A MIS AMIGOS DEL ACUARIO

Eriberto Montes Espinoza, Martin Peña García e Isaac Pérez Navarro

Gracias por brindarme su amistad durante todo este tiempo, por convertirse en una parte muy importante para mí, por las parrandas, por todos los buenos y malos momentos que pasamos, pero a pesar de todo siempre estábamos firmes, espero que esta amistad dure para siempre Hermanos, mil gracias.

A MIS AMIGOS DE GENERACIÓN

Rosa María Chávez Mendoza, Araceli Alva Martínez, Yazmin Cabrera Arellano, Citlalli Matus Triste, Claudia Irais Lucas Ruiz, Luis Hernández Hernández y Roberto Hernández Tafoya

Solo me queda agradecerles por todos esos bellos momentos que se quedaron por siempre grabados en mi memoria donde compartimos tristezas, alegrías, pero sobre todo su apoyo incondicional. Los llevo en mi corazón.

“Ser hermano no tiene que ver con la carne o la sangre, basta con tener un corazón dispuesto”

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios:

Por darme la maravillosa oportunidad del gran don que se llama vida, por estar conmigo en las buenas y en las malas, además por darme fuerza en los momentos más difíciles y brindándome salud para terminar con mi carrera universitaria.

A mi Alma Terra Mater

Por permitir mi estancia durante estos años de mi carrera y así haber logrado mi mayor anhelo de ser un profesionista, la cual me acogió en su seno de sabiduría y me brindo las herramientas necesarias para seguir adelante en el camino de la vida., por lo que concluyo que gracias a esta grandiosa institución me eh formado como profesionista, por lo tanto, ser BUITRE es uno de mis más grandes orgullos.

A la Dr. Norma Angélica Ruiz Torres

Quien me brindó su apoyo para la realización de este trabajo, además por haberme brindado su valiosa asesoría, su tiempo de responder a cada una de mis preguntas y dudas, por compartir sus conocimientos y por brindarme su valiosa amistad muchas gracias.

Al Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar

Por el apoyo brindado durante este trabajo de tesis y al proyecto 268 de Fronteras de la Ciencia-CONACYT, ya que sin su ayuda no se hubiera podido realizar.

Al Dr. Antonio Flores Naveda

Por el apoyo brindado durante este trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	10
I. INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
HIPÓTESIS.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
El concepto de nanotecnología	15
La nanotecnología en el campo agrícola.....	16
Importancia de las nanopartículas.....	18
Nanopartículas de plata (NPsAg)	18
Nanopartículas de oro (NPsAu)	18
Nanopartículas de cobre y de óxido de cobre.....	18
Nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO).....	19
Calidad fisiológica de las semillas	19
Funciones del zinc en la planta	20
Funcionamiento de las NPs en el vigor de la semilla	21
Los nanomateriales y su fitotoxicidad.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Variables evaluadas en el experimento.....	24
Primer conteo de plántulas normales (PC)	24
Plántulas normales (PN)	24
Plántulas anormales (PA)	24

Semillas sin germinar (SSG).....	24
Longitud de radícula (LR) y longitud de vástago (LV)	24
Peso seco de plántula (PS)	24
Análisis estadístico	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
V. CONCLUSIONES	33
VI. LITERATURA CITADA	34
VII. ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadros medios de análisis de varianza de las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de melón (<i>C. melo</i>) tratadas con NPsZnO de forma hexagonal y varita	25
Cuadro 2. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de melón (<i>C. melo</i>) por forma de NPsZnO hexagonal y varita	28
Cuadro 3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de melón (<i>C. melo</i>) tratadas con NPsZnO de forma hexagonal y varita.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diversidad de aplicaciones de la nanotecnología en aspectos de la agricultura (Ghormade <i>et al.</i> , 2011).....	12
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje de germinación en semilla tratada con NPsZnO de forma hexagonal y varita	37
Anexo 2. Comparación de NPsZnO por forma para la variable longitud de vástago	37
Anexo 3. Comparación de NPsZnO por forma para la variable longitud de radícula	38
Anexo 4. Porcentaje de germinación de semillas tratadas con NPsZnO de forma hexagonal y varita	38
Anexo 5. Longitud de vástago (cm) por forma de nanopartícula (hexagonal y varita) y por concentración	39
Anexo 6. Longitud de radícula (cm) por forma de nanopartícula (hexagonal y varita) y por concentración	39

RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS).

En este estudio se evaluó el efecto de las nanopartículas (NPs) de óxido de zinc (NPsZnO) en forma hexagonal y varita sintetizadas en el Departamento de Plásticos en la Agricultura del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Las cuales se utilizaron para determinar las variables relacionadas con el vigor y germinación de las semillas de melón (*C. melo*), de la variedad Top Mark en condiciones controladas de laboratorio.

Se establecieron 6 tratamientos (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 y 50.0 ppm) con 6 repeticiones cada uno, para cada forma de NPsZnO (hexagonal y varita). Con el objetivo de determinar el efecto de las diferentes concentraciones de NPsZnO, en el vigor de germinación y parámetros relacionados con el proceso germinativo de semillas de melón.

El bioensayo se estableció con semillas que presentaron un nivel de deterioro avanzado, esto con la finalidad de saber si realmente las NPsZnO promueven el vigor y la germinación. Se evaluaron las siguientes variables: vigor de germinación al primer conteo, plántulas normales, plántulas anormales, semillas sin germinar, longitud de radícula, longitud de vástago y peso seco de plántula.

Se realizó un análisis de varianza con los datos de las variables evaluadas, usando un diseño completamente al azar con arreglo factorial, posteriormente una prueba de rango múltiple (Tukey, $P \leq 0.05$), con el Paquete Estadístico SAS versión 9.1) (SAS Institute, 2004).

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que las NPsZnO de forma varita aplicadas durante el proceso de imbibición de las semillas de *C. melo* Var. Top Mark, pueden estimular al crecimiento de radícula; se observó también que incrementaron el porcentaje de germinación y se redujo la cantidad de plántulas anormales.

La concentración de la suspensión conteniendo las NPsZnO que mejores resultados presentó en el bioensayo es la de 1.0 ppm, ya que mostró un menor porcentaje de plántulas anormales y mayor longitud de vástago. Asimismo, presentó mayor peso seco.

La interacción de los dos factores (forma y concentración de las NPs) indica que imbibir semillas de melón con NPsZnO de forma varita en dosis de 1.0 ppm, genera un cambio positivo en la expresión de las variables porcentaje de germinación y longitud de vástago. Esto quizá pueda deberse a que la forma varita penetra con mayor facilidad a través de la testa de la semilla de melón, durante el proceso de imbibición.

Se concluye con base en lo anterior, que al utilizar dosis bajas (1.0 ppm) de NPsZnO forma varita se genera un efecto positivo en algunas de las variables evaluadas, lo cual incrementa el porcentaje de germinación y el desarrollo de plántulas, principalmente el crecimiento de vástago, esto debido principalmente a la promoción de la elongación celular, ya que no hubo incremento significativo en el peso seco de plántula.

Palabras clave: nanotecnología, nanofertilizantes, promotores de germinación.

I. INTRODUCCIÓN

La (NT) nanotecnología es considerada como una tecnología nueva, para diferentes sectores, en donde se usan materiales de dimensiones nanométricas, los cuales tienen un tamaño que oscila entre 1-100 nanómetros de diámetro. La NT se ha convertido en una ciencia muy importante del ramo de la química, física, biología e ingeniería, en donde está cambiando la dirección de los avances tecnológicos de la agricultura (Poole y Owens, 2003).

La aparición de la NT abre las posibilidades de utilizar nuevas aplicaciones en la agricultura, ya que recientemente se están desarrollando nanodispositivos y nanomateriales (Srilatha, 2011). Las nanopartículas (NPs) más usadas son las metálicas, ya que son aquellas que provienen de oro, cobalto, aluminio, plata y zinc (Quispe Challco, 2010).

Uno de los mayores problemas en el ámbito agrícola, es el uso irracional de productos químicos, esto para incrementar la producción de los alimentos, ya que cada vez están más demandados en el mundo debido a que se han utilizado dosis mucho más elevadas, teniendo como consecuencia un impacto negativo en el sector agrícola y en el medio ambiente. Por esta razón actualmente se hacen estudios relacionados con la NT, para buscar alternativas y soluciones para evitar el uso excesivo de materiales que puedan generar un efecto negativo en los agroecosistemas.

Algunos de los objetivos que ofrece la NT aplicada a la agricultura es formular productos con ingredientes activos de tamaño nanométrico, esto con la finalidad de hacerlos de fácil disponibilidad, más eficientes y minimizar las pérdidas a la hora de su aplicación en las plantas.

Estudios realizados hoy en día afirman que el uso de NPs sobre el crecimiento de las plantas es positivo, además el hacer un uso eficiente de la NT se puede garantizar la seguridad alimentaria, ya que su principal efecto se ve reflejado en la mejora del crecimiento de las plantas y en el rendimiento de la

cosecha. Pero se tiene que hacer un análisis previo para determinar la concentración, la forma y el tamaño de la aplicación (Razzaq *et al.*, 2016).

Por eso es necesario estar al tanto de las nuevas tecnologías, en este caso la NT, ya que puede detectar la presencia de enfermedades y plagas, contaminación de alimentos, además de reducir el uso indiscriminado de plaguicidas convencionales y realizar una aplicación segura (Nuruzzaman *et al.*, 2016).

Es por eso que la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) están en conjunta colaboración para la realización de diferentes trabajos de investigación, basados en el uso de nanopartículas, principalmente durante la fase de imbibición de las semillas, por lo que se han obtenido resultados positivos, mejorando principalmente el vigor de germinación de la semilla y el desarrollo de plántula.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto que tienen las NPsZnO de forma varita y hexagonal, en semillas de melón (*Cucumis melo*) de baja calidad fisiológica, esto es, bajo porcentaje de vigor y de germinación, y determinar el beneficio potencial de su aplicación.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de NPsZnO de forma hexagonal y varita durante el periodo de imbibición, en semillas de melón variedad Top Mark, y su respuesta durante el proceso de germinación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cuál forma de NPsZnO (hexagonal o varita) promueve el vigor de germinación en semilla de (*C. melo*).
- Determinar cuál de las concentraciones empleadas (0.0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm) funciona como promotor de crecimiento y desarrollo en plántulas de melón.

HIPÓTESIS

Al menos uno de los tratamientos con NPsZnO (forma hexagonal o varita), en combinación con una de las concentraciones (0.0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm) aplicados a semillas durante la fase de imbibición, mostrará un efecto superior en la promoción del vigor, crecimiento y desarrollo de plántulas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El concepto de nanotecnología

La nanotecnología (NT) es considerada como una ciencia multidisciplinaria, y de reciente aparición descrita de diferentes formas como se puede apreciar en las siguientes definiciones: Es un conjunto de técnicas que se utilizan para manipular la materia a escala de átomos y moléculas, el término “Nano” es un prefijo griego el cual indica una medida. En comparación con la biotecnología en donde “bio” indica que se manipula la vida, la NT es solo una escala.

Igualmente NT se define como el diseño, estudio, síntesis, manipulación y aplicación de algunos materiales y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala. La mayoría de los científicos utilizan a la nanotecnología como una herramienta muy importante para crear materiales y aparatos novedosos a un bajo costo y con propiedades totalmente únicas en su tipo (Díaz del Castillo, 2012). Se refiere también a estructuras con un tamaño de 1 a 100 nm, al igual que a estructuras que son de cientos de nanómetros en tamaño (Farokhzad y Langer, 2009).

La NT es un campo muy importante de investigación, ya que tienen oportunidades en diversos campos como la medicina, los productos farmacéuticos, electrónica, agricultura, sector cosmético, textil, calzado, sector de plástico, etc. Además de que los usos y beneficios que tiene la tecnología son enormes (Prasad *et al.*, 2014).

De acuerdo con Sabourin y Ayande (2015), la NT puede hacer que las industrias que hoy en día están en la competencia, tengan un efecto positivo en el medio ambiente y hacerlas más competitivas. La oportunidad para hacer el uso de la NT en el campo agrícola surge con la visión de que se puede desarrollar y transformar el sector agroalimentario, para aumentar la productividad agrícola, la seguridad alimentaria y el crecimiento económico de las industrias.

La nanotecnología en el campo agrícola

El uso de la NT en el campo agrícola surgió con la idea de que las tecnologías convencionales no eran capaces de aumentar la productividad, ni de restaurar los ecosistemas dañados por el uso excesivo de productos químicos (Muckhopadhyay, 2014).

Chinnamuthu y Boopathi (2009) aseguran que trabajar con partículas muy pequeñas puede aumentar y mejorar la producción agrícola a nivel mundial, además de que la mejora de los cultivos tiene que ser continua debido a la demanda de los alimentos ya que cada vez se necesitan más.

Es importante mencionar que el uso excesivo de pesticidas y otros productos químicos, han provocado grandes problemas en el medio ambiente, como la contaminación, además de la formación de plagas y enfermedades resistentes a agroquímicos, así como la pérdida considerable de vegetación (Lira-Saldívar *et al.*, 2014).

Fages (2012) dice que el uso excesivo e inadecuado de productos químicos, han alterado las aguas subterráneas debido a la gran cantidad de toxinas que contienen, lo cual da como resultado efectos negativos en los costos de purificación del agua para la agricultura.

En la última década se han asegurado patentes y productos que incorporan nanomateriales al suelo (nanopesticidas, nanofertilizantes, y nanosensores). Una de las principales razones de la NT en la agricultura, es hacer un uso eficiente de los agroinsumos, pero contaminando menos el ambiente, al requerir menos productos químicos sintéticos para no generar subproductos que afecten al productor y los animales. Algunas técnicas nanotecnológicas juegan una función muy importante para la producción mundial de alimentos y asegurar la seguridad alimentaria (Servin *et al.*, 2015).

Dicha tecnología se compromete a la liberación controlada de productos químicos que son necesarios para mejorar la utilización de los nutrientes en forma

eficiente, dirigidos al crecimiento de las plantas y a la resistencia de plagas y enfermedades (Nair *et al.*, 2010).

En la Figura 1 se muestran las posibles aplicaciones de la NT en la agricultura, esto incluye investigaciones a nivel de ADN, y la entrega de ácidos nucleicos a nivel celular.

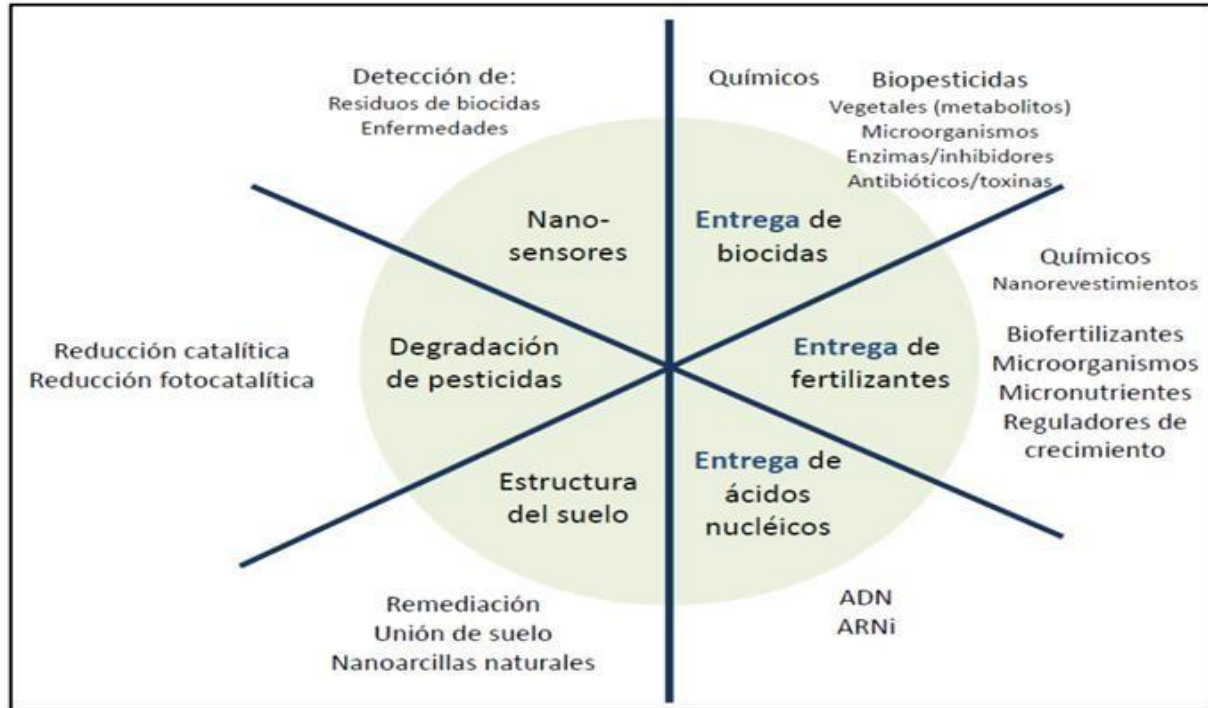


Figura 1. Diversidad de aplicaciones de la nanotecnología en aspectos de la agricultura (Ghormade *et al.*, 2011).

Importancia de las nanopartículas

Las NPs presentan propiedades únicas en su rama, las cuales favorecen las aplicaciones potenciales en la agricultura. Las NPs consideradas metales nobles como la plata, el oro y el cobre, se utilizan en la investigación por sus diversas aplicaciones. Estas mismas presentan la gran capacidad de poder viajar dentro del organismo, función que otras partículas de tamaño más grande no pueden realizar (Bhattacharyya *et al.*, 2014).

Nanopartículas de plata (NPsAg)

Las NPsAg se están aplicando de forma muy intensa en el desarrollo de materiales poliméricos con propiedades antibacterianas y en algunos casos antifúngicas (Wang *et al.*, 2006).

Nanopartículas de oro (NPsAu)

Es considerado un metal noble ya que no se oxida al estar expuesto al medio ambiente en comparación con la plata que al oxidarse se torna de color oscuro. Se puede utilizar para contrarrestar la contaminación producida por la combustión de la gasolina en automóviles. Otra de las funciones que presentan las NPsAu es en el campo de la medicina, ya que ayuda al diagnóstico y tratamiento del cáncer (Chao-Heng *et al.*, 2009).

Nanopartículas de cobre y de óxido de cobre

Se utilizan en investigación de eficacia microbiana, diferentes estudios han comprobado que el cobre inactiva diversos tipos de microbios los cuales incluyen *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, Influenza A, *Listeria monocytogenes*, *Enterobacter aerogenes* (Khanna *et al.*, 2009).

Nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO)

Son muy conocidas las NPs metálicas, pero las que más representan su grupo son las NPsZnO y las NPsAg ya que muestran propiedades antimicrobianas en diversas áreas incluyendo la alimentación animal, la industria textil y el tratamiento de aguas (Alvarado *et al.*, 2014).

El ZnO se ha convertido en un material multifuncional, el cual ofrece un potencial muy alto para diversas aplicaciones en el desarrollo de biosensores, celdas solares, purificación del agua, nanomedicina, etc. En los últimos 20 años el ZnO se ha convertido en uno de los metales con más investigación, ya sea puro o con otros metales de transición, el cual se ha producido con morfologías diferentes en donde abarca películas delgadas, nanobarras, etc. (Jáuregui *et al.*, 2011).

Calidad fisiológica de las semillas

La calidad de la semilla es muy importante, e incluye diferentes parámetros, esto con la finalidad de mejorar el establecimiento de la misma en campo, entre los atributos se encuentra la calidad genética, la física, la sanitaria y la fisiológica. Si la semilla cuenta con estos atributos el agricultor puede tener producciones más elevadas (Basra, 1998).

La calidad fisiológica de las semillas incluye que sean viables, que germinen y que generen plántulas normales. El vigor de la semilla involucra la energía y compuestos metabólicos como lípidos, carbohidratos, ácidos nucleicos y proteínas. Asociado a la integridad de las membranas celulares, la actividad celular y el transporte de sustancias de reserva (Bewley, 1986).

Chinnamuthu y Boopathi (2009) indican que haciendo uso de la NT se pueden mejorar algunas funciones de las semillas como la germinación y los parámetros relacionados para optimizar la capacidad de absorción, degradación de reservas y la división celular. Además aseguran que el vigor de la semilla

permite discriminar aquellas que presenten bajos potenciales de germinación, las cuales no pueden generar una plántula normal, sana y vigorosa. Además de que hay otras circunstancias por las cuales ocurre el deterioro de semillas, como lo es el transcurso del tiempo y las condiciones ambientales durante su almacenamiento.

Funciones del zinc en la planta

El zinc es un micronutriente importante para el crecimiento, además de que mejora las condiciones de las plantas y los seres humanos (Narendhran *et al.*, 2016). Por otra parte, las (NPsZnO) son utilizadas por la función que tienen en las plantas, ya que pueden corregir las deficiencias de zinc, además, promueven el crecimiento y desarrollo de las mismas (Quispe Challco, 2010).

De acuerdo con Raskar y Laware (2014) y Boonyannitipong *et al.* (2011), señalan que las NPs tienen un potencial muy grande para aplicarse como agentes bacteriostáticos los cuales se pueden utilizar para controlar la propagación de diferentes patógenos como: *Fusarium culmorum*, *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus* y *Botrytis cinerea*. En cuanto al Zn autores señalan que la aplicación de NPsZnO incrementan el vigor y germinación de las semillas (Burman *et al.*, 2013).

Jayarambabu y Siva (2017) aseguran que el efecto de las NPsZnO en las plantas se ve reflejado en un mayor porcentaje de germinación, incremento en la longitud de radícula y vástago, además de una mayor acumulación de biomasa debido a la actividad fotosintética que se presenta. Sin embargo, el efecto de las NPsZnO depende de las concentraciones y varía de planta a planta.

Muchos estudios señalan que concentraciones elevadas (1000 mg L^{-1}) causan efectos negativos en la germinación (Kyung y Kong, 2014); mientras que aplicando dosis más bajas ($< 50 \text{ mg L}^{-1}$) se presentan efectos muy favorables en el desarrollo y crecimiento, reflejándose una mayor biomasa (Prasad *et al.*, 2012).

Funcionamiento de las NPs en el vigor de la semilla

El vigor de la semilla es la habilidad que se presenta en campo a la hora de emerger haciendo una planta normal, aun en condiciones desfavorables (González *et al.*, 2008). Navarro *et al.* (2009) indican que el vigor se puede considerar como la interacción de las propiedades bióticas y abióticas que se encuentran en la semilla, determinando su nivel de actividad y comportamiento en tiempo determinado.

Es importante realizar pruebas en condiciones de laboratorio e invernadero con el fin de determinar si en realidad el efecto de las NPs en vigor está realizando su función, ya que las semillas presentan el mayor vigor y el potencial germinativo cuando alcanzan su madurez fisiológica (Juárez-Maldonado *et al.*, 2016). En este sentido, Almutairi y Alharbi (2015) hacen referencia que el uso de nanomateriales se ha ido incrementando debido al impacto positivo que se tienen en sectores de la economía incluyendo la agricultura, en donde las NPs favorecen el crecimiento de las plántulas y la velocidad de germinación.

Los nanomateriales y su fitotoxicidad

Se conoce que el uso de NPs en cualquier área es relativamente nuevo, hoy en día se desconoce los posibles efectos negativos que se puedan generar ya sea en la salud humana, ya que no se tiene la información necesaria sobre la concentración por forma de NPs para aplicarse en cultivos. Zarate *et al.* (2016) asegura que el hacer uso de los nanomateriales es nocivo para la salud, cultivos y para el medio ambiente. Se menciona que la exposición humana a estas NPs puede ser muy peligrosa, ya que existen diferentes formas de entrada, ya sea por las vías respiratorias (NPs en el aire), oral (agua y alimentos) y dérmica (NPs ambientales y cosméticos).

La exposición también se puede dar a través de la instrumentación médica, ya que se utilizan en el tratamiento del cáncer de mama y en el control de infecciones de cirugías. Una vez que las NPs están en el cuerpo se distribuyen por vía linfática y sanguínea, atacando a diferentes órganos de cuerpo tales como: el corazón, riñones, hígado, huesos y páncreas, es hay en donde ejercen los efectos tóxicos.

Para que la toxicidad de estas NPs haga efecto en el organismo de la persona, depende de si el hospedador puede provocar una respuesta biológica para eliminarlas o de su persistencia en los órganos. Es muy importante mencionar, que se necesitan hacer estudios para comprobar si en realidad el hacer uso de nanomateriales es peligroso, provocando efectos tóxicos en plantas y humanos, para tratar de evitar futuros daños (Gutiérrez-Praena *et al.*, 2009).

El modo de acción de la nanotoxicidad sigue siendo desconocido, pero están estrechamente relacionados con el producto químico, composición, estructura química y el área de superficie (Aslani *et al.*, 2014).

Las plantas que son sometidas a dosis altas de NPs sufren pérdida de germinación, una menor producción de polen y altera la generación de las especies reactivas de oxígeno (Wang *et al.*, 2016).

Raskar y Laware (2014) mencionan que a bajas concentraciones de NPs las semillas pueden mejorar la germinación, en cambio a concentraciones más altas el porcentaje de germinación final se ve afectado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizaron NPsZnO diseñadas y sintetizadas en el Departamento de Plásticos en la Agricultura del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).

Las suspensiones de las NPsZnO (forma hexagonal y varita) fueron preparadas en seis concentraciones (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 y 50.0 ppm) en agua destilada y agitadas con un Sonicador Branson 2510 por 15 min (en dos repeticiones). Se establecieron seis repeticiones de veinticinco semillas cada uno, por forma de NPsZnO y concentración. Para esto, las semillas se colocaron en cajas Petri sobre papel filtro y se distribuyeron de manera uniforme. Posteriormente, se añadieron los tratamientos en suspensión y se dejaron imbibir las semillas por un periodo de 24 h, dentro de una cámara de crecimiento, a una temperatura de 25°C.

Al día posterior de haber realizado la imbibición de las semillas, se llevó a cabo la siembra, la cual se realizó de la siguiente manera, se desinfecto el área de siembra con alcohol al igual que todos los materiales que se utilizaron, esto con el fin de que no se presentara contaminación por hongos o bacterias durante el desarrollo del trabajo.

Para la siembra, se utilizó papel Anchor, el cual se humedeció con agua destilada, una vez humedecido, se situaron las semillas a un tercio de la parte superior, con el embrión hacia abajo, tratando de que todas quedaran a una misma distancia de separación, se colocó otra hoja húmeda encima, para después enrollar y formar un “taco”, enseguida se marcaron con lápiz tinta y se ubicaron por tratamiento en bolsas de plástico. Estos se colocaron en contenedores de plástico de forma vertical y se pusieron en una cámara de crecimiento a una temperatura ambiente de 25° C.

VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO

Primer conteo de plántulas normales (PC), se realizó pasados cuatro días después de haber realizado la siembra, esta evaluación indica el vigor que posee la semilla para germinar en tiempo determinado y poder establecerse en campo, dicha variable fue expresada en porcentaje.

Plántulas normales (PN), a los ocho días después de la siembra se realizó un segundo conteo de plántulas normales, esto es a todas aquellas que poseen vástago y radícula bien desarrolladas, esta variable representa el porcentaje de germinación.

Plántulas anormales (PA), esta variable incluye todas las plántulas que carecen de alguna de sus partes o presentan algún mal-formación en sus estructuras, el resultado fue expresado en porcentaje.

Semillas sin germinar (SSG), aquellas semillas muertas o que por alguna razón no pudieron germinar, dicho resultado se expresó en porcentaje.

Longitud de radícula (LR) y longitud de vástago (LV), se midieron todas las plántulas normales con una regla y se expresó en cm.

Peso seco de plántula (PS), esta variable se obtuvo de todas las plántulas consideradas normales por repetición, estas se colocaron en bolsas de papel de estraza con orificios, el secado se realizó en una estufa Riosa H-48 a 72°C durante un periodo de tiempo de 24 h, pasado ese tiempo se colocaron en un desecador para después pesarlas en una balanza analítica marca Precisa BJ610C, el resultado de esta variable fue expresado en (mg/plántula).

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 6, esto es, 2 formas de NPsZnO (hexagonal y varita) y 6 concentraciones (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 y 50.0 ppm) con 6 repeticiones de 25 semillas cada uno.

Con los datos obtenidos, se realizó análisis de varianza y pruebas de rango múltiple Tukey ($P \leq 0.05$), para lo cual se utilizó el paquete estadístico SAS Institute (2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza del bioensayo de germinación de semillas de melón (*Cucumis melo*), para la fuente de variación forma de nanopartícula se mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las variables porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas anormales y longitud de radícula, mientras que las variables porcentaje de semillas sin germinar, peso seco de plántula y longitud de vástago no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 1).

Para la fuente de variación concentración los resultados indican diferencias altamente significativas para las variables plántulas anormales y longitud de vástago, y diferencias ($P < 0.05$) para la variable porcentaje de semillas sin germinar; sin embargo, las variables porcentaje de germinación, peso seco de plántula y longitud de radícula no presentaron diferencias estadísticas.

En lo respecta a la fuente de variación forma de nanopartícula x concentración, las variables porcentaje de germinación, porcentaje de semillas sin germinar y longitud de vástago presentaron diferencias ($P < 0.01$), mientras que diferencias significativas fueron mostradas para el porcentaje de plántulas anormales y longitud de radícula, en el caso del peso seco de plántula no hubo diferencias estadísticas.

Estos resultados indican que la aplicación de NPsZnO de ambas formas (hexagonal y varita) influye en la respuesta de algunas de las variables evaluadas en este bioensayo, y que tienen una relación directa con el proceso de germinación. Al revisar la comparación de medias se comprenderá la respuesta a la aplicación de NPsZnO en forma varita y hexagonal, en diferentes concentraciones.

Cuadro 1. Cuadros medios de análisis de varianza de las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de melón (*C. melo*) tratadas con NPsZnO de forma hexagonal y varita.

FV	GL	GER (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	GL	LV (cm)	LR (cm)
NPs	1	1880.88 **	747.55 **	200 NS	4.27 NS	1	0.01 NS	22.2 **
CONC	5	72.35 NS	72.35 **	271.82 *	271.82 NS	5	19.12 **	4.76 NS
NPs x CONC	5	1032.35 **	189.15 *	1958.93 **	213.93 NS	5	64.85 **	6.55 *
ERROR	60	95.91	63.2	95.73	356.61	940	5.26	2.44
CV (%)		18.51	79.49	26.13	19.16		25.3	18.84

**= Altamente significativos, *= Significativos, NS= No significativo, FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, GER= Germinación, PA= Plántulas anormales, SSG= Semillas sin germinar, PS= Peso seco de plántula, LV= Longitud de vástago, LR= Longitud de radícula, NPs= Forma de nanopartícula, CONC= Concentración, CV= Coeficiente de variación.

Al efectuar la comparación de medias por forma de nanopartícula (hexagonal y varita) (Cuadro 2), los resultados indican diferencias estadísticas para las variables porcentaje de germinación (Anexo 1), porcentaje de plántulas anormales, y longitud de radícula, no así para las variables porcentaje de semillas sin germinar, peso seco de plántula y longitud de vástago (Anexo 2). Para el caso del porcentaje de germinación y longitud de radícula (Anexos 1 y 3) estas variables respondieron mejor a la aplicación de NPsZnO en forma de varita, obteniendo 58 % y 8.43 cm, respectivamente. Lo anterior refleja un incremento de 10 % en comparación a las NPs forma hexagonal, que presentó 48 % de germinación, y de 0.32 cm para LR que obtuvo 8.11 cm. Sin embargo, en el caso de la variable longitud de vástago, la forma de nanopartícula no influyó en la expresión de esta variable. Por otro lado, hay que destacar que, para el caso del peso seco de plántula, la forma de NPs no ejerció influencia para el incremento de esta variable, ya que los resultados indican que no existen diferencias estadísticas respecto a la forma de las NPs.

Los resultados antes señalados coinciden en cierta medida con Siddiqui *et al.* (2015), quienes realizaron estudios en diferentes especies de plantas y reportan que las NPsZnO promueven la germinación y el crecimiento de la plántula. Además, Panwar *et al.* (2012), señalan que hubo un mayor crecimiento y producción de biomasa seca en plántulas de tomate cuando se aplicó 20 mg L⁻¹. El zinc es importante en plantas, porque funciona con la enzima anhidrasa carbónica, que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de CO₂ y agua esta enzima se ubica en los cloroplastos y en el citoplasma. También se requiere para el mantenimiento de las membranas, donde forma grupos fosfolípidos y sulfidrilos, protegiendo los lípidos de membrana y proteínas frente a daños oxidativos (Marschner, 1995). El zinc es necesario para llevar a cabo el metabolismo de los ácidos nucleicos, ya que forma parte de enzimas y proteínas que están involucradas en la síntesis y expresión del ADN (polimerasas de ADN y de ARN, las desacetilasas de histonas y las proteínas con dedos de zinc llamadas factores de transcripción, que en conjunto controlan la expresión génica (Amezcu-Romero y Lara-Flores, 2017).

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de melón (*C. melo*) por forma de NPsZnO hexagonal y varita.

NPs	GER (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	LV (cm)	LR (cm)
VARITA	58 a	7 b	36 a	98.19 a	9.03 a	8.43 a
HEXAGONAL	48 b	13 a	39 a	98.88 a	9.10 a	8.11 b
MEDIA	52	10	37	98	9	8
TUKEY	4.61	3.74	4.61	12.99	0.29	0.19

Valores con la misma literal son estadísticamente iguales Tukey ($P \leq 0.05$). GER= Germinación, PA= Plántulas anormales, SSG= Semillas sin germinar, PS= Peso seco de plántula, LV= Longitud de vástago, LR= Longitud de radícula, NPs= Forma de nanopartícula.

Otra función importante del zinc es que forma parte del aminoácido aromático triptófano, precursor de las auxinas. En plantas de tomate con deficiencia de zinc, hay retardo en la elongación del tallo, lo que está correlacionado con una disminución de la síntesis de ácido indol-3-acético (AIA).

En la comparación de medias por concentración de NPsZnO (Cuadro 3), se muestran diferencias estadísticas para algunas de las variables evaluadas en este estudio, tal es el caso del porcentaje de plántulas anormales, longitud de vástago y longitud de radícula.

La aplicación de concentraciones bajas de NPsZnO de forma hexagonal y varita en el rango de 0.5 a 5 ppm, genera una respuesta positiva en el incremento de las variables longitud de vástago y longitud de radícula.

Por otro lado, en el caso de la variable peso seco de plántula es posible observar que la aplicación de las diferentes concentraciones de NPs no ejerce algún tipo de influencia significativa en la expresión de esta variable, ya que no se presentaron diferencias estadísticas por tipo de concentración, sin embargo, numéricamente la concentración de 1 ppm generó mayor cantidad de materia seca con 111.49 mg/plántula.

Las variables porcentaje de germinación y porcentaje de semillas sin germinar, no mostraron diferencias estadísticas entre concentraciones de NPsZnO.

En el caso del porcentaje de plántulas anormales, los resultados indican que hubo un incremento notorio del número de plántulas de este tipo al tratar las semillas con 10 y 50 ppm.

La interacción entre factores indica que las NPsZnO forma varita a 1.0 ppm promueve la germinación (Anexos 4).

Cuadro 3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de melón (*C. melo*) tratadas con NPsZnO de forma hexagonal y varita.

CONC.	GER (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	LV (cm)	LR (cm)
0	53 a	13 a	36 a	93.78 a	9.40 ab	8.00 b
0.5	48 a	9 ab	42 a	89.40 a	8.92 abc	8.44 ab
1	56 a	7 ab	37 a	111.49 a	9.59 a	8.24 ab
5	53 a	3 b	44 a	93.03 a	9.13 abc	8.54 a
10	54 a	13 a	33 a	106.74 a	8.85 bc	8.30 ab
50	53 a	14 a	32 a	96.79 a	8.45 c	8.21 ab
MEDIA	53	10	37	98.53	9.06	8.29
TUKEY	11.77	9.55	11.75	33.71	0.73	0.50

Valores con la misma literal son estadísticamente iguales Tukey ($P \leq 0.05$). GER= Germinación, PA= Plántulas anormales, SSG= Semillas sin germinar, PS= Peso seco de plántula, LV= Longitud de vástago, LR= Longitud de radícula, CONC= Concentración.

Los resultados presentados anteriormente coinciden en gran parte con el trabajo realizado por Xiao Lan *et al.* (2007). Quienes reportan que la aplicación de diferentes NPs (aluminio, nanotubos de carbono de paredes múltiples, zinc y óxido de zinc) en diversas especies de cultivos (centeno, lechuga, rábano, maíz, pepino y colza) obtuvieron resultados en donde la aplicación de NPsZnO no afecta la germinación de la mayoría de las especies, a excepción del maíz, con una aplicación de 2000 mgL⁻¹. Por otro lado, a concentraciones más bajas se promueve mejor el crecimiento de las raíces en la mayoría de las especies, con esto se demuestra que las NPs pueden actuar en forma benéfica, ya que depende del tipo, concentración y tipo de especie al que se aplica.

En diversos estudios se han reportado resultados contrastantes, como es la promoción de la germinación en semilla de canola, tal es el caso de Mahmoodzadeh *et al.* (2013) en donde el efecto de TiO₂ (Dióxido de titanio) mejoró la germinación a 75% con una aplicación de NPs (20 nm de tamaño de partícula y 2000 mg L⁻¹ de concentración). Igualmente, Ramesh *et al.* (2014) reportaron que concentraciones bajas de NPsZnO se mejoró la germinación de semillas de cebolla. Azimi *et al.* (2013) señala que la germinación en semillas de trigo incrementó al aplicar NPs de TiO₂, mejorando 9% a una concentración de 5 ppm. Sin embargo, ninguno de los autores mencionados, reportan haber trabajado con semilla de vigor de germinación nulo, situación que se tomó en cuenta en los resultados que se reportan en este trabajo de tesis.

Krishna y Natajaran (2014) mencionan que las NPs de zinc, plata y dióxido de titanio mejoran la velocidad de germinación en semillas de cacahuate. El beneficio puede atribuirse a una mayor producción de enzimas responsables de las reacciones metabólicas, por lo que al incrementar los niveles de ácido indol acético, en las raíces y brotes es posible aumentar el vigor de las semillas.

Otros estudios indican que la germinación con NPsZnO en concentraciones altas promueve la formación de clorofila y proteínas en trigo (Raliya y Tarafdar, 2013).

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que las NPsZnO aplicadas durante la imbibición de semillas de (*C. melo*) Var. Top Mark pueden estimular al crecimiento de plántulas.

Para la forma de NPsZnO (varita o hexagonal), se observó que el tipo varita incrementa la germinación a 58 %, reduce el número de plántulas anormales a 7 %, y aumenta la longitud de radícula a 8.43 cm, con respecto al tipo hexagonal que obtuvo 48 %, 13 % y 8.11, respectivamente. Lo anterior indica que el uso de las NPsZnO en forma varita genera un cambio en la expresión de las variables mencionadas anteriormente. Posiblemente la forma varita penetra con mayor facilidad a través de la testa durante el proceso de imbibición.

El bioensayo mostró que la aplicación a semillas de NPsZnO en suspensión a 1.0 ppm resulta en menor porcentaje de plántulas anormales y mayor longitud de vástago, esto con respecto al testigo.

La aplicación de concentraciones bajas de NPsZnO (1.0 ppm) genera un efecto positivo en algunas de las variables, lo cual favorece el desarrollo de las plántulas, promoviendo el crecimiento tanto de vástago como de radícula, esto debido principalmente a la promoción de la elongación celular, ya que no hubo incremento significativo en el peso seco de plántula.

El zinc esencial para los procesos fisiológicos de las células, ya que participa en procesos de catálisis y realiza funciones de desintoxicación.

VI. LITERATURA CITADA

- Almutairi, Z.M., and A. Alharbi. 2015. Effect of silver nanoparticles on seed germination of crop plants. *International Journal of Nuclear and Quantum Engineering*. Vol. 9(6): pp. 594-598
- Alvarado, R., F. Solera, y J.R. Vega-Baudrit. 2014. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de zinc y de plata estabilizadas con quitosano. Evaluación de su actividad antimicrobiana. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Vol. 15(3): pp.134-148
- Amezcuá-Romero J.C. y M. Lara-Flores. 2017. El zinc en las plantas. *Comunicaciones libres*. Vol. 68(3): pp. 8
- Aslani, F., S. Bagheri, N. Muhd Julkapli, A. Shukor Juraimi, F.S. Golestan Hashemi and A. Baghdadi. 2014. Effects of engineered nanomaterials on plants growth: An Overview. *The Scientific World Journal*. Vol. 2014. pp. 28
- Azimi, R., H. Feizi and M. Khajeh Hosseini. 2013. Can bulk and nanosized titanium dioxide particles improve seed germination features of wheatgrass (*Agropyron desertorum*). *Notulae Scientia Biologicae*. Vol. 5(3): pp.325-331
- Basra, A.S. 1998. Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications. *Seed Science Research*. Vol. 8(2): pp. 303-305
- Bewley, J.D. 1986. Membrane changes in seeds as related to germination and the perturbations resulting from deterioration in seed storage. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. pp. 22
- Bhattacharyya, A., R. Chandraseak, A.K. Chandra and R.S. Praksham. 2014. Application of nanoparticles in sustainable agriculture: Its current status. *Short Views on Insect Biochemistry and Molecular Biology*. Vol. 2. pp. 429–228

- Boonyanitipong, P., B. Kositsup, P. Kumar, S. Baruah, and J. Dutta. 2011. Toxicity of ZnO and TiO₂ nanoparticles on germinating rice seed (*Oryza sativa* L.) International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. Vol. 1. pp. 282-285
- Burman, U., M. Saini, and P. Kumar. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. Toxicological and Environmental Chemistry. Vol. 95(4): pp. 605-612
- Chao-Heng, T., T.Y. Chung-Kuang, W. Hsin-En and C. Hsu-Cheng. 2009. Catalysis of oxidation of carbon monoxide on supported gold nanoparticle. Journal of Hazardous Materials. Vol. 166(2): pp. 686-964
- Chinnamuthu, C.R. and P.M. Boopathi. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal. Vol. 96(6): pp.17-31
- Díaz Del Castillo, R.F. 2012. Introducción a los nanomateriales. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. (UNAM) Departamento de ingeniería laboratorio de tecnología de materiales, Cuautitlán Izcalli. pp. 79
- Fages Santana, E. 2012. Investigación de fibras de polipropileno aditivadas con nanopartículas de plata para la mejora de propiedades bioactivas en el sector textil. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. pp.399
- Farokhzad, O.C and R. Langer. 2009. Impact of nanotechnology on drug delivery. ACS NANO. Vol. 3(1): pp.16-20
- Ghormade, V., M.V. Deshpande and K.M. Paknikar. 2011. Perspectives for nanobiotechnology enabled protection and nutrition of plants. Botechnology advances. Vol. 29(6): pp. 792-803
- González Torres, G., F.M. Mendoza Hernández, J. Covarrubias Prieto, N. Morán Vázquez y J.A. Acosta Gallegos. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajío. Agricultura Técnica en México. Vol. 34(4): pp. 421-430

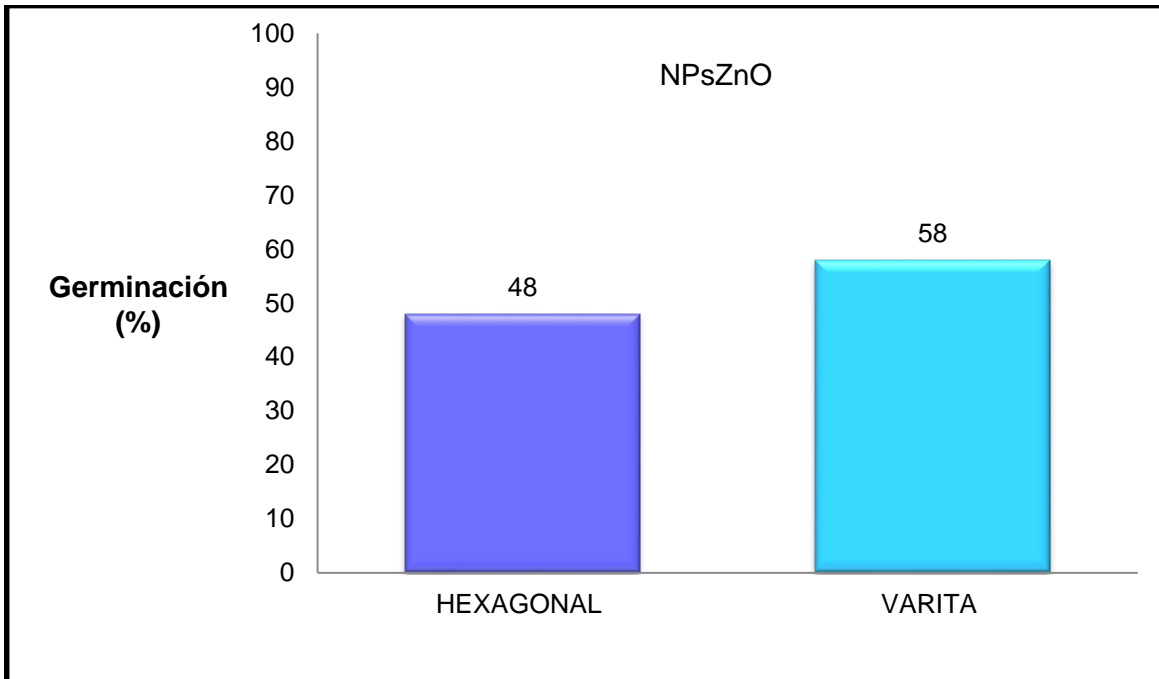
- Gutiérrez-Praena, D., A. Jos, S. Pichardo, M. Puerto, M. Sánchez-Granados, E. Grilo y A. Cameán. 2009. Nuevos riesgos tóxicos por exposición a nanopartículas. *Revista de Toxicología*. Vol. 26(3): pp. 87-92
- Jayarambabu, N. and B. Siva Kumari. 2017. Seed germination and growth parameters response of mungbean influence by biogenic Fe₃O₄ nanoparticles. *International Journal of Multidisciplinary Advanced Research Trends*. Vol. 4(3): pp. 34-40
- Jáuregui Rosas, R., O.R. Sánchez Rosales y O.J. Perales Pérez. 2011. Efecto de la temperatura de recocido en la cristalinidad y tamaño de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método sol-gel. *SCIÉENDO*. Vol. 14(1): pp. 56-66
- Juárez-Maldonado, 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*. Vol.89: pp. 183-189
- Khanna, P.K., P. More, J. Jawalkar, Y. Patil, and N. Kateswar Rao. 2009. Synthesis of hydrophilic copper nanoparticles: effect of reaction temperature. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 11(4): pp. 793-799
- Krishna Shyla, K. and N. Natarajan. 2014. Customizing zinc oxide, silver and titanium dioxide nanoparticles for enhancing groundnut seed quality. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 7(9): pp. 1376 -1381
- Kyung, K.S. and I.C. Kong. 2014. Toxic effects of nanoparticles on bioluminescence activity, seed germination, and gene mutation. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 7. pp. 3295-3303
- Lira-Saldívar, R.H., M. Hernández-Suarez., R. Betancourt-Galindo, L.A García-Cerda, y L. Tolentino Alfonso. 2014. Actividad antifúngica de nanopartículas

- de cobre y óxido de zinc-plata contra (*Botrytis cinerea*). Congreso Internacional Metalurgia y materiales. pp. 11
- Mahmoodzadeh, H., M. Nabavi and H. Kashef. 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). Journals of Ornamental and Horticultural Plants. Vol. 3(1): pp. 30
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Agricultural and Biological Science. pp. 889
- Muckhopadhyay, S.S. 2014. Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. Journal Nanotechnology, Science and Applications. Vol. 7. pp. 63-71
- Nair, R., S.H. Varghese, B.G. Nair, T. Maekawa, Y. Yoshida and D.S. Kumar. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science. Vol. 179(3): pp. 154-163
- Narendhran, S., R. Raju and R. Sivaraj. 2016. Toxicity of ZnO nanoparticles on germinating (*Sesamum indicum*) and their antibacterial activity. Bulletin of Materials Science. Vol. 39(2): pp. 415-421
- Navarro, M., G. Febles y V. Torres. 2009. Comportamiento interactivo de la germinación, la dormancia, la emergencia y el crecimiento inicial como atributos biológicos para evaluar el vigor de las semillas de (*Albizia lebbbeck L.*) Benth. Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 101
- Nuruzzaman, M., M.M. Rahman, Y. Liu and R. Naidu. 2016. Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: A new window for safe application. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 64(7): pp. 1447-1483
- Panwar, J., N. Jain, A. Bhargava, M. Sayeed Akhtar, and Y. Yeung-Sang. 2012. Positive effect of zinc oxide nanoparticles on tomato plants: A step toward

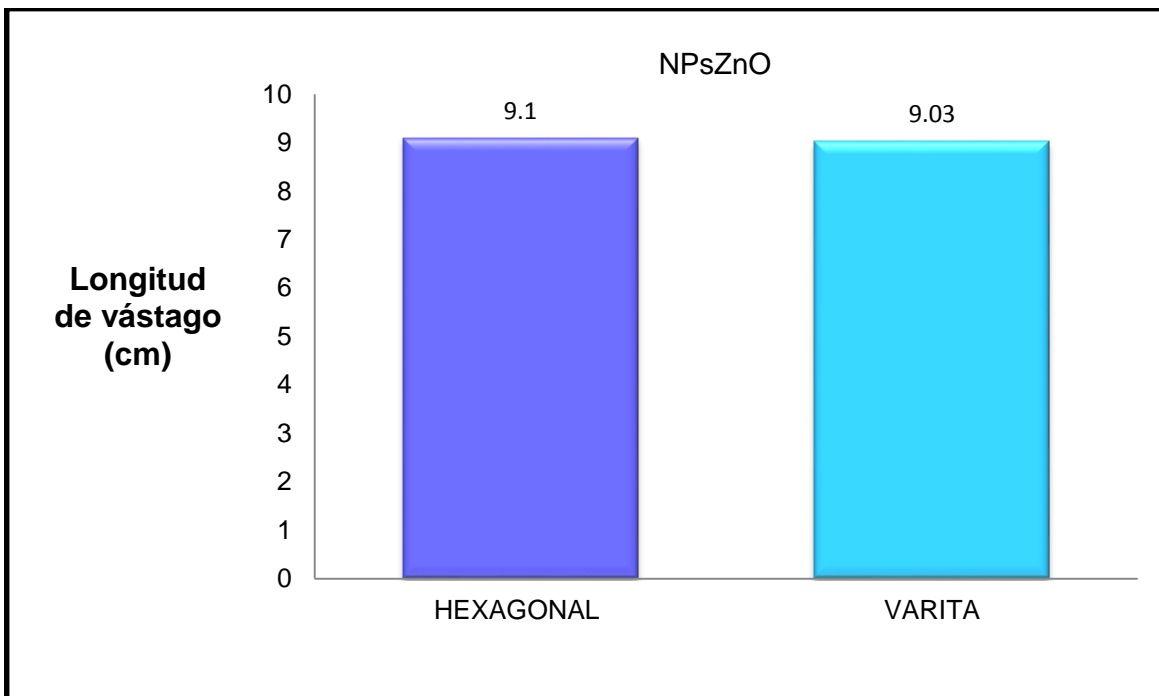
- developing Nano-fertilizers. International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT). pp. 8
- Poole, C.P. and F.J. Owens. 2003. Introduction to nanotechnology. WILEY. pp. 66
- Prasad, R., V. Kumar and K. Suranjit Prasad. 2014. Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. African Journal of Biotechnology. Vol. 13(6): pp. 705-713
- Prasad, T.N., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreeprasad, P.R. Sajanlal and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, Vol. 35(6): pp. 905-927.
- Quispe Challco, C.R. 2010. Nanotecnología en la agricultura. Revista de Información, Tecnología y Sociedad. pp. 72-73
- Raliya, R., and J.C. Tarafdar. 2013. ZnO Nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba L.*). Agricultural Research. Vol. 2(1): pp. 48-57
- Ramesh, M., K. Palanisamy, K. Babu, N. Kumar Sharma. 2014. Effects of bulk and Nano-titanium dioxide and Zinc Oxide on physio-morphological changes in (*Triticum aestivum* Linn.). Journal of Global Biosciences. Vol. 3(2): pp. 415-422
- Raskar. S.V., and S.L. Laware. 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Vol. 3(2): pp. 467-473
- Razzaq, A., R. Ammara, H.M. Jhanzab, T. Mahmood, A. Hafeez, and S. Hussain. 2016. A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. Journal of Nanoscience and Technology. Vol. 2(1): pp. 55-58

- Sabourin, V. and A. Ayande. 2015. Commercial opportunities and market demand for nanotechnologies in agribusiness sector. *Journal of Technology Management & Innovation*. Vol. 10(1): pp. 40-51
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 1521
- Servin, A., W. Elmer, A. Mukherjee, R. De la Torre-Roche, H. Hamdi, J.C. White, P. Bindraban and C. Dimkpa. 2015. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 17. pp. 21-25
- Siddiqui, M. H., A. Whaibi, H. Mohamed and M. Firoz. 2015. Nanotechnology and plant sciences. Springer. pp. 305
- Srilatha, B. 2011. Nanotechnology in agriculture. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*. Vol. 2. pp. 123-128
- Wang, Y., L. Sangtao, Z. Guangliand, A. Dongmin, W. Ce, Y. Quingbiao, C. Xuesi, J. Xiabin and W. Yen. 2006. A convenient route for polyvinyl pyrrolidone/silver nanocomposite by electrospinning. *IOPSCIENCE*. Vol. 17(13): pp. 3304-3307
- Wang, Z., L. Xu, J. Zhao, X. Wang, J. C. White and B. Xing. 2016. CuO Nanoparticle interaction with (*Arabidopsis Thaliana*): Toxicity, parent-progeny transfer, and gene expression. *Environmental Science and Technology*. Vol. 50(11): pp. 6008-6016
- Xiao Lan W., Z.H. Mo, B. Li and J.M. Wei. 2007. Disruption of HepG2 cell adhesion by gold nanoparticle and Paclitaxel disclosed by in situ QCM measurement. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 59(1): pp.100-104
- Zarate-Cruz, G.S., H.A. Zavaleta-Mancera, A. Alarcón, and L.F. Jiménez-García. 2016. Phytotoxicity of ZnO nanoparticles on the aquatic fern *Azolla filiculoides* Lam. *Agrociencia*. Vol. 50(6): pp. 677-691

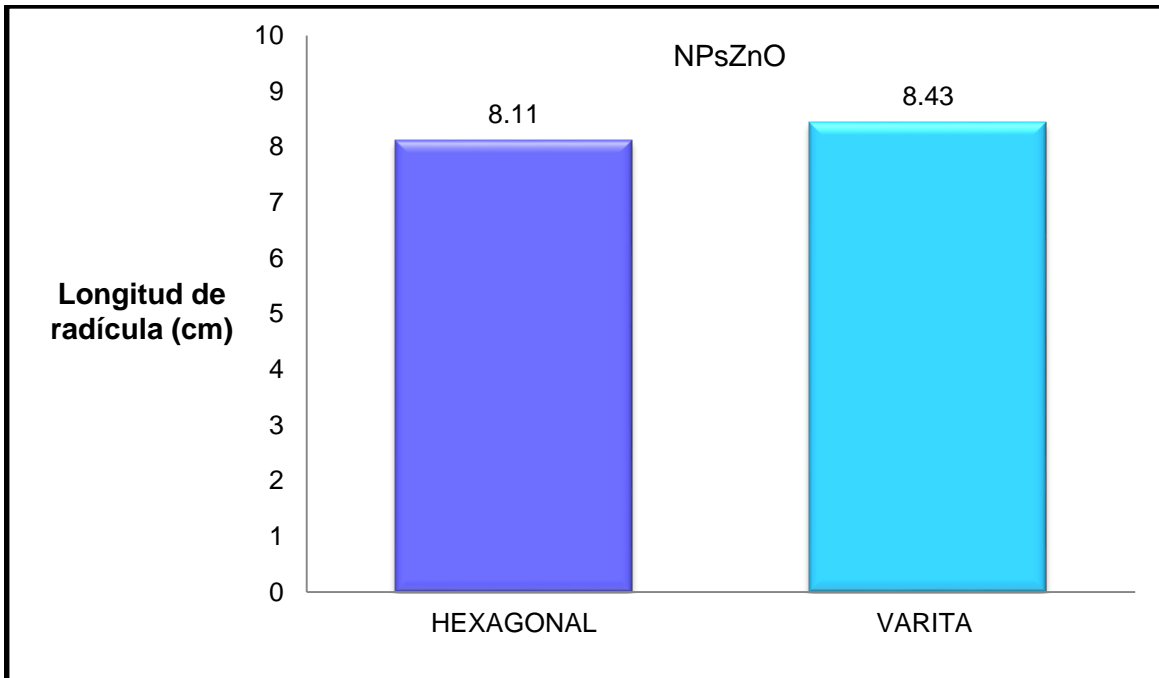
VII. ANEXOS



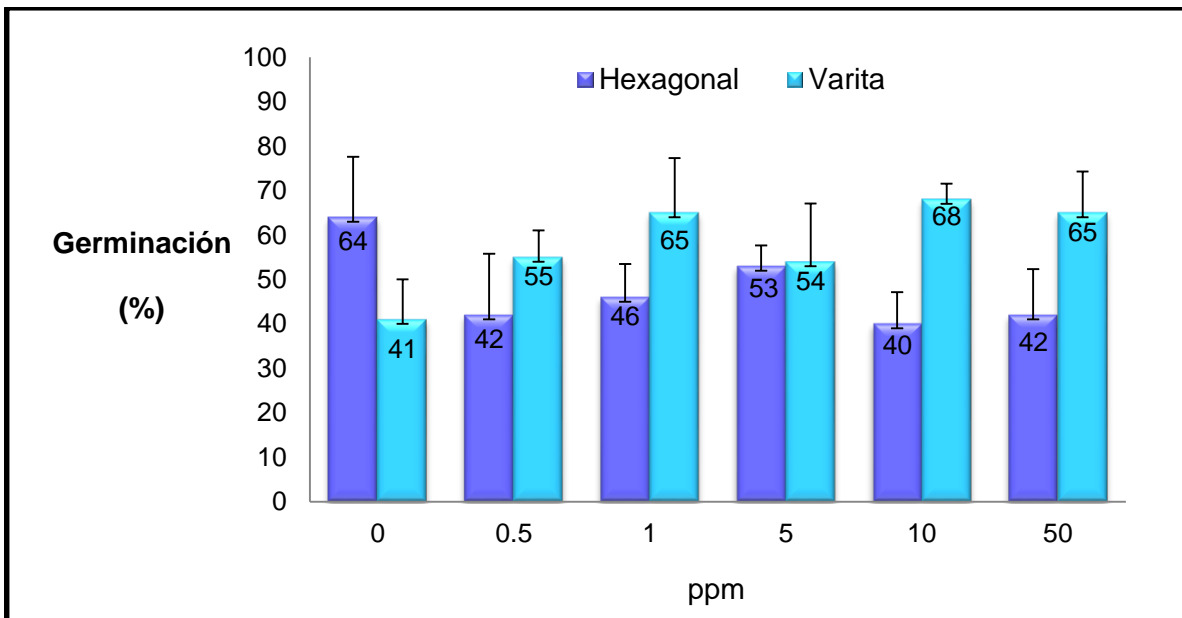
Anexo 1. Por ciento de germinación en semilla tratada con NPsZnO de forma hexagonal y varita.



Anexo 2. Comparación de NPsZnO por forma para la variable longitud de vástago.



Anexo 3. Comparación de NPsZnO por forma para la variable longitud de radícula.



Anexo 4. Porcentaje de germinación de semillas tratadas con NPsZnO de forma hexagonal y varita.