

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comparación de la Respuesta del Vigor, la Germinación y la Acumulación de Materia Seca a la Aplicación de Ácido Giberélico ( $AG_3$ ) y de Nanopartículas de Óxido de Magnesio (NPsMgO) en Pepino (*Cucumis sativus*).

Por:

**LIZBETH ZAVALA PLIEGO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comparación de la Respuesta del Vigor, la Germinación y la Acumulación de  
Materia Seca a la Aplicación de Ácido Giberélico (AG<sub>3</sub>) y de Nanopartículas de  
Óxido de Magnesio (NPsMgO) en Pepino (*Cucumis sativus*).

Por:

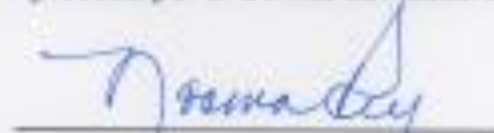
**LIZBETH ZAVALA PLIEGO**

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



M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega  
Coasesor



M.C. Pilar Espitia Hernández  
Coasesor



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



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2021

## Derechos de Autor y Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la ley federal del derecho de autor de los estados unidos mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

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

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado

Autor principal

---

Lizbeth Zavala Pliego



## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, por la gracia de mi vida, por la maravillosa oportunidad de permitirme concluir satisfactoriamente mi carrera profesional que durante años fue uno de mis sueños más anhelados, por darme la fuerza para resistir momentos muy difíciles, gracias Dios padre por darme fuerzas para seguir adelante y nunca rendirme.

A mi **Alma Terra Mater** por haberme recibido con los brazos abiertos y cobijarme durante mi estancia en esta universidad.

### **A MIS PADRES**

#### **Venancio Zavala Amacende y Guadalupe Pliego Ramírez**

Por haberme dado la vida, por su amor incondicional, por todos sus consejos y sus motivaciones de nunca rendirme, gracias por los valores que me inculcaron y por ser las piezas fundamentales para culminar mi carrera profesional.

A la **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres** por su disponibilidad y por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis, por haberme compartido de sus conocimientos. Gracias por ayudarme a concluir mi trabajo de Titulación.

A la **M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega** por su participación y apoyo para formar parte de este gran proyecto. Muchas gracias.

A la **M. Pilar Espitia Hernández** por su participación y apoyo para formar parte de mi comité. Muchas gracias.

A **mis compañeros de generación** por haber compartido buenos momentos durante mi estancia en la universidad.

A **mis amigos** Criso Altunar, Magui Balderas, Angélica Rivera, Antonia Hernández, Luis Alfonso, por haber compartido conmigo alegrías y tristezas, haberme apoyado en mis momentos difíciles, gracias por haber formado parte de mi vida.

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES**

Este trabajo se los dedico con mucho cariño y amor por ser ustedes a las personas que yo más amo en este mundo, por ser el motivo de mi vida, por nunca dejarme sola y siempre apoyarme en mis momentos más difíciles, Gracias por darme la vida, y nunca me cansaré de agradecerles por todo lo que me han brindado.

#### **Venancio Zavala Amacende**

A ti papi te dedico este logro porque siempre estuviste dispuesto a apoyarme, usted que es el mejor papa del mundo, que a pesar de las circunstancias siempre me apoyo en todas mis decisiones, sé que usted siempre ha querido lo mejor para mí y para mis hermanos, gracias por sacarnos adelante y nunca dejarnos solos, siempre estaré eternamente agradecida con usted por cumplir mi mayor sueño y este logro también es de usted porque sin su apoyo no hubiera llegado tan lejos, eres mi orgullo y mi ejemplo. Te amo papá.

#### **Guadalupe Pliego Ramírez**

A ti mami por creer en mí y ser mi mayor motivación, agradezco a DIOS y a la vida por ser mi mamá, por ser mi mejor amiga, mi guerrera, mi fiel compañera de vida, por todos esos buenos consejos que me ha dado y que siempre llevare en mente, porque nunca me ha dejado sola cuando más la he necesitado, por cuidar de mis hermanos y de mí eres la mujer que yo más admiro, gracias por todo su apoyo incondicional, siempre estaré eternamente agradecida con usted y este logro también es para usted porque sin su apoyo yo no lo hubiera logrado, eres mi gran ejemplo a seguir. Te amo mamá.

## **A MIS HERMANOS**

### **Cesar Zavala Pliego**

Por compartir momentos de felicidad y tristezas conmigo, gracias por todos tus consejos que me han ido fortaleciendo, por todos esos regaños para ser una mujer de bien, siempre estaré eternamente agradecida con Tigo por todo el apoyo que me has brindado, gracias porque nunca me has dejado sola. Siempre serás mi ejemplo a seguir, Te amo hermano.

### **Néstor Zavala Pliego**

Por compartir momentos de felicidad y tristezas conmigo, gracias por apoyarme en todo momento, gracias por todos tus consejos, y todos esos regaños. Gracias por la confianza que me has brindado. Siempre serás un ejemplo para mí. Te amo hermano.

Gracias por ser parte de mi vida. Son los mejores hermanos. Este logro también es para ustedes.

A mi abuelita **Teófila Ramírez Ortega** y a mi tía **Olivia Pliego Ramírez**, por ser parte de mi vida, gracias por quererme tanto, por apoyarme siempre, por todos sus consejos, por todo su amor, siempre estaré agradecida con ustedes.

A mi abuelo **Rodolfo Pliego López (+)** que me cuida y guía mis pasos desde el cielo.

A **mis tíos**, Félix, Hugo, Eduardo, Fidel, Ma. Isabel y a **mi padrino** Mávalo. por brindarme su apoyo incondicional y por todos sus consejos.

A **mis primos**, Lizeth Pliego, Yosuel Pliego, Adrián Pliego, Luis Alfonso Zavala, Silvia Zavala, con los que he convivido momentos de felicidad y por estar siempre unidos.

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA .....	II
INDICE DE CUADROS.....	VI
RESUMEN.....	VII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS GENERAL.....	2
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
III. HIPOTESIS.....	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
4.1 Producción mundial y nacional del cultivo de pepino.....	3
4.2 Ácido giberélico.....	3
4.3 La nanotecnología (NT) .....	4
4.4 Importancia de la nanotecnología en los cultivos agrícolas .....	5
4.5 Multidisciplinas involucradas en el desarrollo nanotecnológico .....	6
4.6 Uso de nanopartículas en plantas.....	7
4.7 Nanopartículas empleadas como herbicidas .....	8
4.8 Problemas de toxicidad por el uso de nanopartículas.....	8
4.9 Oxido de magnesio y su efecto en los cultivos .....	9
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
5.1 Ubicación del sitio experimental .....	10
5.2 Material Biológico.....	10
5.2 Tratamientos con AG <sub>3</sub> y NPsMgO.....	10
5.6 Imbibición de la Semilla .....	11
5.7 Siembra en papel Anchor .....	11
VI. VARIABLES EVALUADAS.....	12
6.1 Porcentaje de vigor de germinación.....	12
6.2 Plántulas normales .....	12
6.3 Plántulas de alto vigor.....	12
6.4 Plántulas de bajo vigor.....	13
6.7 Plántulas anormales .....	13
6.8 Semillas sin germinar.....	13



6.9 Longitud de plúmula y radícula .....	13
7.0 Peso seco de la plántula .....	13
7.1 Análisis estadístico .....	14
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
IX. CONCLUSIONES.....	26
X. LITERATURA CITADA.....	27

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la germinación de semilla de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ), por efecto de la aplicación de AG <sub>3</sub> y NPsMgO en laboratorio.....	17
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables obtenidas en la germinación de semilla de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) por el efecto de la aplicación de AG <sub>3</sub> y NPsMgO en laboratorio.....	18
Cuadro 3. Comparación de medias de las variables evaluadas para la germinación de semillas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) tratadas con fitohormona de AG <sub>3</sub> en el laboratorio.....	20
Cuadro 4. Comparación de medias de las variables evaluadas para la germinación de semillas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) tratadas con NPsMgO, en laboratorio....	22
Cuadro 5. Interacción de medias por tratamiento AG <sub>3</sub> y NPsMgO para las variables evaluadas para estimas la germinación de semillas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ).25	

## RESUMEN

### **Comparación de la Respuesta del Vigor, la Germinación y la Acumulación de Materia Seca a la Aplicación de Ácido Giberélico (AG<sub>3</sub>) y de Nanopartículas de Óxido de Magnesio (NPsMgO) en Pepino (*Cucumis sativus*).**

Este trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada a 6 km del sur de Saltillo, Coahuila, México. El objetivo fue evaluar la respuesta de semillas y plántulas de pepino (*Cucumis sativus*), a la aplicación de AG<sub>3</sub> (0, 5 mg/L) y NPsMgO (0, 25, 50, 100, 150, 200 ppm).

Los tratamientos consistieron cada uno en la imbibición de 100 semillas de pepino, las cuales se colocaron sobre papel filtro en cajas de Petri. Al papel filtro se le aplicaron 3 mL de la fitohormona AG<sub>3</sub> y 4 mL de las NPsMgO, de acuerdo con la asignación de tratamientos. El testigo se imbibió con agua destilada. Las cajas de Petri con las semillas tratadas se colocaron en una cámara de ambiente controlado Thermo Scientific por 24 horas, a una temperatura de 25°C, con una humedad relativa de 50% y un fotoperiodo de 16/8 h luz/obscuridad.

Una vez concluido el periodo de inhibición, se realizó la siembra, la cual consistió en colocar 25 semillas por cada repetición entre papel Anchor humedecido con agua destilada, en una hilera con distribución homogénea a lo largo del papel, enseguida se enrolló, dándole forma de taco; posteriormente, se acomodaron dentro de bolsas de polietileno, que después se introdujeron dentro de unos contenedores de plástico y nuevamente se colocaron en la cámara de ambiente controlado.

Las variables evaluadas en el bioensayo fueron las siguientes: porcentaje de vigor germinación, porcentaje de germinación, plántulas de alto vigor, plántulas de bajo

vigor, plántulas anormales, semillas sin germinar, longitud de plúmula, longitud de raíz, peso seco plúmula, y peso seco raíz.

El trabajo de investigación se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 6. Se realizó una comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para establecer el orden de eficiencia de los tratamientos.

Los resultados obtenidos indican que tratar las semillas con  $AG_3$  a 5 ppm, inhibe los procesos fisiológicos relacionados con la germinación. Sin embargo, tratar las semillas con NPsMgO, promueve el proceso de vigor germinación, germinación y plántulas de alto vigor. Esto sugiere que las NPsMgO tienen potencial para ser utilizadas como promotoras de vigor y crecimiento de plántulas, puesto que mostraron un efecto positivo.

**Palabras clave:** Nanotecnología, nanopartículas, ácido giberélico, fisiología de semillas.

## I. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza perteneciente a la familia de las cucurbitáceas; se consume fresco e industrializado y representa una alternativa de producción para el agricultor debido a su elevado índice de consumo para el mercado interno y la exportación (Casilimas *et al.*, 2012).

En México, el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) ocupa el segundo lugar en la importancia de las hortalizas exportadas (FAO, 2010).

En este contexto, existen herramientas del ramo de la ciencia y la tecnología que, por su impacto en trabajos experimentales de investigación científica, han destacado, entre estas las nanociencias (NCs) y la nanotecnología (NT) (Mendoza y Rodríguez, 2007).

La NT es una ciencia aplicada a muchos campos de investigación, e implica el uso de materiales a un nivel considerablemente pequeño, a millonésimas partes de un milímetro, confiriendo a los materiales a dicha escala, propiedades diferentes que pueden acarrear consigo una serie de beneficios potenciales y revolucionarios en comparación con objetos de mayor escala (Windebank *et al.*, 2004).

La NT se considera una herramienta de la ciencia innovadora (Sánchez *et al.*, 2009), que puede contribuir al logro de retos importantes como el desarrollo de estrategias encaminadas al abastecimiento de la demanda alimentaria, proyectando que su aplicación en la producción agrícola puede propiciar un incremento factible en el rendimiento de los cultivos.

Actualmente, las nanopartículas (NPs) ya sean metálicas o derivadas del carbón pueden emplearse en diversos aspectos de la agricultura para generar incrementos en la eficiencia de los insumos, y para reducir significativamente las cantidades de productos por aplicar (Singh *et al.*, 2015).

Varios estudios han demostrado que diferentes tipos de NPs, promueven la germinación (Adhikari *et al.*, 2016) y el crecimiento de plántulas, flores y frutos (Chen, 2014).

## II. OBJETIVOS GENERAL

Evaluar la respuesta de variables asociadas con los procesos de germinación y desarrollo de plántula, a la aplicación de  $AG_3$  y nanopartículas de óxido de magnesio (NPsMgO) en diferentes concentraciones, en semillas de pepino (*Cucumis sativus L.*).

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la fitohormona  $AG_3$  en la germinación, vigor, y desarrollo de plántula, en pepino (*Cucumis sativus L.*)
- Conocer el efecto de la aplicación a semillas de NPsMgO en diferentes concentraciones, en variables relacionadas con la germinación y el vigor de plántulas, en pepino (*Cucumis sativus L.*)
- Determinar si existe interacción entre la aplicación de  $AG_3$  y de NPsMgO a semillas de pepino (*Cucumis sativus L.*), durante el proceso de imbibición.

## III. HIPOTESIS

Hi: La aplicación de  $AG_3$  y de NPsMgO a semillas, estimulará el proceso de germinación, la expresión del vigor, y el desarrollo de las plántulas de pepino (*Cucumis sativus*).

Ho: La aplicación de  $AG_3$  y de NPsMgO a semillas, no estimulará el proceso de germinación, la expresión del vigor, y el desarrollo de las plántulas de pepino (*Cucumis sativus*).

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Producción mundial y nacional del cultivo de pepino

En 2019 la producción total de pepino fue de 87,805,086 t, con una superficie cosechada de 2,231,402 ha, con un rendimiento promedio mundial de 39.3 toneladas por hectárea (FAOSTAT, 2019). En el mismo año, China produjo el 80.1 %, y México el 0.9 %, mientras que USA produjo el 0.8 %.

### 4.2 Ácido giberélico

Las giberelinas son fitorreguladores que son sintetizados en muchas partes de la planta, pero más especialmente en áreas de crecimiento activo como los embriones o tejidos meristemáticos. Se han identificado diversos AG y se denominan sucesivamente GA<sub>1</sub>, GA<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>, etc. (Rojas *et al.*, 1985). El GA<sub>3</sub> es el único de uso comercial, y se conoce como ácido giberélico. Las giberelinas actúan fundamentalmente sobre el RNA desinhibiendo genes. En ausencia de giberelinas, se reprime la expresión de dos genes: el que codifica para la enzima alfa-amilasa y los genes para el alargamiento normal de los entrenudos de la plúmula. Existe un receptor para la giberelina en la capa de aleurona de la semilla. La enzima alfaamilasa, toma parte en la desintegración de las reservas de almidón durante la germinación de las semillas. Debido a esta función, es bien conocido su uso como promotor o inductor de la germinación en diversos tipos de plantas (Lewak *et al.*, 1977; Bewley *et al.*, 1994; Baskin *et al.*, 1998; Tigabu *et al.*, 2001). Para las cactáceas, los efectos reportados que las giberelinas tienen sobre la germinación son escasos y muy desemejantes.

### 4.3 La nanotecnología (NT)

La NT ha estado presente en la civilización desde la antigüedad (Hulla *et al.*, 2015). Sus orígenes se remontan a la investigación generada por el físico estadounidense Richard Phillips Feynman, quien ganó el premio Nobel de Física, ya que en 1959 impartió la conferencia “Hay mucho sitio en el fondo”, ante la Sociedad Americana de Física. Él propuso manipular y fabricar artefactos con la precisión de unos pocos átomos, sin embargo, sus ideas permanecieron estancadas por mucho tiempo.

La nanotecnología (NT) se considera una innovación científica que estudia, diseña, crea, sintetiza, manipula, maneja opera y aplica materiales, aparatos y sistemas a nanoescala (Ruiz Torres *et al.*, 2016). Estas estructuras denominadas nanopartículas (NPs) son tan pequeñas que caen dentro del régimen de tamaño 1100 nm (Ali *et al.*, 2014).

La NT brinda una extensa gama de oportunidades de aplicación, es considerada una tecnología con un auge importante para diferentes sectores (Patel *et al.*, 2014). Que pueden impactar revolucionando el sector salud, textil, materiales, información de las tecnologías de la comunicación y de la energía (Prasad *et al.*, 2014).

Di Sia (2017) señala que el papel de la NT ha adquirido cada vez más importancia en nuestra sociedad, ya que ha marcado el comienzo de una nueva era, y representa un desafío científico y tecnológico que conduce al desarrollo sostenible, mediante perspectivas para el desarrollo social y económico, a través de líneas en el campo de la eco-innovación como son: la obtención de nuevos materiales, producto de la investigación menos peligrosos y reciclables, químicos con mayor durabilidad, plásticos biodegradables y polímeros nuevos multifuncionales.



#### 4.4 Importancia de la nanotecnología en los cultivos agrícolas

La NT tiene el potencial de proporcionar soluciones para los problemas agrícolas fundamentales causados por el manejo de fertilizantes convencionales, ya que permiten generar nanofertilizantes y nanopromotores del crecimiento; su uso promete menos daños colaterales al medio ambiente y salud humana (Pereira *et al.*, 2014). La NT permite detectar la presencia de las plagas y enfermedades contaminación de alimentos y aplicar la cantidad correcta de nutrientes y pesticidas que promuevan la productividad, al mismo tiempo que garantizan la seguridad del medio ambiente y una mayor eficiencia en el uso de insumos agrícolas (Nuruzzaman *et al.*, 2016).

Prasad *et al.* (2017) mencionan otros benéficos potenciales de la NT en la agricultura, como el mejoramiento en la calidad y seguridad de los alimentos, reducción de los insumos agrícolas y el enriquecimiento de los nutrientes a nanoescala en el suelo.

A nivel agrícola la investigación se ha enfocado en el control de fitopatógenos. Estudios demuestran el efecto negativo que pueden tener las NPs en el crecimiento de microorganismos. Por ejemplo, se ha observado que la actividad fungicida del azufre es más efectiva en su forma de NPs, que, en su forma de micropartículas, según un estudio realizado por Samrat *et al.* (2011), quienes observaron su efecto en hongos del tipo *Aspergillus niger* y *Fusarium oxysporum*, donde las NPs inhibieron el crecimiento, incrementando la inhibición con el aumento en la concentración de NPs, y resultó inversamente proporcional al aumento en el tamaño de la partícula

En un estudio realizado para determinar el efecto de NPs de plata en bacterias Gram positivas, Gram negativas y hongos saprofitos, se observó que la eficiencia antimicrobiana era mayor con las NPs de plata más pequeñas. Además, se impregnaron NPs de plata en tejidos de algodón, pinturas de agua y purificadores de agua. Se determinó que, aunque se daba aglomeración de las NPs en ciertos puntos, se presentaba actividad antifúngica y antibacteriana pronunciada en

*Aspergillus niger*, *Penicillium phoeniceum* y *Staphylococcus aureus* (Khaydarov, 2009).

Coppo (2009) establece que la utilidad de insumos agrícolas en nanoescala, entre las que destaca: la mejora de la producción, la agricultura de precisión, los plaguicidas, los herbicidas, la reducción de uso de agua de riego, fertilizantes y fitosanitarios, así como reducción de niveles de agua, nitrógeno, nutrientes, plagas, polen y agroquímicos.

La nanotecnología puede usarse para formular nanocápsulas para transportar pesticidas, fertilizantes y otros agroquímicos, transporte de hormona de crecimiento y vacunas, nanosensores para el monitoreo de las condiciones de suelo y del crecimiento de la cosecha, nanochips para identificación, nanosensores para la detección de patógenos, animales o vegetales y como NPs para transportar ADN a las plantas (ingeniería genética) (Yáñez *et al.*, 2009).

#### **4.5 Multidisciplinas involucradas en el desarrollo nanotecnológico**

La NT ha evolucionado a través del tiempo mediante la aportación interdisciplinaria de ideas y propuestas emanadas de la biología, química, física, ingeniería y la medicina; donde se conjuntan estrategias que están permitiendo diseñar, sintetizar y fabricar materiales y dispositivos electrónicos bajo pedido especial. Estos materiales tienen propiedades mejoradas o completamente nuevas (Smith y Lyshevski, 2016).

La biología y biotecnología son ciencias que tiene una función clave en la NT. Por ejemplo, sabiendo que una salamandra se adhiere a la pared gracias a la presencia de nanoestructuras en sus dedos es posible diseñar nuevos adhesivos usando esa tecnología. Estos conocimientos han permitido idear tejidos inteligentes que no se mojan y que se usan en modernas e innovadoras prendas de vestir (Indrová *et al.*, 2015).

#### 4.6 Uso de nanopartículas en plantas

Reportes recientes señalan que las NPs metálicas mejoran significativamente el crecimiento de las plantas e incrementan la productividad agrícola (Liu y Lal, 2015). Las NPs debido a sus características fisicoquímicas, pueden modular el estado redox y el cambio de la germinación de las semillas, el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas (Mukherjee *et al.*, 2009).

La aplicación de NPS en dosis bajas estimula la germinación de la mayoría de las especies, sin embargo, esta respuesta depende de la concentración y el genotipo (Hatami *et al.*, 2014).

Estudios actuales señalan el prometedor futuro de la aplicación de NPs como mejoradoras de la germinación y esto podría atribuirse a que dependiendo de su tamaño puedan entrar en las células de la planta desde el apoplasto, cruzando la membrana plasmática a través del endocitosis; posteriormente pueden trasladarse de una parte a otra a través del flujo simplástico (Rico *et al.*, 2011).

Recientes investigaciones mencionan que las NPs se absorben fácilmente durante la etapa de imbibición en el proceso de germinación de las semillas, y tienen la capacidad de generar cambios metabólicos que ocurren durante la germinación, factor descrito por Delouche (2002), como el proceso fisiológico mediante el cual emergen y desarrollan, a partir de un embrión, las estructuras esenciales para la formación de una planta normal en condiciones favorables.

Hartmann y Kester (1999) dicen que la germinación es un proceso de la reactivación de la maquinaria metabólica de la semilla y la emergencia de la radícula y de la plúmula, que conducen a la producción de una plántula.

#### **4.7 Nanopartículas empleadas como herbicidas**

Uno de los problemas típicos en la agricultura, es la presencia de maleza, fuente principal de hospederos para la propagación de plagas que son vectores de virus y enfermedades. Para combatir este problema se ha adaptado por emplear nanoherbicidas (Mehrazar *et al.*, 2015), dado algunas NPs tienen como objetivo específico de destruir malezas, se logra evitar competencia con las plantas cultivadas para conseguir mayores rendimientos (Prasad, *et al.*, 2014). Los nanoherbicidas se están desarrollando para hacer frente a los problemas de manejo de malezas perennes y el banco de semillas de suelo. La remediación de la contaminación ambiental provocada por residuos industriales y productos químicos agrícolas como pesticidas y residuos de herbicidas es posible usando nanopartículas metálicas (Yadav *et al.*, 2015).

Las aplicaciones actuales de diversas NPs como herbicidas son relativamente pocas, debido a que apenas están surgiendo resultados de investigación. Sin embargo, una serie de productos y aplicaciones en los sectores agrícolas impulsados por la NT han ido aumentando constantemente en los últimos años y se prevé que crezca en el futuro para apoyar de manera importante el desarrollo de la agricultura ecológica (Kumar *et al.*, 2015).

#### **4.8 Problemas de toxicidad por el uso de nanopartículas**

Las aplicaciones foliares mediante el sistema de riego de las diversas NPs puede provocar fitotoxicidad, así como afectar al suelo y el agua por su bioacumulación por lo que se debe tener en cuenta cuales son las dosis óptimas y con qué frecuencia aplicar a los cultivos. Los mecanismos de nanotoxicidad siguen siendo desconocidos, sin embargo, están estrechamente relacionados con la dosis, el nanoproducto, composición, estructura química, tamaño de partícula y su área superficial (Aslani *et al.*, 2014).

Las toxicidades de las NPs pueden atribuirse en las siguientes dos acciones: toxicidad química en base a la liberación de iones tóxicos y estrés o estímulos

causados por la superficie, el tamaño y/o forma de las partículas, se ha confirmado que la solubilidad de las NPs de óxido afecta significativamente la respuesta de las plantas (Zhang *et al.*, 2015).

#### **4.9 Óxido de magnesio y su efecto en los cultivos**

El óxido de magnesio (MgO), es un material que contiene Mg en una concentración de 60%. Su capacidad de neutralizar la acidez es mucho más elevada que otros materiales, pero por su poca solubilidad en el agua, debe ser molido finamente para que controle adecuadamente la acidez del suelo. Es una fuente excelente de Mg en suelos ácidos que frecuentemente tienen deficiencia de este nutriente (Espinoza *et al.*, 1999).

El Mg es un elemento esencial para el desarrollo de cualquier cultivo, influenciando directamente su productividad. Es uno de los macronutrientes más exigidos en el metabolismo vegetal, llegando a presentar hasta un 3% de materia seca. Como elemento central de la molécula de clorofila, el Mg está directamente ligado a la producción de energía, volviendo todas las demás funciones metabólicas dependientes de su actuación (Sequi, 2004).

Quiminet (2007) indica que el Mg, como parte del grupo de los nutrientes esenciales para las plantas, es el elemento constituyente principal de la molécula de la clorofila, y es fundamental en la fotosíntesis, es importante en el llenado de granos y frutos, el Mg favorece la absorción del fósforo, está muy asociado con el calcio y el potasio, participa como activador enzimático. El Mg es muy móvil en el suelo, llega hasta la raíz principalmente por difusión, pero también por flujo en masa. La planta lo absorbe como  $Mg^{2+}$ . La cantidad de magnesio que se mueve por difusión está relacionada con la intensidad del elemento en la solución del suelo, con las propiedades físicas, textura, porosidad, humedad del suelo, pH y la capacidad de intercambio catiónico.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada a 6 km al sur de Saltillo, Coahuila, México.

### 5.2 Material Biológico

Se utilizaron semillas de pepino (*Cucumis sativus L.*) variedad Poinsett 76, proporcionada por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### 5.2 Tratamientos con AG<sub>3</sub> y NPsMgO

Se prepararon suspensiones con AG<sub>3</sub> y NPsMgO en diferentes concentraciones. Los tratamientos fueron AG<sub>3</sub> (0, 5 mg/L) y NPsMgO (0, 25, 50, 100, 150 y 200 mg/L), mezcladas con agua destilada. Posteriormente se dispersaron en un sonicador marca LabnetVX100, por un tiempo de 10 minutos.

## **5.6 Imbibición de la Semilla**

Para determinar el efecto de la aplicación del AG<sub>3</sub> y de NPsMgO en la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de pepino (*C. sativus L.*), se establecieron 12 tratamientos con cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. Cada tratamiento consistió en la imbibición por 24 h de 100 semillas de pepino (*C. sativus L.*), las cuales se colocaron sobre papel filtro en cajas de Petri, con la aplicación de una combinación de tratamientos: AG<sub>3</sub> (0, 5 mg/L) y NPsMgO (0, 25, 50, 100, 150 y 200 mg/L). El papel filtro se humedeció con 3 mL de la fitohormona AG<sub>3</sub> y 4 mL de las NPsMgO, de acuerdo con la asignación de tratamientos. El testigo se humedeció con agua destilada. Posteriormente, las cajas Petri con las semillas tratadas se colocaron en una cámara de ambiente controlado Thermo Scientific por 24 horas, a una temperatura de 25°C, con una humedad relativa de 50% y un fotoperiodo de 16/8 h luz/obscuridad.

## **5.7 Siembra en papel Anchor**

Una vez concluido el periodo de inhibición, se realizó la siembra, la cual consistió en colocar 25 semillas por cada repetición sobre el papel Anchor humedecido con agua destilada, en una hilera con distribución homogénea a lo largo del papel. En seguida se cubrieron las semillas con otra hoja de papel Anchor previamente humedecido, y se enrolló, dándole forma de taco; posteriormente, se acomodaron dentro de bolsas de polietileno, que después se introdujeron dentro de unos contenedores de plástico y nuevamente se colocaron en la cámara de ambiente controlado.

## **VI. VARIABLES EVALUADAS**

### **6.1 Porcentaje de vigor de germinación**

Para la evaluación de esta variable se realizó un primer conteo a los cinco días después de la siembra, se determinaron las plántulas normales (plántulas con plúmula y raíz desarrollado, cada estructura debía tener por lo menos dos veces el tamaño de longitud de la semilla), con esta evaluación se determinó el vigor de germinación de la semilla. El resultado fue expresado en porcentaje.

### **6.2 Plántulas normales**

Esta variable se evaluó a los ocho días después de la siembra, consistió en un segundo conteo de plántulas normales (plántulas que poseen todas sus estructuras (radícula y vástago) sin ninguna anomalía). El porcentaje fue expresado en porcentaje. Esta variable representa el porcentaje de germinación.

### **6.3 Plántulas de alto vigor**

Se consideraron de alto vigor aquellas plántulas que tuvieron la capacidad de crecimiento y que cumplieron con una longitud de plúmula y raíz primaria vigorosa y larga con sus pelos radiculares, con un hipocótilo largo y vigoroso, sin lesiones que alcancen su parte central del tejido conductor y al menos con un cotiledón.



#### **6.4 Plántulas de bajo vigor**

Se consideraron de bajo vigor aquellas plántulas que tuvieron su capacidad de crecimiento, pero no cumplieron con una longitud de plúmula y raíz primaria vigorosa y que las estructuras de las plántulas pudieran tener algún daño ligero.

#### **6.7 Plántulas anormales**

Se consideró como plántulas anormales a aquellas con raíz primaria dañada sin desarrollo y con poco vigor; sin raíces secundarias, cotiledones y hojas deformes, necróticas o dañadas. El resultado fue expresado en porcentaje.

#### **6.8 Semillas sin germinar**

Se realizó un conteo de todas las semillas que no lograron germinar por causa de ciertos factores. Se resultado fue expresado en porcentaje.

#### **6.9 Longitud de plúmula y radícula**

Se tomaron en cuenta todas las plantas normales de alto y bajo vigor contabilizadas para determinar la variable porcentaje de germinación, los resultados obtenidos se expresaron en centímetro; se midió del cuello de la plántula hasta la yema apical de la misma para longitud de plúmula, y del cuello de la planta hasta el ápice de la raíz principal para longitud de radícula.

#### **7.0 Peso seco de la plántula**

Al finalizar la evaluación de las demás variables, con una navaja desinfectada se cortó las plántulas normales por repetición separando la plúmula de la radícula, para después ponerlas en unas bolsas de papel tipo estraza a una estufa de secado de

la marca Arsa, por un lapso de 24 horas, a una temperatura de 72°C. Transcurrido el tiempo de las muestras dentro de la estufa después del secado las muestras se colocaron en un desecador con el fin de evitar que tomaran humedad en el ambiente después se procedió al peso seco en una balanza analítica AND-HR200, el resultado obtenido fue expresado en mg/plántula.

### **7.1 Análisis estadístico**

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (6 x 2). Para detectar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se realizó una comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para establecer el orden de eficiencia de los tratamientos y determinar el efecto del  $AG_3$  y de las  $NPsMgO$ .

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Cuadro 1), del bioensayo de germinación de semillas de pepino, al ser sometidas a diferentes concentraciones de  $AG_3$  y de  $NPsmgO$ , se encontró lo siguiente: en la fuente de variación concentración de  $AG_3$ , se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables vigor de germinación, porcentaje de germinación, plántulas de alto vigor, y plántulas anormales.

Sin embargo, para los tratamientos con  $NPsmgO$  (0, 25, 50, 100, 150 y 200 ppm) se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en las variables porcentaje de germinación y plántulas de bajo vigor, mientras que en plántulas anormales fue solo significativo ( $P \leq 0.05$ ).

Por otro lado, en la interacción de tratamientos  $AG_3 \times NPsmgO$ , se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), en las variables porcentaje de germinación, plántulas de alto vigor, plántulas de bajo vigor, y solo fue significativo ( $P \leq 0.05$ ) para plántulas anormales, mientras que, para el resto de las variables estudiadas no se obtuvo valores significativos al ser sometidas a los diferentes tratamientos.

En el Cuadro 2 del bioensayo de germinación de semilla de pepino (*Cucumis sativus*), para las variables evaluadas, se encontró que las semillas tratadas con  $AG_3$  al germinar presentaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables vigor de germinación, y longitud de plúmula. Por otro lado, en la concentración de  $NPsmgO$  también hubo diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) para longitud de plúmula, y solo significativa ( $P \leq 0.05$ ) para longitud de raíz.

Sin embargo, para la interacción AG<sub>3</sub> x NPsMgO, hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la variable longitud de raíz, y diferencias  $P \leq 0.05$  para la variable longitud de plúmula.

Lo anterior hace referencia de manera clara, que el AG<sub>3</sub> y las NPsMgO, son factores esenciales que influyen en la expresión de algunas de las variables fisiológicas, para el vigor germinación, germinación de plántulas.

Los resultados significativos encontrados en las distintas variables podrían deberse a la composición, concentración, tamaño, propiedades físicas y químicas de las NPsMgO y al efecto del AG<sub>3</sub>, así como el genotipo en el cual se realizan las aplicaciones de NPsMgO, (Ma *et al.*, 2010; Hatami *et al.*, 2014; Khodakovskaya *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la germinación de semilla de pepino (*Cucumis sativus*), por efecto de la aplicación de AG<sub>3</sub> y NPsMgO en laboratorio.

F.V	GL	VIGOR (%)	GERM (%)	PAV (%)	PBV (%)	SSG (%)	PA (%)
AG <sub>3</sub>	1	1875.00**	578.70**	948.14**	45.37NS	59.25NS	675.00**
NPS	5	109.26NS	314.64**	171.50NS	189.19**	23.75NS	242.16*
AG <sub>3</sub> * NPS	4	306.31NS	306.49**	739.09**	156.56**	18.79NS	208.55*
ERROR	27	219.90	104.54	89.38	50.91	29.82	68.00
C.V (%)		21.31	13	14.48	53.37	112.74	53.29

\*\*=Diferencia altamente significativa al 0.01, \*= Significativo, NS= No significativa, F. V= Fuentes de variación, GL=Grados de libertad, PAV= Plántula de alto vigor, PBV= Plántula de bajo vigor, SSG= Semillas sin germinar, PA=Plántulas anormales, AG<sub>3</sub>= Acido giberélico, NPs= Nanopartículas, C. V= Coeficiente de variación.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables obtenidas en la germinación de semilla de pepino (*Cucumis sativus*) por efecto de la aplicación de AG<sub>3</sub> y NPsMgO.

F.V	GL	PST (%)	PSR (%)	LP (%)	LR (%)
AG <sub>3</sub>	1	0.015NS	0.11NS	123.17**	0.09NS
NPs	5	20.74NS	0.14NS	31.47**	25.62*
AG <sub>3</sub> * NPS	4	5.15NS	0.25NS	23.69*	78.38**
Error	27	11.54	0.29	7.48	8.48
C.V (%)		35.06	50.45	36.58	32.74

\*\* = Diferencia altamente significativa (  $P \leq 0.01$  ), \* = Significativo, NS = No significativo, F. V= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, PST= Peso seco plúmula, PSR= Peso seco raíz, LP= Longitud de plúmula, LR= Longitud de raíz, AG<sub>3</sub>= Acido giberélico, NPS= Nanopartículas, C. V= Coeficiente de variación.

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias para tratamientos con AG<sub>3</sub>, para las variables evaluadas, se encontró que las semillas tratadas con la concentración testigo (0 ppm), superó el vigor de germinación en comparación con 5ppm, lo anterior indica que el uso de AG<sub>3</sub> a esta concentración, inhibe la expresión del vigor. El vigor se relaciona con la velocidad y uniformidad de germinación y crecimiento de plántulas.

La ISTA (2004) lo define como la suma total de aquellas propiedades que determinen el nivel de capacidad y actividad de la semilla de germinación, en un amplio rango de ambientes. Sin embargo, la AOSA (1983) define al vigor, como la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el potencial para una uniforme emergencia y desarrollo de plántulas normales bajo condiciones de campo.

Según Delouche (2010), el vigor es el principal componente de calidad afectado por el proceso de deterioro y es un atributo exclusivo de las semillas que son capaces de germinar, razón por el cual tiene un papel importante en el proceso de germinación, y sus efectos determinan su comportamiento de la semilla durante la emergencia de plántulas, generando un crecimiento y desarrollo de calidad.

El incremento en el porcentaje de vigor puede atribuirse principalmente a la penetración de nanomateriales aplicados en la semilla, que permite aumentar la imbibición de agua y micronutrientes, acelerando la degradación de reservas, y beneficiando a las primeras etapas del proceso germinativo (Ruiz Torres *et al.*, 2016).

Por otro lado, el porcentaje de germinación mostró resultados estadísticamente iguales, entre el tratamiento con 0 ppm AG<sub>3</sub> (81 %) y con 5 ppm (78 %), estos resultados también muestran que la semilla presentaba vigor de germinación intermedio con 78% (0 ppm) y 62% (5 ppm).

La aplicación de AG<sub>3</sub>, mostró un negativo fisiológico en la variable de plántulas de alto vigor, ya que en la concentración testigo (0 ppm) se obtuvo 70 %, y con la aplicación de 5 ppm, se redujo significativamente a 62 %.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables evaluadas para la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*) tratadas con fitohormona de AG<sub>3</sub> en el laboratorio.

Tratamiento	Vigor	Germinación	PAV	PBV	SSG	PA	PST	PSR
AG <sub>3</sub> (ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(cm)	(cm)
0	78 a	81 a	70 a	11 a	6 a	13 a	9.59 a	1.043 a
5	62 b	78 a	62 b	16 a	3 a	18 a	9.44 a	1.106 a
Media	70	79	65	13	5	15	9.51	1.07
Tukey	9.88	6.81	6.30	4.75	3.64	5.49	2.26	0.36

Valores con la misma literal en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05%); AG<sub>3</sub>=Ácido giberélico, PPM=Partes por millón, PAV= Plántulas de alto vigor, PBV= Plántulas de bajo vigor, SSG= Semillas sin germinar, PA=Plántulas anormales, PST= Peso seco de plúmula, PSR= Peso seco raíz.



Las variables estudiadas, porcentaje de germinación, plántulas de bajo vigor, semillas sin germinar, plántulas anormales, peso seco plúmula y peso seco raíz, no mostraron diferencias estadísticas entre sí, con la aplicación con AG<sub>3</sub>. El efecto del AG<sub>3</sub> aplicado en semillas no fue tan sobresaliente como lo encontrado por Fuentes *et al.*, (1996). En este sentido, Vásquez *et al.*, (2006) mencionan que la respuesta de las plantas con los reguladores de crecimiento depende del estado de desarrollo de la planta y sus dosis de aplicación.

En el Cuadro 4 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas por concentración de NPsMgO, cuya respuesta fue variable, ya que para vigor germinación no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, se observó un 75% de vigor de germinación al tratar las semillas con 25 ppm, empero, no estadísticamente diferente al resto de los tratamientos.

Por otro lado, en el porcentaje de germinación al ser sometidas las semillas a una concentración de 150 ppm NPsMgO, se obtuvo 94%; al compararlo con la concentración testigo (0 ppm) y el tratamiento 100 ppm, ambos mostraron un 74%, siendo estadísticamente diferentes a 150 ppm.

Para el resto de las variables, plántulas de alto vigor, semillas sin germinar, plántulas anormales, y peso seco radícula, se encontró que las diferentes concentraciones de NPsMgO aplicadas, presentaron un efecto similar, posicionándose todas dentro de un mismo grupo estadístico.

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables evaluadas para la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*) tratadas con NPsMgO, en el laboratorio.

Tratamiento	Vigor	Germinación	PAV	PBV	SSG	PA	PST	PSR
NPs (ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(cm)	(cm)
0	63 a	74 b	64 a	10 ab	6 a	19 ab	12.26a	1.22 a
25	75 a	78 ab	73 a	5 b	3 a	19 a	9.02 ab	0.98 a
50	73 a	83 ab	62 a	21 a	6 a	11 ab	8.62 ab	1.16 a
100	71 a	74 b	61 a	13 ab	9 a	17 ab	10.14 ab	0.97 a
150	60 a	94 a	75 a	19 a	2 a	4 b	5.98 b	0.77 a
200	72 a	79 ab	64 a	15 ab	3 a	18 ab	19.51 ab	1.12 a
Media	69	81	67	14	5	14	10.92	1.03
Tukey	26.92	18.56	17.16	12.95	9.91	14.97	6.16	0.98

Valores con la misma literal en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05%); NPs= Nano partículas, PAV= Plántulas de alto vigor, PBV= Plántulas de bajo vigor, SSG= Semillas sin germinar, PA= Plántulas anormales, PST= Peso seco plúmula, PSR= Peso seco raíz.

Los resultados obtenidos en este trabajo, en comparación con lo mencionado por Sedghi *et al.* (2013), en semillas de soja *Glycine max*, al aplicar diferentes dosis de NPsZn, se promovió efectos significativos para la germinación y el crecimiento de plántulas, esto hace referencia a que la aplicación del óxido de zinc que es un micronutriente similar al óxido de magnesio es propició al aumento en el porcentaje de germinación.

El Mg es un elemento esencial para el desarrollo de cualquier cultivo, influenciando directamente su productividad. Es uno de los macronutrientes más exigidos en el metabolismo vegetal, llegando a presentar hasta un 3% de materia seca. Como elemento central de la molécula de clorofila, el Mg está directamente ligado a la producción de energía, volviendo todas las demás funciones metabólicas dependientes de su actuación (Sequi, 2004).

El magnesio es absorbido por las plantas como un catión divalente ( $Mg^{2+}$ ), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg. El magnesio tiene funciones importantes dentro de la planta que es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos en las plantas. Estos sistemas se tienen la fructosa 1,6 difosfatasa, la cual regula la síntesis de almidón. Rodríguez, (2004).

En el Cuadro 5 se presenta la interacción de tratamientos ( $AG_3$  x  $NP_sMgO$ ), para las variables evaluadas para estimar la germinación de semillas de pepino y el desarrollo de plántulas. Al comparar las medias se observó mejor respuesta cuando no se aplicó  $AG_3$ . Por ejemplo, para la variable porcentaje de vigor de germinación, en promedio se obtuvo 88 % sin la aplicación de  $AG_3$  y 62 % con la aplicación de  $AG_3$ . Esto es, se produjo reducción en el vigor, al tratar semillas con  $AG_3$ . Un comportamiento similar se observó para las variables plántulas de alto vigor, peso seco de plúmula, y peso seco de radícula.

En general, en la interacción de tratamientos ( $AG_3$  y  $NP_sMgO$ ) para las variables evaluadas, se intuye que, en próximos trabajos, se debe usar concentraciones menores a 5.0 ppm, para tratar de potenciar el efecto de las  $NP_sMgO$ .

Cuadro 5. Interacción de medias por tratamientos AG<sub>3</sub> y NPsMgO para variables evaluadas para estimar la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*).

AG <sub>3</sub> (ppm)	NPs (ppm)	Vigor (%)	Germinación (%)	PAV (%)	PST (mg/L <sup>-1</sup> )	PSR (mg/L <sup>-1</sup> )
0	0	77 ab	81 a	75 b	11.35 a	1.03 ab
	25	84 a	87 a	85 a	9.02 b	0.75 c
	50	75 ab	81 a	52 d	8.34 c	1.32 a
	100	71 b	72 b	60 c	9.86 b	1.05 ab
	200	81 a	83 a	72 b	11.08 a	1.13 a
Media		88	81	70	9.93	1.056
5	0	49 c	66 c	52 b	13.17 a	1.41 a
	25	56 b	58 c	48 c	9.01 bc	1.44 a
	50	71 a	85 ab	70 a	8.83 c	1.04 ab
	100	72 a	77 b	63 ab	10.51 b	0.87 b
	150	60 b	93 a	75 a	5.98	0.77 c
	200	65 ab	76 b	58 b	8.33 c	1.11 ab
Media		62	76	61	9.30	1.106

AG<sub>3</sub>= Ácido giberélico, NPs= Nanopartículas, PPM= Partes por millón PAV=Plántulas de alto vigor, PST= Peso seco de plúmula, PSR= Peso seco raíz.

## **IX. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos permiten concluir que para aplicar AG<sub>3</sub> a semillas de pepino (*Cucumis sativus*), se debe usar en concentraciones menores a 5 ppm, con la finalidad de potenciar el efecto de las NPsMgO.

Las NPsMgO actuaron de forma positiva durante el proceso de germinación, mostrando mejores resultados en las variables vigor de germinación, porcentaje de germinación, y plántulas de alto vigor.

Para obtener un resultado promotor en la interacción de tratamientos, se deberá aplicar AG<sub>3</sub> en concentraciones menores.

Las NPsMgO pueden ser una opción como agroinsumo promotor del vigor de germinación, germinación y crecimiento de plántulas.

## X. LITERATURA CITADA

Adhikari, T., Kundu, S., & Rao, A. 2016. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. *Journal of Plant Nutrition*, 39(1), 136-146.

Ali, M. A., I. Rehman, A. Iqbal, S. Din, A. Q. Rao, A. Latif, T. R. Samilullah, S. Azam, and T. Husnain. 2014. Nanotechnology: A new frontier in agriculture. *Advancements in Life Sciences*. 1(3): 129-138.

Aslani, F., Bagheri, S., Muhd, N., Shukor, A., Golestan, F., & Baghdadi, A. (2014). Effects of engineered nanomaterials on plants growth: An Overview. *The Scientific World Journal*, 2014(2014), 28.

Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32. The handbook of official Seed. United States of America. p. 88.

Barak, P., and P. Helmke. 1993. The Chemistry of zinc. In: *Zinc in Soil and Plants*. Kluwer Academic Publishers. pp.1-13.

Baskin CC & Baskin JM. 1998. *Seeds- Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, USA.

Bewley JD & Black M. 1994. *Seeds-Physiology of Development and Germination*. 2nd edition. Plenum Press, NY.

Chen, L. 2014. Sweet sugar transporters for phloem transport and pathogen nutrition. *New Phytologist*, 201(4), 1150-1155.

Coppo, J. A. 2009. Nanotecnología, medicina veterinaria y producción agropecuaria. *Rev. Vet.* [Revista en línea], 20: 1. Pp. 61-71.

Delouche, J. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seed News* 6 (6).  
Mississippi State University, EUA. En:  
[http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66\\_esp.shtml](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66_esp.shtml).  
Consulta: Enero 2018.

Espinosa J.; Molina E. 1999 Acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute IPNI. visitado en la web:  
[http://nla.ipni.net/articles/NLA0072EN/\\$FILE/Acidez.pdf](http://nla.ipni.net/articles/NLA0072EN/$FILE/Acidez.pdf)).

FAOSTAT, 2010. Consultado de. <https://blogagricultura.com/estadisticas-pepinoproduccion/.com>.

Fuentes, FV; Rodríguez, MN; Rodríguez, FC. 1996b. Sobre la germinación de *Stephania rotunda* Lour. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 1(2):11-14.

Harmann H. T. y D. E. Kester. 1999. Propagación de plantas. 2 da Edición Editorial CECSA. Mexico. D.F. pp. 138-140.



Hatami, M., M. Ghorbanpour, and. H. Salehiarjomand. 2014. Nano-anatase TiO<sub>2</sub> modulates the germination behavior and seedling vigourity of some commercially important medicinal and aromatic plants. *J. Biol. Environ, Sci.* 8(22):53-59.

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

Indrová, K., Prošek, Z., Topič, J., Ryparová, P., Nežerka, V., & Tesárek, P. (2015). Mechanical properties of PVA nanofiber textiles with incorporated nanodiamonds, copper and silver ions. *Acta Polytechnica*, 55(1), 14-21.

International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International rules for seed testing. Switzerland.

Khaydarov, R.R., Khaydarov, R.A., Gapurova, O., Estrin, Y., Evgrafova, S., Scheper, T., Cho, S.Y. 2009. "Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles Synthesized by an Electrochemical Method." *Nanostructured Materials for Advanced Technological Applications*. p.p. 215-218.

Kumar, R., Yadava, Y., Yadav, A., Singh, K., Mishra, J., Yadav, R. Kumar, S., Sinha, N., & Mohan, M. (2015). Nanotechnology and its future prospective for

sustainable agriculture. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 28(2), 101-109.

Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139.

Ma, X., J. Geiser-Lee, Y. Deng, A. Kolmakov. 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Sci. Total, Environ.* 408(16):3053–3061. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.031.

Mehrazar, E., Rahaie, M., & Rahaie, S. (2015). Application of nanoparticles for pesticides, herbicides, fertilizers and animals feed management. *International Journal of Nanoparticles*, 8(1), 1-19.

Mendoza Uribe. G., y J. L Rodríguez López. 2007. La nanociencia y la nanotecnología: Una nueva revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*. Scielo 15 (29): 161-186.

Moreno Velázquez, D., Hernández Hernández, B. N., Barrios Díaz, J. M., Ibáñez Martínez, A., Cruz Romero, W., & Berdeja Arbeu, R. (2015). Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 637-643.

Mukherjee, M. and A. Mahapatra. 2009. Effect of coinage metal nanoparticles and zwitterionic surfactant on reduction of  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}](\text{NO}_3)_2$  by iron (III). *Colloid Surface*. 350:1-7.

- Nuruzzaman, M., Rahman, M., Liu, Y., & Naidu, R. (2016). Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: a new window for safe application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(7), 1447-1483.
- Patel, N., P. Desai, N. Patel, A. Jha, and H. K. Gautam. 2014. Agronanotechnology for plant fungal disease management: A review. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(10):71-84.
- Pereira, A. E., R. Grillo, N. F. Mello, A. H. Rosa, and L. F. Fraceto. 2014. Application of poly (Epsilon-caprolactone) nanoparticles containing atrazine herbicide as an alternative technique to control weed and reduce damage to the environment. *J. Hazard Mater.* 268:207-215.
- Pramod, M., 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.
- Prasad, R., A. Bhattacharyya and Q. D. Nguyen. 2017. Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives. *Front Microbiol.* 8:1014. Doi: 10.3389/fmicb.2017.01014.
- Prasad, R., V. Kumar, and K. S. Prasad. 2014. Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*. 13(6):705-713.

Quiminet. 2007. La absorción. del magnesio. por las plantas.  
<http://www.quiminet.com/articulos/la-absorcion-del-magnesio-por-las-plantas17606.htm>.

Rico, C. M., S. Majumdar, M. Duarte-Gardea, J. R. Peralta-Videa, J. L. Gardea-Torresdey. 2011. Interacción de nanopartículas con plantas comestibles y sus posibles implicaciones en la cadena alimentaria. J. Agric. Comida Chem. 59 (8): 3485-3498.

Ruiz Torres, N.A., J. I. García López, R. H. Lira Saldívar, I. Vera Reyes, y B. Méndez Argüello. 2016. Efecto de Nanopartículas Metálicas y Derivadas del Carbón en la Fisiología de Semillas. In R. H. Lira Saldívar, & B. Méndez Argüello, Agronano Tecnología Nueva frontera de la Revolución Verde. Saltillo, Coah. pp. 75-114.

Rodríguez, M., & Florez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos.

Rojas-Garcidueñas M & Rovalo M. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. Mc Graw Hill, México.

Samrat, R. Mahua, G., Amrita, M., Dipankar, C., Moumita, P., Saheli, P., Arunava, G. 2011. "Surface-modified sulfur nanoparticles: an effective antifungal agent against *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum*". *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol 90, Num 2, Pág 733-743.

Sánchez, Y., N. Cabrera, A. M. Toledo y O. J. Duany. 2009. La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico. *Revista Cubana Salud Pública*. Scielo 35 (3).

Sedghi, M., M. Hadi, S. G. Toluie. 2013. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seed under drought stress. *Annals of West University of Timisoara, ser. Biology* 16 (2): 73-78.

Singh, A., Lal, M., Singh, S., Khan, A., Singh, S., & Tiwari, A. 2015. Scope of nanotechnology in future agriculture-an overview. *Agrica*, 3(2), 1-1.

Smith, T., & Lyshevski, S. (2016). Nanotechnology for portable energy systems: Modular photovoltaics, energy storage and electronics. 2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 323-326.

Srivastava, A. K., and S. Singh. 2009. Zinc nutrition in Nagpur mandarin on Haplustert. National Research Centre for Citrus, Nagpur, Maharashtra, India. *Plant Nutrition* 32: 1065-1081.

Tigabu M & Odén PC. 2001. Effect of scarification, gibberellic acid and temperature on seed germination of two multipurpose Albizia species from Ethiopia. *Seed Science and Technology* 29:11-20.

Yadav, A. S., & Srivastava, D. S. (2015). Application of nano-technology in weed management: A Review. *Research & Reviews: Journal of Crop Science and Technology*, 4(2), 21-23.

Yáñez, J. y Jarrín, S. 2009. Nanoalimentos: Una nueva tecnología en nuestras mesas. [Documento en línea].

Vázquez, V.; Pérez, M.H. 2006. Dosis y épocas de aplicación de ácido giberélico en la floración y cosecha del mango "Ataulfo". *Revista fitotecnia mexicana* 29(3): 197-202.

Zhang, R., Zhang, H., Tu, C., Hu, X., Li, L., Luo, Y., & Christie, P. (2015). Phytotoxicity of ZnO nanoparticles and the released Zn (II) ion to corn (*Zea mays* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) during germination. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(14), 11109-111

