

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comparación del Efecto de Dos Tipos de Nanopartículas (Plata y Zinc) en  
*Cucumis sativus* L.

Por:

**EDUARDO VARGAS CORONA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comparación del Efecto de Dos Tipos de Nanopartículas (Plata y Zinc) en  
*Cucumis sativus* L.

Por:

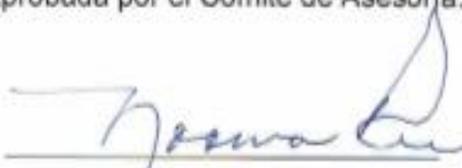
**EDUARDO VARGAS CORONA**

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  
Asesor Principal

  
Dra. Ileana Vera Reyes  
Coasesor

  
M.C. Josué Israel García López  
Coasesor

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



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2019.

## AGRADECIMIENTOS

**A DIOS:** Por darme el gran don que se llama vida, por darme fuerza en los momentos más difíciles, por siempre estar en mi camino, gracias por cruzar a gente excepcional en mi camino y así a dos padres maravillosos, brindándome salud para terminar mis sueños y metas.

**A MI ALMA MATER:** Por brindarme un espacio en esta que es mi adorada institución, gracias querida UAAAN porque en tus aulas tuve la dicha de conocer a personas extraordinarias, conocí a maestros que me brindaron sus enseñanzas, a amigos que se convirtieron en mi familia y por conocer el amor, gracias por cada experiencia que me concediste. ¡Buitres por siempre!

**A MI MADRE: Maricela Corona Calvario.** Por ser la mujer más maravillosa del mundo por tu amor incondicional, porque siempre has sido la persona que más me ha amado en la vida cuidándome y estar siempre en tus oraciones, no tengo palabras para expresar lo agradecido que estoy, por todo el apoyo y la confianza en mí depositada la cual siempre me brindaste a lo largo de todo este trayecto de mi vida, dándome palabras de aliento en los momentos más difíciles las cuales me ayudaron para no darme por vencido, gracias por todas las veces que con sacrificio y esfuerzo nunca me dejaron solo apoyándome en mis metas, decisiones y estudios, siempre le estaré agradecido por todo muchas gracias mami “Mi princesa”.

**A MI PADRE: Gustavo Vargas Montes.** Por ser mi ejemplo a seguir, por ser siempre el mejor papa del mundo, que nunca se da por vencido dando todo por la familia y nuestra felicidad, gracias por siempre mostrarme el mejor camino por hacerme una mejor persona cada día más, no tengo palabras para expresar lo agradecido que estoy, por todo el apoyo y la confianza en mí depositada la cual siempre me brindaste a lo largo de todo este trayecto de mi vida, dándome palabras de aliento en los momentos más difíciles las cuales me ayudaron para no darme por vencido, gracias por todas las veces que con sacrificio y esfuerzo nunca me dejaron solo apoyándome en mis metas, decisiones y estudios, siempre le estaré agradecido por todo muchas gracias papi “Mi campeón”.

**A MIS HERMANOS: Emanuel, Arely y Yair.** Les agradezco por todo el apoyo moral y económico que me han brindado, gracias por sus consejos, ánimos siempre brindados durante este transcurso de mi vida, son unos hermanos extraordinarios y le agradezco a Dios y a nuestros padres por haberme brindado unos hermanos a las cuales amo y quiero, los tres han sido un claro ejemplo a seguir. No importa la distancia, los hermanos siempre estarán para apoyarse en todo, y ustedes me lo has demostrado gracias hermanos por el gran apoyo brindado, aunque estemos lejos siempre estaremos unidos. Dios me los bendiga siempre. Los ama y aprecia su hermano mayor.

**A MIS ABUELOS: Felicitas Calvario (†), Emilio Corona, Margarita Montes (†), Alberto Vargas.** Gracias por la paciencia infinita y el amor incondicional como ustedes no hay nadie igual, porque de mis padres recibí la información ética, practica y académica; pero de ustedes aprendí a amar y ser amado. A mis abuelas a pesar de que no están físicamente, sé que en cada paso ustedes siempre están conmigo.

**A MIS FAMILIARES:** Por todo el apoyo y cariño brindado siempre al pendiente de mí, siendo muy atentos y cariñosos gracias por confiar en mí y darme el soporte de salir adelante, estoy muy agradecido con Dios porque todos son tan geniales y muy buenas personas.

**A MIS AMIGOS “LOS JALISCOS”:** Gracias por brindarme su amistad durante todo este tiempo, porqué siempre vivimos juntos en un mismo techo, por convertirse en una parte muy importante para mí, por las parrandas, gracias por cada momento que vivimos juntos, las risas, los sustos, los enojos, los bailes, y todos los recuerdos inolvidables que marcaron nuestras vidas, gracias por siempre estar juntos desde el inicio de la carrera, gracias Hugo Franco Luna, Leonardo Emmanuel Ortiz Avalos, por apoyarme en la realización de este trabajo de tesis. **Perico, Leo, Steven, Osbel, Corro, Takis, Mocho, Eriberto, Silver, Marlene** son seres maravillosos, cada uno de mis amigos gracias mi equipo codiciado.

Y ya que me es imposible nombrar a todos mis compañeros de la universidad a todos le estoy enteramente agradecido porque con cada uno de ustedes compartimos momentos y experiencias que nunca me imaginé gracias porque para

mí formaron parte de esta maravillosa experiencia que es la universidad son la familia que elegí y siempre los recordare con cariño.

**A LA DRA. NORMA ANGÉLICA RUIZ TORRES:** Quien me brindó su apoyo y confianza para la realización de este trabajo experimental, además por haberme brindado su valiosa asesoría, por ser una buena docente dando clases de una forma maravillosa, por su tiempo que me brindó para lograr llevar a cabo esta tesis hasta el final, gracias por sus consejos, su paciencia, por alentarme en cada momento. Gracias por que como educadora abre un mundo nuevo e interesante, despierta la creatividad, motiva el aprendizaje integral, estimula la curiosidad y la investigación, escribe vida en cada corazón de sus alumnos.

**A LA DRA. ILEANA VERA REYES:** por su apoyo y asesoría durante este tiempo, por aportar las nanopartículas de plata, y por formar parte del Comité de Asesoría. Gracias por sus aportaciones para el desarrollo de esta tesis.

**AL MAESTRO JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ:** por el apoyo brindado y asesoría incondicional durante este tiempo, gracias por sus precias aportaciones, por sus consejos, su paciencia y tiempo que me brindo para lograr llevar a cabo esta tesis hasta el final.

**AL DR. ANTONIO FLORES NAVEDA:** por su apoyo brindado y formar parte del Comité de Asesoría.

## DEDICATORIA

**A DIOS:** Se la dedico al forjador de mi camino, a mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta en mi continuo tropiezo al creador, de mis padres y de las personas que más amo, con mi más sincero amor.

**A MIS PADRES:** Maricela Corona Calvario y Gustavo Vargas Montes. A quienes con amor e ilusión de su vida ha sido verme convertido en una persona de bien, apoyando a la sociedad y todos los que me rodean, gracias a su confianza, apoyo y consejo, he llegado a realizar una de mis más grandes metas y sueños, la cual es la herencia más valiosa que me pudieron haber dado, este logro es también de ustedes por haber depositado en un inicio esa confianza en mí, que a lo largo de mi formación académica siempre estuvieron ahí brindándome apoyo, consuelo y aliento, sin ustedes jamás lo hubiese logrado, estén seguros que haré que todos estos años que estuvimos lejos valga la pena, pondré de mi esfuerzo y trabajaré duro por ser lo que siempre soñaron que fuera, un profesionalista, una persona de buenos principios, apoyando a toda persona que lo necesite, siempre con la frente en alto, les agradezco eternamente.

Los amo son mi más grande orgullo y mi ejemplo a seguir, logramos el objetivo juntos.

**A MIS HERMANOS:** Emanuel Vargas Corona, Arely Vargas Corona y Gustavo Yair Vargas Corona. A ustedes hermanos, les dedico este logro con mucho cariño y amor, por siempre apoyarme, por ser los mejores hermanos del mundo, por ser increíbles, por estar siempre a mi lado, por creer en mí y luchar conmigo en cada

uno de mis sueños y metas, por acompañarme en todo momento, y sobre todo por llenar mi vida de alegría, amor y cariño. Y con esta dedicatoria darles un buen ejemplo para su vida estudiantil y le sigan echando muchas ganas, que con dedicación y empeño pueden realizar cualquier cosa que se propongan.

Los ama su hermano mayor, siempre les estaré agradecido y les corresponderé de la mejor manera todo lo que han hecho por mí.

**FAMILIARES, AMIGOS Y PERSONAS ESPECIALES EN MI VIDA:** Este nuevo logro es gran parte gracias a ustedes; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer tarea titánica e interminable. Quisiera dedicar mi tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor, bienestar, y los finos deleites de la vida.

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	ix
ÍDICE DE CUADROS.....	xi
RESUMEN .....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general:.....	4
Objetivos específicos:.....	4
HIPÓTESIS .....	5
Hipótesis nula .....	5
Hipótesis alterna .....	5
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
Que son las nanopartículas (NPs) .....	6
Áreas de aplicación de las nanopartículas en la agricultura .....	6
Importancia de las NPs.....	8
Aplicación de nanopartículas en la germinación de semillas.....	8
Efectos del uso de nanopartículas en el vigor de las semillas .....	10
Nanopartículas de plata (NPsAg+Lt ) .....	13
Nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO).....	13
Funciones del zinc en la planta.....	13
Funcionamiento de las NPs en el vigor de la semilla.....	14
Los nanomateriales y su fitotoxicidad .....	15
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
Localización del sitio experimental .....	17
Tipo de nanopartículas: .....	17
Establecimiento del experimento .....	18
Evaluación del bioensayo .....	19
Diseño experimental y análisis estadístico .....	22
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>35</b>

VII. ANEXOS .....	42
-------------------	----

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de <i>Cucumis sativus</i> L., tratadas con NPsZnO y NPsAg+Lt. ....	26
Cuadro 2. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de <i>Cucumis sativus</i> L, tratadas con NPsZnO y NPsAg+Lt. ....	28
Cuadro 3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de <i>Cucumis sativus</i> L, tratadas con NPsZnO y NPsAg+Lt. ....	30
Cuadro 4. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de <i>Cucumis sativus</i> L, tratadas con diferentes tratamientos de NPsZnO y NPsAg+Lt. ....	33

## RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con el objetivo de evaluar mediante un bioensayo el efecto de la aplicación de nanopartículas de Zinc (NPsZnO) comerciales y de Plata (NPsAg+Lt) sintetizadas con extractos de *Larrea tridentata*, en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), sobre parámetros de calidad fisiológica en semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.), en dos variedades diferentes (POINSETT 76 y SMR 58), para determinar si promueven o inhiben el vigor de germinación y el crecimiento de plántulas.

El bioensayo consistió de seis tratamientos de NPsZnO y seis de NPsAg+Lt (0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm), cada tratamiento constó de 100 semillas fraccionados en 4 repeticiones de 25 cada una. Esto para cada una de las variedades utilizadas.

El estudio se estableció en cajas de Petri, y en cada caja se añadieron 30 ml de la suspensión de cada tratamiento, mientras que el testigo (0 ppm) consistió únicamente en agua destilada, esto para inducir el proceso de germinación de las semillas, las cuales fueron sometidas a un proceso de imbibición por 24 horas, con el fin de que el proceso de germinación se iniciara con la absorción de las diferentes NPs en concentraciones. La hidratación de los tejidos en la semilla es un proceso físico con una duración versátil según la especie considerada; una vez que la semilla se ha hidratado, comienzan a activarse toda una serie de procesos metabólicos que

son fundamentales para que tengan lugar las tres etapas de la germinación (imbibición, metabolismo y emergencia de radícula).

Después del tratamiento con las NPsZnO y NPsAg+Lt, las semillas fueron sembradas utilizando el método de germinación entre papel, colocando las semillas entre dos hojas de papel Anchor, humedecidas con agua destilada y dobladas a manera de “taco”, los cuales se introdujeron en bolsas de plástico y se colocaron en una cámara de germinación a una temperatura de 25 °C, fotoperíodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad, a una humedad relativa de 75%.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar las diferencias estadísticas entre concentraciones, posteriormente se efectuó una comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey ( $P \leq 0.01$ ), con el fin de establecer el orden de eficiencia de los tratamientos, utilizando el programa SAS Inc. (2009).

En los resultados, la fuente de variación tipo de nanopartícula (NPsZnO y NPsAg+Lt), indican diferencias significativas, las NPsZnO incrementaron la germinación en 28.9% (69%) en comparación con las NPsAg+Lt (52%). Donde además se presentó el menor porcentaje de plántulas anormales, peso seco y longitud de radícula, ya que las NPsZnO generaron incrementos en comparación con los resultados obtenidos para las NPsAg+Lt.

La variedad SMR 58 respondió de mejor manera a la aplicación de NPsZnO y NPsAg+Lt, con incrementos en los parámetros asociados con el vigor de plántula, en comparación con la variedad POINSETT 76.

En cuanto a los tratamientos, fueron dos los que dieron mejor respuesta en las variables fisiológicas evaluadas, 100 y 200 ppm, donde generaron mejor comportamiento fisiológico, también en comparación al testigo. Se concluye que las NPsZnO a 100 ppm incrementan la germinación en 26 % con respecto al testigo, superando la variedad SMR 58 a la variedad POINSETT 76.

**Palabras clave:** nanopartículas, desarrollo, vigor, germinación, peso seco, plúmula, imbibición y radícula.

## I. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.), es considerado como una hortaliza de fruto inmaduro, en México se consume como fruta fresca (pepino) y en algunos casos como encurtidos (pepinillos). La producción en el cultivo de pepino ha ido aumentando continuamente debido al incremento de la superficie sembrada y a la producción que se puede obtener con el uso de tecnología.

El uso de nuevas tecnologías está adquiriendo gran auge en la vida diaria, un ejemplo es la nanotecnologías o ciencia a nano escala, encargada de la manipulación y aplicación directa de materiales a través del control de la materia, es decir de átomos y moléculas.

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

Ruiz-Torres *et al.* (2016) señalan que la agronanotecnología representa una gran oportunidad para disminuir el uso de agroquímicos sintéticos, con la probabilidad de reducir el impacto ambiental que ha surgido en las últimas décadas. Es por lo que la NT aplicada en la agroindustria tiene como fin crear productos con ingredientes activos de tamaño nanométrico de fácil disponibilidad, asimismo minimizar pérdidas al subministrar el producto. Con el uso de nanomateriales se puede lograr un uso eficiente del agua, control de plagas y enfermedades,

fomentando la agricultura sustentable para la detección y protección del medio ambiente.

Asimismo, los nanomateriales reducen al mínimo la lixiviación, al tiempo que optimizan la absorción de nutrientes por las plantas y contribuyen a moderar la eutrofización al reducir la transferencia de nitrógeno a los mantos acuíferos subterráneos. También, es importante indicar que los nanomateriales podrían ser explotados para optimizar la estructura y función de los plaguicidas mediante el incremento de solubilidad, la resistencia contra la hidrólisis, mejorando su fotodescomposición y/o suministrando una manera más eficaz de liberación controlada hacia los organismos (Lira-Saldívar *et al.*, 2016 a).

Actualmente la agro nanotecnología se define como la ciencia de producir nanopartículas (NPs) y nano elementos (NE) de materiales diversos para generar productos agrícolas como nanosensores, nano plaguicidas, nano herbicidas y nano fertilizantes encapsulados para una liberación controlada (Rodríguez-Fernandez, 2016). Los autores mencionados anteriormente también señalan que los diversos usos potenciales de la NT en la agricultura han desarrollado un gran interés, ya que brindan la probabilidad de mejorar la producción de alimentos, reduciendo costos de producción y de desechos de agroquímicos.

En la actualidad estos nanocomponentes están aún investigándose, su aplicación se ha ido ampliando, y se pronostica que continúe extendiéndose en el futuro.

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

En el presente trabajo se estudió la aplicación de distintas concentraciones de nanopartículas en suspensión de Zinc (NPsZnO) y de Plata sintetizadas con extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) (NPsAg+Lt), sobre el proceso de germinación en semillas de pepino var. POINSETT 76 y var. SMR 58, para evaluar el efecto causado en los parámetros de calidad fisiológica durante la germinación, y así comprobar si este tipo de NPs promueven el crecimiento y desarrollo del cultivo durante sus primeras etapas. Y con esto sustentar que el uso de estas beneficia la producción en el sector agrícola.

## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Evaluar el efecto de las NPsZnO y NPsAg+Lt en suspensión a diferentes concentraciones, sobre la germinación y el desarrollo de plántulas de dos variedades de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58), para determinar si mejoran la capacidad germinativa y el vigor de plántula.

### Objetivos específicos:

- Determinar la respuesta que generan las NPsZnO y las NPsAg+Lt a diferentes concentraciones (0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm), en la germinación y desarrollo de plántulas de *Cucumis sativus* L. (Variedades POINSETT 76 y SMR 58) en sus primeras etapas de crecimiento.
- Demostrar cuál tipo de NPs (NPsZnO o NPsAg+Lt), presenta un efecto superior como promotor del vigor de germinación y por lo tanto del crecimiento y desarrollo de plántulas en *Cucumis sativus* L.
- Determinar si alguna de las NPs, genera un efecto fitotóxico en el proceso de germinación.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis nula**

El uso y aplicación de NPsZnO y de NPsAg+Lt promueve una respuesta positiva en el vigor y en la germinación de semillas de *Cucumis sativus L.*, en comparación con el testigo.

### **Hipótesis alterna**

La aplicación de NPsZnO y de NPsAg+Lt no tienen un efecto promotor en el vigor y en la germinación de las semillas de *Cucumis sativus L.*, en comparación con el testigo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Que son las nanopartículas (NPs)**

Las NPs son materiales metálicos, cerámicos, polímeros semiconductores, o una combinación de estos, que conservan un tamaño que oscila entre 1 y 100 nm. Dicha característica les cede la capacidad de pasar a través de las membranas de los organismos y su variedad es extensa, ya que pueden, en teoría ser procesadas casi por cualquier sustancia química (Chávez Mendoza, 2018).

Las NPs inorgánicas son particularmente atractivas como piezas de construcción para ciertos propósitos, debido a sus propiedades ópticas, electrónicas, magnéticas y catalíticas, de las cuales pueden ser moduladas simplemente cambiando su tamaño, forma, o la funcionalización de la superficie de la NP, sin cambiar la composición del material. Hasta ahora se han realizado avances significativos utilizando estrategias de química húmeda, para sintetizar NPs de alta calidad de una gran variedad de materiales inorgánicos, incluyendo oro, plata, óxido de hierro y semiconductores (Zanella, 2012).

### **Áreas de aplicación de las nanopartículas en la agricultura**

Ruiz-Torres *et al.* (2016) mencionan diversas áreas de aplicación de las nanopartículas en la agricultura como:

- Almacenamiento de energía: producción y conversión (módulos fotovoltaicos). El uso de componentes nanoestructurados es eficiente en sistemas de iluminación y calefacción, permite aumentar la capacidad de almacenamiento eléctrico y lleva a una disminución de la contaminación por el uso de la energía.

- Incremento de la productividad agrícola (zeolitas nanoporosas para la liberación prolongada y eficiente de fertilizantes). La zeolita actúa como una enmienda o mejorador de suelos que permite incrementar la eficiencia de los fertilizantes, admitiendo una disponibilidad controlada de los cationes que son utilizados por las plantas en su nutrición (Díaz-Álvarez *et al.*, 2019).

- Nanocápsulas para la liberación puntual de pesticidas. 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, respuesta a la luz solar, el calor o condiciones alcalinas en el tubo digestivo de un insecto (Lugo-Medina *et al.*, 2010).

- Nanosensores, con la finalidad de monitorear la calidad del suelo y la vitalidad de la planta. Los sensores son instrumentos o herramientas que transforman magnitudes químicas o físicas en señales eléctricas, ópticas o térmicas, y se utilizan para la detección rápida de sustancias en el ambiente (Carrillo-González, 2009 y González-Chávez, 2009).

- Nanosensores para la detección de plagas y de fitopatógenos. En este caso, el uso de NPs puede ayudar a incrementar la especificidad y eficiencia de herbicidas, plaguicidas y/o fitopatógenos, así como extender el periodo de actividad de los principios activos por liberación prolongada.

## **Importancia de las NPs**

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

## **Aplicación de nanopartículas en la germinación de semillas.**

La NT ofrece como herramienta la aplicación de NPs, que mejoran la germinación de la semilla y los parámetros fisiológicos relacionados con vigor y otros parámetros (Ocvirk *et al.*, 2014) para optimizar la capacidad de absorción, degradación de reservas y la división celular (Chinnamuthu y Boopathi, 2009).

Mahmoodzadeh *et al.* (2013) estudiaron los efectos de titanio a nano escala usando NPs de TiO<sub>2</sub>; los resultados de estos autores demostraron una promoción de la germinación del 75 % con la aplicación de NPs de 20 nm de tamaño y una concentración de 2000 mg L<sup>-1</sup>.

Otros autores (Ulla y Arshad, 2014) hacen referencia a que las semillas tratadas con materiales a nano escala, generan un cambio en la dinámica de la germinación, observándose un incremento en el porcentaje de germinación y en el índice de velocidad de emergencia. El período de germinación se acelera debido a una mayor disponibilidad de agua, la clave para el aumento de la tasa final de

germinación de las semillas es la penetración de nanomateriales en la semilla (Khodakovskaya *et al.*, 2009).

Los resultados obtenidos por Ghavam *et al.* (2018) mostraron que las nanopartículas de plata aumentaron el porcentaje de germinación de *Thymus vulgaris* bajo condiciones de estrés por salinidad, encontrando que la tasa de germinación y la longitud de la raíz se mejoraron con la aplicación de 10 mg/L de nano-plata.

En semillas de girasol se encontró que la aplicación de NPs de silicio tiene un efecto positivo en la germinación, vigor, emergencia y crecimiento de plántulas. Es importante considerar que los tratamientos con NPs en semillas deben aplicarse antes de la siembra, para mejorar la germinación y generar un mayor fortalecimiento efectivo en plántulas (Azimi *et al.*, 2016).

Por su parte, Upadhyaya *et al.* (2017) concluyeron que las NPsZn protegieron las plantas de arroz contra el daño de especies reactivas de oxígeno (ERO), mejorando los niveles de actividades de enzimas antioxidantes durante la germinación. Como consecuencia, las semillas tratadas con NPsZn mostraron un mejor potencial para la germinación.

Siddiqui y Whaibi (2014) hacen mención que la aplicación de NPsSiO<sub>2</sub> con un tamaño de 12 nm mejoró significativamente la germinación en semillas de tomate utilizando una concentración de 8 ppm de ese nanomaterial, lo cual generó un incremento en el porcentaje de germinación de semillas, así como en el índice de vigor y de biomasa fresca.

Por otra parte, Savithamma *et al.* (2012) consignaron que la aplicación de NPsAg sobre semillas del árbol medicinal *Boswellia ovalifoliolata*, endémico y amenazado en la India, mejoró la germinación de estas semillas. Los resultados obtenidos indicaron que los tratamientos con NPsAg lograron una germinación del 95%, mientras que el testigo solamente obtuvo 70% de germinación.

La aplicación de NPs mejora el rendimiento de los cultivos con una dosis adecuada, sin embargo, el nivel de respuesta en cuanto a germinación y vigor depende del tipo de nanomaterial, de su aplicación potencial y del genotipo, por tal motivo, es recomendable no sólo evaluar la respuesta de diversos genotipos a la aplicación de NPs durante la germinación, sino ir más allá para conocer la capacidad de estos en etapas subsecuentes (Buu *et al.*, 2014).

### **Efectos del uso de nanopartículas en el vigor de las semillas**

Afrayeem *et al.* (2017) reportaron que diferentes concentraciones (0.0, 0.25, 0.50 y 0.75 ppm) de NPsZnO fueron preparadas en agua destilada y se aplicaron en semillas de chile para estudiar el efecto sobre la germinación, longitud de raíz, tallo y crecimiento de plántulas. Los resultados mostraron que el efecto de la NPsZnO fue significativo en el porcentaje de germinación, longitud de raíz, tallo y plántula. Los datos revelaron que la germinación de la semilla aumentó con las concentraciones más altas (1000 ppm), sin embargo, se observó una disminución en los valores a concentraciones más bajas (80 ppm). La raíz, la longitud de los brotes y las plántulas también fue máxima en concentraciones más altas y en concentraciones más bajas mostraron un menor desarrollo.

El efecto de NPs comienza a mostrarse desde la germinación de las semillas, reflejando una mayor uniformidad que se observa al final de la germinación, debido a la penetración de nanomateriales en la semilla, lo que permite la imbibición del agua, beneficiando a las primeras etapas del proceso germinativo (Hampton y Tekrony, 1995).

El estudio reportado por Anandaraj y Natarajan (2017) evaluó semillas de cebolla tratadas con NPsZnO en concentraciones de 0, 750, 1000, 1250 y 1500 mg kg<sup>-1</sup>, los resultados indicaron que la dosis de 1000 mg kg<sup>-1</sup> mejoró la germinación (72%), la longitud del tallo (7.5 cm), en comparación con el tratamiento testigo.

El vigor en las semillas es el potencial biológico que favorece el establecimiento rápido y uniforme, incluso en condiciones desfavorables de campo (González *et al.*, 2008). Por otra parte, el vigor se puede considerar como la interacción de aquellas propiedades bióticas y abióticas que influyen en las semillas y que determinan su nivel de actividad, la dormancia, la germinación y la emergencia. El vigor es parte esencial de la calidad de la semilla (Navarro, 2009).

Estudios realizados en semillas de tomate, aplicando tratamientos NPsCu y MPsCuSO<sub>4</sub> a concentraciones de 0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm, en cajas de Petri y sobre papel filtro, por un lapso de 24 horas, indican que las NPsCu a 5 y 10 ppm promovieron el vigor de germinación en las semillas, teniendo una superación estadística con respecto al testigo en ambos tratamientos. En otro estudio similar, efectuado en semillas de chile ancho, el tratamiento correspondiente a 5 ppm NPsCu, presentó mayor vigor de germinación y longitud de radícula, que en el resto

de tratamientos, superando al testigo en 45.8% en vigor de germinación (Ruiz *et al.*, 2016).

Estudios realizados por Ruiz *et al.* (2017), indican que al imbibir semillas de *Cucurbita pepo* var. Grey zucchini con NPs compuestas por Zn+Fe (NPsZnOFe) por 48 horas a una concentración de 10 ppm, promueve de manera positiva el vigor de germinación y la longitud de tallo, por otro lado, imbibir semillas de la variedad anteriormente mencionada a una concentración de 5 ppm, presenta un efecto similar, incrementando el vigor de germinación y la longitud de la radícula.

Estudios realizados por García *et al.* (2017), mencionan que al imbibir semillas de *Capsicum chinense* con NPsZnO por 72 h a una concentración de (0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm), promueven la germinación y el vigor, así como un mayor desarrollo de la longitud de radícula. La aplicación de NPsZnO durante el proceso de germinación, en concentraciones adecuadas puede mejorar significativamente la velocidad de germinación, generando plántulas de mayor vigor para la producción.

En contraparte Hojjat y Hojjat (2016), mencionan que la aplicación de NPsAg+Lt no influyó sobre el parámetro de germinación en semillas de lenteja, pero la interacción de NPs aumentó el crecimiento de la longitud de la raíz. Por lo tanto, el efecto de las NPs en las semillas y en plantas puede ser positivo o negativo esto depende de los tipos y las concentraciones de NPs aplicadas, ya sean metálicas o derivadas del carbono.

## **Nanopartículas de plata (NPsAg+Lt )**

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

## **Nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO)**

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

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

## **Funciones del zinc en la planta**

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

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

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

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

### **Funcionamiento de las NPs en el vigor de la semilla**

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

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

### **Los nanomateriales y su fitotoxicidad**

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

La exposición también se puede dar a través de la instrumentación médica, ya que se utilizan en el tratamiento del cáncer de mama y en el control de infecciones de cirugías. Una vez que las NPs están en el cuerpo se distribuyen por

vía linfática y sanguínea, atacando a diferentes órganos de cuerpo tales como: el corazón, riñones, hígado, huesos y páncreas, es hay en donde ejercen los efectos tóxicos.

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

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

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

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

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### **Localización del sitio experimental**

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, al sur del municipio de Saltillo, Coahuila, México. El material varietal utilizado en este trabajo son dos variedades de pepino denominadas "POINSETT 76" y "SMR 58".

La variedad POINSETT 76 es moderadamente vigorosa y adaptable a diversas condiciones climáticas. Frutos monoicos, 19x6 cm, de forma cilíndrica y color verde oscuro.

La variedad SMR 58 es productiva, de frutos de longitud media, con superficie de pinchos y de color verde claro. Los pepinos son plantas termófilas, por lo que sus semillas deben sembrarse en el campo solo en la segunda mitad de mayo. Las semillas del pepino. Las semillas han sido tratadas, lo que significa que están protegidas de enfermedades y plagas que están presentes en el suelo.

#### **Tipo de nanopartículas:**

En esta investigación, se utilizaron suspensiones con NPsAg+Lt sintetizadas con extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) (NPsAg+Lt), las cuales fueron diseñadas en el Centro de investigación en Química Aplicada (CIQA), y además NPsZnO comerciales. Respecto a las NPsAg+Lt obtenidas a 80 °C, éstas presentan una morfología semiesférica con tamaños entre 2-26 nm, de las cuales

aproximadamente el 70% es menor a 14 nm. Las NPsZnO comerciales de morfología semiesférica, con un diámetro de 200 nm.

## **Establecimiento del experimento**

### **Preparación de las NPsAg+Lt y NPsZnO en agua destilada**

Las suspensiones de los dos tipos de NPs (NPsAg+Lt y NPsZnO), se prepararon a diferentes concentraciones (0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm), utilizando tubos Falcon de plástico (50 mL). Posteriormente, se sonicaron en un Sonicador Branson (AS2060B Ultrasonic Cleaner) en dos tiempos, 15 y 20 min para su mejor dispersión.

### **Imbibición de las semillas**

Doce cajas de Petri fueron esterilizadas con algodón y alcohol, previamente al establecimiento del experimento. Se dispusieron 30 mL de cada concentración en suspensión en cada caja de Petri. Enseguida, se utilizaron pinzas de disección de acero inoxidable para colocar 100 semillas por caja de Petri, seis para la variedad POINSETT 76 y seis para la variedad SMR 58, después se colocaron en una cámara bioclimática marca Thermo Scientific por 24 h, a una temperatura de 25 °C

### **Siembra de semillas**

Pasando las 24 horas, se procedió a la siembra utilizando el método “entre papel” (ISTA, 2004), utilizando papel Anchor. Las hojas de papel Anchor, se humedecieron en agua destilada y se utilizaron pinzas de disección para colocar 25 semillas en hilera, dejando 2 cm a cada lado y 8 cm en la parte superior.

Posteriormente, se humedeció una segunda hoja para cubrir las semillas y se envolvió en forma de “taco”, se repitió el proceso para todos los tratamientos, con 4 repeticiones cada uno, la unidad experimental consistió de una repetición con 25 semillas. Enseguida, los tacos se colocaron dentro de una bolsa de polietileno etiquetada, quedando el embrión orientado hacia abajo. Las bolsas se colocaron en un recipiente de forma vertical y se procedió a ponerlas en el interior de una cámara de germinación a una temperatura de 25 °C, con un fotoperiodo de 8/16h (luz/oscuridad)

### **Evaluación del bioensayo**

Las variables evaluadas fueron el porcentaje de vigor de germinación (%), el porcentaje de germinación (%), porcentaje de plántulas anormales (%), porcentaje de semillas sin germinar, longitud de plúmula (cm), longitud de radícula (cm), peso seco de plántulas (mg/plántula).

### **Vigor de germinación**

Después de transcurrir cuatro días después de la siembra, se realizó una evaluación en donde se hizo un conteo para determinar el número de plántulas normales, con el fin de conocer el vigor de germinación de las semillas, ya que es un parámetro muy relevante, debido a que representa la velocidad y uniformidad de la germinación, que se refleja en el crecimiento de las plántulas.

### **Por ciento de germinación**

Al séptimo día, se realizó el segundo conteo para conocer el número total de plántulas normales, plántulas anormales y el número de semillas sin germinar.

### **Por ciento de plántulas normales**

Las plántulas normales son aquellas que desarrollan todas sus estructuras esenciales en condiciones controladas (agua, luz y temperatura), que tienen la capacidad de generar plantas de buen porte. Sistema radicular bien desarrollado, raíz primaria y raíces seminales. Hipocótilo con buen desarrollo sin daños en el tejido. Plúmula con buen crecimiento, con hojas bien desarrolladas. Un cotiledón en monocotiledóneas y dos cotiledones en dicotiledóneas.

### **Por ciento de plántulas anormales**

Las plántulas anormales fueron las que presentaron un desarrollo irregular, como un tamaño dos veces menor al que presenta su semilla o que el tallo o radícula no se desarrollaron correctamente.

### **Por ciento de semillas sin germinar**

Las semillas que no manifestaron la capacidad de germinar se registraron para presentar esta variable en porcentaje.

### **Longitud de la plúmula**

Para realizar la evaluación de longitud de plúmula se midieron todas las plántulas normales de cada tratamiento y repetición, manipulando una hoja milimétrica graduada en cm.

### **Longitud de radícula**

En las plántulas normales obtenidas de cada tratamiento, se midió la longitud de radícula expresada en cm, con ayuda de una hoja milimétrica graduada en tal magnitud.

### **Peso seco de plántula**

Una vez terminada la evaluación del bioensayo, las plántulas normales por repetición y tratamiento, se colocaron en bolsas de papel de estraza rotuladas para su identificación, posteriormente se ubicaron en una estufa de secado Riossa (H-48), a una temperatura de 72 °C por un lapso de 24 h.

Al término de este periodo de tiempo, se retiraron las muestras de la estufa y se colocaron en un desecador con el fin de evitar que adquirieran humedad del ambiente durante 10 min de enfriamiento. Posteriormente, se pesó cada muestra en una balanza analítica AND (HR-200), para obtener el peso de materia seca expresado en mg/plántula.

## **Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo factorial  $2^2$ , considerando los dos tipos de NPs (NPsZnOO y NPsAg+Lt) y las concentraciones utilizadas (0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm) con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en un rollo de papel Anchor que contenía 25 semillas. Con los datos obtenidos, se realizó análisis de varianza y pruebas de rango múltiple Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para lo cual se utilizó el paquete estadístico SAS Institute (2004).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza del bioensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.), para la fuente de variación variedad se mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para las variables porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas anormales, semillas sin germinar, pesos secos, longitud de plúmula y longitud de radícula (Cuadro 1).

Para la fuente de variación nanopartícula (NPsZnO y NPsAg+Lt), los resultados indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para las variables porcentaje de germinación, plántulas anormales y longitud de radícula. Mientras que, las variables vigor de germinación, semillas sin germinar y longitud de plúmula no presentaron diferencias significativas.

En la fuente de variación tratamiento, las variables vigor de germinación, porcentaje de germinación, porcentaje de plantas anormales, longitud de plúmula, longitud de radícula mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), mientras que las variables semillas sin germinar y peso seco no presentaron diferencias estadísticas.

Por otra parte, los resultados obtenidos en la fuente de variación de variedad por nanopartícula (NPsZnO y NPsAg+Lt) los resultados mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las variables porcentaje de vigor de germinación, longitud de plúmula, semillas sin germinar, longitud plúmula y radícula, por otra parte, el porcentaje de germinación, plántulas anormales y pesos seco no presentaron diferencia significativa.

En la fuente de variación de nanopartículas por tratamiento, los resultados indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las variables porcentaje de vigor de germinación, porcentaje de germinación, porcentaje de plantas anormales, semillas sin germinar, longitud de plúmula y longitud de radícula. En la variable peso seco, no se observaron diferencia estadística.

Para la fuente de variación variedad por tratamiento, el porcentaje de vigor de germinación, porcentaje de germinación, porcentaje de plantas anormales, porcentaje de semillas sin germinar, longitud de plúmula y longitud de radícula resultaron con diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). En el caso del peso seco, no se observaron diferencias significativas.

En lo que respecta a la fuente de variación variedad por nanopartícula por tratamiento, la variable peso seco no presentó diferencia estadística y las demás variables que son porcentaje de vigor de germinación, porcentaje de germinación, porcentaje de plantas anormales, porcentaje de semillas sin germinar, longitud de planta y longitud de radícula resultaron con diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Estos resultados indican, que la aplicación de NPsZnO y NPsAg+Lt como tratamiento para la germinación de semillas de pepino (*C. sativus* L.), influye directamente en la respuesta de la mayoría de las variables evaluadas en este bioensayo que están asociadas con la calidad fisiológica de semillas, y que tienen una relación directa con el proceso de germinación.

A continuación, se presenta el análisis de comparación de medias que permite comprender el efecto de las diferentes concentraciones de NPsZnO y NPsAg+Lt en los parámetros antes mencionados.

**Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de *Cucumis sativus* L., tratadas con NPsZnO y NPsAg+Lt.**

FV	GL	Vigor de germinación (%)	Germinación (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg)	LP (cm)	LR (cm)
VAR	1	36.37 NS	10716.37 **	8432.06 **	136.74 NS	845.29 **	118.76 **	2398.25 **
NPs	1	0.13 NS	6903.40 **	4751.51 **	200.37 NS	31.85 NS	0.04 NS	282.94 **
TRAT	5	679.88 **	1472.59 **	1043.27 **	52.79 NS	3.86 NS	28.85 **	120.91 **
VAR * NPs	1	1213.89 *	72.13 NS	15.51 NS	154.56 NS	16.58 NS	47.40 **	89.25 **
VAR * TRAT	5	1225.04 **	920.84 **	590.24 **	118.35 NS	13.67 NS	135.38 **	135.73 **
NPs * TRAT	5	402.64 NS	1565.33 **	1109.30 **	120.01 NS	1.47 NS	31.40 **	43.26 **
VAR *NPs* TRAT	5	1485.15 **	3266.18 **	1683.62 **	350.37 *	8.01 NS	98.66 **	103.96 **
CV (%)		44.58	19.21	39.06	126.84	18.51	25.26	24.82

\*\*= Altamente significativos, \*= Significativos, NS= No significativo, FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, PA= Plántulas anormales, SSG= Semillas sin germinar, PS= Peso seco de plántula, LP= Longitud de plúmula, LR= Longitud de radícula, VAR= Variedad, NP=Nanopartícula, TRAT= Tratamiento, CV= Coeficiente de variación.

La comparación de medias por variedad (POINSETT 76 Y SMR 58) en el Cuadro 2, indica que todas las variables evaluadas presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), únicamente el porcentaje de vigor de germinación fue estadísticamente igual. Para el caso del porcentaje de germinación, la variedad SMR 58 respondió mejor a la aplicación de NPsZnO y NPsAg+Lt, con incrementos del 32% (72% de germinación), en comparación con la variedad POINSETT 76, que obtuvo una germinación de 49%. Lo anterior concuerda con el valor obtenido para plántulas anormales, ya que la variedad SMR 58, demostró un menor porcentaje de PA (21%), en comparación con POINSETT 76 (41%).

La misma tendencia, se observó para semillas sin germinar, el menor porcentaje fu obtenido por la variedad SMR 58 (7%), mientras que la variedad POINSETT 76 obtuvo un 10%. En el caso de las variables peso seco, longitud de plúmula y radícula, se puede observar que la variedad SMR 58 presentó incrementos del 35.7%, 6.4% y 23.1%, respectivamente, en comparación con la variedad POINSETT 76. Lo anterior indica, que la variedad SMR 58 respondió de mejor manera a la aplicación de NPsZnO y NPsAg+Lt, con incrementos en los parámetros asociados con el vigor de plántula en comparación con la variedad POINSETT 76.

**Cuadro 2. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de *Cucumis sativus* L, tratadas con NPsZnO y NPsAg+Lt.**

Variedad	Vigor de germinación (%)	Germinación (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg)	LP (cm)	LR (cm)
<b>SMR 58</b>	30 a	72 a	21 b	7 a	18.59 a	8.83 a	13.26 a
<b>POINSETT 76</b>	29 a	49 b	41 a	10 a	11.97 b	8.26 b	10.20 b
<b>Media</b>	29.6	60.4	31.3	8.3	15.24	8.59	11.98
<b>Tukey (<math>\alpha=0.05</math>)</b>	5.87	5.16	5.43	4.71	1.27	0.23	0.31

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

Los resultados de la comparación de medias para variedad, nos permiten observar que el efecto de las NPsZnO y NPsAg+Lt en la germinación y crecimiento de plantas depende del genotipo y/o la variedad. En este estudio, los resultados demostraron que la variedad SMR 58 reportó los mejores resultados en cuanto a los parámetros asociados con el vigor de la semilla y crecimiento de plántula. Lo anterior está en relación con lo reportado por García-López *et al.*, (2018), quienes mencionaron que los efectos de los nanomateriales aplicados a la germinación de semillas dependen del genotipo, la especie y las características del nanomaterial. Sin embargo, a la fecha no existe un modelo de respuesta de las plántulas a la aplicación de NPs metálicas. En este sentido Buu *et al.* (2014), sugieren que es conveniente evaluar el nivel de respuesta de la germinación y vigor de diversos genotipos a la aplicación de nanomateriales, además de continuar con la determinación de estos materiales en diferentes etapas fenológicas de los cultivos.

La comparación de medias para tipo de NPs (NPsZnO y NPsAg+Lt) se presenta en el Cuadro 3. Los resultados indican que las NPsZnO incrementaron la germinación en 26% (69%) en comparación con las NPsAg+Lt (51%). En relación con lo anterior, se puede observar que el tratamiento con NPsZnO presentó el menor porcentaje de PA (24%), en comparación con NPsAg+Lt (39%). El mismo patrón de resultados se observó para las variables peso seco y longitud de radícula, ya que las NPsZnO generaron incrementos del 11.6% y 7.7%, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos con las NPsAg+Lt.

**Cuadro 3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de *Cucumis sativus* L, tratadas con NPsZnO y NPsAg+Lt.**

<b>NPs</b>	<b>Vigor de germinación (%)</b>	<b>Germinación (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>SSG (%)</b>	<b>PS (mg)</b>	<b>LP (cm)</b>	<b>LR (cm)</b>
<b>NPsZnO</b>	30 a	69 a	24 b	7 a	16.12 a	8.59 a	12.39 a
<b>NPsAg+Lt</b>	29 a	51 b	39 a	10 a	14.34 b	8.59 a	11.43 b
<b>Media</b>	29.6	60.4	31.3	8.3	15.24	8.59	11.98
<b>Tukey (<math>\alpha=0.05</math>)</b>	5.87	5.16	5.43	4.71	1.5	0.23	0.31

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

En cuanto a los resultados de la comparación de media para el tipo de NPs, se logró observar que las NPsZnO generaron los mejores resultados en el vigor y los parámetros asociados con el crecimiento de plántulas, al compararlas con las NPsAg+Lt. Lo anterior se debe, a que el zinc es un micronutriente esencial que participa en la activación de enzimas como la  $\alpha$  y  $\beta$  amilasa, las cuales interfieren en la degradación de reservas durante el proceso germinativo, además de ayudar en la síntesis de proteínas y división celular (García-López *et al.*, 2019). Por otra parte, el zinc es considerado un micronutriente importante para el crecimiento de las plantas, y participa en la activación de enzimas importantes para asimilación de CO<sub>2</sub> (Narendhran *et al.*, 2016).

Algunos investigadores, han mencionado que las NPsZnO son utilizadas por la función que tienen en las plantas, ya que pueden corregir las deficiencias de zinc, además, promoviendo su crecimiento y desarrollo (Quispe Challco, 2010). Es importante señalar, que un estudio realizado por García *et al.* (2017) demostraron que al imbibir semillas de *Capsicum chinense* con NPsZnO durante 72 h a concentraciones de 0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm, se obtuvieron incrementos en la germinación y el vigor, así como un mayor desarrollo de la longitud de plúmula y radícula. Por otra parte, es importante considerar que la plata no es considerado un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, esto explica el por qué los mejores resultados en cuanto a los caracteres asociados con los parámetros fisiológicos se obtuvieron con las NPsZnO. Las interacciones encontradas se incluyen en Anexos.

La comparación de medias por tratamiento (0, 100, 200, 300, 400 y 500) se presenta en el Cuadro 4. Los resultados indican, que el tratamiento de 400 ppm reportó el mayor el mayor porcentaje de vigor en la germinación (38%), superando significativamente al resto de los tratamientos. En cuanto al porcentaje de germinación, se puede observar que los tratamientos a concentraciones de 100, 200 y 300 ppm reportaron los mayores porcentajes (72, 68 y 65%), respectivamente, superando al control y a los tratamientos con las concentraciones más elevadas (400 y 500 ppm). Por otra parte, que a una concentración de 200 ppm se mejoró significativamente el desarrollo de la longitud de plúmula y radícula en 1.9% y 9%, en comparación con el control, no obstante, se puede señalar que los demás tratamientos (100, 300, 400 y 500) presentaron disminuciones en el crecimiento de las plántulas. Las variables SSG y PS, no fueron afectadas significativamente por los tratamientos con NPs.

De manera general, se puede mencionar que los resultados obtenidos de la comparación de media para los diferentes tratamientos, nos permitió observar que los tratamientos con 100 y 200 ppm generaron los mejores resultados en el vigor y los parámetros asociados con el crecimiento de plántulas, al compararlas con los otros tratamientos. Lo anterior puede deberse, a que a bajas concentraciones las NPs pueden mejorar las respuestas fisiológicas de las plantas, mientras que, a concentraciones elevadas se puede ver afectado su desarrollo y establecimiento debido a la generación de ERO (Wang *et al.*, 2016); las cuales desencadenan un incremento de la peroxidación lipídica que resulta en una menor división celular (Prasad *et al.*, 2012).

**Cuadro 4. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de *Cucumis sativus* L, tratadas con diferentes tratamientos de NPsZnO y NPsAg+Lt.**

Tratamiento (ppm)	Vigor de germinación (%)	Germinación (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg)	LP (cm)	LR (cm)
<b>0</b>	36 a b	46 a b c	43 a	11 a	15.41 a	9.03 a b	11.87 a b
<b>100</b>	21 a b c	72 a	21 a b c	7 a	15.01 a	7.86 a b c d	11.06 a b c
<b>200</b>	33 a b c	68 a	25 a b c	7 a	14.30 a	9.20 a	13.04 a
<b>300</b>	23 a b c	65 a	27 a b c	8 a	14.95 a	8.19 a b c d	11.49 a b c
<b>400</b>	38 a	62 a b	31 a b c	7 a	15.61 a	8.94 a b	11.77 a b c
<b>500</b>	26 a b c	50 a b c	39 a b	11 a	16.22 a	8.50 a b c	12.90 a
<b>Media</b>	29.6	60.4	31.3	8.3	15.24	8.59	11.98
<b>Tukey (<math>\alpha=0.05</math>)</b>	14.99	13.18	13.88	12.03	3.83	0.58	0.79

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

## V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados de esta investigación, se concluye que los tratamientos con NPsZnO y NPsAg+Lt durante la etapa de imbibición de las semillas de *Cucumis sativus* L, influyeron directamente en la respuesta de variables asociadas con la calidad fisiológica de semillas, como el vigor de germinación y la longitud de plúmula y radícula, las cuales están relacionadas directamente con el proceso de germinación.

Es importante señalar, que los análisis comparativos del efecto de tipo de NPs sobre la germinación y caracteres asociados con la calidad fisiológica de semillas, nos permitieron observar que las NPsZnO impactaron positivamente la germinación y el crecimiento de plántulas, en comparación con las NPsAg+Lt

Por otra parte, los resultados indicaron que la variedad SMR 58 respondió de mejor manera a la aplicación de NPsZnO y NPsAg+Lt con incrementos en los parámetros asociados con el vigor de plántula, en comparación con la variedad POINSETT 76.

Para finalizar, se puede mencionar que los tratamientos con 100 y 200 ppm fueron los que impactaron positivamente variables como el vigor, la longitud de plúmula y radícula, al compararlos con el control y los tratamientos con concentraciones más elevadas (300, 400 y 500 ppm). En este sentido, sugerimos que una aplicación de NPs a bajas concentraciones puede estimular la germinación y el crecimiento de plántulas, sin llegar a generar fitotoxicidad.

## VI. LITERATURA CITADA

- Afrayeem, S. M. and A. K. Chaurasia. 2017. Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination and seed vigour in chilli (*Capsicum annuum* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 6(5):1564-1566.
- Almutairi, Z.M., and A. Alharbi. 2015. Effect of silver nanoparticles on seed germination of crop plants. International Journal of Nuclear and Quantum Engineering 9(6): 594-598.
- Alvarado, R., F. Solera, y J.R. Vega-Baudrit. 2014. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de zinc y de plata estabilizadas con quitosano. Evaluación de su actividad antimicrobiana. Revista Iberoamericana de Polímeros 15(3):134-148.
- Anandaraj, K. y N. Natarajan. 2017. Effect of Nanoparticles for seed quality enhancement in onion [*Allium cepa* (Linn) cv. CO (On)] 5. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci 6(11): 3714-3724.
- Aslani, F., S. Bagheri, N. Muhd Julkapli, A. Shukor Juraimi, F.S. Golestan Hashemi and A. Baghdadi. 2014. Effects of engineered nanomaterials on plants growth: An Overview. The Scientific World Journal. Vol. 2014. pp. 28
- Azimi, R., H. Feizi and M. Khajeh Hosseini. 2013. Can bulk and nanosized titanium dioxide particles improve seed germination features of wheatgrass (*Agropyrom desertorum*). Notulae Scientia Biologicae 5(3): 325-331.

- Bhattacharyya, A., R. Chandraseak, A.K. Chandra and R.S. Praksham. 2014. Application of nanoparticles in sustainable agriculture: Its current status. Short Views on Insect Biochemistry and Molecular Biology (2): 429-228.
- Boonyanitipong, P., B. Kositsup, P. Kumar, S. Baruah, and J. Dutta. 2011. Toxicity of ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on germinating rice seed (*Oryza sativa* L.) International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics (1): 282-285.
- Burman, U., M. Saini, and P. Kumar. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. Toxicological and Environmental Chemistry 95(4): 605-612.
- Buu, Q., T. Hien, H. Chau, X. Tin, T. Van, T. Duong and T. Ha. 2014. Effects of nano crystalline powders (Fe, Co and Cu) on the germination, growth, crop yield and product quality of soybean (Vietnamese species DT-51). Vietnam Academy of Science and Technology. 5:1-7.
- Carrillo González, R., y &M. D. C. A. González Chávez. 2009. La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, UNAM. 2(2) pp. 50-63
- Chávez-Mendoza, R.M. 2018. Comparación del efecto de nanopartículas de óxido de zinc comerciales y de ingeniería sobre parámetros de calidad fisiológica en semillas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

- Chinnamuthu, C.R. and P.M. Boopathi. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal 96(6):17-31.
- Díaz Álvarez, H. J., Liriano González, R., Cruz, A., y Osmani, E. 2019. Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Centro Agrícola, 46(1), 24-30.
- García López, J., F. Zavala García, E. Olivares Sáenz, N. A. Ruiz Torres, E. Ramos Cortez, I. Vera Reyes, B. Argüello Méndez, D. A. García Rodríguez y R. H. Lira Saldívar. 2017. Interacción de las nanopartículas de ZnO sobre la germinación y crecimiento temprano de plántulas de chile (*Capsicum chinense*). In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON AGROBIO NANOTECHNOLOGY. Saltillo, Coah. UAAAN. pp. 306.
- González, G., F. M. Mendoza, J. Covarrubias, N. Morán, y J. A. Acosta. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajío. Agricultura Técnica en México 34 (4): 421-430.
- González, G., F. M. Mendoza, J. Covarrubias, N. Morán, y J. A. Acosta. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajío. Agricultura Técnica en México 34(4):421-430.
- Gutiérrez-Praena, D., A. Jos, S. Pichardo, M. Puerto, M. Sánchez-Granados, E. Grilo y A. Cameán. 2009. Nuevos riesgos tóxicos por exposición a nanopartículas. Revista de Toxicología 26(3): 87-92.

- Hampton, J. G. and D. M. Tekrony. 1995. Handbook of vigour test methods. 3rd Edition. International Seed Testing Assoc. Zürich, Switzerland. pp.117.
- Jáuregui Rosas, R., O.R. Sánchez Rosales y O.J. Perales Pérez. 2011. Efecto de la temperatura de recocido en la cristalinidad y tamaño de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método sol-gel. SCIÉENDO 14(1): 56-66.
- Jayarambabu, N. and B. Siva Kumari. 2017. Seed germination and growth parameters response of mungbean influence by biogenic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. International Journal of Multidisciplinary Advanced Research Trends. 4(3): 34-40.
- Juárez-Maldonado, A., H. Ortega-Ortiz, F. Pérez-Labrada, G. Cadenas-Pliego, and A. Benavides-Mendoza. 2016. Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. Journal of Applied Botany and Food Quality 89: pp. 183-189.
- Khodakovskaya, M., M. E. Dervishi, M. Mahmood, Y. Xu, Z. Li, F. Watanabe and A. S. Biris. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. ACS nano. 3 (10):3221-3227.
- Kyung, K.S. and I.C. Kong. 2014. Toxic effects of nanoparticles on bioluminescence activity, seed germination, and gene mutation. Applied Microbiology and Biotechnology 7: 3295-3303.

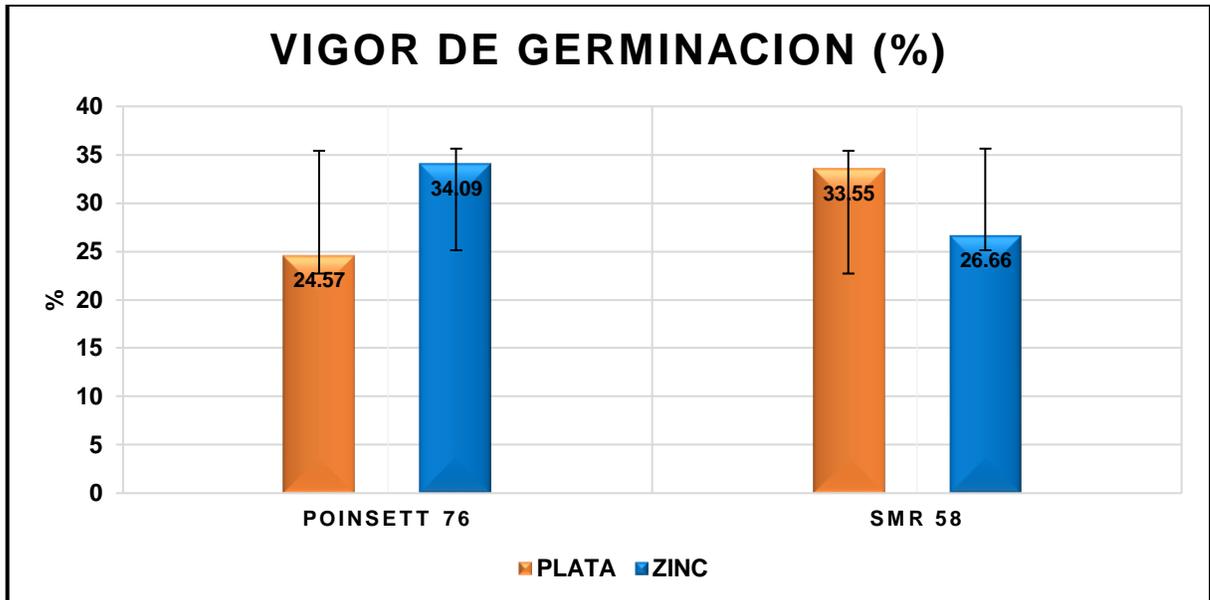
- Lira-Saldivar, R.H., Canul-Tun, C., Méndez-Argüello, B. y De Los Santos-Villareal, G. 2016. Efecto de nanopartículas en aspectos fisiológicos, bioquímicos y moleculares de plantas. *Agronano Tecnología* Nueva Frontera de la Revolución Verde. pp. 173-206.
- Mahmoodzadeh, H., M. Nabavi and H. Kashef. 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). *Journals of Ornamental and Horticultural Plants* 3(1):30.
- Narendhran, S., R. Raju and R. Sivaraj. 2016. Toxicity of ZnO nanoparticles on germinating (*Sesamum indicum*) and their antibacterial activity. *Bulletin of Materials Science*. 39(2): 415-421.
- Navarro, M., G. Febles y V. Torres. 2009. Comportamiento interactivo de la germinación, la dormancia, la emergencia y el crecimiento inicial como atributos biológicos para evaluar el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck* L. Benth. Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 10.
- Ocvirk, D., M. Spoljarevic, S. Markovic, M. R. Lisjak y T. Teklic. 2014. Seed germinability after imbibition in electrical conductivity test and relations among maize seed vigour parameters. *J. Food Agric. Environ* 12:140-145.
- Prasad, T.N., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreeprasad, P.R. Sajanlal and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition* 35(6): 905-927.

- Quispe Chalco, C. R. 2010. Nanotecnología en la agricultura. Revista de información, tecnología y sociedad. pp. 72-73.
- Raskar. S.V., and S.L. Laware. 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 3(2): 467-473.
- Rodríguez Fernández, O. 2016. Desarrollo de la investigación sobre nanotecnología en el centro de investigación en química aplicada (CIQA-CONACYT). En R. H. Lira Saldivar, & B. Méndez Argüello, Agronano Tecnología Nueva Frontera de la Revolución Verde. pp. 7-23.
- Ruiz Torres, N. A., García López, J. I., Lira Saldivar, R. H., Vera Reyes, I., y Méndez Argüello, B. 2016. Efecto de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de semillas. En R. H. Lira Saldivar, & B. Méndez Argüello, Agronano Tecnología Nueva Frontera de la Revolución Verde. pp. 75-114.
- Ruiz Torres, N. A., L. I. Cruz Ruiz, R. H. Lira Saldivar, J. I. García López e I. Vera Reyes. 2017. Respuesta a la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc y hierro, en el proceso germinativo de semilla de calabaza (*Cucurbita pepo*). In: International Symposium on Agrobio Nanotechnology. Saltillo, Coah. UAAAN. pp. 306.
- Savithamma, N., S. Ankanna and G. Bhumi. 2012. Effect of nanoparticles on seed germination and seedling growth of *Boswellia ovalifoliolata* an endemic and endangered medicinal tree taxon. Department of Botany Tirupati, Andhra Pradesh, India. pp. 63-64.

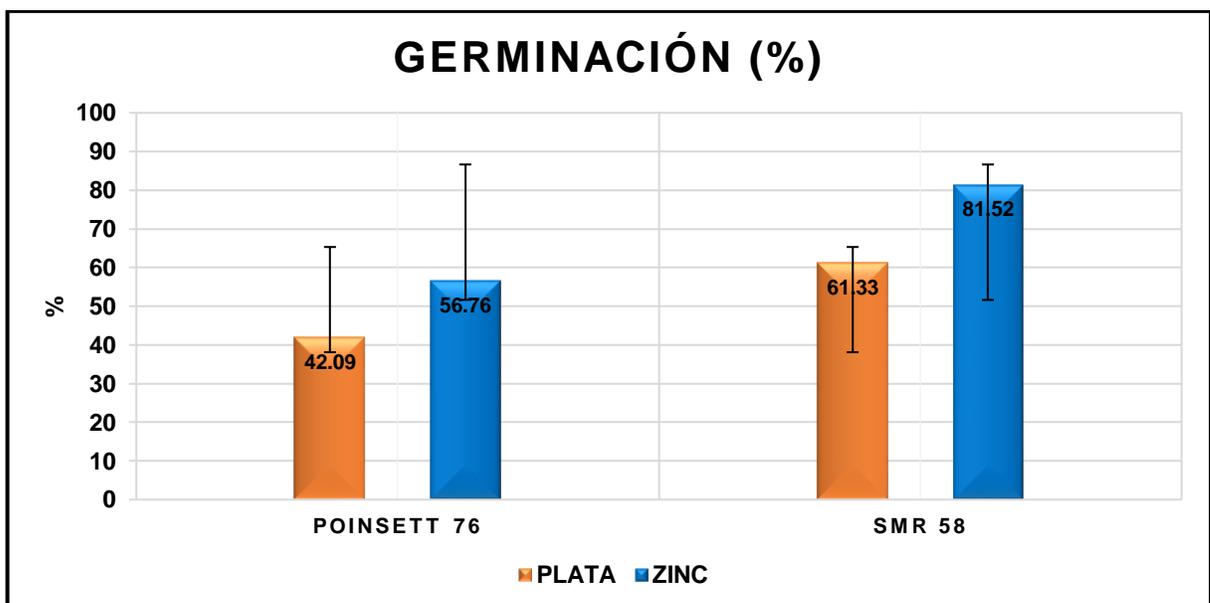
- Siddiqui, H. M. and M. H. Al- Whaibi. 2014. Role of nano- SiO<sub>2</sub> in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill). Saudi Journal of Biological Sciences 21(1): 13 -17.
- Ulla, S. y M. Arshad. 2014. Exposure-Response of *Triticum aestivum* to titanium dioxide nanoparticles application: seedling vigor index and micronuclei formation. Institute of Environmental Sciences and Engineering. 20(1): 57-61.
- Upadhyaya, H., Roy, H., Shome, S., Tewari, S., Bhattacharya, M. K., & Panda, S. K. 2017. Physiological impact of Zinc nanoparticle on germination of rice (*Oryza sativa* L) seed. Journal of Plant Science and Phytopathology 1, 62-70.
- Wang, Y., L. Sangtao, Z. Guangliand, A. Dongmin, W. Ce, Y. Quingbiao, C. Xuesi, J. Xiabin and W. Yen. 2006. A convenient route for polyvinyl pyrrolidone/silver nanocomposite by electrospinning. IOPSCIENCE 17(13): 3304-3307.
- Wang, Z., L. Xu, J. Zhao, X. Wang, J. C. White and B. Xing. 2016. CuO Nanoparticle interaction with (*Arabidopsis thaliana*): Toxicity, parent-progeny transfer, and gene expression. Environmental Science and Technology 50(11): 6008-6016.
- Zanella, R. 2012. Metodologías para la síntesis de nanopartículas, controlando forma y tamaño. Mundo Nano. pp. 69-71.
- Zarate-Cruz, G.S., H.A. Zavaleta-Mancera, A. Alarcón, and L.F. Jiménez-García. 2016. Phytotoxicity of ZnO nanoparticles on the aquatic fern *Azolla filiculoides* Lam. Agrociencia 50(6): 677-691.

## ANEXOS

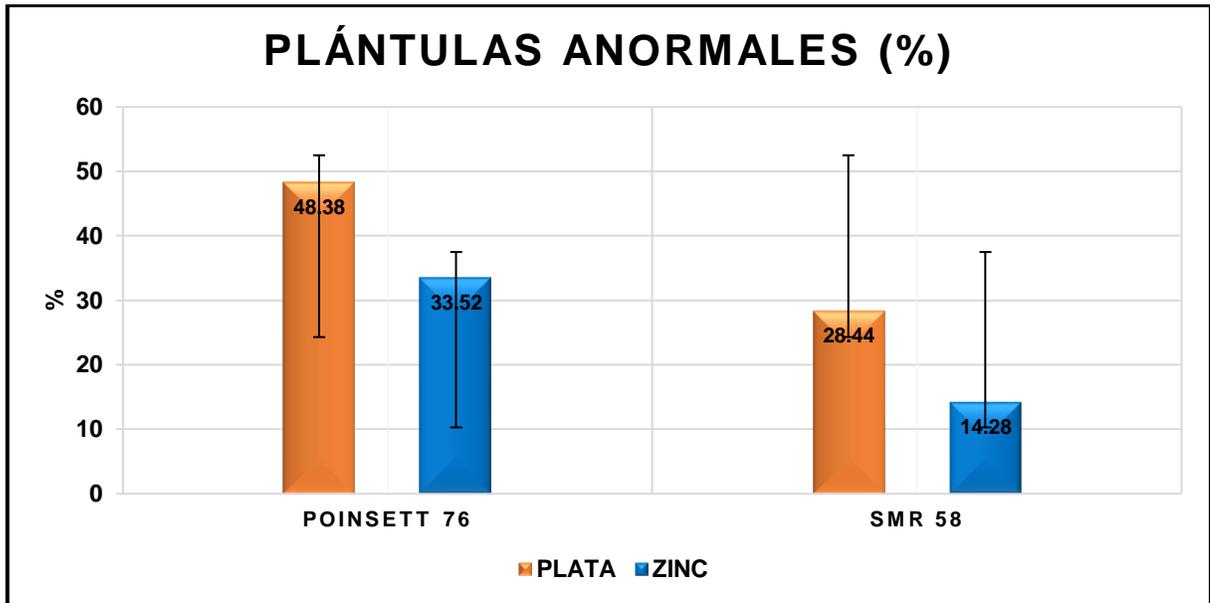
Anexo 1. Vigor de germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58) en respuesta a la aplicación de NPsAg+Lt y NPsZnO.



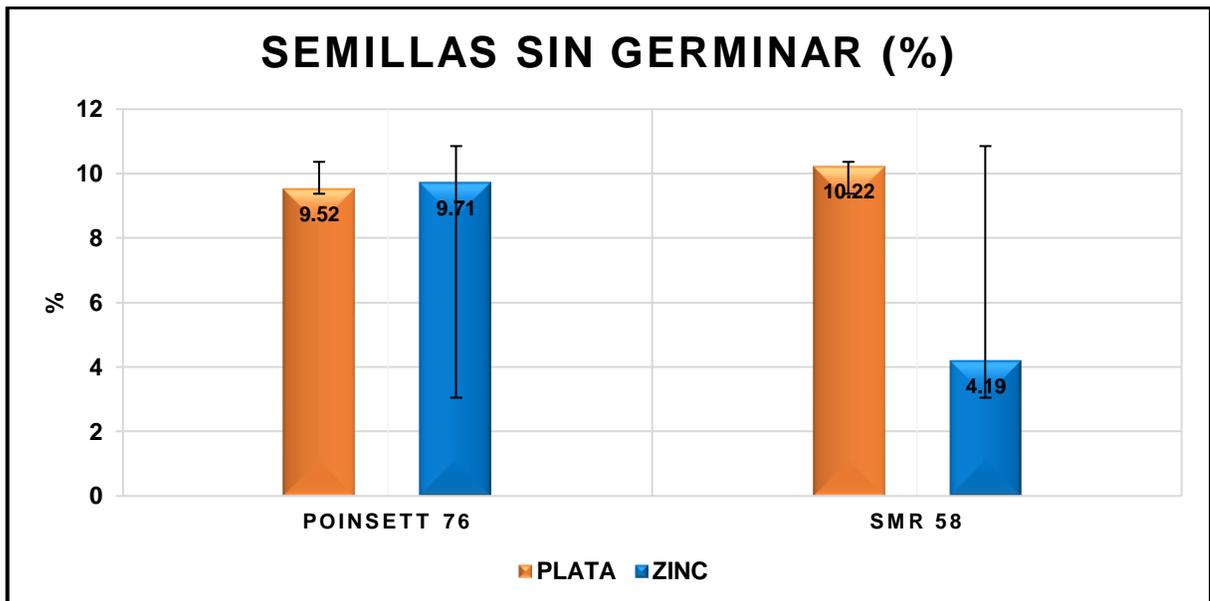
Anexo 2. Germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58) en respuesta a la aplicación de NPsAg+Lt y NPsZnO.



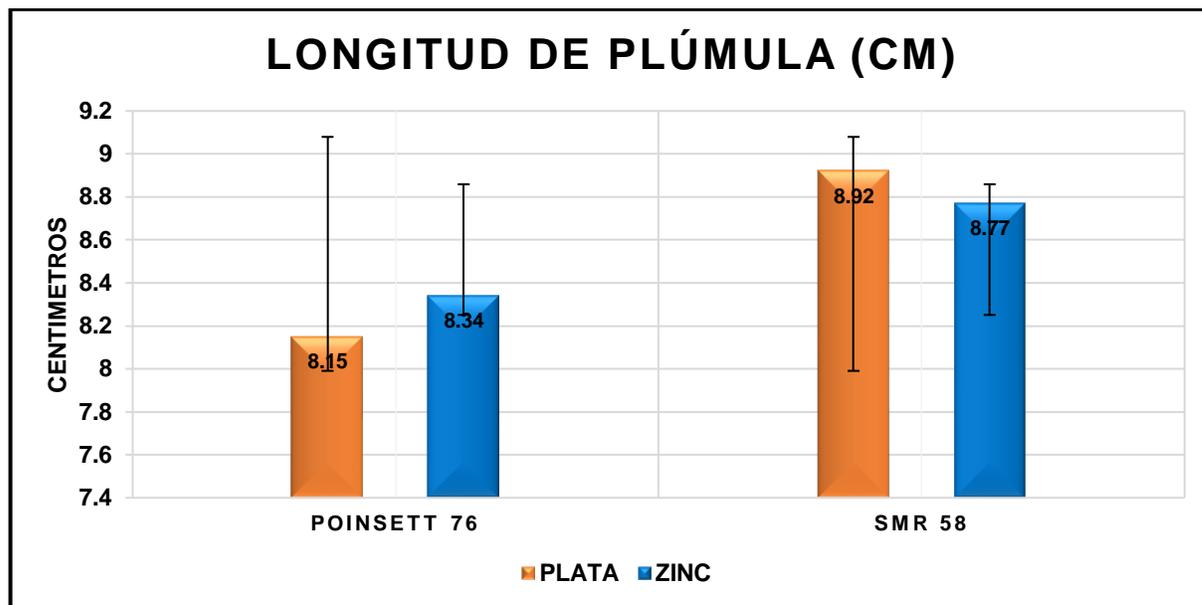
Anexo 3. Plántulas anormales (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58) en respuesta a la aplicación de NPsAg+Lt y NPsZnO.



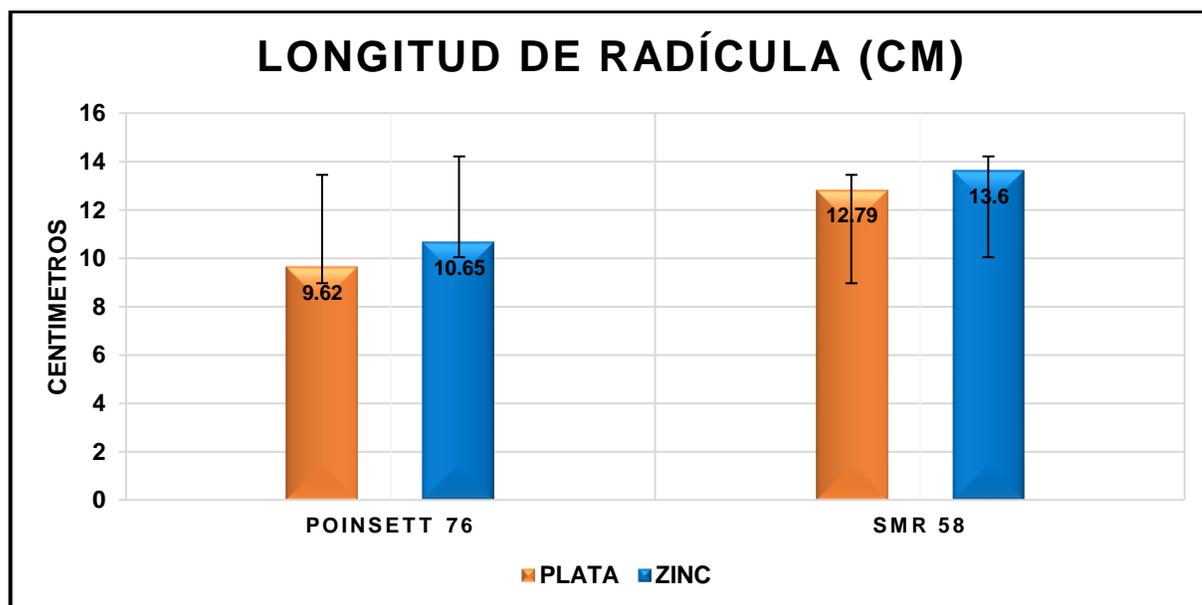
Anexo 4. Semillas sin germinar (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58) en respuesta a la aplicación de NPsAg+Lt y NPsZnO.



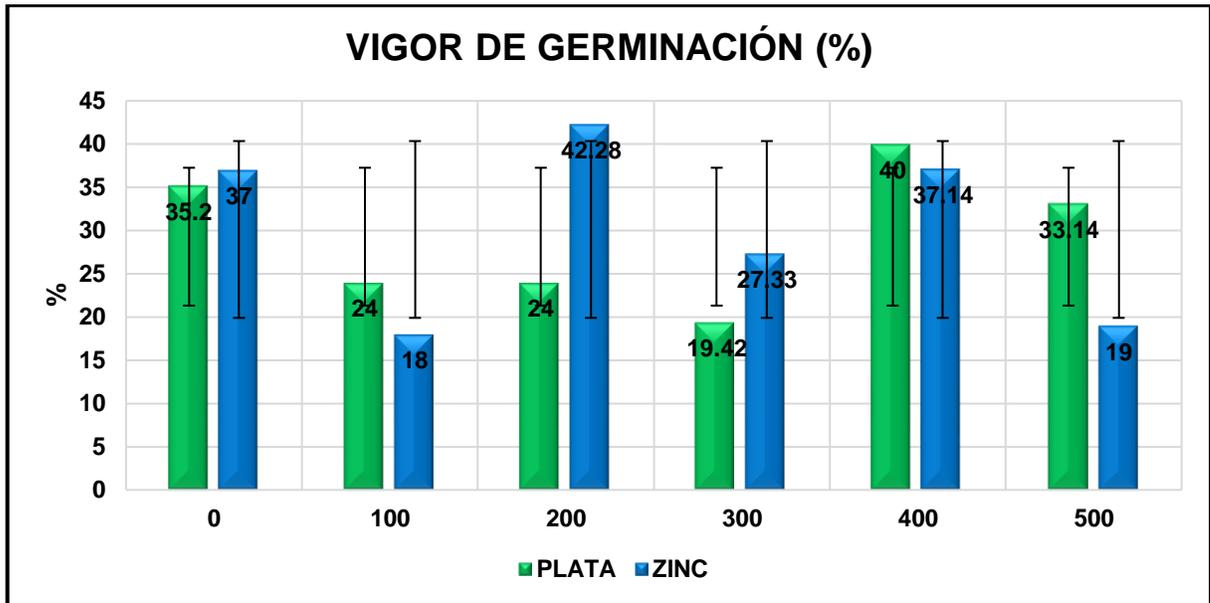
Anexo 5. Longitud de plúmula (cm) en semillas de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58) en respuesta a la aplicación de NPsAg+Lt y NPsZnO.



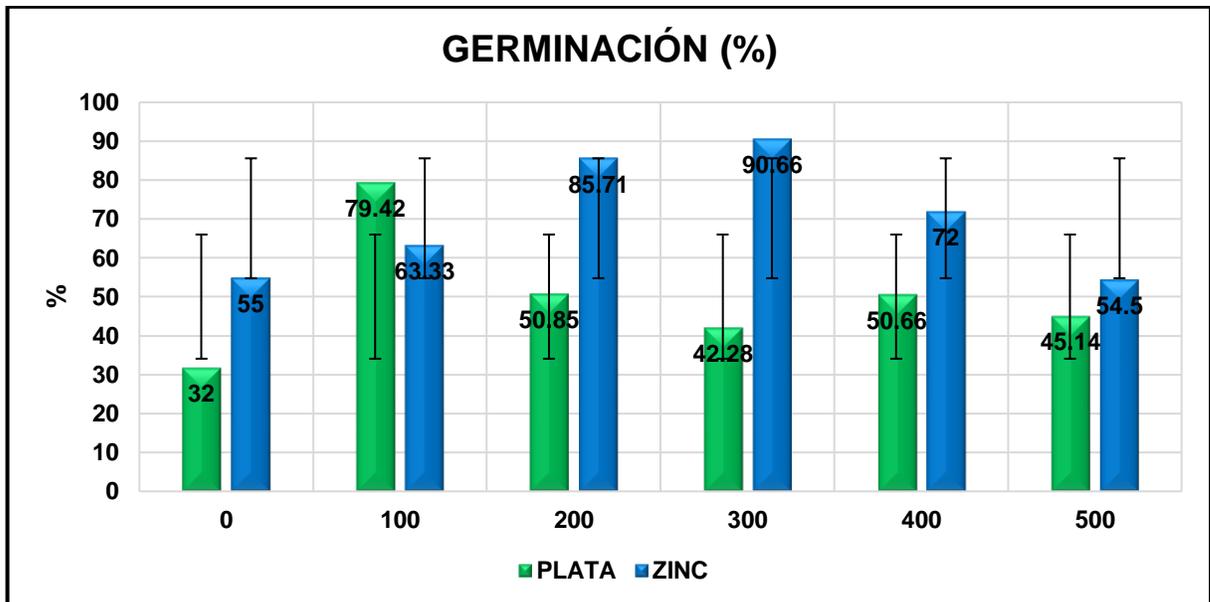
Anexo 6. Longitud de radícula (cm) en semillas de *Cucumis sativus* L. (POINSETT 76 y SMR 58) en respuesta a la aplicación de NPsAg+Lt y NPsZnO.



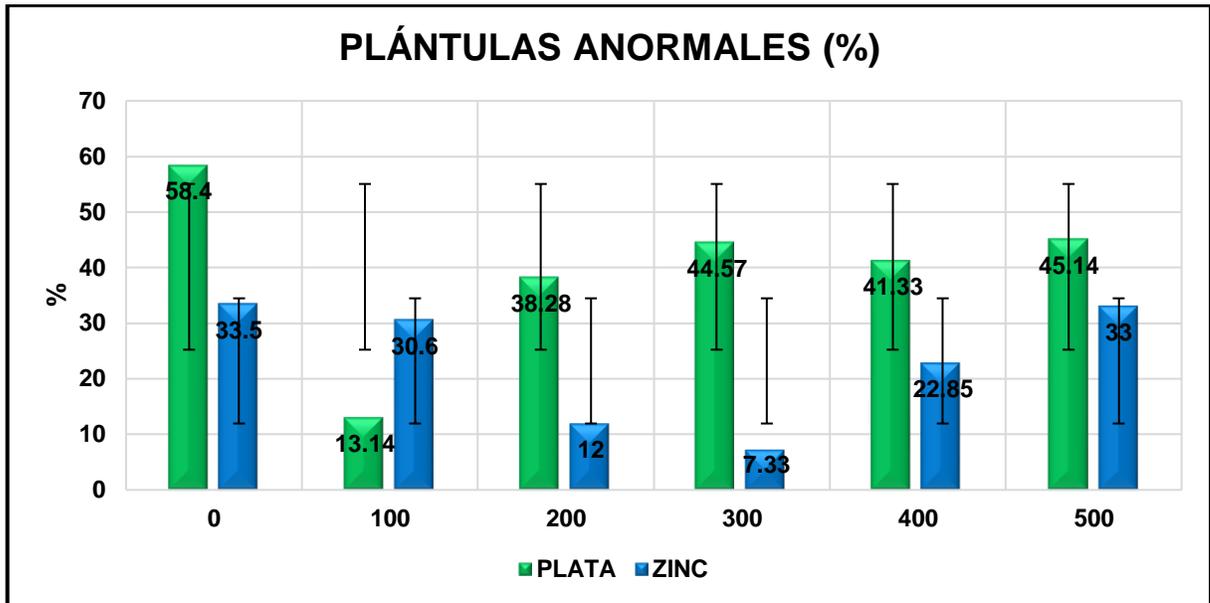
Anexo 7. Vigor de germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de NPsAg+Lt y NPsZnO.



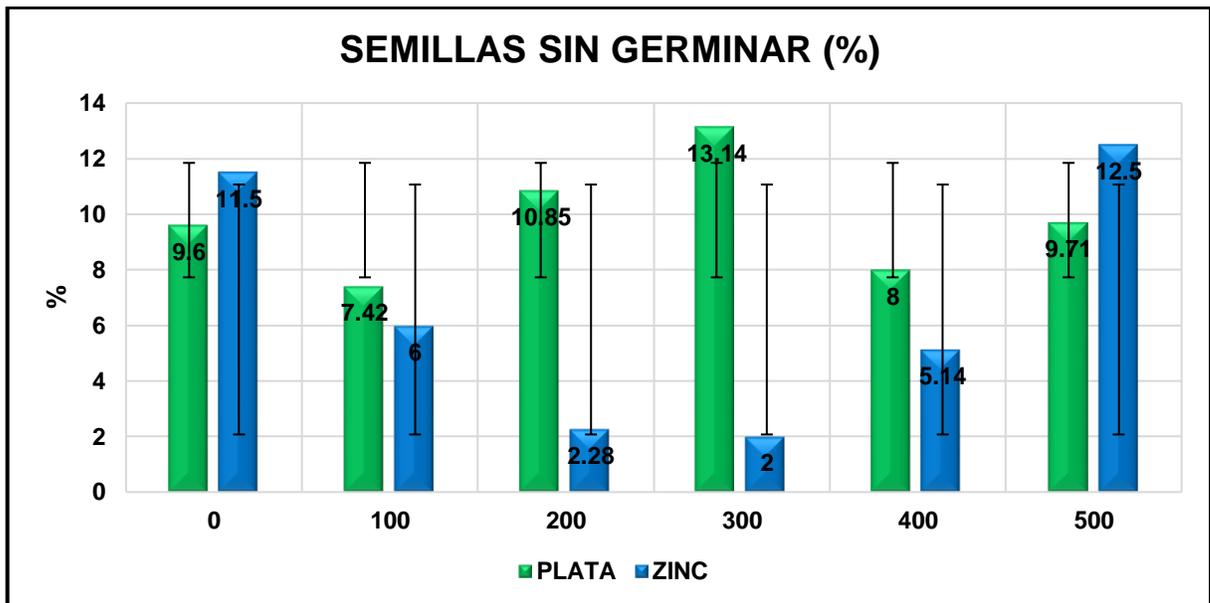
Anexo 8. Germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de NPsAg+Lt y NPsZnO.



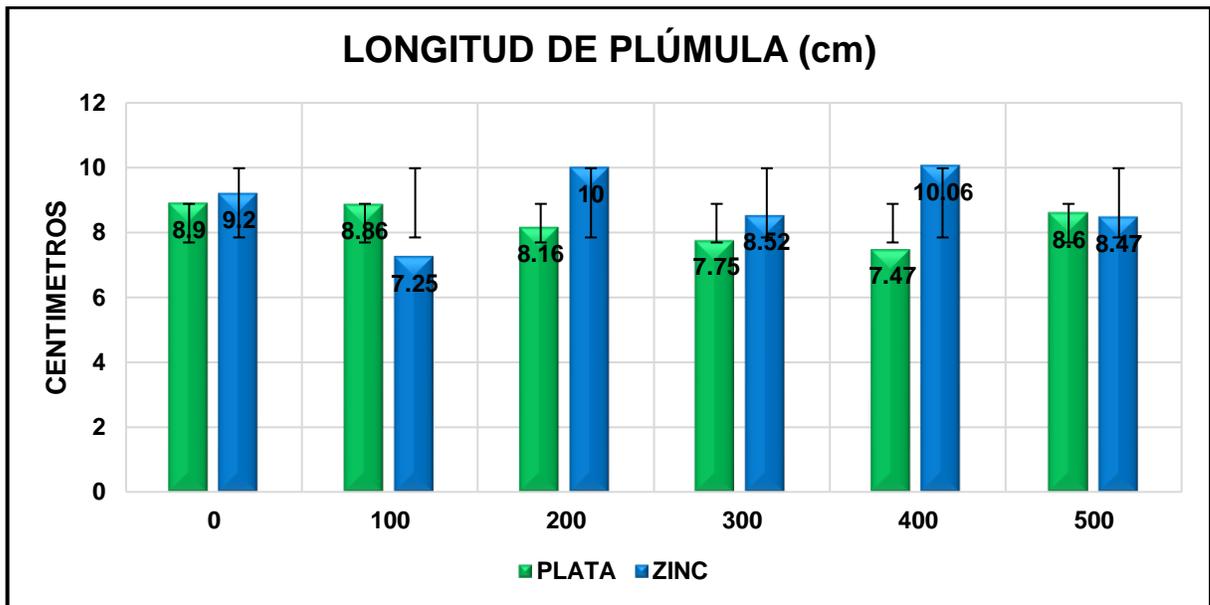
Anexo 9. Plántulas anormales (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de NPsAg+Lt y NPsZnO.



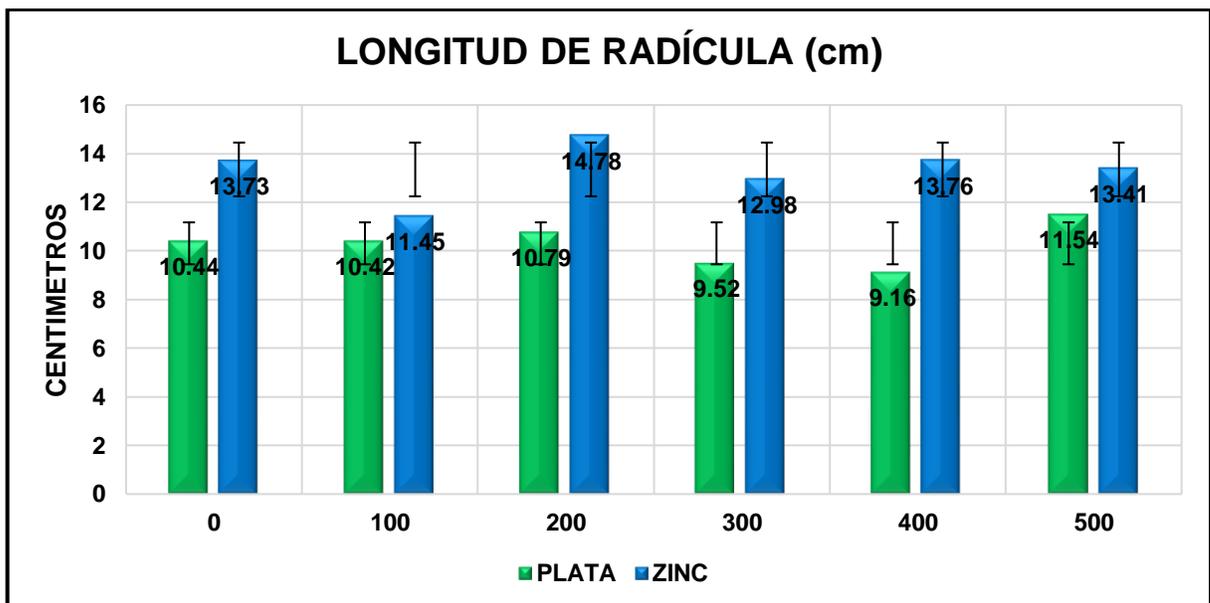
Anexo 10. Semillas sin germinar (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de NPsAg+Lt y NPsZnO.



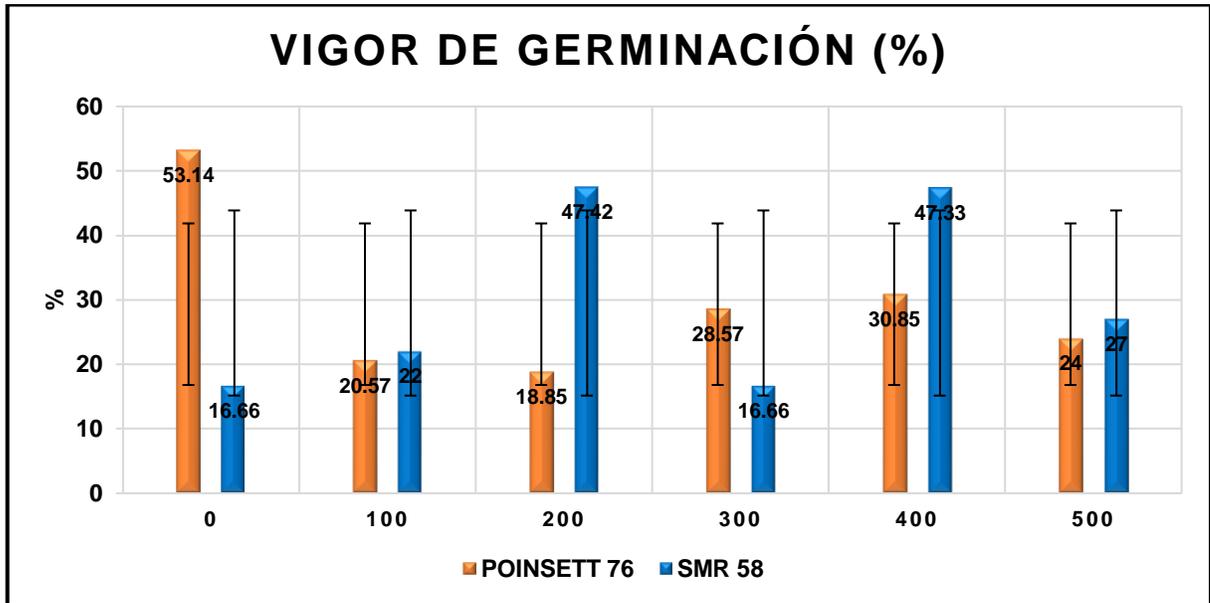
Anexo 11. Longitud de plúmula (cm) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de NPsAg+Lt y NPsZnO.



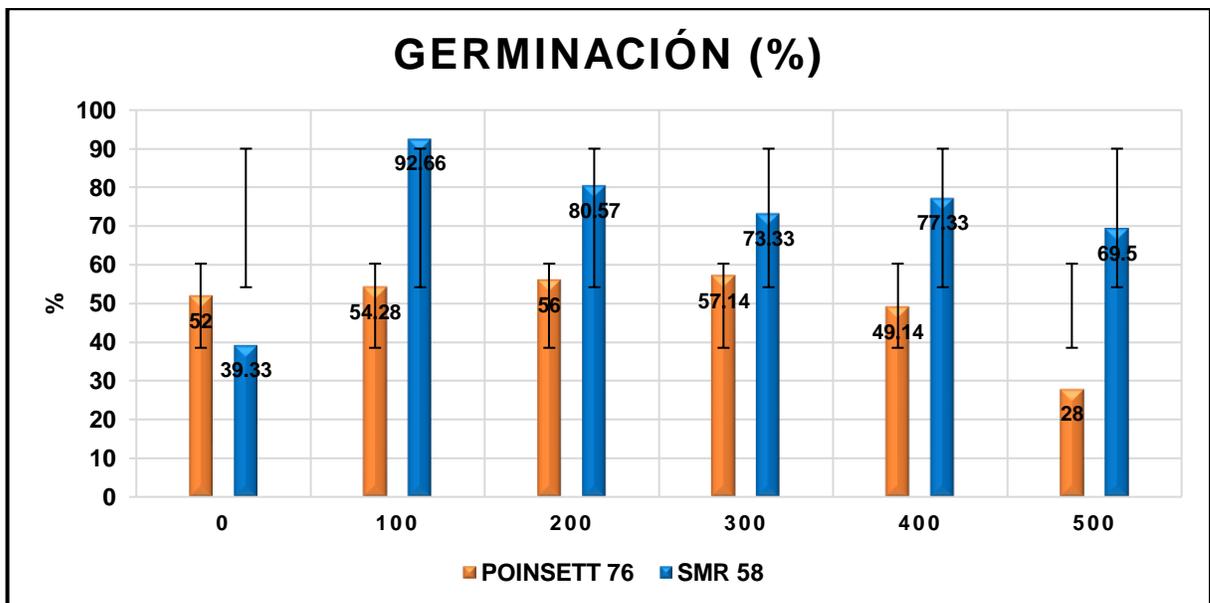
Anexo 12. Longitud de radícula (cm) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de NPsAg+Lt y NPsZnO.



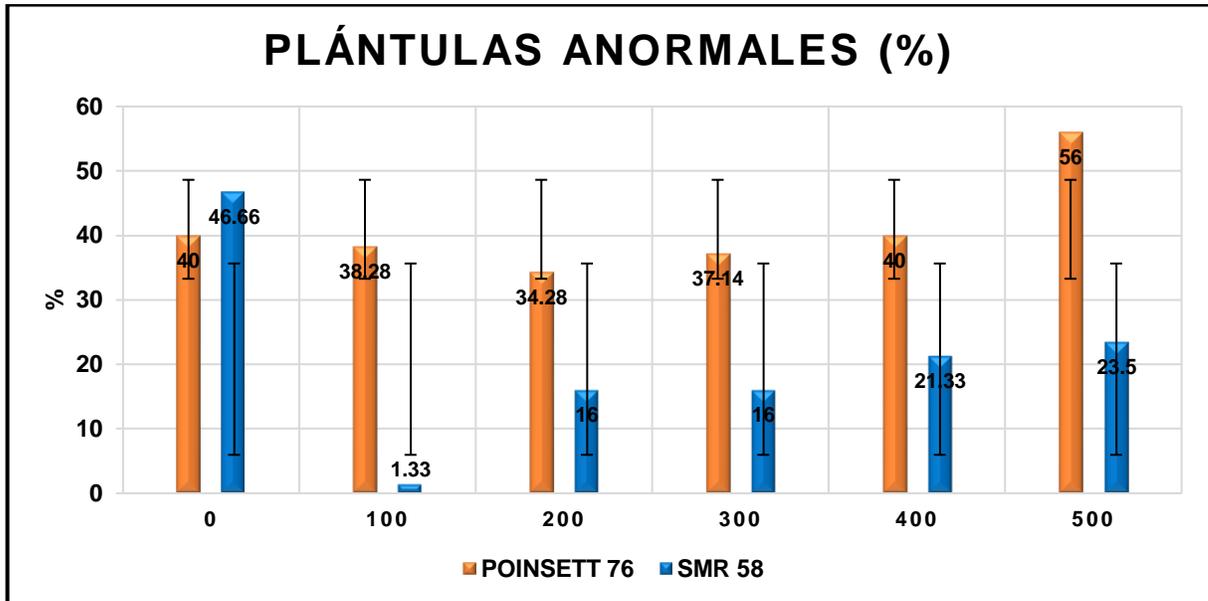
Anexo 13. Vigor de germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de aplicación con NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



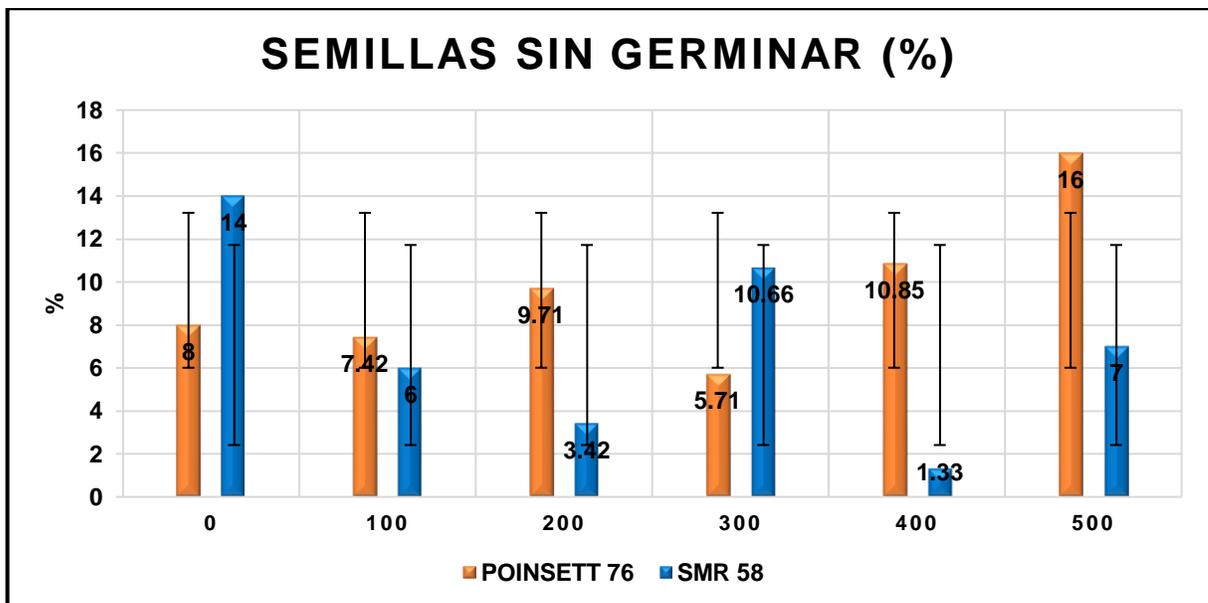
Anexo 14. Germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de aplicación con NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



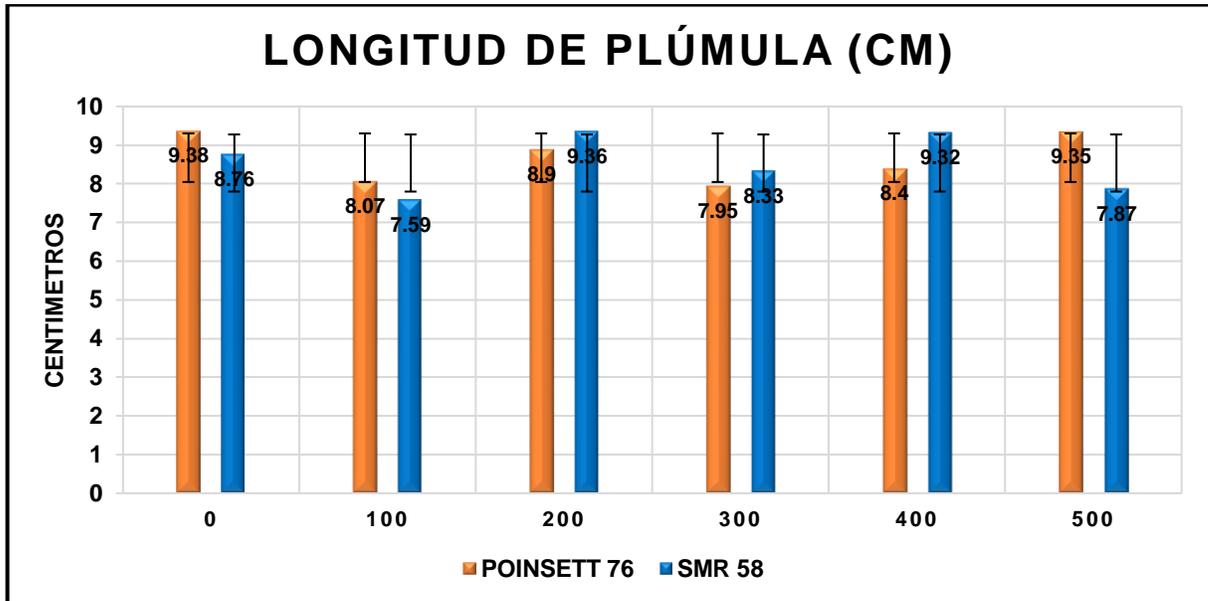
Anexo 15. Plántulas anormales (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de aplicación con NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



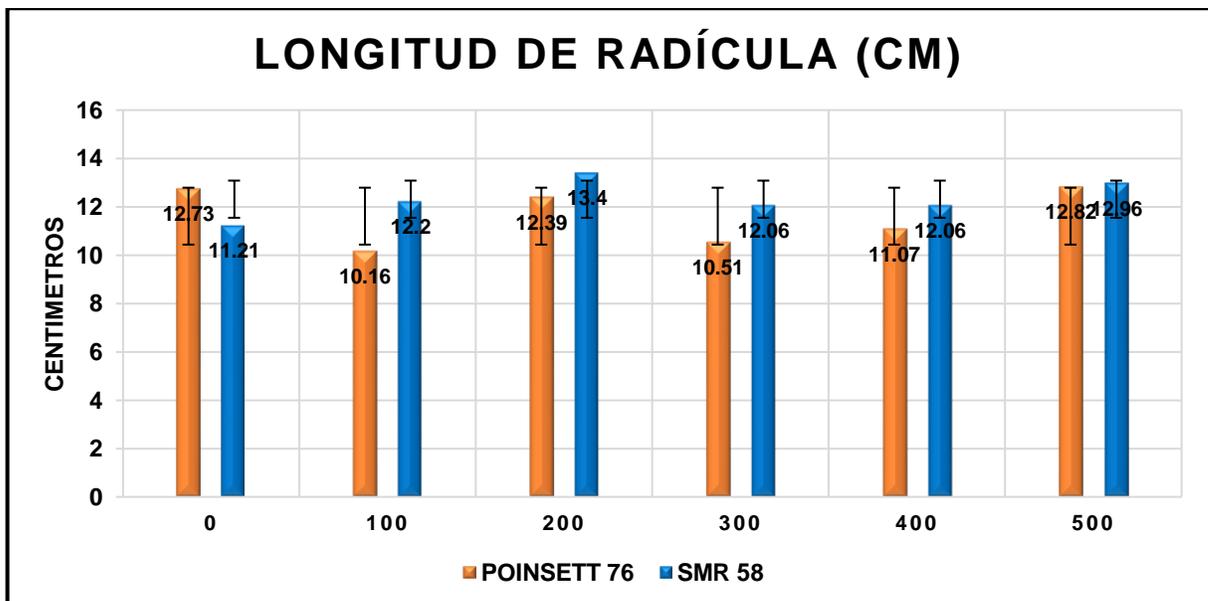
Anexo 16. Semillas sin germinar (%) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de aplicación NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



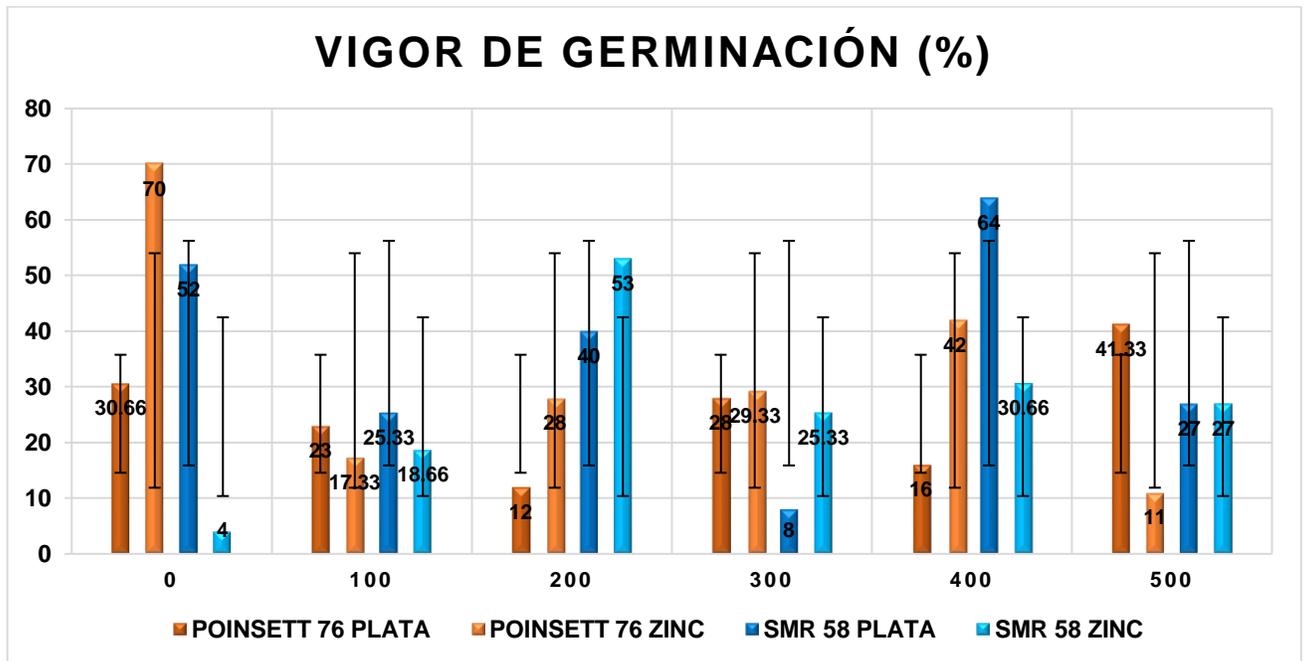
Anexo 17. Longitud de plúmula (cm) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de aplicación con NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



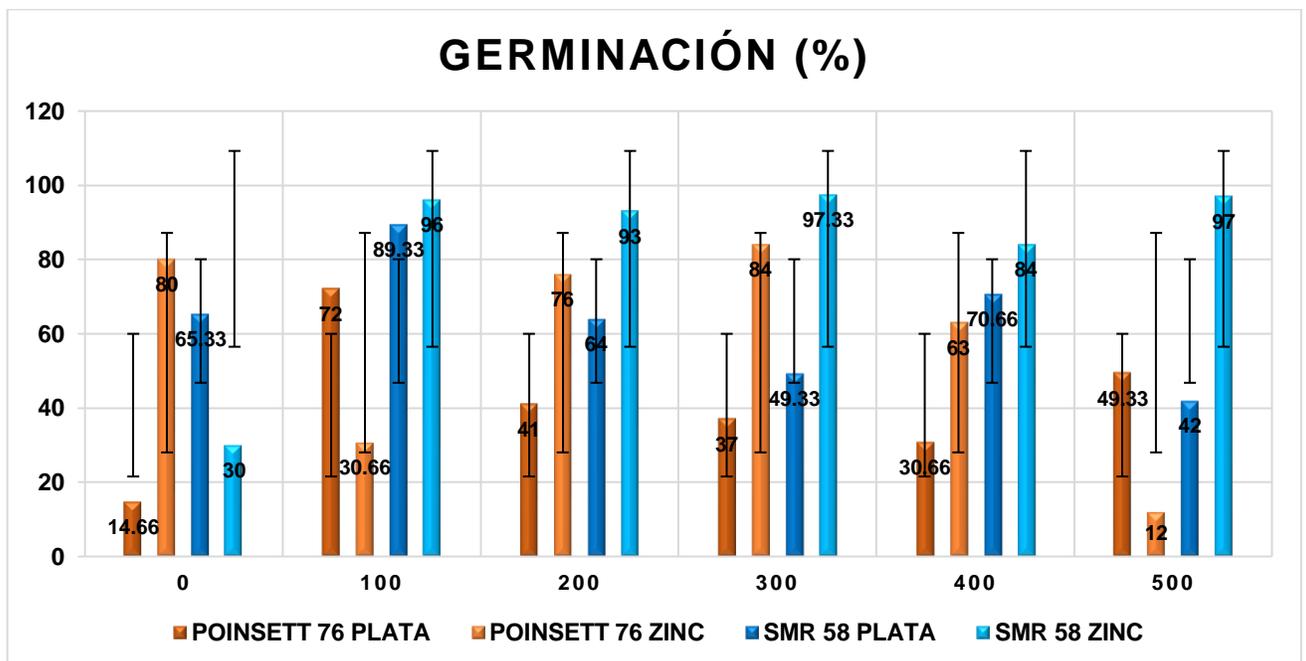
Anexo 18. Longitud de radícula (cm) en semillas de *Cucumis sativus L.* en respuesta a los diferentes tratamientos de aplicación con NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



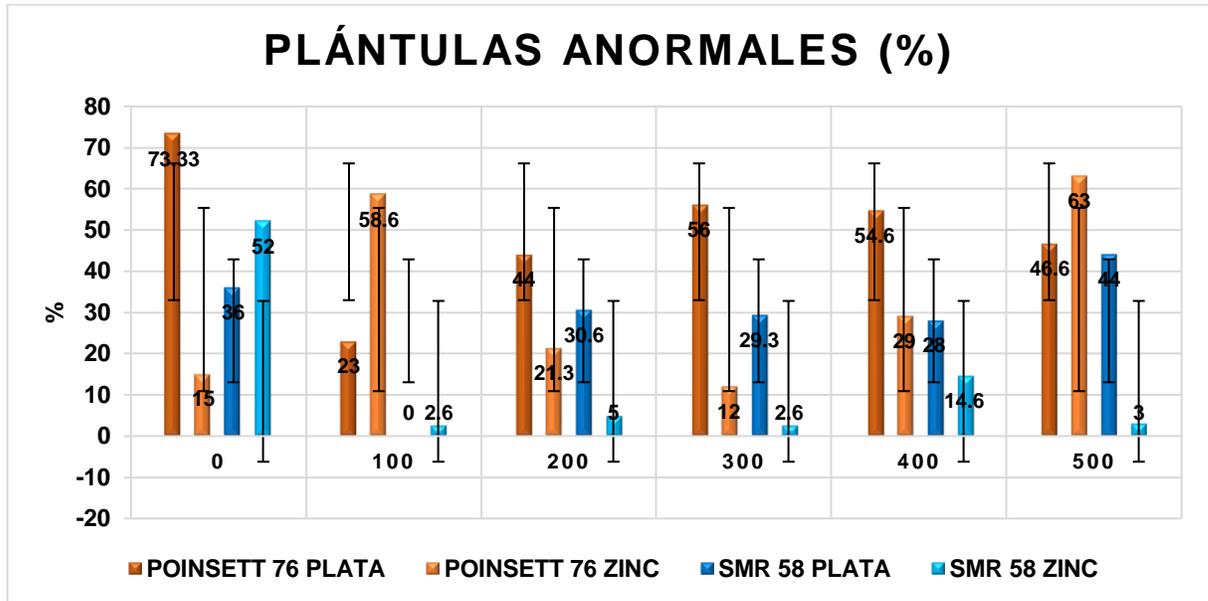
**Anexo 19. Vigor de germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. en respuesta a los diferentes tratamientos por NPsAg+Lt y NPsZnO en las variedades POINSETT 76 y SMR 58.**



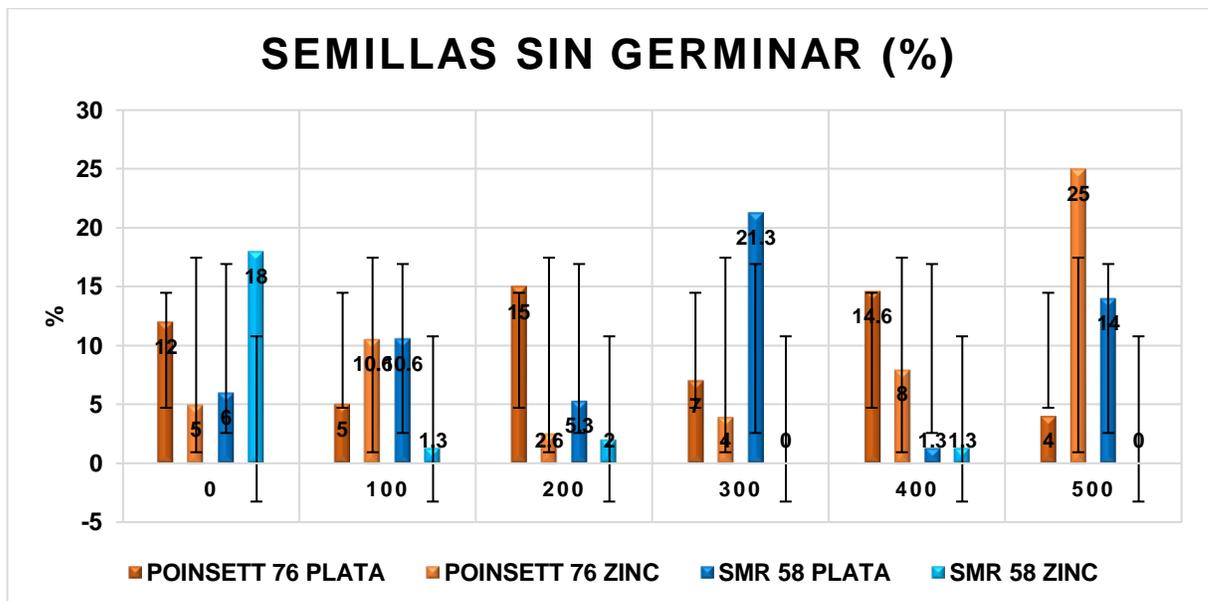
**Anexo 20. Germinación (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. en respuesta a los diferentes tratamientos con NPsAg+Lt y NPsZnO por las variedades POINSETT 76 y SMR 58.**



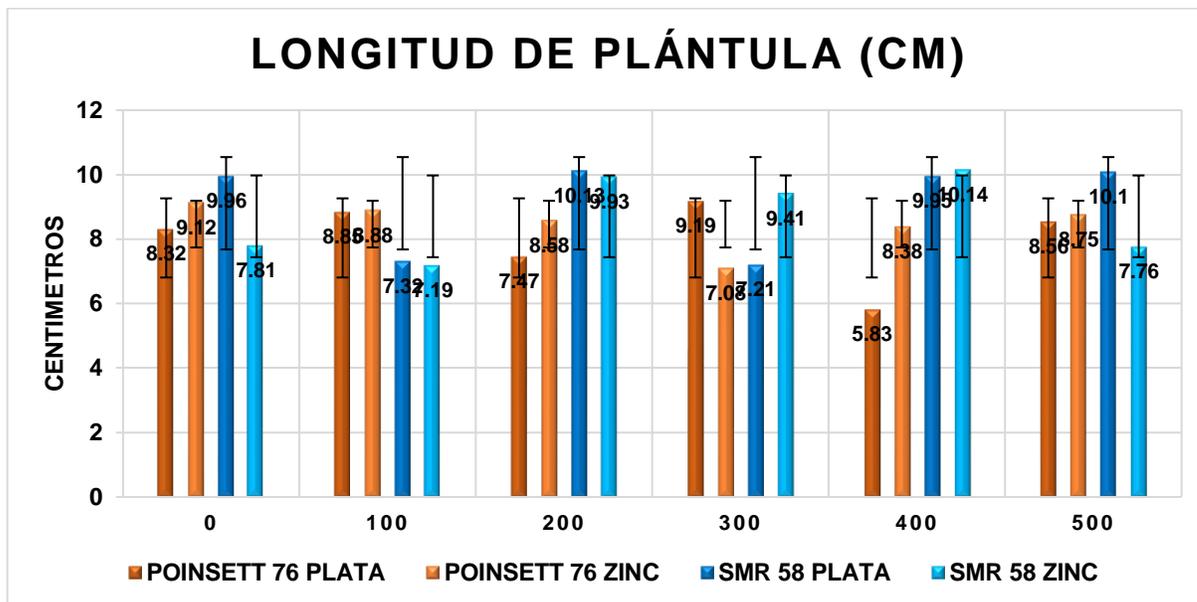
Anexo 21. Plántulas anormales (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. en respuesta a los diferentes tratamientos por NPsAg+Lt y NPsZnO por las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



Anexo 22. Semillas sin germinar (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. en respuesta a los diferentes tratamientos por NPsAg+Lt y NPsZnO por las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



Anexo 23. Longitud de plúmula (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. en respuesta a los diferentes tratamientos por NPsAg+Lt y NPsZnO por las variedades POINSETT 76 y SMR 58.



Anexo 24. Longitud de radícula (%) en semillas de *Cucumis sativus* L. en respuesta a los diferentes tratamientos por NPsAg+Lt y NPsZnO por las variedades POINSETT 76 y SMR 58.

