

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Fisiológico de la Germinación de Semilla de Melón (*Cucumis melo*) Debido a la Aplicación de Nanopartículas de Óxido de Zinc Comerciales y Sintetizadas

Por:

JOSÉ ALBERTO FLORES RODRÍGUEZ

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

Comportamiento Fisiológico de la Germinación de Semilla de Melón (*Cucumis melo*) Debido a la Aplicación de Nanopartículas de Óxido de Zinc Comerciales y Sintetizadas

Por:

JOSÉ ALBERTO FLORES RODRÍGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

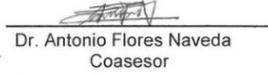
Aprobada por el Comité de Asesoría:



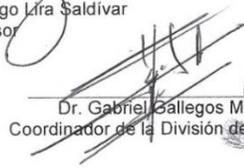
Dra. Norma Angélica Ruíz Torres
Asesora Principal



Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México. Coordinación de Agronomía

Marzo, 2018

DEDICATORIA

A Mis Padres

Sra. Luvia Rodríguez Aguilar y Sr. Edilberto Flores López

Por darme la vida, pero lo más importante por creer y confiar en mí, y apoyarme cuando más los necesite, gracias por todo su amor y comprensión, por guiarme en el buen camino dándome su mejor herencia el estudio, por ayudarme moral y económicamente durante mi trayectoria para lograr una carrera, y que gracias a los esfuerzos y al apoyo constante hoy hemos logrado esa meta que tanto costo, fruto del trabajo y sacrificio de ustedes muchas gracias.

A Mis Hermanas

Roselía Flores Rodríguez y Adaluz Flores Rodríguez

Gracias por su apoyo y amor de hermanos que siempre me brindaron durante este largo trayecto de mi carrera, por formar parte muy especial de mi vida y estar cuando más los necesite y compartir nuestras alegrías y tristezas gracias por todo eso y más.

A Mis Abuelos

Inocente Flores Aguilar (†) y Rosa López Paz (†)

Por brindarme su gran amor condicional, su apoyo y consejos los cuales me ayudaron a salir adelante como profesionistas, hoy les doy las gracias abuelos que fueron una guía para mis metas alcanzadas, donde quiera que estén que nuestro Dios me los guarde y proteja.

Con Amor del Ser: un Hijo, un Hermano y un Nieto.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y seguirme superando cada día, por cuidar y bendecir mi camino para llegar a este momento tan especial.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Le doy las gracias a mi Alma Mater por brindarme lo mejor de mi vida, ya que no solo fue mi universidad si no también mi casa, la cual me vio crecer profesionalmente. Al Departamento de Fitomejoramiento del cual me siento orgulloso pertenecer como alumnos egresados.

A Mis Amigos y Compañeros de la Generación CXXIV

Especialmente a la carrera Ing. Agrónomo en producción, quienes, con su amistad, consejos y sus apoyos mutuos en los momentos de soledad y tristeza lograron animarme y levantarme tras pérdidas de suma importancia en mi vida, les agradezco mucho por todo su tiempo que me brindaron.

A Mis Profesores

Porque con sus conocimientos contribuyeron a mi formación personal y académica, porque a pesar de que muchas veces fueron ustedes la causa de mis desvelos y del hecho de querer salir huyendo, hoy que concluyo esta etapa de mi vida comprendo que sin sus exigencias y sus valiosos consejos no habría conseguido llegar al final del camino.

A la Dra. Norma Angélica Ruíz Torres

Por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, y por la extraordinaria disponibilidad de tiempo que siempre me mostró sin importar el trabajo que tuviera. Muchas gracias Dra. Norma darme los mejores consejos y sin duda los llevare en mente, y le agradezco por ser una de las mejores personas que me ayudo a culminar mi licenciatura y seguir adelante.

Dr. Ricardo Hugo Lira

Por su apoyo incondicional, su valiosa asesoría y por la colaboración en la revisión del presente trabajo.

Mtro. Josué Israel García López

Por el apoyo y conocimiento brindado durante todo el trabajo realizado, y gracias por su valiosa disposición que tuvo para apoyarme.

Dr. Antonio Flores Naveda

Por su colaboración y contribución en la revisión de esta investigación, y su por sus generosas aportaciones para mejorar este trabajo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADRO	i
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS.....	3
III. OBJETIVO GENERAL	3
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Semilla	4
4.2 Germinación de la semilla.....	4
4.3 Vigor de la semilla	5
4.4 Nanociencia.....	5
4.5 Nanotecnología.....	6
4.6 Tipos de nanopartículas (NPs)	7
4.7 Nanopartículas de óxido de zinc	8
4.8 Nanopartículas en la agricultura	9
4.9 Aplicación de nanopartículas en semillas promoviendo la germinación	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS	13
5.1 Localización del experimento.....	13
5.2 Preparación de soluciones con nanopartículas aplicadas	13
5.3 Material vegetal.....	13
5.4 Establecimiento del bioensayo	13
5.5 Imbibición de la semilla.....	14

5.6	Primera evaluación	14
5.7	Evaluación final	14
5.8	Variables evaluadas en las semillas germinadas	15
VI.	RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	17
VII.	CONCLUSIONES	27
VIII.	LITERATURA CITADA.....	28
	ANEXOS.....	35

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en bioensayo de germinación de semillas tratadas con NPsZnO tipo comercial y esférico de síntesis.	19
Cuadro 2. Comparación de medias por tipo de NPs (comerciales y esféricas de síntesis) para variables evaluadas en laboratorio, en bioensayo de germinación de semillas.	21
Cuadro 3. Comparación de medias por concentración de NPsZnO, para variables evaluadas en bioensayos de germinación.	23

ÍNDICE DE ANEXOS

Gráfica 1. Por ciento de germinación de semillas de melón tratadas con NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.....	35
Gráfica 2. Longitud de vástago y de radícula de plántulas de melón tratadas con NPs ZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.	35
Gráfica 3. Respuesta del vigor y la germinación de semillas de melón, a la aplicación de NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.	36
Gráfica 4. Longitud de vástago y de radícula de plántulas de melón, obtenidas de semillas tratadas con NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.....	36
Gráfica 5. Respuesta del vigor de geminación a la aplicación de NPsZnO de ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales en semillas de melón.....	37
Gráfica 6. Respuesta de la germinación de semillas de melón tratadas con diferentes concentraciones de NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.....	37
Gráfica 7. Respuesta de la longitud de radícula en plántula de melón, a la aplicación en semillas de NPsZnO a diferentes concentraciones, de tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.	38

RESUMEN

Comportamiento fisiológico de la germinación de semilla de melón (*Cucumis melo*) con la aplicación de nanopartículas de Óxido de Zinc de síntesis y comerciales

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila. Con el objetivo de evaluar la efectividad de nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) de dos procedencias (ingeniería de forma esférica (de síntesis) y comerciales), como una opción para mejorar la capacidad germinativa y el crecimiento en plántulas de melón (*Cucumis melo*) Var. Top Mark. Se estableció un bioensayo con los dos tipos NPsZnO en seis concentraciones (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, y 50.0 ppm). Por cada tratamiento se establecieron 6 repeticiones de 25 semillas cada una. Las semillas de melón fueron imbibidas en cajas Petri con NPsZnO de acuerdo a cada tratamiento por 24 horas. Posterior al tratamiento, las semillas se sembraron entre dos capas de papel Anchor humedecidas con agua destilada, enrollándolos en forma de taco y puestos dentro de una bolsa de plástico, para ser introducidos a una cámara bioclimática a una temperatura de 25°C y un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad por 8 días.

El experimento se estableció utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2 x 6). Los datos de las variables evaluadas fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre tipos de NPsZnO (comerciales y esféricas de síntesis), y entre concentraciones. Posteriormente se realizó una comparación de medias por medio de la Prueba de Tukey, para establecer el orden de eficiencia de tratamientos (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, y 50.0 ppm) y tipos de NPsZnO (comerciales y de síntesis). Se evaluaron las siguientes variables: plántulas normales al primer conteo, que corresponde al vigor de germinación,

germinación, plántulas anormales, semillas sin germinar, longitud media de vástago, longitud media de radícula, y peso seco de plántula.

Se observó que al comparar las NPsZnO de forma esférica contra las comerciales, las de síntesis presentaron mayor porcentaje de germinación, menor porcentaje de plántulas anormales, y mayor longitud de vástago.

Por otra parte, los resultados obtenidos también indicaron que la aplicación de NPsZnO a 10 ppm durante la imbibición, en semilla de melón (*Cucumis melo*) de la variedad Top-Mark, mejoró el porcentaje de vigor de germinación, el porcentaje de germinación, e incrementó la longitud de vástago, con respecto al testigo.

Palabra clave: Nanopartículas, Vigor, Óxido de Zinc, Plántula, Vástago, Radícula.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de grandes cantidades de fertilizantes en la agricultura intensiva tradicional provoca contaminaciones del suelo, agua y planta, dañando así a los ecosistemas, seres humanos, y animales. Es por eso que la agronanotecnología como conocimiento emergente procura encontrar métodos ecoamigables para mejorar la eficiencia y la sustentabilidad de las prácticas agrícolas modernas (Méndez *et al.*, 2016).

La nanotecnología (NT) constituye la revolución tecnológica más importante de nuestros tiempos. Las características técnicas que la distinguen son la producción de nuevos materiales y el otorgamiento de nuevas funciones a los materiales conocidos. Esto es posible porque la nanotecnología manipula la materia a escala atómica, molecular y macromolecular, lo cual permite que manifieste nuevas propiedades, diferentes a las conocidas en la naturaleza (Foladori y Invernizzi, 2008).

Actualmente la agricultura mundial experimenta una transición hacia un nuevo paradigma tecnológico, muy distinto a la revolución verde. Este nuevo paradigma se sustenta en las actuales revoluciones “bio”, “info” y “nano” y en las nuevas demandas de la sociedad y de los mercados. De tal modo que la agricultura del siglo XXI empieza a vivir una nueva revolución, más amplia y más profunda que las anteriores: una revolución organizacional, de gestiones del conocimiento y de las convergencias entre las distintas tecnologías. Esta nueva revolución está ampliando notablemente el potencial de creación de riqueza del sector agrícola (Barrera, 2011).

Las aplicaciones de la NT a través de las nanopartículas (NPs) son muy variadas ya que van desde el ámbito médico hasta el medio ambiente (Cheang, 2005).

La NT proporcionaría alternativas ecológicas y eficientes para la agricultura sin dañar la naturaleza. Incluyendo manejos de plagas de insectos a través de formulaciones de insecticidas y plaguicidas basados en nanomateriales, mejorando la productividad agrícola utilizando nanopartículas conjugadas con biopsias (encapsulación) para la liberación lenta de nutrientes y agua, en la transferencia de genes o ADN mediada por NPs en plantas para el desarrollo de variedades resistentes a plagas, y en la preparación de diferentes tipos de biosensores, que serían útiles en los dispositivos de teledetección necesarios para la agricultura de precisión (Rai and Ingle, 2012).

Actualmente, la aplicación de la NT a la agricultura es una realidad, ya que se está utilizando para mejorar los sistemas alimentarios agrícolas en diferentes enfoques, incluido el aumento de la producción agrícola, los nuevos productos alimenticios y la conservación de los alimentos (Cortes, 2017).

II. HIPÓTESIS

La aplicación de nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO) de ingeniería (de síntesis) de forma esférica y de origen comercial a semillas de melón, incrementará el vigor de germinación, el porcentaje de germinación y el crecimiento de las plántulas.

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de las NPsZnO de dos procedencias (ingeniería de forma esférica (sintetizadas) y comerciales), como una opción para mejorar la capacidad germinativa y el crecimiento en plántulas de melón (*Cucumis melo*).

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar dos tipos de NPsZnO (esféricas de síntesis y comerciales) en semilla de *Cucumis melo*, para conocer los efectos en la germinación.
- Analizar el efecto promotor o inhibidor de las NPsZnO (esféricas de síntesis y comerciales) aplicadas en diferentes dosis, en plántula de *Cucumis melo*.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Semilla

Las semillas proceden de los primordios o rudimentos seminales de la flor, una vez fecundados y maduros. Su función es dar lugar a un nuevo individuo, perpetuando y multiplicando la especie a la que pertenece. La semilla consta esencialmente de un embrión (formado por un eje embrionario y uno o dos cotiledones), una provisión de reservas nutritivas, que pueden almacenarse en un tejido especializado (albumen o endospermo) o en el propio embrión, y una cubierta seminal que recubre y protege a ambos (García, 2003).

4.2 Germinación de la semilla

Se llama germinación al conjunto de procesos que se producen en la semilla desde que el embrión comienza a crecer hasta que se ha formado una pequeña planta que puede vivir por sí misma, independiente del alimento almacenado en la semilla (De La Cuadra, 1992).

Para que tenga lugar la germinación tiene que reunirse una serie de condiciones, tanto en la semilla como en el ambiente que la rodea. Condiciones externas de la semilla (disponibilidad de agua, temperatura adecuada, presencia o ausencia de luz). Condiciones internas de la semilla (la semilla debe estar viva y bien constituida, debe estar madura, y debe ser permeable al agua y al oxígeno) (Ríos *et al.*, 2000).

4.3 Vigor de la semilla

El vigor de la semilla es definido como la propiedad que determina el potencial para una emergencia rápida y uniforme, y un desenvolvimiento normal de las plántulas bajo un amplio rango de condiciones de campo (Mendoza, 2016).

Por otra parte, Manfrini (2004) define el vigor como un concepto que describe diversas características que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla o de un lote de semillas, durante la germinación y emergencia de la plántula en un amplio rango de ambientes. Esas características están asociadas a los siguientes aspectos del comportamiento de los lotes de semillas:

- Velocidad y uniformidad de germinación y crecimiento de plántulas.
- Capacidad de emergencia bajo condiciones ambientales desfavorables.
- Comportamiento después del almacenamiento, especialmente la habilidad de mantener la capacidad de germinación.

4.4 Nanociencia

La nanociencia (NC) es un área emergente de la ciencia, relacionada con el conocimiento de los procesos biológicos, químicos y físicos a nivel molecular, y se convertirá en una de las revoluciones científicas más importantes para la humanidad (Mejías *et al.*, 2009).

Richard Feynman es considerado el padre de la NC, ganó premio Nobel de Física en 1959, y propuso en su conferencia (There`s Plenty of Room at the Bottom of California), fabricar productos en base a un reordenamiento de átomos y moléculas (Mendoza y Rodríguez, 2007).

La NC se integró en la producción agropecuaria y en la industria de la alimentación. Grandes corporaciones en la alimentación y el agro-negocio están

invirtiendo en investigación y desarrollo, y algunas de ellas ya tienen productos en el mercado (Foladori y Zayago, 2008).

4.5 Nanotecnología

La nanotecnología (NT) (deriva del griego *nanno* que significa enano), es la manipulación de la materia a nivel atómico y molecular en la franja entre 1 y 100 nanómetros, de esa manera se está convirtiendo en la base de una revolución industrial de escala mundial y de alcance a muchas ramas de la actividad económica. Aunque las investigaciones en NT se venían realizando desde hace varias décadas, es a comienzos de este siglo cuando los gobiernos de muchos países deciden invertir en la investigación y desarrollo de estas tecnologías (Foladori y Invernizzi, 2008).

El término NT fue acuñado en el año de 1974 por el Prof. Norio Taniguchi de Tokio Science University, en un artículo publicado con el título: "Nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula" (Quintili, 2012).

La NT abarca una serie de diferentes tecnologías basadas en la manipulación de la materia a escala atómica y molecular. La National Nanotechnology Initiative de los Estados Unidos define: "Nanotecnología es la manera en que los descubrimientos en la nanoescala son puestos a trabajar. La nanotecnología es más que juntar nanomateriales, requiere la habilidad de manipular y controlar esos materiales de forma útil" (Invernizzi y Foladori, 2008).

Foladori y Invernizzi (2008) mencionan que al trabajar a escala tan diminuta la NT hace que los materiales manifiesten nuevas propiedades, desconocidas en la escala macro. Con ello, muchos productos que utilizan la NT serán más durables, resistentes, livianos, limpios, o multifuncionales, y podrán desplazar a sus viejos competidores provocando una disrupción en los mercados y en la sociedad.

Informes de las United Nations Millennium Project, Task Force on Science, Technology and Innovation, consideran que la NT será importante para el mundo en desarrollo, porque implica poco trabajo, tierra y mantenimiento; es altamente productiva y barata; y requiere modestas cantidades de materiales y energía (Invernizzi y Foladori, 2008).

Lechuga y Martínez (2006) menciona que la NT es una de las grandes áreas emergentes en ciencia y tecnología, que promete obtener diversos avances, a través de la convergencia con la biotecnología. La NT ofrece a las ciencias biológicas nuevos materiales y herramientas que poseen novedosas características o que mejoran significativamente su funcionamiento; en cambio, la biología ofrece a la NT oportunidades sin precedentes para explorar, aprender y utilizar nanoestructuras funcionales que son inherentes a los seres vivos.

4.6 Tipos de nanopartículas (NPs)

Delgado (2006) clasifica a los nanomateriales en cuatro principales clases:

- I. Esféricos son a veces denominados buckyballs, mientras que los cilíndrico-tubulares como nanotubos; sus propiedades fundamentales son su reducido peso y su mayor dureza, elasticidad y conductibilidad eléctrica.
- II. Materiales de base metálica, pueden ser quantum dots (puntos cuánticos o transistores de un solo electrón). Ejemplo NPs de oro, plata o de metales reactivos como el dióxido de titanio, entre otras.
- III. Dendrímeros: polímeros nanométricos construidos a modo de árbol en el que las ramas crecen a partir de otras y así sucesivamente; las terminaciones de cada cadena de ramas pueden diseñarse para ejecutar funciones químicas específicas, una propiedad útil para los procesos catalíticos, además dado que tienen cavidades internas, su uso es

médico para la “entrega de droga” a lugares factible (lo mismo sucede con el caso de algunas estructuras de carbón y metálicas).

- IV. Composites: combinan ciertas NPs con otras o con materiales de mayor dimensión; el caso de arcillas nanoestructuradas es un ejemplo de uso extendido para la fabricación de diversos productos.

En la actualidad se han desarrollado diversos métodos para la síntesis de materiales a escala manométrica con un control sobre la forma y el tamaño de las NPs para ser empleadas en diversas aplicaciones, sin embargo, la mayoría de los métodos de síntesis son costoso o agresivos con el medio ambiente por lo que se han buscado síntesis alternativas (Fernández *et al.*, 2012).

Las NPs de óxidos metálicos industriales han interesado recientemente una atención considerable debido a su impacto positivo sobre los ecosistemas, disminuyendo las colonias microbianas en las plantas biológicas de tratamiento de aguas residuales (Kashif y Sung, 2015).

4.7 Nanopartículas de óxido de zinc

El Óxido de Zinc (ZnO) es un material atractivo para un gran número de distintas disciplinas. Este material se extiende desde la óptica, optoelectrónica hasta la industria energética, de sensores y otros. Por eso, es un material de interés en la NT, porque usar materiales nanoestructurados de ZnO abre más posibilidades sobre técnicas hacia áreas como nanofotónica, nanoelectrónica y nanobiotecnología (Yuan *et al.*, 2013).

La NT ofrece un amplio espectro de nuevas posibilidades en tanto a la elaboración de nuevos materiales con propiedades antimicrobianas. Dentro de estos materiales las NPs metálicas han resultado especialmente promisorias, en especial las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO). Estas han sido aplicadas en revestimientos de latas de comidas, en la agronotecnología, en

empaques de productos cárnicos, aplicaciones en la industria médica, farmacéutica y cosmética (Alvarado *et al.*, 2014).

Las NPsZnO se encuentran en la vanguardia de la investigación debido a sus propiedades únicas y aplicaciones generalizadas. La ventaja de usar nanopartículas de óxido de zinc es que estas inhiben fuertemente la acción de microbios patogénicos cuando se usan en concentraciones pequeñas, puesto que las NPsZnO poseen actividades antifúngicas y antibacteriales a bajas concentraciones, no afecta la fertilidad del suelo en comparación con los agentes antifúngicos tradicionales (Ruparelia *et al.*, 2007).

Se ha señalado que las NPsZnO mejoran el crecimiento de las plantas y mejoran la calidad de los frutos al incrementar la concentración de los azúcares (Liu y Zhang, 2016).

Alvarado *et al.* (2014) indican que las NPsZnO sintetizadas también demostraron potencial como agentes antimicrobianos. Tal propiedad se debe a tres mecanismos de acción principales: (a) generación de ROS; (b) liberación de iones Zn^{2+} y (c) acumulación de NPsZnO en la membrana celular.

En el trabajo realizado por Priyanka *et al.* (2011), encontraron que las NPsZnO y TiO_2 , en tamaños de partícula más pequeños, son más tóxicos que en NPs más grandes y las NPsZnO son más tóxicas que las nanopartículas TiO_2 .

El trabajo realizado por Rivera *et al.* (2014), demuestra que las NPsZnO tuvo un buen resultado inhibiendo a la bacteria *X. anxonopodis*, el cual redujo su crecimiento.

4.8 Nanopartículas en la agricultura

Las NPs en la agricultura están orientadas a usar menos agroquímicos sintéticos y a reducir la generación de residuos contaminantes, buscando incrementar el crecimiento y rendimiento de las plantas (Servin *et al.*, 2015).

Liu and Lal (2016) señalan que diversas NPs metálicas mejoran significativamente el crecimiento de las plantas y tiene el potencial de ser usadas como nanofertilizantes para incrementar la productividad agrícola.

La aplicación con éxito de diversas nanoplataformas en la medicina en condiciones *in vitro*, han generado interés en la agricultura nanotecnológica. Esta tecnología ofrece la posibilidad real de la liberación controlada de agroquímicos en sitios precisos y la entrega selectiva de diversas macromoléculas necesarias para mejorar la resistencia a enfermedades de las plantas, de igual manera la fitopatología podrá enfrentar los problemas agrícolas específicos en la interacción planta-patógeno y ofrecerá nuevas formas de protección a los cultivos (Nair *et al.*, 2011).

Muchas compañías producen formulaciones que contienen NPs en el espectro de tamaño de 100 a 250 nm que pueden disolverse en agua más eficazmente que las existentes aumentando así su nivel de actividad. Otras compañías emplean suspensiones de NPs (nano emulsiones) que pueden tener base hídrica o de aceite y contienen suspensiones uniformes de NPs con pesticidas o herbicidas en el espectro de los 200 a 400 nm. Syngenta es una de las principales corporaciones mundiales que investiga y aplica NT, junto con otras grandes como Du Pont, Bayer y Monsanto (Miller y Senjen, 2004).

Algunos de los primeros nanoagroquímicos lanzados al mercado son nanoreformulaciones de reguladores de crecimiento vegetal, fungicidas y tratamientos integrales de semillas que ya existían. Las compañías agroquímicas han reducido el tamaño de las partículas de las emulsiones químicas existentes, llevándolas a dimensiones nanoscópicas, o han encapsulado los ingredientes activos en nanocápsulas diseñadas para abrirse bajo ciertas condiciones, como, por ejemplo, en condiciones alcalinas o en el estómago de un insecto (Miller y Senjen, 2004).

Actualmente, en Saltillo, Coahuila, el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) está trabajando en investigación relacionada con el efecto antifúngico y antibacterial de NPs metálicas, derivadas del carbón contra microorganismos causantes de graves enfermedades en cultivos agrícolas. Así como también las NPs híbridas y puras, como promotores de la germinación y crecimiento de las plantas, con el potencial para desarrollar nanofertilizantes con base en micronutrientes como cobre, hierro y zinc (Rodríguez, 2017).

4.9 Aplicación de nanopartículas en semillas promoviendo la germinación

La aplicación de NPsZnO en semilla de tomate a concentración de 5 y 10 ppm tiene potencial para ser utilizadas como promotoras de crecimiento, puesto que mejoran las características como la elongación de plúmula y de radícula, además de promover la germinación. Demostrando así su actividad como “nonofertilizante” (Ponce, 2016).

Ruíz et al. (2016) trabajó con la aplicación de NPsCu en semillas de tomate y de chile ancho y demuestra que a concentraciones de 5 y 10 ppm promueve el vigor de germinación de las semillas.

Nair et al. (2011) trabajó con puntos cuánticos, altamente fotoestables y nanopartículas de sílice marcadas con FITC altamente biocompatibles en semilla de arroz, señaló que obtuvo una buena germinación de las semillas en presencia de nanopartículas de sílice marcadas con FITC, mientras que con puntos cuánticos se detuvo la germinación.

Las NPsZnO en semilla de chile habanero (*Capsicum chinense*) demuestran que puede mejorar significativamente la velocidad de germinación, generando plántulas de mayor vigor y mejorando el desarrollo de longitud de plúmula y radícula (García et al., 2017).

Shah and Belozerova (2009) señalan que las NPs de sílice, paladio, oro y cobre probadas con semilla de lechuga influyeron en la germinación y el crecimiento de raíces de las plántulas.

Cruz (2017) trabajó con Zn + Fe (NPZnFe) a concentraciones de 5 y 10 ppm en semilla de *Cucurbita pepo*, en la cual obtuvo efectos positivos en el vigor, promoviendo el crecimiento tanto plúmula como en radícula, demostrando así que estas NPs favorecen el desarrollo de plántula.

En el trabajo realizado con semilla de maíz nativo (*Zea mays L.*) por Estrada et al. (2017), menciona que las aplicaciones con NPsZnO mejoraron la calidad fisiológica de la semilla además incrementaron la longitud de plúmula y radícula.

La aplicación de 8 g L⁻¹ nano-SiO₂ en semilla de tomate (*Lycopersicum esculentum*) mejoró el porcentaje de germinación, el tiempo medio de germinación, el índice de germinación de la semilla, el índice de vigor de la semilla, el peso fresco de la plántula y el peso seco (Siddiqui and Al-Whaibi, 2014).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo Coahuila.

5.2 Preparación de soluciones con nanopartículas aplicadas

Se prepararon soluciones con nanopartículas de óxido de Zinc tipo comercial y sintetizadas (ingeniería-esféricas), en las siguientes concentraciones: 0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, y 50.0 ppm. Para lo cual se preparó una solución madre con una concentración de 50 ppm y se diluyó para obtener el resto de los tratamientos. Las NPsZnO fueron aportadas por el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).

5.3 Material vegetal

Se utilizó semilla de melón *Cucumis melo*, de la variedad Top-Mark, producida, comercializada y/o responsable por Fax de Occidente.

5.4 Establecimiento del bioensayo

Se estableció un bioensayo, en el cual se contaron 1800 semillas de melón (*Cucumis melo*) para establecer los respectivos tratamientos con cada tipo de NPs. Cada tratamiento consto de 6 repeticiones de 25 semillas cada una.

5.5 Imbibición de la semilla

La semilla de melón fue imbibida en cajas Petri con NPsZnO de acuerdo a cada tratamiento por 24 horas, posteriormente se sembraron las 25 semillas con la ayuda de pinzas, entre dos hojas de papel Anchor previamente humedecido, procurando que todas las semillas quedaran alineadas. Cuidadosamente se doblaron los papeles tomando una forma de “taco”, para después colocarlos en bolsas de polietileno transparente, a los “tacos” se les marcó la fecha de siembra, tratamiento y repetición. Tras haber terminado de sembrar todos los tratamientos, se colocaron en la cámara bioclimática marca Thermo Scientific, a 25 °C, con un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad. A los tacos se les aplicó un riego, procurando no tener exceso de agua.

5.6 Primera evaluación

Al quinto día después de haber sembrado la semilla de melón, se realizó el primer conteo, el cual consistió en identificar y contar las plántulas normales de todos los tratamientos, una plántula normal debía presentar las siguientes características, tener dos veces el tamaño de la semilla y poseer sus estructuras bien desarrolladas. Este primer conteo de plántulas normales es un indicador del vigor de germinación, expresando la velocidad con que germinan las semillas. Lo anterior es sumamente importante, ya que en campo las semillas que germinan en menor tiempo son menos propensas a recibir daño por plagas y enfermedades y otros factores inherentes al suelo.

5.7 Evaluación final

En el octavo día se llevó a cabo la evaluación final, en la cual se realizaron las siguientes actividades, primero se contaron las plántulas normales, anormales y semilla sin germinar. Se midió la longitud de vástago y de radícula, únicamente en plántulas normales. En tres repeticiones,

considerando cada una de ellas una unidad experimental (un taco), el total de las plántulas normales por repetición, se pusieron dentro de una bolsa de papel de estraza y estas se colocaron por 24 h en una estufa de secado marca Riosa H-48, para obtener el peso seco o biomasa por plántula. Las tres repeticiones restantes, se pesaron y se envolvieron en papel aluminio para ser sometidos a bajas temperatura y trasladarlas al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), para realizar otros análisis.

5.8 Variables evaluadas en las semillas germinadas

- **Primer conteo de plántulas normales (Vigor)**, esta evaluación es un indicador del vigor que posee la semilla para germinar en menor tiempo, el resultado fue expresado en porcentaje (%).
- **Plántulas normales (Germinación)**, se entiende por plántulas normales aquellas que poseen todas sus partes (vástago y radícula) sin ninguna anomalía visible y bien desarrolladas, y representa el porcentaje de semillas germinadas.
- **Plántulas anormales (PA)**, todas aquellas que carecen de vástago o radícula, o presentan un desarrollo irregular de alguna de sus estructuras, el resultado fue expresado en porcentaje (%).
- **Semillas sin germinar (SSG)**, todas aquellas semillas duras o muertas que no tuvieron la capacidad de germinar, el resultado se expresó en porcentaje (%).
- **Longitud media de vástago (LV) y longitud media de radícula (LR)**, se midieron todas las plántulas normales por repetición, esto es que no presentaran rasgo alguno de anomalía, la medida fue expresada en cm.
- **Peso seco de plántula (PS)**, esta variable se obtuvo una vez determinadas todas las anteriores, después del secado se pesaron en

una balanza analítica marca Precisa BJ610C, el resultado fue expresado en mg/plántula.

El experimento se estableció utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2 x 6), esto es dos tipos de NPs (comerciales y de síntesis redondas) y 6 concentraciones (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, y 50.0 ppm). Los datos de las variables evaluadas en cada una de las repeticiones, se sometieron a un análisis de varianza para determinar la posible existencia de diferencias estadísticas entre NPsZnO (Comerciales y de síntesis esféricas) posteriormente, se prosiguió a realizar una comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey, para establecer el orden de eficiencia de las concentraciones, utilizando el paquete estadístico SAS Institute (2004).

VI. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Resultados obtenidos en el análisis de varianza en bioensayos de germinación, con semillas de melón (*Cucumis melo*) de la variedad Top-Mark, tratadas con NPsZnO esféricas de síntesis y comerciales, en la fuente de variación (FV) NPs, indica que, en las variables por ciento de germinación, plantas anormales (PA), semilla sin germinar (SSG), y longitud de vástago (LV) mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), mientras que para variable longitud de radícula (LR) se obtuvo diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Lo anterior indica que los tipos de NPsZnO aplicadas en semilla de melón, afectan la respuesta fisiología de las variables evaluadas.

En la fuente de variación concentración (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, y 50.0 ppm), se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) para las variables porcentaje de vigor de germinación, porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas anormales, porcentaje de semilla sin germinar, longitud de vástago, y longitud de radícula.

Asimismo, la interacción partícula * concentración mostró diferencias ($P \leq 0.01$) para las variables porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas anormales, porcentaje de semilla sin germinar, y longitud de radícula. Mientras que para la variable porcentaje de vigor de germinación, se encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Por lo tanto, las semillas tratadas con distintos tipos de NPsZnO a diferentes concentraciones durante la imbibición, mostraron variación en la respuesta fisiológica de variables relacionadas con el metabolismo germinativo (Cuadro 1). Estas interacciones significativas entre factores dejan ver que también la forma de las NPsZnO modifica el comportamiento y expresión de las variables.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en bioensayo de germinación de semillas tratadas con NPsZnO tipo comercial y esférico de síntesis.

FV	GL	VIGOR (%)	GERMINACIÓN (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	GL	LV (cm)	LR (cm)
NPs	1	16.96 ^{NS}	761.04 ^{**}	6696.28 ^{**}	3068.63 ^{**}	0.17 ^{NS}	1	58.24 ^{**}	9.61 [*]
Concentración	5	292.04 ^{**}	1578.80 ^{**}	1798.22 ^{**}	627.65 ^{**}	0.57 ^{NS}	5	16.20 ^{**}	24.73 ^{**}
NPs * Concen.	5	157.44 [*]	421.31 ^{**}	785.04 ^{**}	388.62 ^{**}	1.40 ^{NS}	5	4.90 ^{NS}	30.52 ^{**}
Error	53	51.21	94.13	93.59	83.38	1.80	696	3.86	1.84
C.V. %		43.33	24.11	29.39	33.80	13.28		23.13	15.49

**= Altamente significativo ($p \leq 0.01$); *= significativo (0.05); ^{NS}: no significativo., FV= fuente de variación; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; PA= plántulas anormales; SSG= semillas sin germinar; LV= longitud de vástago; LR= longitud de radícula; PS= peso seco de plántula.

En la comparación de medias (Cuadro 2), se observó para la variable porcentaje de germinación, que las NPsZnO esféricas de síntesis superaron (44 %) a las comerciales (37 %) (Gráfica 1 del Anexo). También se obtuvo una reducción drástica en el porcentaje de plántulas anormales al imbibir la semilla con NPsZnO esféricas de síntesis, ya que se disminuyó de 43 % (comerciales) a 23 % (de síntesis).

En la variable longitud de vástago al comparar la respuesta a la aplicación de NPsZnO de síntesis contra comerciales, las esféricas (8.77 cm) superaron estadísticamente a las comerciales (8.16 cm) por 0.61 cm. De manera opuesta, se encontró que la aplicación de NPsZnO tipo comercial (8.90 cm) tuvo una respuesta positiva para la variable longitud de radícula, superando a las NPsZnO de síntesis tipo esféricas (8.64 cm), con 26 mm más de longitud (Gráfica 2 del Anexo).

Lo anterior señala que las semillas tratadas con NPsZnO tipo esféricas mostraron superior capacidad de germinación, mejorando el crecimiento del vástago, el cual presentó más de longitud que en las tratadas con NPsZnO tipo comercial, sin tener diferencias en peso seco.

Con los resultados anteriores se demuestra que las NPsZnO tienen un efecto promotor en la semilla de melón, el cual está íntimamente relacionado con el metabolismo que se realiza durante el proceso de germinación. Desde el punto de vista bioquímico, el vigor involucra la capacidad que tiene un organismo para la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos, como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. Todo ello asociado a la actividad celular, la integridad de las membranas celulares y el transporte o utilización de sustancias de reserva (James, 2010).

En un trabajo similar, Chávez (2018) trabajó con NPsZnO en semilla de maíz (*Zea mays L.*), mencionando que la NPsZnO de ingeniería forma esféricas mostraron efectos positivos para las variables vigor de germinación y peso seco de vástago, sin embargo, las NPsZnO tipo comerciales generaron una mayor elongación celular, presentando mayor longitud de vástago y radícula.

En este trabajo se observó que el efecto de las NPsZnO de forma esférica se refleja en el porcentaje de germinación, y a través del crecimiento y desarrollo de plántulas, especialmente el vástago. El vigor es un parámetro sumamente importante en la calidad fisiológica de las semillas, ya que es considerado como la habilidad para la emergencia en condiciones ambientales desfavorables. En este sentido Manfrini (2004), menciona que la semilla es más vigorosa cuando su comportamiento potencial es estable, y la pérdida del vigor está relacionada con la reducción de la habilidad que tiene la semilla para llevar a cabo todas sus funciones fisiológicas, que determinan su nivel de actividad y su comportamiento en el tiempo.

Los resultados de este trabajo coinciden en gran medida con lo reportado por Ponce (2016), quien trabajó con NPsZnO en semilla de tomate a concentración de 5 y 10 ppm, demostrando potencial para ser utilizadas como promotoras de crecimiento, mejorando las características como la elongación de plúmula y de la radícula, además de promover la germinación. De igual manera en el trabajo realizado por Ruíz et al. (2016), hace referencia a que concentraciones de 5 y 10 ppm promueven el vigor de germinación en semilla de tomate y chile ancho.

Lo anterior concluye con el trabajo realizado en semilla de maíz nativo (*Zea mays L.*) por Estrada *et al.* (2017), quienes mencionan que las aplicaciones de NPsZnO mejoraron la calidad fisiológica de la semilla, además incrementaron la longitud de plúmula y radícula.

Cuadro 2. Comparación de medias por tipo de NPsZnO (comerciales y esféricas de síntesis) para variables evaluadas en laboratorio, en bioensayo de germinación de semillas.

TIPO DE NPs	VIGOR (%)	GERMINACIÓN (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	LV (cm)	LR (cm)
Comercial	15 a	37 b	43 a	20 b	10.02 a	8.16 b	8.90 a
Esféricas	16 a	44 a	23 b	34 a	10.20 a	8.77 a	8.64 b
Media	15.5	40	33	27	10.11	8.50	8.77
Tukey	3.56	4.83	4.81	4.54	0.95	0.29	0.20

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, PA= plántulas anormales; SSG= semillas sin germinar; LV= longitud de vástago; LR= longitud de radícula; PS= peso seco.

La comparación de medias por concentración (0.0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, y 50.0 ppm) de NPsZnO (Cuadro 3), indica que para obtener mayor vigor de germinación (21 %) y porcentaje de germinación (53 %), se deberá usar concentraciones de 10 ppm, ya que las NPsZnO favorecieron los procesos fisiológicos en la semilla. Esta información es importante, ya que el testigo presentó únicamente 7 % de vigor de germinación y 20 % de germinación, confirmando que las NPsZnO realmente incidieron en el metabolismo celular de las semillas (Gráfica 3 del Anexo),

Por otra parte, menor porcentaje de plántulas anormales se observó al imbibir semillas en suspensión de NPsZnO a 0.5 ppm con 21 plántulas. Sin embargo, para la variable porcentaje de semillas sin germinar, menor cantidad se encontró con los tratamientos de 10 y 50 ppm.

La longitud de vástago presentó una respuesta estadísticamente igual a la aplicación de NPsZnO en las concentraciones evaluadas en este estudio, difiriendo únicamente el testigo (7.70 cm), por lo que aplicar la dosis menor (0.5 ppm) es suficiente para lograr una mejor elongación del vástago (8.90 cm) (Gráfica 4 del Anexo).

En cuanto a la variable longitud de radícula, al utilizar la concentración de 50 ppm, se incrementó a 9.29 cm, esto con respecto al testigo, que presentó una longitud de 8.40 cm, dato importante en el establecimiento de las plantas en condiciones de campo (Gráfica 4 del Anexo).

En este estudio, los efectos de las NPsZnO para las variables relacionadas con el vigor de las semillas se manifestaron de una forma positiva, asociados posiblemente a la actividad celular y al transporte o utilización de sustancias de reserva.

Los resultados discutidos anteriormente, coinciden con Raskar and Laware (2014), quienes indican que la germinación de las semillas de cebolla y el crecimiento de plántulas aumenta con la aplicación de concentraciones bajas de NPs de ZnO.

Cuadro 3. Comparación de medias por concentración de NPsZnO, para variables evaluadas en bioensayos de germinación.

CONCENTRACIÓN (ppm)	VIGOR (%)	GERMINACIÓN (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	LV (cm)	LR (cm)
0	7 b	20 c	56 a	24 b c	10.18 a	7.70 b	8.40 b c
0.5	16 a b	39 b	21 c	40 a	9.87 a	8.90 a	8.11 c
1	14 a b	41 a b	35 b	24 b c	9.74 a	8.65 a	8.67 b
5	15 a b	39 b	26 b c	35 a b	10.55 a	8.57 a	9.21 a
10	21 a	53 a	26 b c	21 c	9.93 a	8.64 a	8.54 b c
50	20 a	51 a b	28 b c	21 c	10.33 a	8.22 a b	9.29 a
MEDIA	15.5	40	33	27	10.11	8.50	8.77
TUKEY	9.18	12.44	12.41	11.71	2.49	0.77	0.53

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, PA=plántulas anormales; SSG= semillas sin germinar; LV= longitud de vástago; LR= longitud de radícula; PS= peso seco de plántula.

Igualmente, lo anterior confirma lo reportado por Burman *et al.* (2013), quienes trabajaron con NPsZnO a concentraciones de 1.5 y 10 ppm en semilla de garbanzo, en la cual ratificaron que las NPsZnO a 1.5 ppm presentan una máxima promoción con respecto al peso seco de raíz y vástago. Mientras que para 10 ppm ejerció efectos adversos en la plántula.

En trabajos realizados con otras NPs, Ghamari *et al.* (2011) mencionan que las concentraciones de NPs de plata pueden variar dependiendo del tipo de estructura (testa) que tengan las semillas, para generar una mayor activación del metabolismo en el proceso de germinación y síntesis de proteínas. Esto lo confirma Mahajan *et al.* 2011, quien trabajó con NPsZnO en el crecimiento y desarrollo de plántulas de dos cultivos, mencionando que para el cultivo del frijol se obtuvo la mejor respuesta a 20 ppm, a comparación con el cultivo del garbanzo que mostró su máxima expresión a una 1 ppm.

Por otro lado, Rodríguez (2016) señala que diversas partículas metálicas como el Zn, Cu y Fe, pueden actuar como promotores del crecimiento de las plantas de pimiento. Debido al pequeño tamaño de los nanomateriales que permiten la interacción mejorada y la absorción eficiente de los nutrientes por hojas y raíces para la fertilización de cultivos.

Méndez *et al.* (2016) observó en plantas de chile expuestas a la aplicación foliar de 50 mg/L de NPsZnO dopadas con plata al 1.25 y 2.5%, valores superiores en altura (16.8%), área foliar (23.5%) y producción de biomasa total (37.3 %). Observó también un incremento en la longitud radicular del 19.6% en comparación con las plantas de chile no tratadas.

En otras investigaciones, al analizar los resultados derivados de aplicaciones de NPsZnO, reportan que pueden utilizarse como nanofertilizantes, ya que mejoran el potencial de germinación y el crecimiento de la plántula. Lo antes mencionado lo confirma Liu and Lal (2016), quienes señalan que diversas NPs metálicas mejoran significativamente el crecimiento de las plantas y tiene el potencial para incrementar la productividad agrícola.

En el trabajo realizado por Sedghi *et al.* (2013), observaron efectos positivos en la germinación con semillas de soya sometidas a bajas concentraciones de NPs ZnO.

En semilla de cacahuate al comparar las aplicaciones de NPs de ZnO (tamaño de partícula de 25 nm) a una concentración de 1000 ppm y sulfato de zinc a granel quelado ($ZnSO_4$), los resultados demuestran que las NPs ZnO promovieron la germinación de la semilla y el vigor de la plántula y mostró un temprano establecimiento en el suelo que se manifestó por floración temprana y mayor contenido de clorofila foliar (Sudhakar *et al.*, 2012).

También se ha demostrado que las NPs de Óxido de Zinc mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los frutos incrementando la concentración de los azúcares (Liu y Zhang, 2016).

Importante es mencionar que el proceso de absorción de las NPs se da a través de las diferencias del potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición. Durante el proceso de geminación se activan las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpo proteicos, los cuales son convertidos en compuestos básicos como azúcares simples y aminoácidos, que son transportados y oxidados para participar en el crecimiento y en la elongación del embrión (Suárez and Marina, 2010).

López *et al.*, (2010) trabajaron en la biotransformación de NPs de ZnO y CeO_2 en semilla de soya, y hace mención que estas NPs no afectaron la germinación y produjeron un efecto diferencial sobre el crecimiento de las plántulas y la absorción de los elementos. Sin embargo al utilizar la espectroscopia de absorción de raios x sincrotrón, obtuvo pruebas claras de la presencia de CeO_2 en las raíces mientras que para las NPs de ZnO no se encontraron presentes. Lo mismo establece Hernández *et al.* (2010), al mencionar que las NPs ZnO en plántula de mezquite aumento la catalasa (CAT) y el ascorbato peroxidasa (APOX), sin presentarse en raíces tallos ni hojas, ninguno de los tratamientos evaluados redujo el tamaño de la planta ni la producción de clorofila.

En este trabajo, al revisar las interacciones entre factores, se observó mayor porcentaje de vigor de germinación al aplicar NPsZnO esféricas de síntesis a una concentración de 10 ppm (Gráfica 5 del Anexo).

Para la variable por ciento de germinación, la interacción de los dos factores en estudio mostró que la aplicación de suspensión de NPsZnO forma esférica a 10 ppm durante la imbibición (53 %), mejora considerablemente con respecto al testigo (20 %).

En cuanto a la respuesta de la variable longitud de radícula, que muestra diferencias estadísticas, se observó que imbibir las semillas con NPsZnO esféricas a 5 ppm, tiene el mismo efecto que imbibirlas con NPsZnO a 50 ppm.

Si tomamos en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, se puede afirmar y corroborar que el uso de las NPs en la agricultura, se puede orientar a utilizar menos agroquímicos sintéticos y a reducir las grandes cantidades de residuos contaminantes, buscando incrementar el crecimiento y rendimiento de las plantas (Servin *et al.*, 2015).

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que las NPsZnO de síntesis forma esférica, aplicadas durante el periodo de imbibición en semillas de melón *Cucumis melo*, de la variedad Top-Mark, promueven efectos positivos sobre la germinación y el vigor de plántula expresado como longitud de vástago y radícula.

Las NPsZnO forma esférica aplicadas durante la imbibición también mostraron reducción del porcentaje de plántulas anormales.

Imbibir las semillas con NPsZnO a 10 ppm, tiene un efecto positivo, aumentando el porcentaje de vigor de germinación, el porcentaje de germinación, y la longitud de vástago. Indicando que podría ser utilizada como promotora del vigor y del crecimiento.

La aplicación de suspensión de NPsZnO forma esférica a 10 ppm durante la imbibición, mejora considerablemente el porcentaje de germinación, esto con respecto al testigo.

La variable longitud de radícula, mostró que imbibir las semillas con NPsZnO esféricas a 5 ppm, tiene el mismo efecto promotor que imbibir con NPsZnO a 50 ppm.

Este trabajo marca la pauta para futuras investigaciones más complejas acerca de los efectos bioquímicos de las NPs ZnO en la germinación y en el desarrollo de las plántulas.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alvarado, R., F. Solera, y J. Vega. 2014. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de zinc y de plata estabilizadas con quitosano. Evaluación de su actividad antimicrobiana. *Iberoamericana de Polímeros*. Vol. 15 (3). 144 p., 135 p.
- Barrera, A. 2011. Nuevas realidades, nuevos paradigmas: la nueva revolución verde. *Innovación tecnológica*. 10 p.
- Burman, U., M. Sain, and P. Kumar. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological & environmental chemistry*. Vol. 95. 4 p. Doi: <https://doi.org/10.1080/02772248.2013.803796>
- Chávez, M. 2018. Comparación del efecto de nanopartículas comerciales y sintetizadas de óxido de zinc sobre parámetros de calidad fisiológica en semillas de maíz (*Zea mays L.*). Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 50 pp.
- Cheang, M. 2005. Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud, los alimentos, la agricultura y el ambiente. *Innovación y Tecnología*. 50 p.
- Cortes A., M. 2017. Producción, morfología y fisiología del pepino injertado (*Cucumis sativus L.*) cultivado con nanopartículas de plata. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 52 p.
- Cruz L., I. 2017. Aplicación de nanopartículas y micropartículas de óxido de zinc y sulfato de hierro, y su efecto en la germinación y el crecimiento de plántulas de calabaza (*Cucurbita pepo*). Tesis de Licenciatura. Ingeniero

- Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 44 pp.
- De La Cuadra, C. 1992. Germinación, latencia y dormición de la semilla. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Secretaria General de Estructuras Agrarias. España. pp. 4 - 8.
- Delgado G., C. 2006. Riesgos ambientales de la nanotecnología: nanopartículas y nanoestructuras. Tecnología y Sociedad. Vol. 3 No. (4). 35 p.
- Estrada, J., A. Méndez, y A. Vázquez. 2017. Mejoramiento de la calidad fisiológica de la semilla de maíz nativo (*Zea mays L.*) mediante la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc. AgroBio nanotecnología: Nuevo paradigma científico en la producción de alimentos. 254 p.
- Fernández, C., A. E. Sileoni., M. R. Almandoz., J. M. Kirschenbaum., R. Díaz. 2012. Nanomateriales. Materiales y materias primas. 42 pp.
- Foladori, G., y E. Zayago. 2008. El pasado devela el presente. Los estudios sobre evaluación de tecnología. Nanotecnologías en la alimentación y agricultura. 99 p.
- Foladori, G., y N. Invernizzi. 2008. Los trabajadores de la agricultura y la alimentación cuestionan las nanotecnologías. La resolución de la UITA. nanotecnologías en la alimentación y agricultura. 116 p.
- García, F., J. 2003. Maduración y germinación de semillas. Unidad docente de biología vegetal. ETSMRE, UPV. Vol. 2. 1 p.
- García, J., F. Zavala, E. Olivares, N. A. Ruiz, E. Ramos, I. Vera, B. Argüello, D. A. García R., y R. H. Lira. 2017. Interacción de las nanopartículas ZnO sobre la germinación y crecimiento temprano de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense*). AgroBio Nanotecnología: Nuevo paradigma científico en la producción de alimentos. 51 p.
- Ghmari, M., M. H. Gharine, M. Farbod, and A. M. Bakhshande, 2011. Effects of silver nonoparticles seed coating on germination and early growth of

wheat seedling (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Agricultural Research and Education Organization. Vol. 1. 5 p.

Hernández, J. A., H. Castillo., A. D. Servin, J. R. Peralta, J. L. Gardea. 2010. Spectroscopic verification of zinc absorption and distribution in the desert plant prosopis juliflora-velutina (velvet mesquite) treated with ZnO nanoparticles. Chemical Engineering Journal. Vol. 170. pp 346 – 352. Doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.021

Invernizzi, N., y G. Foladori. 2008. ¿Serán las nanotecnologías una solución a la pobreza del mundo? Nanotecnologías en la alimentación y agricultura. 16-17 pp.

James, C. 2010. Germinación, deterioro y vigor de semillas. SEED News. Vol. 6 N. (6). 6 pp.

Kashif, G., y W. Sung. 2015. Nanociencia y nanotecnología en agricultura ganadería y alimentación. La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. Vol. 2 No. (2). 52 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2009.2.53587>

Lechuga, L. M., y A. C. Martínez. 2006. Nanobiotecnología: Avances diagnósticos y terapéuticos. Investigación en gestión de la innovación y tecnología. nanociencia y nanotecnologia II. No. (35). 12 pp.

Liu, R., and R. Lal. 2016. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. A review. Science of the total environment. Vol (514). 139 pp. Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104

Liu, R., and H. Zhang. 2016. Effects of stabilized nanoparticles of copper, zinc, manganese, and iron oxides in low concentrations on lettuce (*Lactuca sativa*). Seed germination: nanotoxicants or nanonutrients? Water, Air, y Soil Pollution. 227 p.

- López, M. L., G. de la Rosa, J. A. Hernandez, H. Castillo, C. E. Botez., J. L. Gardea. 2010. Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO₂ nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. *Environ. Science and Technology*. 44 pp. DOI: 10.1021/es903891g
- Mahajan, P., S.K. Dhoke., A.S. Khanna and J.C. Tarafdar. 2011. Effect of nano-zno on growth of mung bean (*vigna radiata*) and chickpea (*cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. *Applied biological research* 13 (2). 54 – 61 pp.
- Manfrini, D. 2004. Análisis de vigor en semillas. Plan agropecuario. Instituto nacional de semillas. Uruguay. 56 p.
- Mejías, Y., N. Cabrera, A. M. Toledo, and O. J. Duany. 2009. Nanotechnology and its possibilities of application in the scientific-technological field. *Cubana de Salud Pública. Cuba*. Vol.35 (3). 1 p.
- Méndez, B., I. Vera, E. Mendoza, L. A. García, B. A. Puente, y R. H. Lira. 2016. Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*. Vol. 8 (17). 140 p.
- Mendoza, A. 2016. Prueba de vigor en semillas. Manejo y producción de semillas. Ingeniero Agrónomo. Universidad San Pedro. Perú. 12 p.
- Mendoza, G., y J. L. Rodríguez. 2007. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*. Vol.15 (29). 1 p.
- Miller, G., y R. Senjen. 2004. Del laboratorio a la cadena alimenticia: La nanotecnología en los alimentos y la agricultura. *Nanotecnologías en la alimentación y agricultura*. 32 p., p. 42-43.
- Nair, R., A. C. Poulouse, Y. Nagaoka, Y. Yoshida, T. Maekawa, and D. S. Kumar. 2011. Uptake of FITC labeled silica nanoparticles and quantum dots by rice seedlings: Effects on seed germination and their potential as

biolabels for plants. Journal of fluorescence. 4 p. 45 p.
Doi:<https://doi.org/10.1007/s10895-011-0904-5>.

Ponce Z., R. 2016. Promoción de la germinación en semillas y crecimiento de plantas de *Lycopersicum esculentum* por nanopartículas de óxido de zinc. Tesis de licenciatura. Ingeniero en agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 42 pp.

Priyanka, K., S. Madhavi, P. Rakesh, A. Shakir, G. Kailash, y S. Aruna. 2011. Adverse effects of TiO₂ and ZnO nanoparticles in soil nematode, *Caenorhabditis elegans*. Journal of nanoscience and nanotechnology. Vol. 7 (1). 228 pp. Doi: <https://doi.org/10.1166/jbn.2011.1229>

Quintili, M. 2012. Nanociencia y nanotecnología... un mundo pequeño. Cuad. Cent. Estud. Diseño Común. 2 p.

Rai, M., and A. Ingle. 2012. Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests. Applied Microbiology and Biotechnology. Vol 94. 287 p. Doi.org/10.1007/s00253-012-3969-4.

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 science. ISSN: 2319-7706. Volume 3 number 2 pp. 467-473.

Ríos, C., P. Ramírez., G. Ortegón., J. Esparza., J. H. Rodríguez. 2000. Análisis dialéctico para vigor de semilla en melón. Agrociencia. Vol. 34 (3). 7 pp.

Rivera, E., R. H. Lira., M. Hernández., R. Betancourt., L. A. García., B. Puente. 2014. Actividad antimicrobial de nanopartículas de cobre y óxido de zinc contra bacterias y hongos fitopatógenos. ResearchGate. 22 pp.

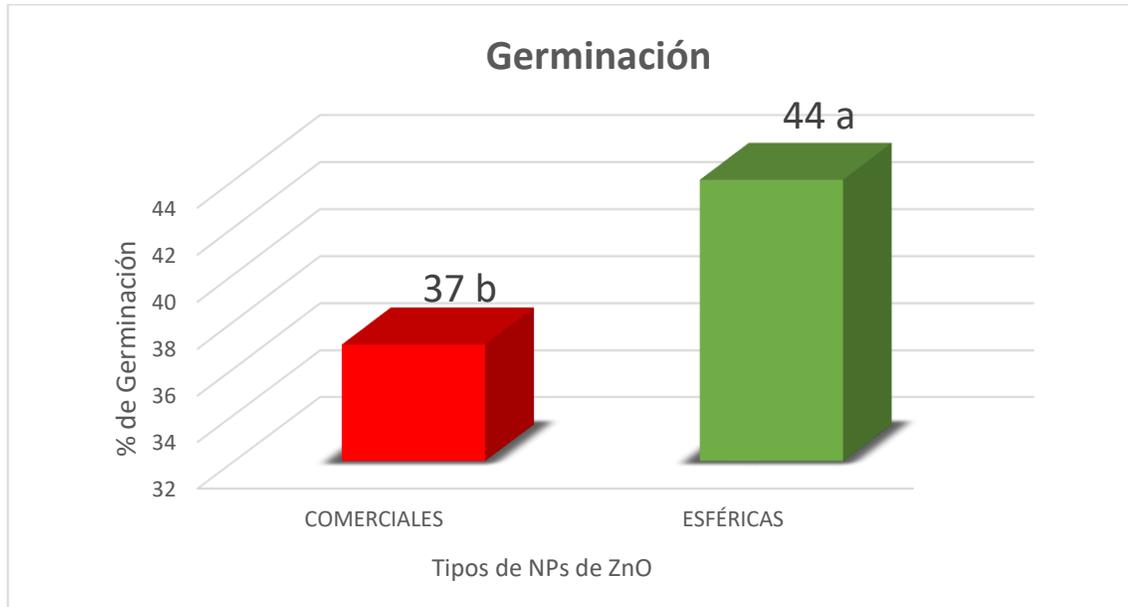
Rodríguez, A. 2016. Óxido de zinc (ZnO). Scientific chemistry. Vol. 1 (2). 1 p.

Rodríguez, O. 2017. Desarrollo de la investigación sobre nanotecnología en el centro de investigación en química aplicada (CIQA-CONACYT).

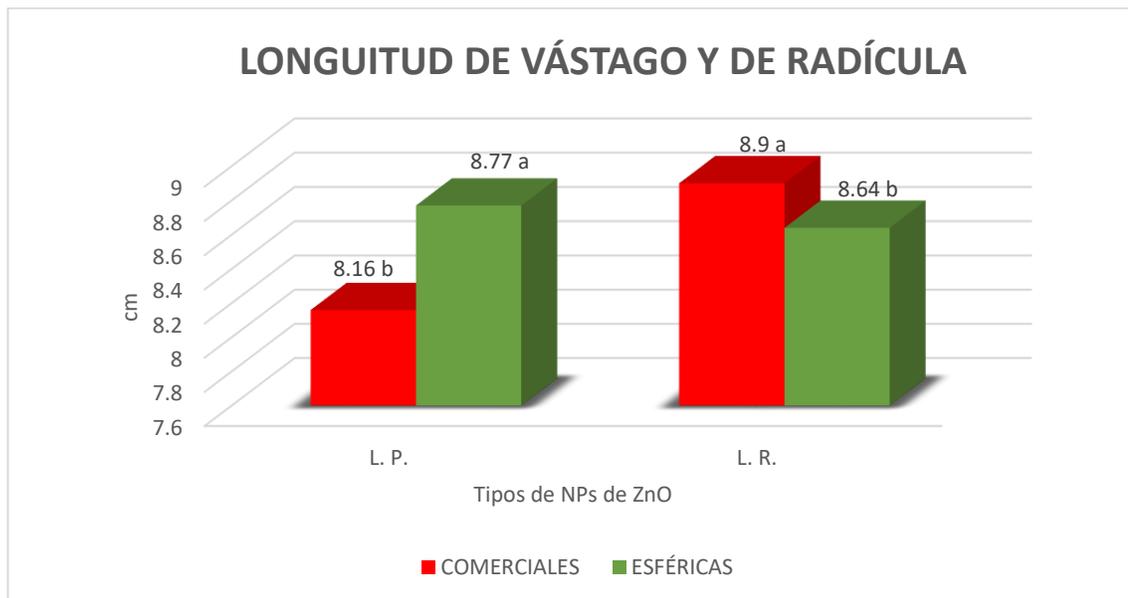
- Agrónomo tecnología: Nueva frontera de la revolución verde. Saltillo, Coahuila, México. 273 pp.
- Ruiz, N. A., J. I. García., R. H. Lira., I. Vera., B. Méndez. 2016. Efecto de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de semillas. Agronano tecnología: Nueva frontera de la revolución verde. Saltillo, Coahuila, México. 273 pp.
- Ruparelia, J. P., A. K. Chatterjee., S. P. Duttagupta., S. Mukherji. 2007. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. Science Direct. 707 – 716 pp.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 1521 p.
- Sedghi, M., M. Hadi., S.G. Toluie. 2013. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. Annals de west university of timisoara: series of biology. Vol. 16, N (2). 73-78 pp.
- Servin, A., W. Elmer., A. Mukherjee., R. De la Torre., H. Hamdi., J. C. White y C. Dimkpa. 2015. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. Journal of Nanoparticles Research. 17 p.
- Shah, V., and I. Belozerova. 2009. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water, air, and soil pollution. Vol. 197. 143 – 148 pp. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9797-6>.
- Siddiqui, M. H., and M. H. Al-Whaibi. 2014. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* seeds Mill). Saudi journal of biological sciences. Vol. 21. 13-17 pp. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.04.005>
- Suárez, D., and L. Marina. 2010. Biology and germination of seeds. Research. 24 pp.

- Sudhakar, P., Y. Sreenivasulu., P. Latha., V. Munaswamy., K. Raja. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of plant nutrition. Vol. 35. 1 p. Doi.org/10.1080/01904167.2012.663443
- Yuan, L., C. Wang., R. Cai., Y. Wang., G. Zhou. 2013. Spontaneous ZnO nanowire formation during oxidation of Cu-Zn alloy. Journal of applied physics. 114 p.

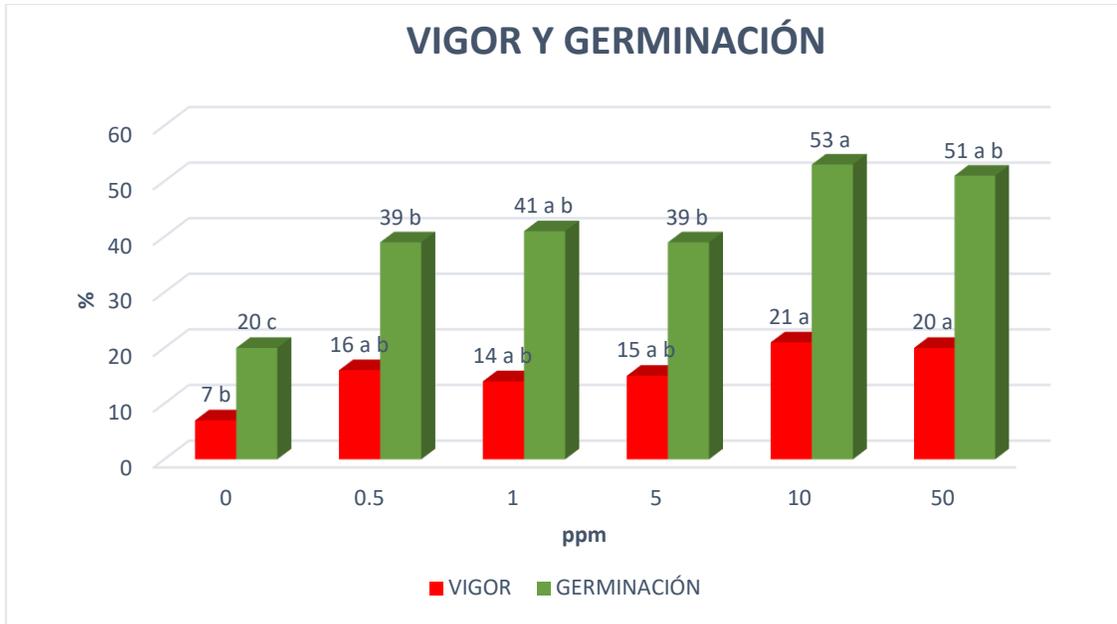
ANEXOS



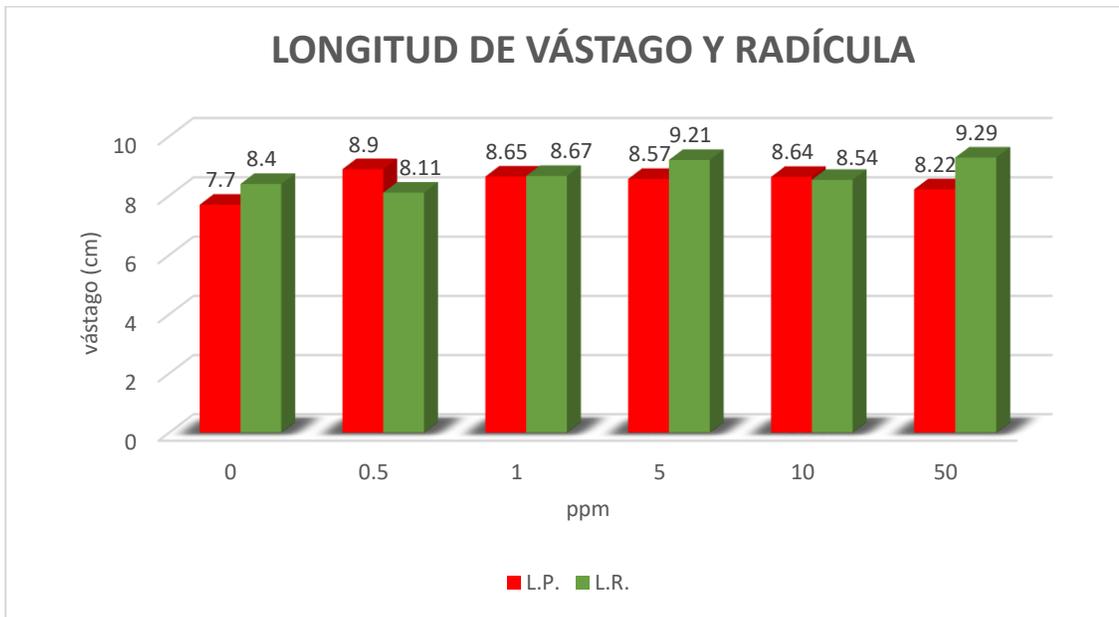
Gráfica 1. Porcentaje de germinación de semillas de melón tratadas con NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.



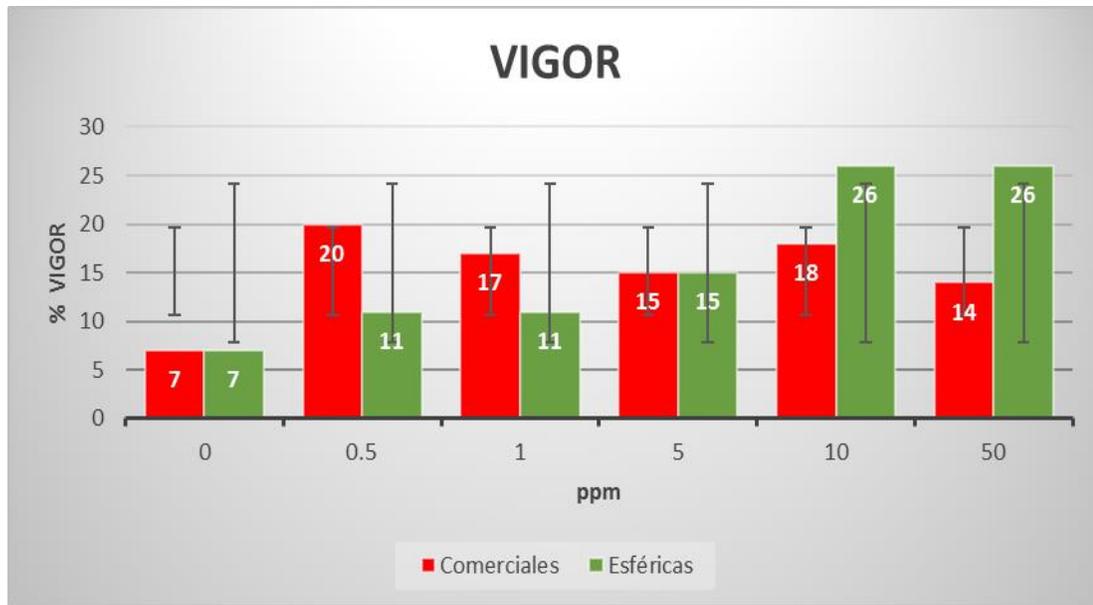
Gráfica 2. Longitud de vástago y de radícula de plántulas de melón tratadas con NPs ZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.



Gráfica 3. Respuesta del vigor y la germinación de semillas de melón, a la aplicación de NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.



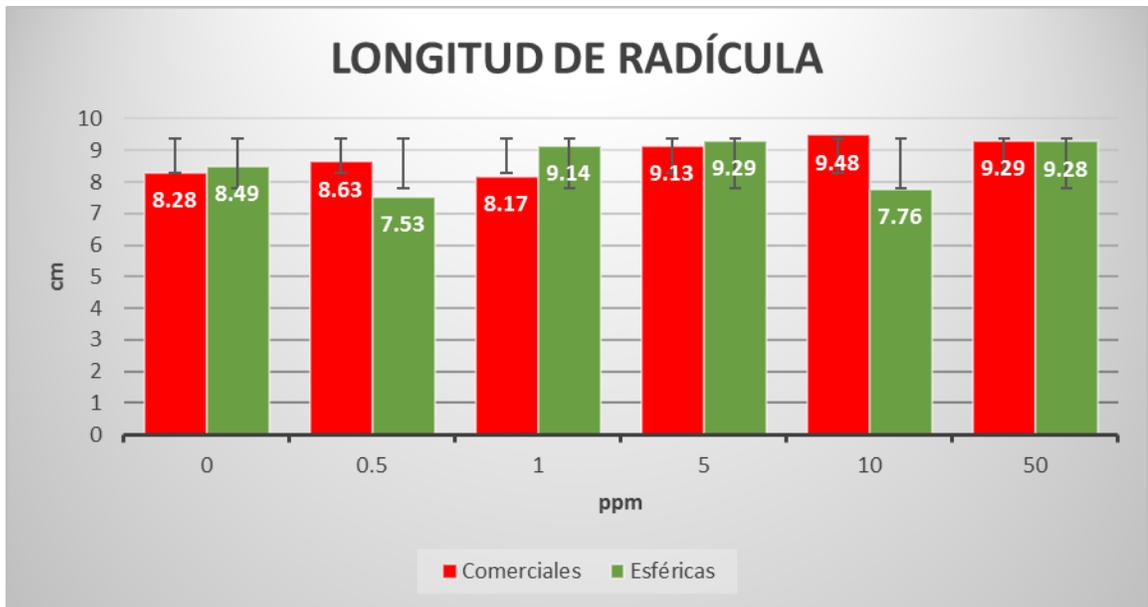
Gráfica 4. Longitud de vástago y de radícula de plántulas de melón, obtenidas de semillas tratadas con NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.



Gráfica 5. Respuesta del vigor de germinación a la aplicación de NPsZnO de ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales en semillas de melón.



Gráfica 6. Respuesta de la germinación de semillas de melón tratadas con diferentes concentraciones de NPsZnO tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.



Gráfica 7. Respuesta de la longitud de radícula en plántula de melón, a la aplicación en semillas de NPsZnO a diferentes concentraciones, de tipo ingeniería forma esférica (de síntesis) y comerciales.