

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO) y su Efecto en el Vigor de
Germinación y otros Parámetros Determinados en Plántulas de
Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

SIMÓN CALDERÓN RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO) y su Efecto en el Vigor de Germinación y otros Parámetros Determinados en Plántulas de Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

SIMÓN CALDERÓN RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

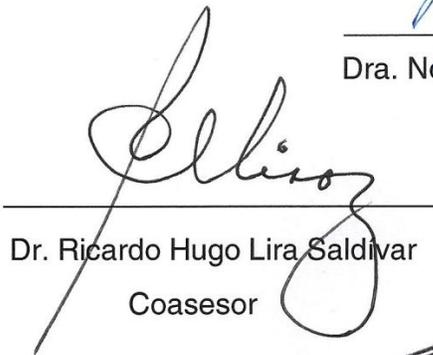
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



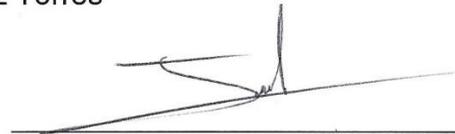
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor Principal



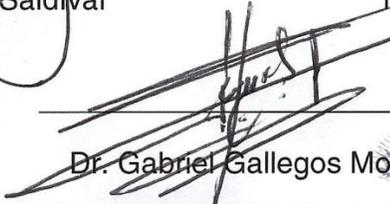
Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar

Coasesor



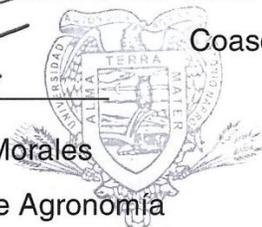
Mtro. Josué Israel García López

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2018

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de continuar con mis estudios y sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida, por el apoyo brindado en momentos de necesidad, por la confianza puesta en mí, por sus consejos, regaños, etc. y por representar la unidad familiar.

También agradecer a mis amigos en especial a Eddaliz, Yoni, Rudy y Mauricio por confiar y creer en mí en momentos de dificultades, por su inmenso apoyo y por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Al igual, agradecer a mis profesores que durante toda mi carrera profesional han aportado con un granito de arena a mi formación profesional con cada uno de sus conocimientos y experiencias compartidas.

*Agradezco a mi asesora de tesis **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres** por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.*

*A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)** “Alma Terra Mater” por hacerme sentir en casa, por brindarme un lugar en esta institución, universidad de gran prestigio agronómico en México; por darme las herramientas necesarias para ejercer como todo un profesional en el mundo laboral y sobre todo por permitirme llevar en alto el nombre de esta gran universidad.*

DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

A mis queridos padres

María Guadalupe Ramírez Calderón y Florindo Calderón Ramírez

A quienes me han brindado el tesoro más valioso que puede darle a un hijo, quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme.

A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en una persona de provecho, a quienes nunca podré agradecer todos sus desvelos ni aun con las riquezas más grandes del mundo.

Les agradezco por ser la guía en mi camino, porque en las buenas y en las malas nunca jamás me dieron la espalda y hoy les confieso que me enorgullece que sean mis viejos

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

Por eso y más gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS	3
III. OBJETIVO GENERAL	3
3.1 OBJETIVOS PARTICULARES	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Nanociencia	4
4.2 Nanotecnología	5
4.3 Clasificación de la Nanotecnología	5
4.4 Aplicaciones de la Nanotecnología	5
4.5 Toxicidad en la aplicación de Nano-materiales	6
4.6 La Nanotecnología en la Agricultura	6
4.7 Nanopartículas	7
4.8 Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO)	7
4.9 Efecto de las NPs en las semillas	8
V. MATERIALES Y MÉTODOS	10
5.1 Ubicación	10
5.2 Preparación de soluciones con NPs	10
5.3 Material biológico	10
5.4 Proceso de imbibición	10

5.5	Variables evaluadas en el bioensayo.....	11
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
VII.	CONCLUSIÓN.....	21
VIII.	LITERATURA CITADA.....	22
IX.	ANEXOS.....	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en bioensayo de germinación de semillas tratadas con nanopartículas (NPs) de tipo hexagonal y varita.....14

Cuadro 2. Respuesta a la aplicación de dos tipos de NPsZnO (Varita y Hexagonales) a semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante el proceso de imbibición.....15

Cuadro 3. Respuesta a la aplicación de NPsZnO (Varita y Hexagonales) a semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante el proceso de imbibición.....19

RESUMEN

Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO) y su Efecto en el Vigor de Germinación y otros Parámetros Determinados en Plántulas de Pepino

(*Cucumis sativus* L.).

El presente trabajo se llevó a cabo 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 el efecto fisiológico que tiene el uso de nanopartículas de diseño de Óxido de Zinc (NPsZnO), en dos presentaciones (hexagonales y varita) a diferentes concentraciones (0.0, 0.5, 1, 5, 10, 50 ppm), en semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Poinsett 76. Cada tratamiento consto de 150 semillas distribuidas de seis repeticiones de 25 semillas.

Posteriormente fueron tratadas con 30 ml de solución de NPsZnO, imbiendo las semillas por 24 horas, en caja Petri sobre papel filtro y dentro de una cámara bioclimática, a 25 °C.

Posterior al tratamiento se prosiguió con la siembra, colocando 25 semillas por repetición, entre dos capas de papel Anchor humedecidas con agua destilada, enrollados en forma de taco, colocados en bolsas de polietileno transparentes, las cuales se ubicaron dentro de una cámara bioclimática a una temperatura de 25 °C y un fotoperiodo 16 horas luz y 8 horas oscuridad.

Las variables evaluadas fueron: plántulas normales, plántulas anormales, semillas sin germinar, peso seco de plántula, longitud media de vástago y longitud media de radícula.

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los datos de las variables fueron sometidas a un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre tipos de partícula y entre concentraciones, posteriormente se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para establecer el orden de eficiencia de

tratamientos (0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm), utilizando el Paquete estadístico SAS versión 9.1.

Los resultados indican que las NPsZnO a una concentración de 5 ppm, promueven un mayor efecto en el vigor de la semilla, con 50 ppm, se logra incrementar el porcentaje de germinación de un 91% (testigo) a un 95 %. Sin embargo, las longitudes de vástago y de radícula presentan diferencias significativas a una concentración de 0.5 ppm de NPsZnO.

Palabras claves: Nanopartículas (NPs), Óxido de Zinc (ZnO), Vigor, Germinación, Vástago y Radícula.

I. INTRODUCCIÓN

La Oficina Nacional de Coordinación de la Nanotecnología (ONCN) de Estados Unidos, define la nanociencia (NC) como aquella que "involucra la investigación y el descubrimiento de nuevas características y propiedades de materiales en la nanoescala, cuyo rango va de 1 a 100 nanómetros (nm)"; y la Nanotecnología (NT) como "la manera en que los descubrimientos son puestos a trabajar".

La NT el diseño, caracterización y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica.

Por primera vez, en el departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), en septiembre del 2003 se dio a conocer avances en el área de la industria alimentaria y la aplicación de nanopartículas (NPs). Dentro de las principales áreas de desarrollo, se destacó el envasado, se logró mejorar la vida en anaquel, el desarrollo de alimentos nanofuncionales (encapsulados), la calidad y seguridad alimentaria y la mejora de los procesos de los alimentos.

Existen diferentes compuestos para elaborar nanomateriales, tal es el caso de las NPs metálicas, siendo las más empleadas aquellas provenientes de oro (Au), plata (Ag), cobre (Cu), fierro (Fe), aluminio (Al), cobalto (Co), titanio (Ti) y zinc (Zn).

Como toda innovación tecnológica evoluciona, la NT no se queda atrás, se espera que la NT desempeñe un papel de vital importancia en varias disciplinas, ya que está convirtiendo en una megatendencia del campo científico innovador.

Las áreas donde se han observado avances innovadores de esa tecnología son: la medicina, la biología, la farmacología y los materiales, y entre sus campos de aplicación se influyen en: medioambiente, exploración espacial, tecnologías de la comunicación e informática, sector energético, textil, construcción y arquitectura, agricultura, ganadería, electrónica, cosmética,

industria militar, automovilística, seguridad personal y vial, higiene y salud pública, deportes, espionaje y reducción de la brecha digital, entre otras.

Respecto a la agricultura, el uso de la NT se está enfocando principalmente en la producción de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, así como nanosensores para la calidad del suelo y vigilancia de la salud de plantas. Se formulan productos de ingredientes activos de tamaño nanométrico, lo cual incrementa su eficiencia, su disponibilidad para las plantas y reduce significativamente las pérdidas al aplicar algún producto agrícola.

Trabajos realizados con diversos tipos de NPs en varias semillas de diferentes especies, demuestran que a bajas concentraciones se obtienen efectos significativos en el crecimiento y desarrollo de plántulas. Por lo contrario, a altas concentraciones se encuentran efectos de fitotoxicidad e inhibición en el proceso de germinación.

Las NPs de óxido de zinc (NPsZnO) en el sector agrícola son estudiadas por su actividad antimicrobiana, por su potencial como nanofertilizante corrigiendo las deficiencias de zinc y promoviendo crecimiento y desarrollo.

Cabe mencionar que los usos inadecuados de los insumos agrícolas convencionales han presentado problemas importantes a la hora de incrementar la producción de los alimentos, debido a la gran demanda mundial. Esto como resultado de los altos requerimientos de insumos agrícolas, provocando un gran impacto en el sector agrícola y al medio ambiente.

La NT se observa como una alternativa para maximizar el uso eficiente de los recursos para la elaboración de insumos, tecnologías agrícolas (nanosensores), nanofertilizantes, entre otros.

Por lo anterior, el presente trabajo se orientó a la investigación relacionada sobre el efecto del uso de NPsZnO en concentraciones de 0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm. Como promotor en el vigor de germinación de semillas y un óptimo crecimiento normal de plántulas de *Cucumis sativus* L.

II. HIPÓTESIS

La aplicación de NPsZnO a bajas concentraciones en la etapa de imbibición, estimula el vigor de la germinación, por lo tanto, se mejora el crecimiento de plántulas, en *Cucumis sativus* L.

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar, analizar y comprender la efectividad biológica de la aplicación de los tratamientos con NPsZnO, como una alternativa innovadora para mejorar la capacidad germinativa de semillas y crecimiento en plántulas de *Cucumis sativus* L.

3.1 OBJETIVOS PARTICULARES

Conocer el efecto promotor sobre la germinación que tiene el uso de NPsZnO en semillas de *Cucumis sativus* L.

Determinar si existe alguna diferencia en respuesta del vigor de la semilla a la aplicación de NPsZnO en *Cucumis sativus* L.

Indagar sobre el uso de NPs en semillas y su efecto promotor o fitotóxico en procesos relacionados con la germinación y el crecimiento de plántulas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Nanociencia

La nanociencia (NC) en sus términos más generales (la nanotecnología) aborda este límite de lo nanométrico e investiga la posibilidad de que podamos manipular no sólo moléculas nanométricas, sino también átomos individuales (Biel y Flores, 2006).

La Oficina Nacional de Coordinación de la Nanotecnología (ONCN) de Estados Unidos, define la NC como aquella que "involucra la investigación y el descubrimiento de nuevas características y propiedades de materiales en la nanoescala, cuyo rango va de 1 a 100 nanómetros (nm)"; y la NT como "la manera en que los descubrimientos en la nanoescala son puestos a trabajar" (Zayago y Foladori, 2010).

Por su parte, Terrones (2005) explica que la NC consiste en la capacidad de controlar átomos y moléculas para formar nuevas estructuras y nuevos materiales, de acuerdo con nuestras necesidades específicas. El prefijo Nano se refiere a escalas de tamaño mil millones más pequeñas que las que observamos a simple vista ($1 \text{ Nanómetro} = 10^{-9} \text{ m}$). Sabemos que todo lo que existe en nuestro mundo y en el universo está hecho de átomos y que éstos, dependiendo del elemento químico al que pertenezcan, forman materiales con diferentes propiedades. De hecho, un mismo elemento arreglado de manera diferente presenta diferentes propiedades.

Esto es, cuando se manipula la materia a escala tan minúscula de átomos y moléculas, demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Como ejemplo de lo anterior podemos citar al carbono que puede formar grafito, diamante, fulerenos y nanotubos: el diamante es el material más duro que existe y no conduce la electricidad; en cambio, el grafito es blando y conduce la electricidad; los fulerenos forman cristales de fullerita que al mezclarse con elementos como rubidio y potasio, constituyen superconductores; los nanotubos de carbono pueden ser conductores o semiconductores y son increíblemente

rígidos, lo cual nos puede llevar a tener un material hasta 100 veces más resistente que el acero y seis veces más ligero. A la aplicación de la NC se le llama NT (Del Castillo, 2012).

4.2 Nanotecnología

Cuando el físico y ganador del premio Nobel de Física Richard Feynman considerado el padre de la NT, desafió a la comunidad científica a pensar en una forma pequeña en su conferencia de 1959 "Hay mucho espacio en el fondo", plantó las semillas de una nueva era en ciencia y tecnología (Maynard *et al.*, 2006).

Mejias *et al.* (2009) indican que la nanotecnología deriva del griego "nano" que significa enano. Sin embargo, Del Castillo (2012) define la NT como el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nanoescala.

4.3 Clasificación de la Nanotecnología

Según Quintili (2012), la NT se divide en dos tipificaciones, de acuerdo a la técnica de aplicación: técnicas de arriba hacia abajo (Top-down) y técnicas de abajo hacia arriba (Bottom-up).

En el caso de la nanotecnología Top-down, se trata de diseñar y miniaturizar el tamaño de estructuras para obtener a nanoescala sistemas funcionales en el caso de la producción de nanoelectrónica (miniaturización de sistemas electrónicos).

Y en el caso de la NT tipo Bottom-up, se enfoca en los componentes atómicos y moleculares o sea este tipo de nanotecnología permite que la materia pueda controlarse de manera extremadamente precisa.

4.4 Aplicaciones de la Nanotecnología

Las aplicaciones de los materiales nanoestructurados y de las nanotecnologías incluye: el ambiente, exploración espacial, tecnologías de la comunicación e informática, sector energético, textil, construcción y arquitectura, agricultura, ganadería, electrónica, cosmética, industria militar, automovilística, seguridad

personal y vial, higiene y salud pública, deportes, espionaje y reducción de la brecha digital, entre otras (Mejias *et al.*, 2009; Moncada, 2007).

La biología molecular y las biotecnologías a partir de los años 80, ha favorecido su expansión hacia todo tipo de materiales: metálicos, no-metálicos, plásticos y compuestos (Moncada, 2007).

4.5 Toxicidad en la aplicación de Nano-materiales

Miller y Senjen (2008) indican que la producción, uso y disposición de alimentos, empaques alimenticios y productos agrícolas (plaguicidas agrícolas o en tratamientos para el crecimiento de las plantas) que contienen nano-materiales manufacturados, resultarán inevitablemente en la liberación de nano-materiales dentro del medio ambiente.

Nanomateriales como la plata, óxido de zinc y dióxido de titanio se añaden cada vez más a los empaques alimenticios y a materiales en contacto con alimentos por sus cualidades antibacterianas (Oberdörster *et al.*, 2005).

Los trabajadores que manejan, fabrican, empaquen o transportan los alimentos y los productos agrícolas que contienen nano-materiales manufacturados, probablemente se enfrentan a mayores niveles de nano-exposición que el público, causando problemas como: producción de radicales libres, daño al ADN, daño a los riñones e hígado, entre otras (Maynard y Kuempel, 2005).

4.6 La Nanotecnología en la Agricultura

En la agricultura, el uso de la Nanotecnología o la Fitonanotecnología, está permitiendo la aplicación dirigida de pesticidas, herbicidas y fertilizantes convencionales, así como en la detección, manejo de enfermedades y prevención de ataques por insectos. Esta tecnología es utilizada para reducir aplicaciones de agroquímicos, minimizar la pérdida de fertilizantes, e incrementar la producción de plantas a través de la optimización de nutrientes (Singh, 2014).

Científicos informaron que los nanotubos de carbono (CNT), podrían ser muy beneficiosos para la agricultura. Es así que se descubrió que las semillas de

tomates expuestos a los CNT germinaban más rápido, y dio lugar a plantas más grandes y resistentes que de otras semillas (Quispe, 2010). Mismo autor describe algunas empresas como FLAMEL, PHARMACIA y SYNGENTA que utilizan estas técnicas para mejorar sus productos, elaborando nano-cápsulas y micro-cápsulas. Según estas empresas estas nano-cápsulas facilitan el manejo de plaguicidas peligrosos.

4.7 Nanopartículas

Las nanopartículas (NPs) son partículas compuestas de un elemento particular o un compuesto de elementos. La característica es su peculiar tamaño de menos de 100 nanómetros de diámetro. En los últimos veinte años, las partículas diseñadas con ingeniería nanotecnológica se fabrican con fines comerciales, con el propósito de sacarle ventaja a sus efectos cuánticos. Actualmente se está utilizando en fármacos, lubricantes, tintas, herramientas, tejidos entre varios otros (Quintili, 2012).

Aportaciones de Wang *et al.* (2016), dan a conocer que existen diversas formas de NPs, las que se producen naturalmente por cenizas volcánicas, pulverizaciones del océano y tormentas de polvo. Pero también, existen NPs producidas artificialmente a partir de metales como el cobre, oro, silicio y titanio, entre otros. Dependiendo de la aplicación, la NP varía en la composición química, forma, características de superficie y modo de producción.

Conocer, analizar y comprender las interacciones que hay entre los nanomateriales artificiales con el ambiente, será primordial para poder utilizarlos e implementarlos en la agricultura de una forma segura (Khodakovskaya *et al.*, 2011).

4.8 Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO)

Las NPs de metales inorgánicos han tenido gran importancia debido a sus características distintivas, tales como las catalíticas, ópticas, magnéticas, electrónicas, antimicrobianas, procesos de cicatrización y antiinflamatorios. Entre las NPs de óxidos metálicos, el óxido de zinc es interesante debido a sus diversas aplicaciones, así mismo la nanoestructura del ZnO exhibe una alta

eficiencia catalítica, una fuerte absorción, y es utilizado frecuentemente en la manufactura de protectores solares, cerámicas, en el procesamiento de caucho, en tratamiento de aguas residuales y como fungicida (Hanley *et al.*, 2009).

Las NPs se pueden sintetizar por métodos químicos y biológicos. Dado que los métodos químicos requieren productos químicos tóxicos, los métodos biológicos se están volviendo populares. Se han sintetizado NPsZnO con extracto de hoja de *Moringa oleifera* en un rango de tamaño de 16 a 20 nm y actividad antimicrobiana contra cepas bacterianas como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli* y cepas fúngicas como *Candida albicans*, además, como nanofertilizante, corrigiendo las deficiencias de zinc y promoviendo crecimiento y desarrollo (Singh *et al.*, 2017).

Estudios realizados indican que a concentraciones elevadas causan fitotoxicidad e inhibición de la germinación, mientras que a dosis bajas se han reflejado efectos significativos en el crecimiento y desarrollo (biomasa y área foliar). Este efecto promotor ha sido atribuido al zinc, por ser uno de los micronutrientes esenciales demandados por la división celular, importante como componente de varias enzimas (catalasa) y por estar implicado en la síntesis de proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos (Ponce, 2016).

4.9 Efecto de las NPs en las semillas

Una semilla de calidad debe contener ciertos atributos, cada uno con la finalidad de mejorar el establecimiento de la planta en condiciones de campo, dichos atributos son: calidad genética, la fisiológica, la física y la sanitaria. Cuando la semilla cuenta con estos cuatro atributos, los agricultores tienen mayores perspectivas de producir un cultivo saludable con rendimientos mejorados (Ruiz *et al.*, 2016).

La calidad fisiológica de las semillas implica que además de ser viables, estas germinen y generen plántulas con sus estructuras esenciales desarrolladas normalmente.

Lin y Xing (2007) realizaron un trabajo de investigación en donde evaluaron los efectos de cinco tipos de nanopartículas (nanotubos de carbono, aluminio, alúmina, zinc y óxido de zinc) sobre la germinación de semillas y crecimiento de las raíces de las seis especies de plantas superiores rábano (*Raphanus sativus*), zanahoria (*Brassica napus*), ryegrass (*Lolium perenne*), lechuga (*Lactuca sativa*), maíz (*Zea mays*) y pepino (*Cucumis sativus*). Se menciona que la germinación de las semillas no se vio afectada, dando un porcentaje promedio de germinación del 90 %. La germinación de las semillas de *Lolium perenne* y *Zea mays* fue inhibida por el tratamiento con zinc a nanoescala (nano-Zn) y óxido de zinc (nano-ZnO), a una concentración de 2000 mg/L.

Por otro lado, estudios realizados por Siddiqui y Al-wahaibi (2014) probaron los efectos benéficos de las nanopartículas de SiO₂ de un tamaño de 12 nm, sobre la germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Se observó que el tratamiento de 8 mg/L de NPsSiO₂ mejoró el porcentaje de germinación de la semilla, tiempo de germinación, índice de germinación de las semillas, el índice de vigor de las semillas, peso fresco y peso seco de plántulas. Por lo tanto, es muy claro que el nano SiO₂ tiene un impacto significativo en el potencial de germinación de las semillas de *Solanum lycopersicum*.

Zhang *et al.* (2015) estudiaron los impactos de las NPs de ZnO sobre la germinación de semillas y la elongación de la raíz en maíz (*Zea mays* L.) y en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las NPs de ZnO (1,000 mg L⁻¹) redujeron significativamente la longitud de la raíz del maíz y el pepino en un 17 % y 51% respectivamente, pero no mostraron efectos en la germinación.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación

El presente trabajo se llevó a cabo 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), ubicada a 6 km al sur de Saltillo, Coahuila, México. Se evaluó el efecto fisiológico que tiene el uso de Nanopartículas de diseño de Óxido de Zinc (NPsZnO) en sus dos presentaciones (hexagonales y varita) a diferentes concentraciones (0.0, 0.5, 1, 5, 10, 50 ppm) en semillas de *Cucumis sativus* L. variedad Poinsett 76, presentando bajo vigor (63 %).

5.2 Preparación de soluciones con NPs

Se prepararon soluciones con NPsZnO en concentraciones de 0 (agua destilada/testigo), 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm (partes por millón) con dos formas diferentes de NPs (hexagonal y varita).

Las soluciones con NPs fueron sonicadas con ayuda de un sonicador Labnet VX100, para tener mejor homogenización.

Las NPs de diseño fueron proporcionadas por el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ubicado en Saltillo Coah.

5.3 Material biológico

Se utilizó 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.

5.4 Proceso de imbibición

Para determinar el efecto que tiene la aplicación de NPs en el proceso de germinación de semillas de *Cucumis sativus* L. variedad Poinsett 76, se estableció un bioensayo en laboratorio, que constó de 2 tipos de NPsZnO (hexagonal y varita), 6 tratamientos (0 (testigo), 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm), y 6 repeticiones de 25 semillas cada una.

Se colocaron 150 semillas dentro de una caja Petri, sobre una doble capa de papel filtro, para posteriormente ser tratadas con 30 ml de solución de NPsZnO, para cada una de sus formas (hexagonal y varita), imbibiendo las semillas por 24 horas, dentro de una cámara bioclimática a 25 °C.

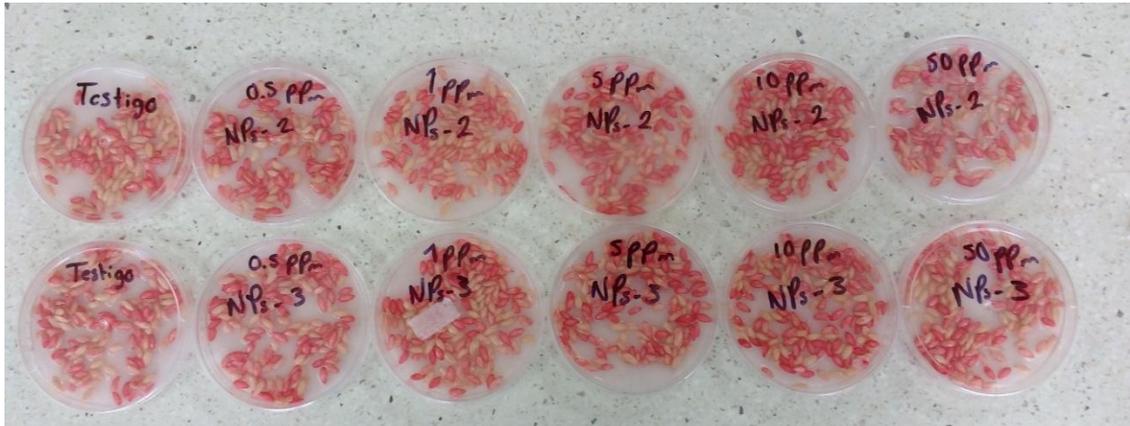


Imagen 1. Conteo de semillas para cada tratamiento de NPsZnO durante la etapa de imbibición.

Posterior al tratamiento y con ayuda de unas pinzas de disección se prosiguió con la siembra, colocando 25 semillas por repetición entre dos capas de papel Anchor humedecidas con agua destilada, enrollándolos en forma de taco, posteriormente se colocaron en bolsas de polietileno transparente y estas dentro de contenedores de plástico, para luego ser introducidos a una cámara bioclimática marca Thermo Scientific a una temperatura de 25°C y un fotoperiodo 16/8 h, luz/obscuridad.

El bioensayo se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 6, esto es, 2 tipos de NPsZnO (hexagonal y varita) y 6 tratamientos (0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm).

5.5 Variables evaluadas en el bioensayo

Primer conteo de plántulas normales (PN). Se realizó 4 días después de la siembra, esta evaluación es un indicador del vigor que posee la semilla para germinar en menor tiempo y establecerse en condiciones de campo.

Plántulas normales (**PN**). Al final del bioensayo (octavo día) se realizó un segundo conteo de plántulas normales. Son todas aquellas plántulas que poseen todas sus estructuras (radícula y vástago) sin ninguna anomalía visible.

Plántulas anormales (**PA**), todas aquellas plántulas que carecen de vástago o radícula, o presentan un desarrollo irregular de alguna de sus estructuras

Semillas sin germinar (**SSG**), consideradas aquellas semillas duras o muertas que no tuvieron la capacidad de germinar.

Las variables anteriores (**PN, PA y SSG**) se representaron en porcentaje (%).

Longitud media de vástago (**LV**) y Longitud media de radícula (**LR**). Se tomaron medidas de todas las plántulas normales por repetición, y los datos obtenidos fueron expresados en cm.

Peso seco (**PS**). Esta variable se obtuvo una vez determinadas todas las anteriores. Se tomó el peso seco (PS) de todas las plántulas normales, las cuales fueron colocadas en bolsas de papel estraza, para someterlas a secado en una estufa marca Riosa H-48, con una duración de 24 h a 72°C. Pasadas las 24 horas se extrajeron, y se dejaron en un desecador, para posteriormente ser pesadas en una balanza analítica marca Precisa BJ610C, el resultado fue expresado en (mg plántula⁻¹).

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar las posibles diferencias estadísticas entre tratamientos de NPs (varitas y hexagonales) y entre concentraciones.

Posterior a lo anterior, se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), para establecer el orden de eficiencia de los tipos de NPs (varita y hexagonal) y las concentraciones (0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm), utilizando el programa SAS versión 9.1 (SAS, 2004).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 1) en el análisis de varianza, las semillas de *Cucumis sativus* L. variedad Poinsett 76, expuestas a dos tipos de NP (varita y hexagonal) muestra diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables longitud media de vástago y de radícula, en la fuente de variación tipo de partícula (varita y hexagonal). Esto es, dependiendo del tipo de partícula, es la respuesta de la variable.

Por otra parte, para la fuente de variación concentración de NPs (0, 0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm) las variables porcentaje de vigor, longitud media de vástago y de radícula mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$); mientras que para las variables porcentaje de germinación y de plántulas anormales se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

En cuanto a la interacción tipo de partícula x concentración, se lograron identificar diferencias ($P \leq 0.01$) para las variables longitud media de vástago y de radícula; mientras que, la variable vigor presentó diferencias ($P \leq 0.05$). Las variables germinación, plantas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG) y peso seco (PS) no reflejaron diferencias significativas (NS).

Respecto a las diferencias significativas ($P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$), antes mencionadas indican que el tipo de NPs (varita y hexagonal) y la concentración (0.5, 1, 5, 10 y 50 ppm.), afectó a nivel fisiológico una o más variables evaluadas.

En la comparación de medias para tratamientos (Cuadro 2), los resultados indican que la aplicación de NPsZnO, resultó en un efecto promotor en las variables longitud de vástago y de radícula (Anexo 2), mostrando así diferencias estadísticas. Lo anterior sugiere que la aplicación de NPsZn forma Hexagonal promueve la división celular, estimulando el crecimiento de la plántula en general.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en bioensayo de germinación de semillas tratadas con nanopartículas (NPs) de tipo hexagonal y varita.

FV	GL	VIGOR (%)	GERMINACIÓN (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	GL	LV (cm)	LR (cm)
Partícula	1	242.00 ^{NS}	88.88 ^{NS}	56.88 ^{NS}	3.15 ^{NS}	0.00 ^{NS}	1	408.61 ^{**}	337.46 ^{**}
concentraciones	5	528.75 ^{**}	228.08 [*]	249.60 [*]	3.73 ^{NS}	1.16 ^{NS}	5	262.43 ^{**}	341.15 ^{**}
Part. * Conc.	5	586.00 [*]	126.75 ^{NS}	88.88 ^{NS}	12.59 ^{NS}	4.00 ^{NS}	5	173.78 ^{**}	421.59 ^{**}
Error	60	179.86	77.33	75.91	7.13	1	1624	5.12	8.6
C.V. %		19.14	9.67	118.8	148.13	7.25		27.69	25.78

** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$); * = Significativo ($P \leq 0.05$); NS = No significativo; FV = fuente de variación; CV = coeficiente de variación; GL= grados de libertad; Vigor = plántulas normales al primer conteo; Germinación = plántulas normales al segundo conteo; PA= plántulas anormales; SSG= semillas sin germinar; PS= peso seco de plántula; LV= longitud de vástago; LR= longitud de radícula.

Cuadro 2. Respuesta a la aplicación de dos tipos de NPsZnO (Varita y Hexagonales) a semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante el proceso de imbibición.

TIPO DE PARTÍCULA	VIGOR (%)	GERMINACIÓN (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	LV (cm)	LR (cm)
Varita	68 a	90 a	8 a	2 a	14.22 a	7.64 b	10.88 b
Hexagonal	72 a	92 a	6 a	2 a	14.24 a	8.69 a	11.85 a
Media	70	91	7	2	14.23	8.17	11.37
Tukey	6.32	4.14	4.1	1.26	0.71	0.21	0.28

Valores con la misma literal en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$); Vigor = plántulas normales al primer conteo; Germinación = plántulas normales al segundo conteo; PA = plántulas anormales; SSG = semillas sin germinar; PS = peso seco de plántula; LP = longitud de vástago; LR = longitud de radícula.

En este sentido, Sedghi *et al.* (2013) mencionan que a dosis bajas las NPsZnO promueven el crecimiento de plantas en soya. A pesar de estos resultados positivos, no se observó diferencias estadísticas en las variables porcentaje de vigor y de germinación (Anexo 1), contraponiéndose con lo reportado por De Rosa *et al.* (2010), quienes reportaron promoción de la germinación en semillas de pepino, alfalfa y tomate, indicando que la respuesta depende del genotipo. La variable peso seco de plántula mostró un comportamiento estadísticamente igual al aplicar NPsZnO en forma varita y hexagonal (Cuadro 2 y Anexo 3).

Por otra parte, la comparación de medias por concentración de NPsZnO (Cuadro 3), mostró que la variable vigor de germinación presentó mayor porcentaje a una concentración de 5 ppm de NPsZnO, sin embargo, no es estadísticamente diferente al resto de los tratamientos, únicamente al testigo (0 ppm). Aun así, mostró un incremento de 20.2 % con respecto al testigo que obtuvo 63 %.



Imagen 2. Plántulas derivadas de semillas tratadas con NPsZnO a una concentración de 5 ppm, observándose un crecimiento considerable en longitud de vástago y radícula, con respecto al testigo.

El uso de las NPsZnO aplicadas en el proceso de imbibición en semillas, tiene un efecto positivo en el vigor de germinación, ya que incrementó con respecto al testigo, favoreciendo el desarrollo y crecimiento de plántulas, indicando una mayor elongación celular en cuanto a las longitudes de vástago (Anexo 5), a una concentración de 0.5 ppm se incrementó de 7.69 cm (testigo) a 9.35 cm; por otra parte, para radícula el incremento fue de más de 2 cm, ya que el testigo presentó 10.56 cm, incrementando a 12.61 cm (0.5 ppm).

La variable porcentaje de germinación mostró incrementos con respecto al testigo, esto, al tratar las semillas con 0.5 y 50 ppm (Anexo 4), clasificando ambos tratamientos en el mismo grupo estadístico. A una concentración de 0.5 ppm se obtuvo 93 % y 95 % con 50 ppm (Cuadro 3).

En un estudio similar realizado con cacahuate (*Arachis hypogaea*) y la posible influencia del zinc en su crecimiento, Prasad *et al.* (2012) expuso semillas a diferentes concentraciones de óxido de zinc a nanoescala, evaluando el efecto sobre la germinación de la semilla, vigor de la plántula, el crecimiento de la planta, entre otras. Revelando que a una concentración de 1000 ppm de NPsZnO promovió la germinación, así como mayor elongación de raíz y tallo e incrementó el vigor de la plántula mostrando un rápido establecimiento en campo.

El efecto promotor en vigor y crecimiento que presentaron las plántulas derivadas de semillas expuestas a NPsZnO no está totalmente dilucidado. Diversos autores han encontrado diferentes resultados usando concentraciones altas de NPsZnO, a los obtenidos en esta investigación. Por ejemplo, Zhang *et al.* (2015) estudiaron los impactos de NPsZnO a una concentración de 1,000 mg L⁻¹ sobre la germinación de semillas y la elongación de la raíz en maíz (*Zea mays* L.) y en pepino (*Cucumis sativus* L.), encontrando que se reduce la longitud de la raíz del maíz y en el pepino, pero no mostraron efectos en la germinación.

Por otra parte, Arias y De la Rosa (2017) evaluaron los efectos de las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) en semillas de girasol (*Helianthus annuus*) por ser un cultivo de importancia alimentario y económico del bajío, analizando el porcentaje de germinación, el crecimiento de raíz y tallo, así como su composición química. Los resultados indicaron que conforme aumentaba la concentración (50, 100, 400, 800, 1600 ppm), la germinación y el crecimiento era negativo.

En otros estudios se ha constatado que las NPsAg en concentraciones bajas poseen un efecto positivo en la germinación de semillas y en la promoción del crecimiento de plantas. Sharma *et al.* (2012), estudiaron el efecto de las NPsAg (0, 25, 50, 100, 200 y 400 ppm) en el crecimiento de plántulas de mostaza (*Brassica juncea*). Encontraron que a 50 ppm de NPsAg, las plántulas se ven afectadas positivamente reflejándose mayor longitud de raíz, biomasa seca y altura. Sin embargo, a altas concentraciones, impiden el crecimiento de las plantas.

En plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.), Salama (2012) aplicó foliarmente una dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ppm de NPsAg, con un suministro diario de 15 ml de cada concentración durante 12 días. Mostró que a bajas concentraciones (20-60 ppm) se tiene un efecto estimulante sobre el desarrollo y crecimiento de las plántulas. Incrementando el diámetro de tallo, longitud de raíz, área foliar, índice de clorofila, concentración de carbohidratos y contenido de proteína en las plantas.

Méndez *et al.* (2015) en plantas de chile (*Capsicum annuum*) estudiaron el efecto de las NPsZnO puras y dopadas con plata (Ag), la aplicación foliar de las NPsZnO fue una vez por semana, durante 17 días, con aspersores de 20 ml de capacidad. Las plantas expuestas a la aplicación foliar de 50 mg/L de NPsZnO dopadas con plata al 1.25 y 2.5% reportaron valores superiores en altura, área foliar, producción de biomasa total y se observó también un incremento en la longitud radicular del 19.6% en comparación con las plantas de chile no tratadas con NPsZnO.

Cuadro 3. Respuesta a la aplicación de NPsZnO (Varita y Hexagonales) a semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante el proceso de imbibición.

CONCENTRACIÓN (ppm)	VIGOR (%)	GERMINACIÓN (%)	PA (%)	SSG (%)	PS (mg/plántula)	LV (cm)	LR (cm)
0	63 b	91 a b	7 a b	2 a	14.01 a	7.69 c	10.56 d
0.5	74 a b	93 a	4 b	3 a	14.64 a	9.35 a	12.61 a
1	64 a b	83 b	16 a	1 a	13.44 a	6.78 d	9.45 e
5	79 a	93 a b	6 a b	1 a	14.43 a	7.38 c	11.38 c
10	66 a b	91 a b	7 a b	2 a	14.49 a	8.77 b	11.88 b c
50	74 a b	95 a	3 b	2 a	1.66 a	8.87 a b	12.10 a b
MEDIA	70	91	7	2	14.23	8.17	11.37
TUKEY	16.11	10.56	10.47	3.23	1.84	0.55	0.71

Valores con la misma literal en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$); ppm = partes por millón; Vigor = plántulas normales al primer conteo; Germinación = plántulas normales al segundo conteo; PA = plántulas anormales; SSG = semillas sin germinar; PS = peso seco de plántulas; LV = longitud de vástago; LR = longitud de radícula.

Arredondo (2016) estudio el efecto de las NPsCu a diferentes concentraciones en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile ancho (*Capsicum annumm*) registrando modificaciones en la germinación, crecimiento de plántulas resultando cambios en vigor, por otra parte, las longitudes de plúmula y radícula obtuvieron los valores más altos en los tratamientos expuestos a NPsCu, en especial a concentración de 5 ppm de NPsCu. Además, la aplicación de NPsTiO₂ a una concentración de 100 mgkg⁻¹ aplicadas a un suelo de tipo franco arenoso, tuvo efectos significativos sobre el crecimiento de la raíz en *Lactuca sativa* (Umber *et al.*, 2015).

Al estudiar la interacción entre factores, en este estudio se encontró que La variable plántulas anormales expresó una reducción importante y significativa al aplicar 0.5 ppm de NPsZnO forma varita (Anexo 6). Sin embargo, la variable PSP tuvo un comportamiento muy similar referente a las concentraciones en ambas formas de NPsZnO (Anexo 7). Por otra parte, las variables LV y LR presentaron mayor desarrollo al aplicar NPsZnO forma hexagonal, en 10 y 5 ppm respectivamente (Anexos 8 y 9).

Finalmente, se puede indicar que el tipo de NPsZnO (forma hexagonal o varita) modifica la expresión de caracteres fisiológicos, relacionados con el vigor de la semilla durante el proceso de germinación (Anexos 10 y 11). Asimismo, al tratar las semillas con diferentes concentraciones de NPsZnO, se obtiene una gama de respuestas, recomendando tratar semillas de pepino con 0.5 ppm para obtener un alto vigor y longitud de vástago y radícula superior (Anexos 8 y 9).

VII. CONCLUSIÓN

Podemos decir que las nanopartículas (NPs) metálicas de óxido de zinc, cobre, hierro, etc., ya sean puras o mezcladas, están siendo estudiadas globalmente por su potencial agrícola como promotores de crecimiento, nanofertilizantes y antimicrobiales. Estas propiedades dependen del tamaño, la forma y la dispersión de las NPs.

En este trabajo se observaron los efectos que tienen las NPsZnO en pruebas de germinación de semillas y el crecimiento en plántulas.

Los resultados anteriores nos permiten concluir que las NPsZnO a una concentración de 5 ppm, aplicadas durante el periodo de imbibición en semillas de pepino *Cucumis sativus* L. Poinsett 76, tienen un mayor efecto en la variable vigor, con 50 ppm, se logra incrementar el porcentaje de germinación de un 91% (testigo) a un 95 %. Sin embargo, las longitudes de vástago y de radícula presentaron efectos positivos a una concentración de 0.5 ppm de NPsZnO.

Lo anterior indica que estas NPs tienen un efecto promotor en el vigor y germinación en semillas expuestas a NPsZnO, por ende, se obtiene mayor crecimiento de plántula reflejándose en las longitudes de vástago y de radícula.

Desde el punto de vista bioquímico, el vigor involucra la capacidad que tiene un organismo para la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos, como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. Esto concuerda con los resultados encontrados respecto al mayor crecimiento de las longitudes de vástago y radícula.

Como se mencionó anteriormente el zinc es un elemento esencial para el metabolismo de ácidos nucleicos, enzimas y proteínas que están involucradas en la síntesis y expresión del ADN. Al igual tiene un papel importante en una amplia gama de procesos, tales como la producción de la hormona de crecimiento.

VIII. LITERATURA CITADA

- Arias G, F.I. y M.G. De la Rosa A. 2017. Toxicidad de nanopartículas metálicas en maíz y girasol, Especies de Interés Económico y Alimentario de la Región del Bajío. Jóvenes en la Ciencia, Revista de Divulgación Científica. Vol. 1. No. 2. pp. 424-428.
- Arredondo Q., J.A. 2016. Nanopartículas de cobre como promotores de germinación de semillas y crecimiento de plantas de *Capsicum annuum* y *Lycopersicon esculentum*. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrícola y Ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 69 pp.
- Biel, B. y F. Flores F. 2006. Nanociencia: Manipulación a Escala Atómica y Molecular. Nanociencia y Nanotecnología I. No. 34. p. 45.
- De Rosa, M.C., C. Monreal, M. Schnitzer, R. Walsh, and Y. Sultan. 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnol 5:91. doi:10.1038/nnano.2010.2
- Del Castillo, R. F. 2012. Introducción a los Nanomateriales. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (UNAM). México. p. 3.
- Hanley, C., A. Thurber, C. Hanna, A. Punnoose., J. Zhang, and D. Wingett. 2009. The Influences of Cell Type and ZnO Nanoparticle Size on Immune Cell Cytotoxicity and Cytokine Induction. Nanoscale Research Letters. Doi.org/10.1007/s11671-009-9413-8.
- Khodakovskaya, M., K. De Silva, D. Nedosekin, E. Dervishi, A. Biris, E. Shashkov, E. Galanzha, and V. Zharov. 2011. Complex genetic, photothermal, and photoacoustic analysis of nanoparticle-plant interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol. 108. No. 3. p. 1028-1033. Doi: 10.1073/pnas.1008856108.

- Lin, D. and B. Xing. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination, and root growth. *Environmental Pollution*. Vol, 150. No, 2. p. 243-250. Doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.016.
- Maynard, A. D. y E. D. Kuempel. 2005. Airborne Nanostructured Particles and Occupational Health. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 7. No.6. pp. 587-614.
- Maynard, A. D., R. J. Aitken, T. Butz, V. Colvin, K. Donaldörster, M. A. Philbert, J. Ryan, A. Seaton, V. Stone, S. S. Tinkle, L. Tran, N. J. Walker, y D. B. Warheit. 2006. Manejo seguro de la Nanotecnología. *Nature International Journal of Science*. DOI: 10.1038 / 444267a.
- Mejias, S. Y., N. C. Cabrera, A. F. Toledo, and O. M. Duany. 2009. La Nanotecnología y sus Posibilidades de Aplicación en el Campo Científico-Tecnológico. *Revista Cubana de Salud Pública*. p. 2-3.
- Méndez Argüello, B., R. H. Lira Saldívar, N.A. Ruíz Torres, A. Cadenas Flores, R. Ponce Zambrano, I. Vera Reyes, E. Mendoza Mendoza, L. A. García Cerda, y G. De los Santos. 2015. Influencia de Nanopartículas de Óxido de Zinc Puras Y Dopadas con Plata en el Crecimiento y Producción de Biomasa en Plántulas de Chile.
- Miller, G. y R. Senjen. 2008. Del Laboratorio a nuestros platos: Nanotecnología en la Agricultura y Alimentación. *Amigos de la Tierra*. pp. 6-8.
- Moncada, A. E. 2007. Nanotecnología, Aplicaciones en Embalajes para Alimentos y Productos Farmacéuticos. *VITAE, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*. Vol. 14 No.2. p.115.
- Oberdörster, G., E. Oberdörster, and J. Oberdörster. 2005. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 113. No. 7. p. 823-839.
- Ponce Z., R. 2016. Promoción de la Germinación en Semillas y Crecimiento de Plantas de *Lycopersicum esculentum* por Nanopartículas de Óxido de

- Zinc. Tesis de Licenciatura. Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 49 pp.
- Prasad, T. N., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, and V. Munaswamy. 2012. Effect of Nanoscale Zinc Oxide Particles on the Germination, Growth and Yield of Peanut. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 25. No. 6. pp. 905-927. [Doi.org/10.1080/01904167.2012.663443](https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443).
- Quintili, M. 2012. Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño. Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos. No.42. Universidad Autónoma de Buenos Aires Argentina. pp. 125-155.
- Quispe, C. C. 2010. Nanotecnología en la Agricultura. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*. No.5.
- Ruiz T., 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. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) Blvd. Enrique Reyna Herosillo 140, Saltillo, Coah., CP 25100.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 1521 p.
- Salama H, M.H. 2012. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Biotechnology*. Vol. 3. No. 10. pp. 190-197.
- Sedghi, M., M. Hadi, and S. G. Toluie. 2013. Effect Of Nano Zinc Oxide On The Germination Parameters Of Soybean Seeds Under Drought Stress. *Directory of Open Access Journals*. Vol. 16. No. 2. pp. 73-78.
- Sharma, P., D. Bhatt, M.G.H. Zaidi, P.P. Khanna, and S. Arora. 2012. Silver Nanoparticle-Mediated Enhancement in Growth and Antioxidant Status of

- Brassica juncea*. Applied Biochemistry and Biotechnology. Vol. 167. No. 8. pp. 2225-2233.
- Siddiqui, M. and M. Al-wahaibi. 2014. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Saudi Journal of Biological Sciences. Vol, 21. No. 1. p. 13-17. Doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.04.005.
- Singh, S. B. 2014. Nanotecnología en la Producción Agroalimentaria: una visión general. Nanotechnoly Sci. Appl. pp.31-53. Doi: 10.2147 / NSA.S39406.
- Singh., J., R. Kumar, N. Kumar, P. Kau., K. Nehra, and S. Duhan. 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. Biotechnology Reports. pp. 11-23. Doi: 10.1016/j.btre.2017.03.002.
- Terrones, H. 2005. Nanociencia y Nanotecnología en México. D.R. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-biológicas. p. 50.
- Umber, H. H., M. Arshad, M. Arif, N. Ahmed, and A. Ahmed. 2015. Phytoavailability of phosphorus to *Lactuca sativa* in response to soil applied TiO₂ nanoparticles. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. Vol. 52(1) pp. 177-182.
- Wang P., E. Lombi, F. J. Zhao, and P. M. Kopittke. 2016. Nanotechnology: A New Opportunity in Plant Sciences. Trends in Plant Science. Vol. 21, No.8. pp. 669-712. Doi.org/10.1016/j.tplants.2016.04.005.
- Zayago, L. E y G. Folarodi. 2010. La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. Economía, sociedad y territorio. Vol. 10 No.32.
- Zhang, R., H. Zhang, C. Tu, X. Hu, L. Li, Y. Luo, and P. Christie. 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. Vol. 22. No. 14. pp. 11109-11117. Doi: 10.1007/s11356-015-4325-x.

IX. ANEXOS

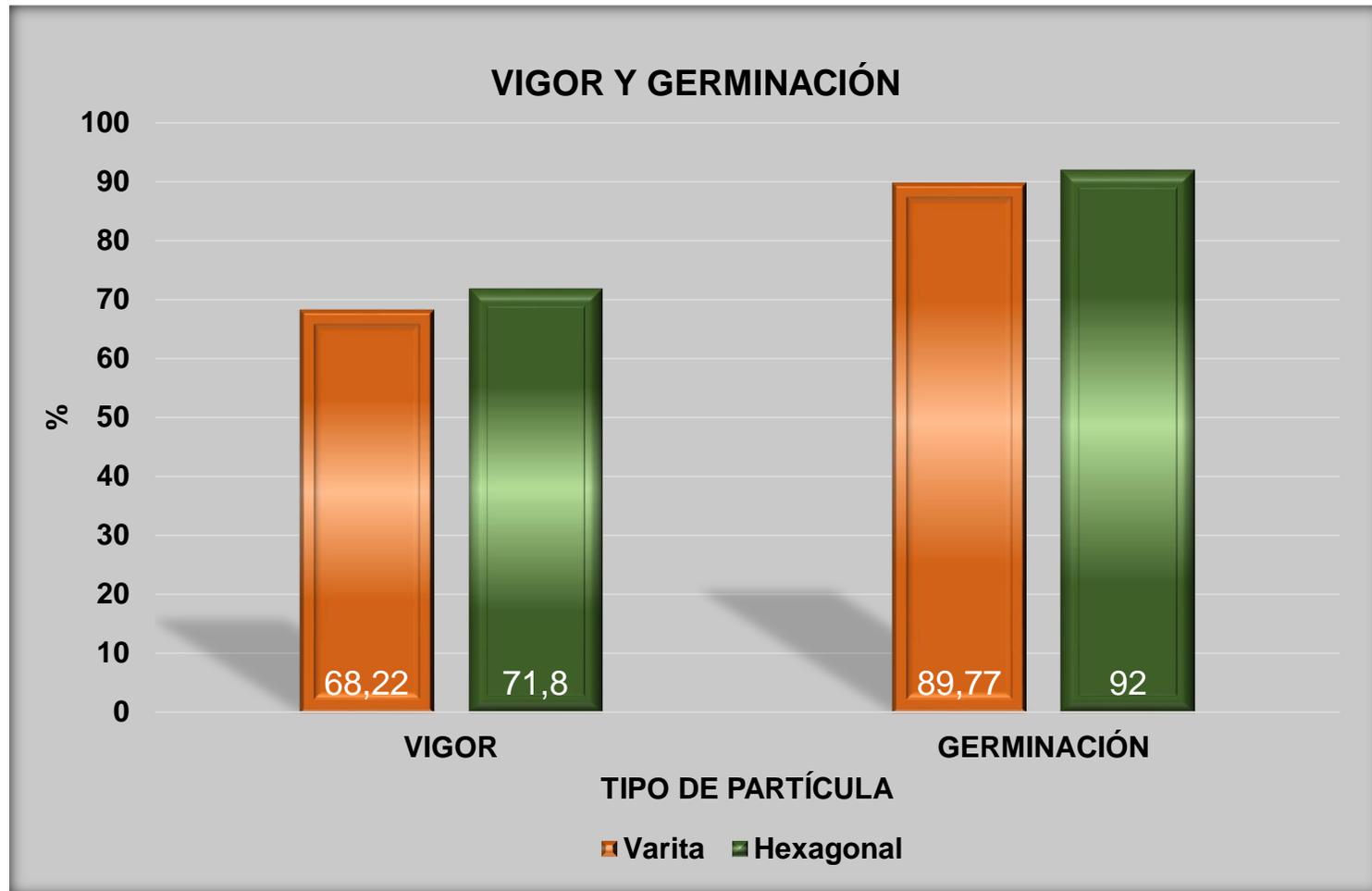


Figura 1. Por ciento de vigor y germinación de semilla tratada con NPsZnO de forma varita y hexagonal.

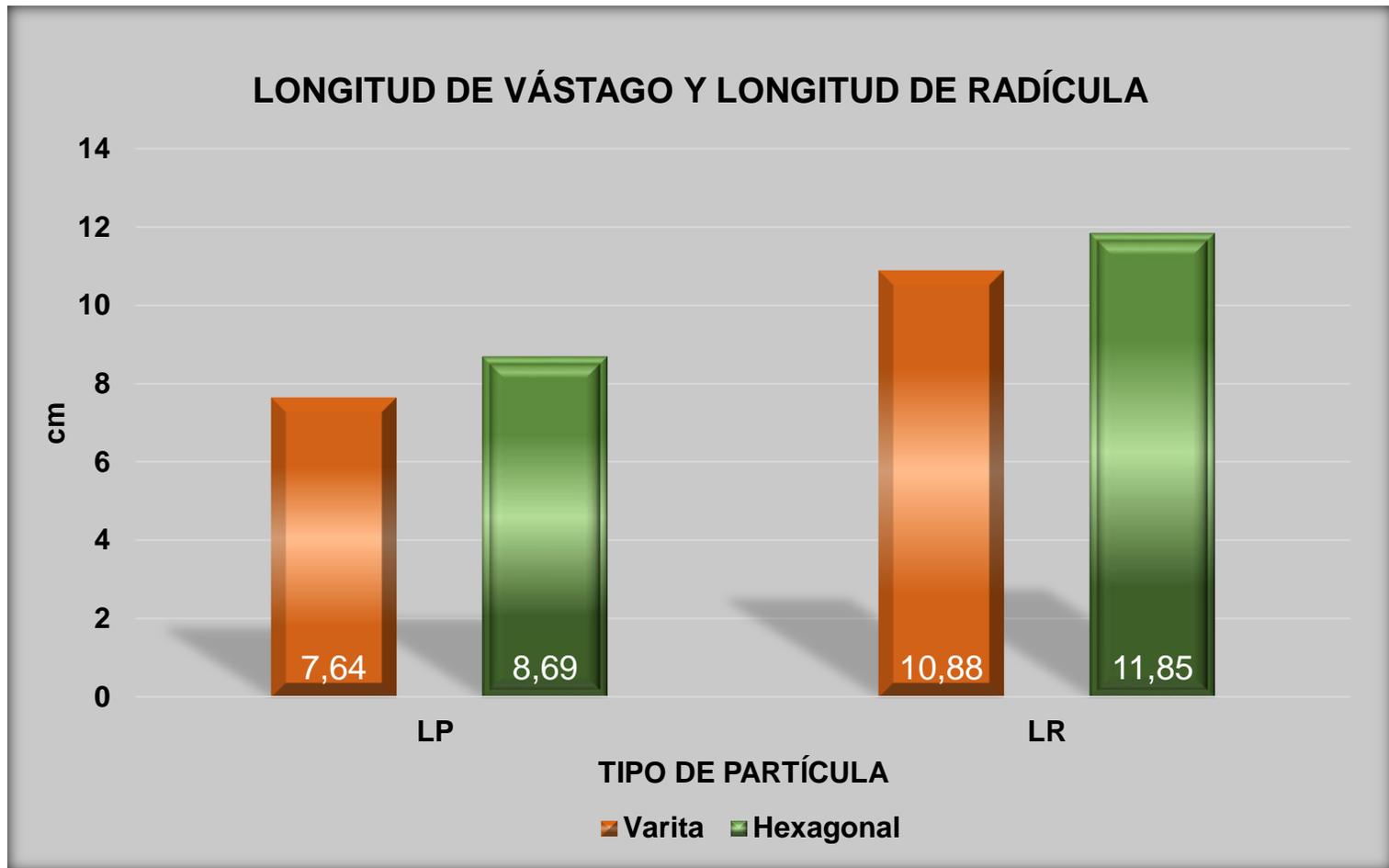


Figura 2. Longitud de vástago y de radícula de plántulas obtenidas de semillas tratadas con NPsZnO en forma de varita y hexagonal.



Figura 3. Peso seco de plántulas obtenidas de semillas tratadas con NPsZnO de forma varita y hexagonal.

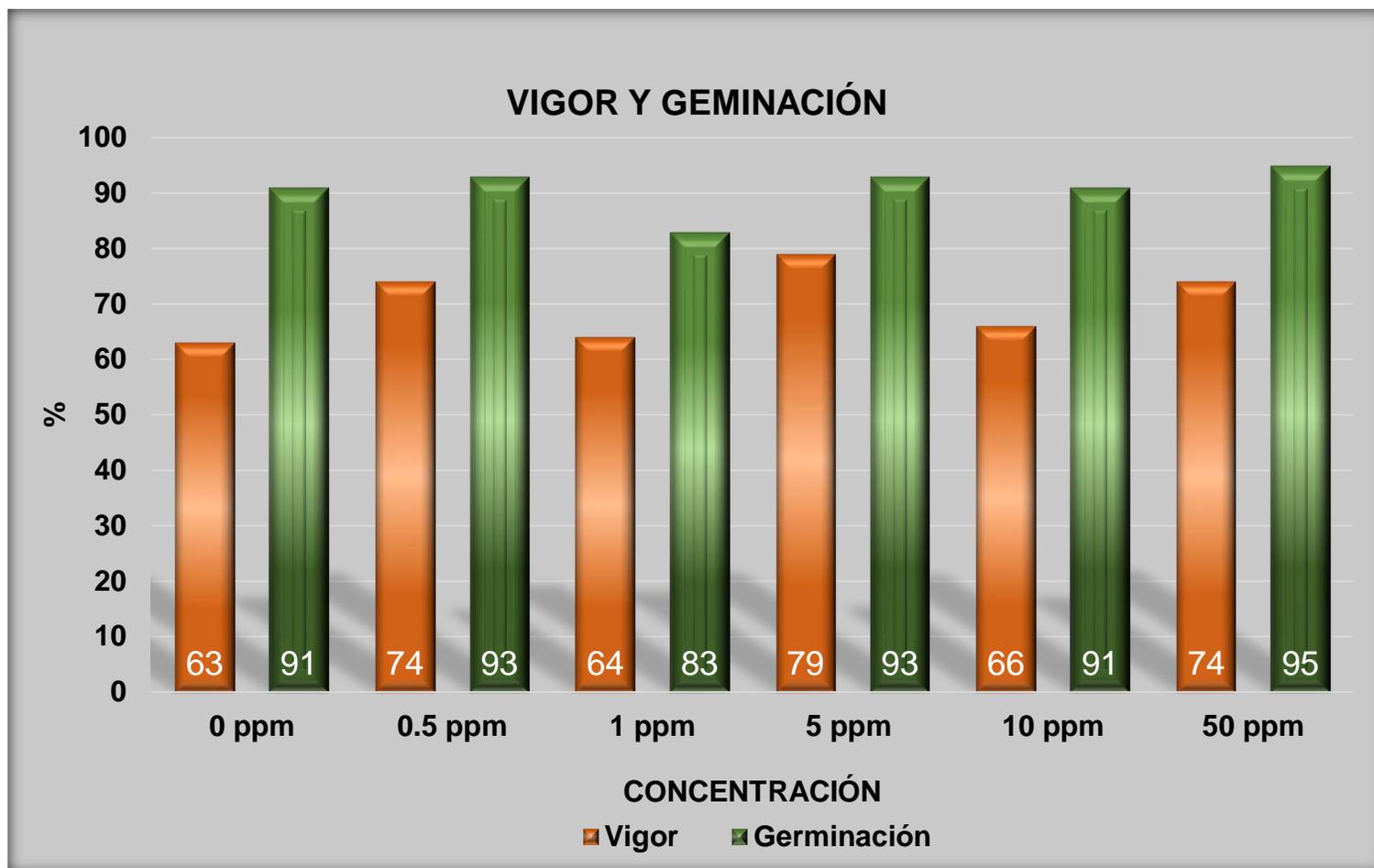


Figura 4. Vigor y germinación de semillas tratadas con NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

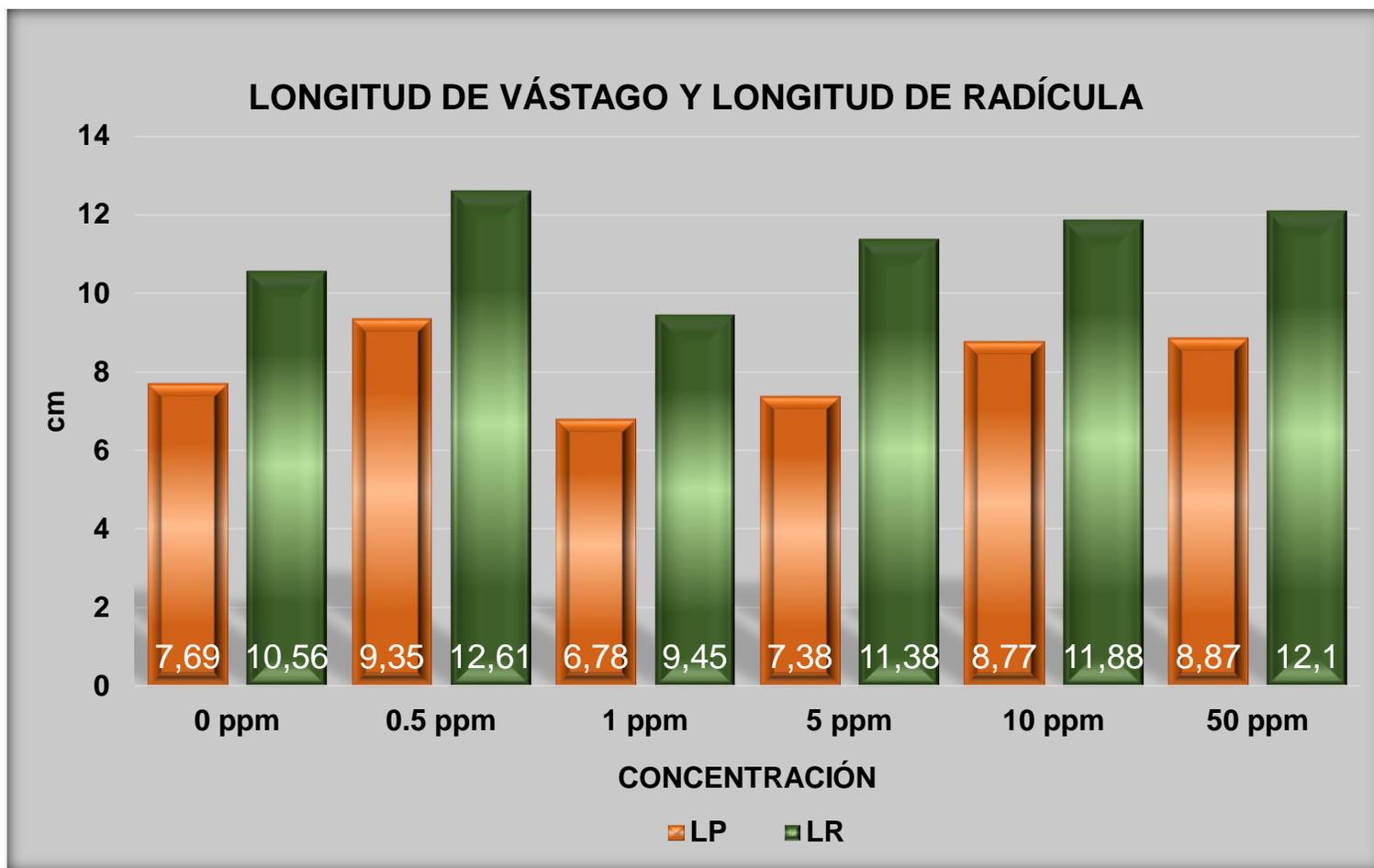


Figura 5. Longitud de vástago y de radícula de plántulas obtenidas de semillas tratadas con NPsZnO en forma de varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

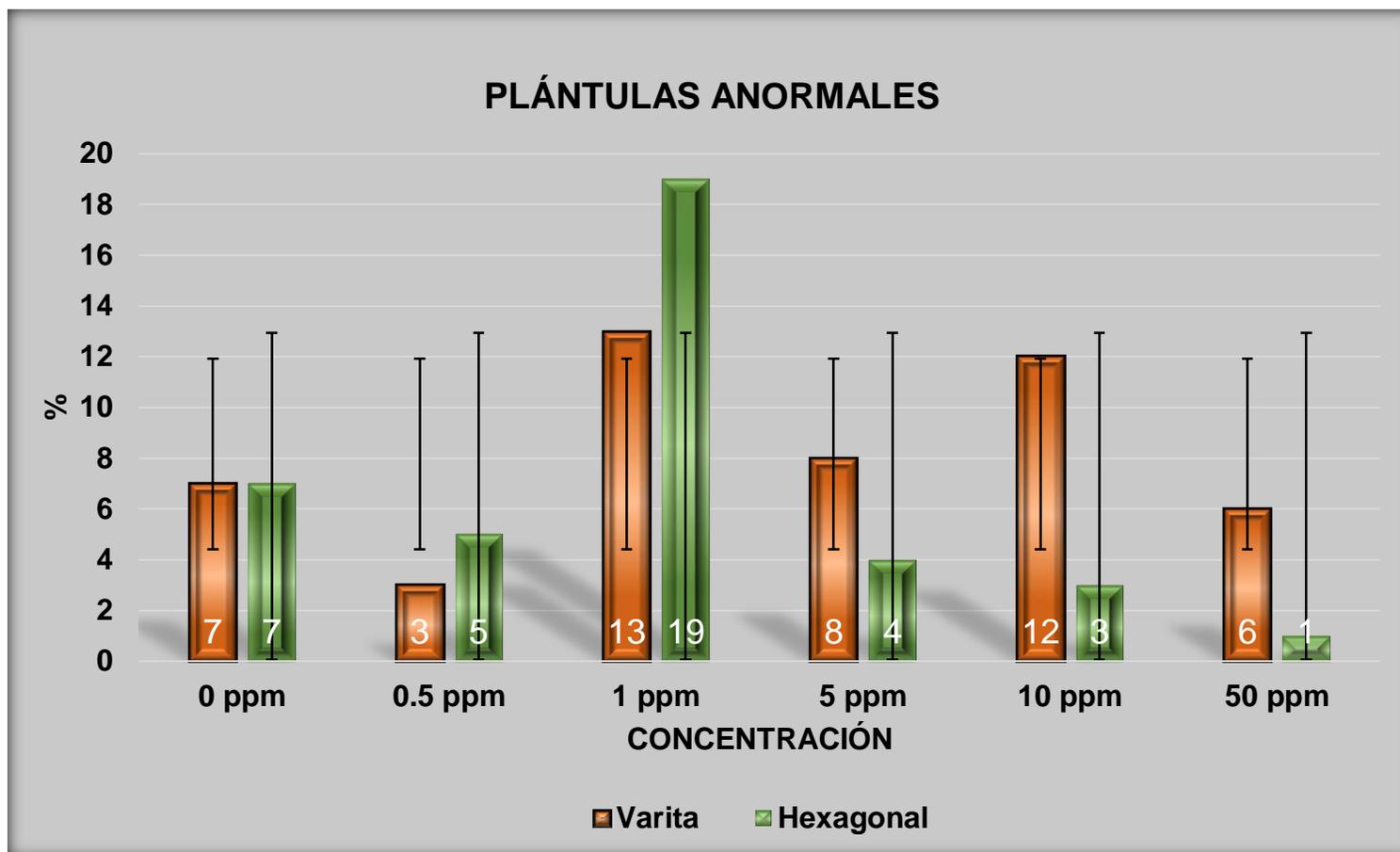


Figura 6. Plántulas anormales generadas de semillas tratadas con NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

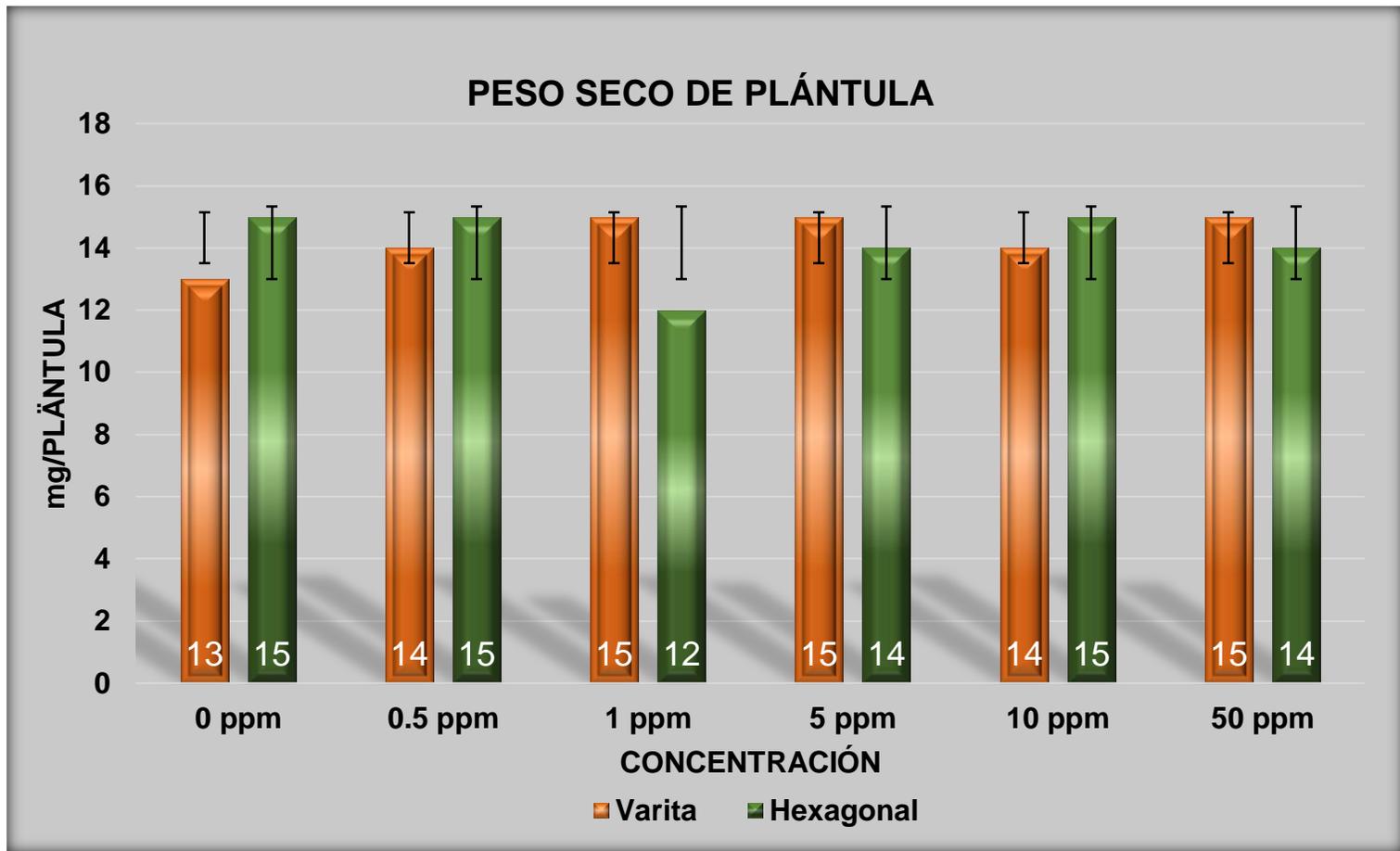


Figura 7. Peso seco de plántulas obtenidas de semillas tratadas con soluciones de NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

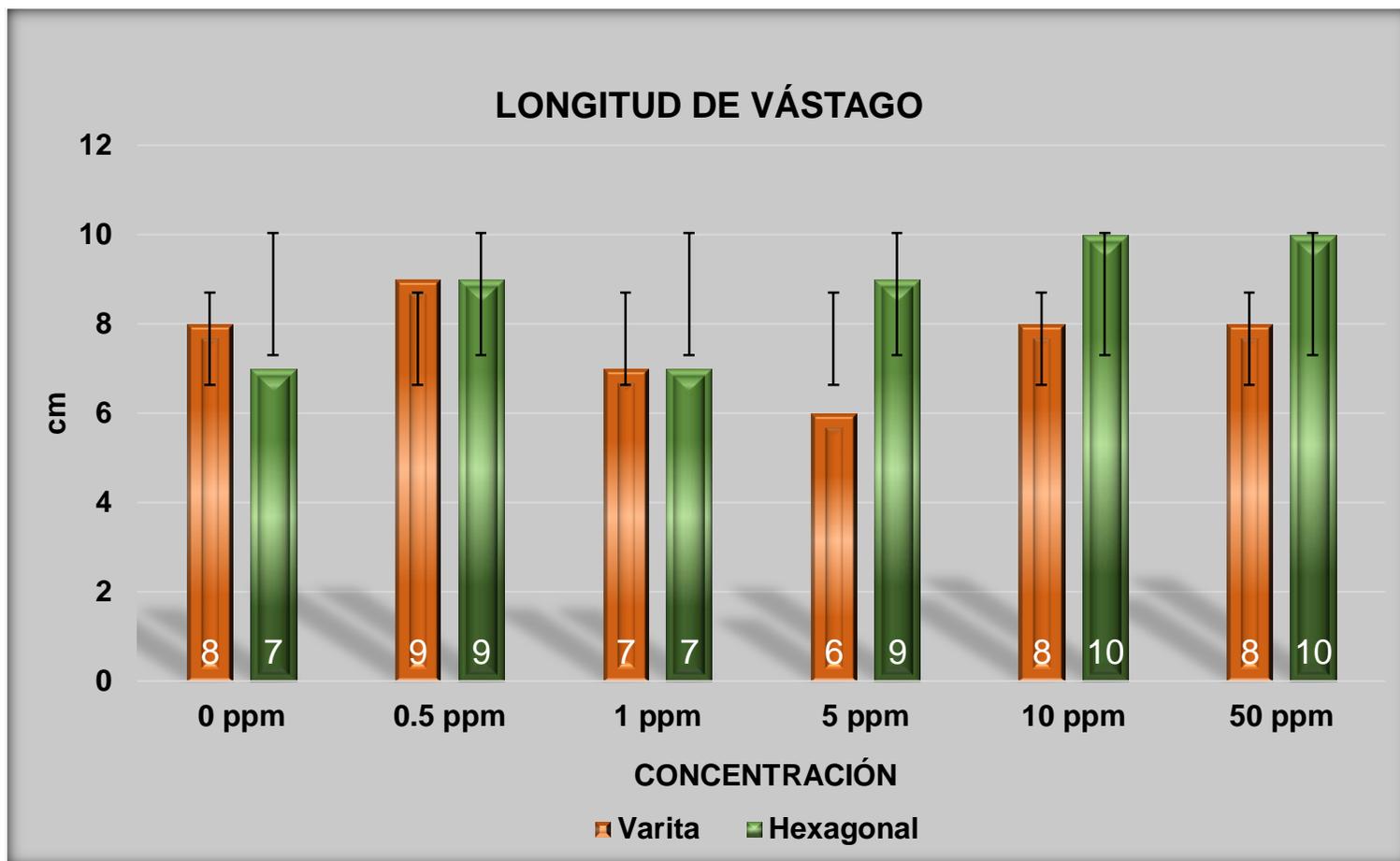


Figura 8. Longitud de vástago registrada en plántulas obtenidas de semillas tratadas con soluciones de NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

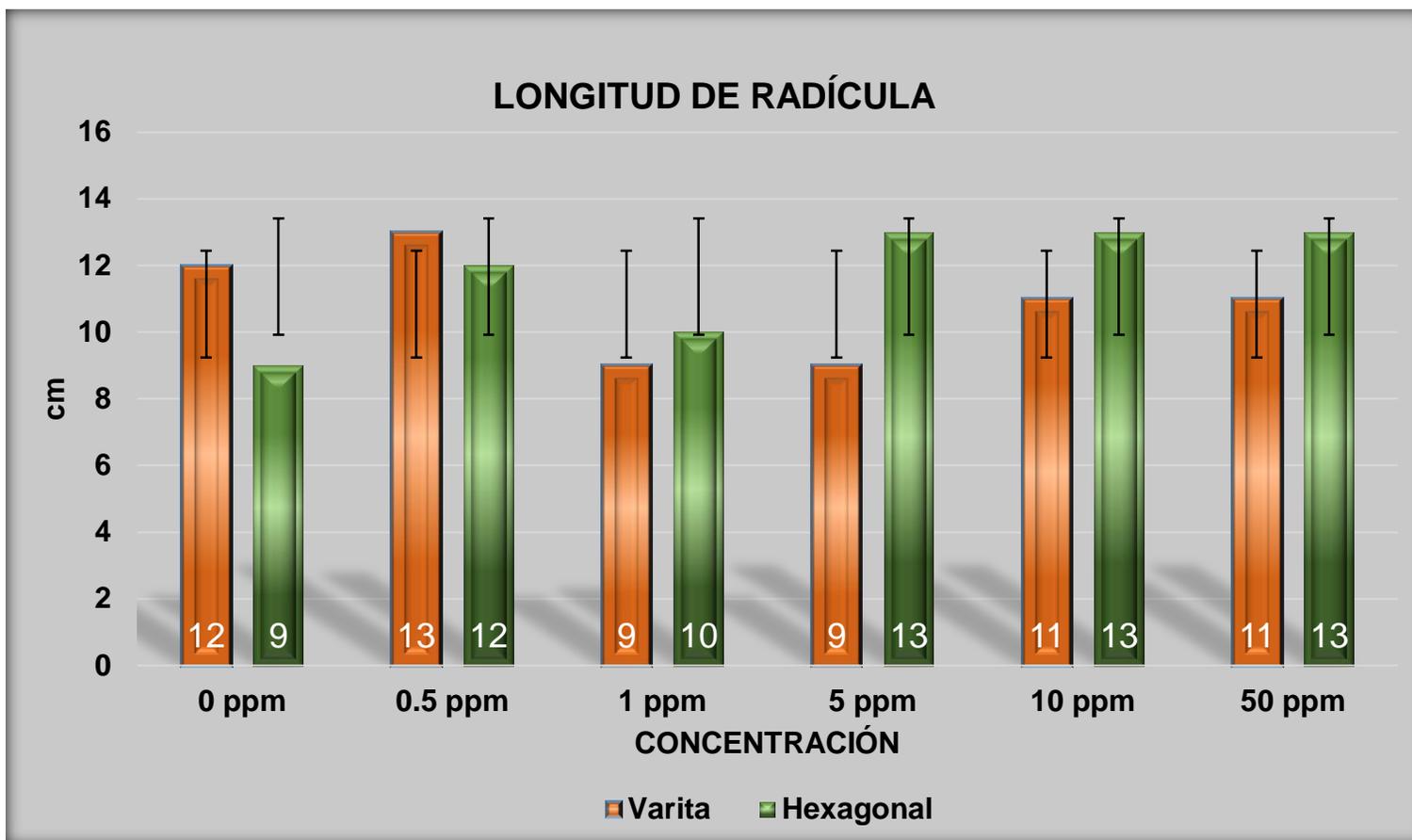


Figura 9. Longitud de radícula en plántulas obtenidas de semillas tratadas con soluciones de NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

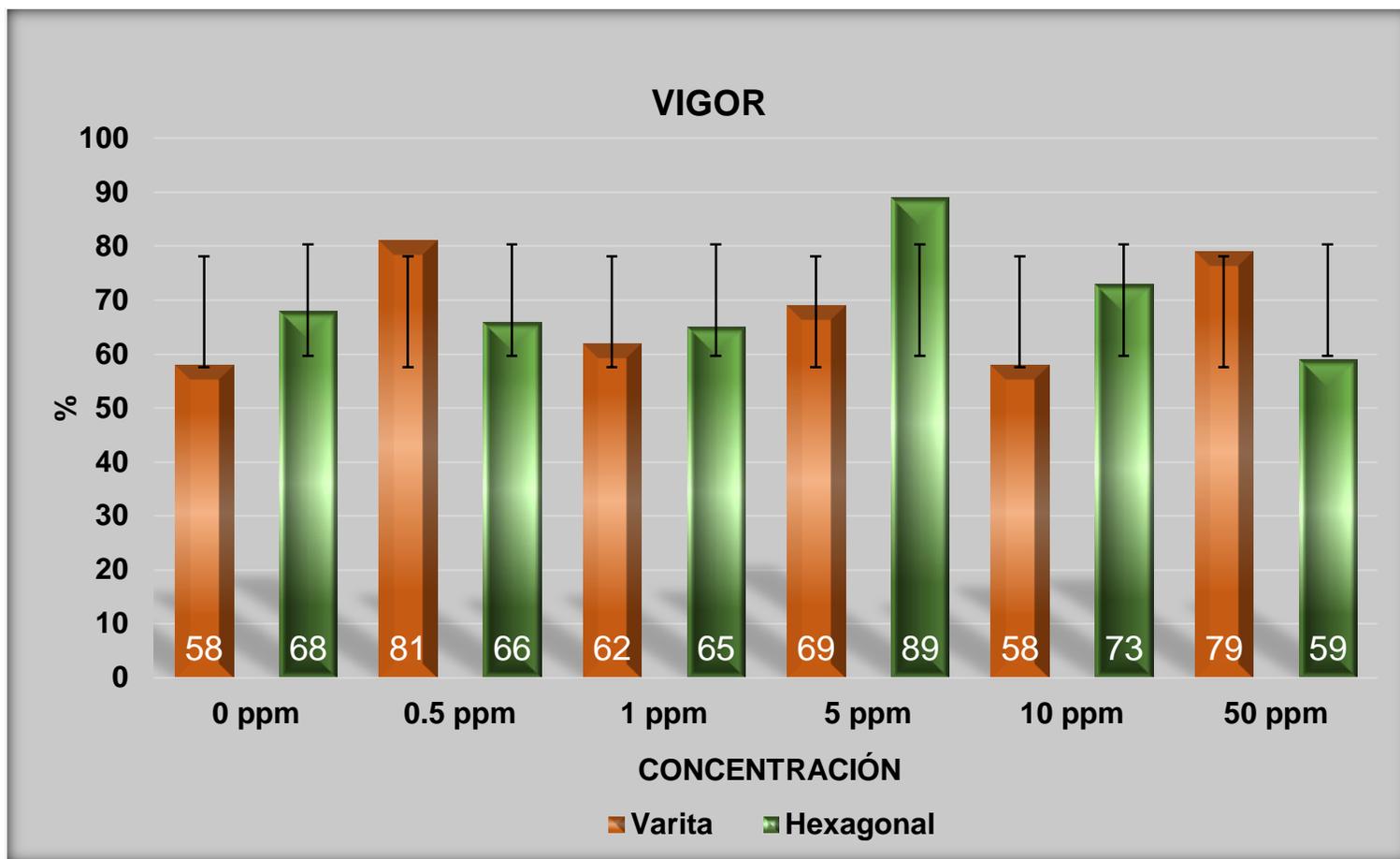


Figura 10. Vigor de germinación de semillas tratadas con NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.

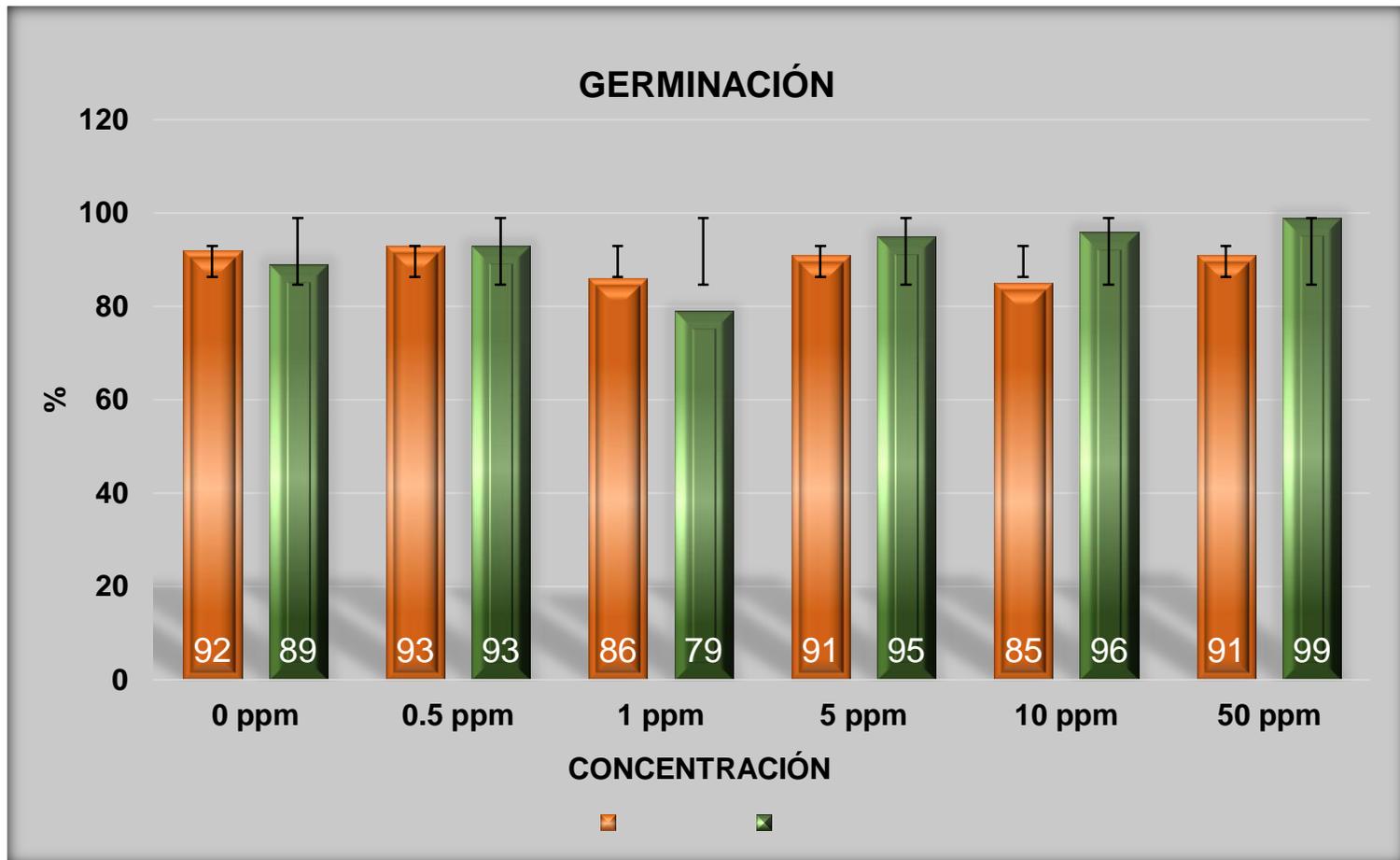


Figura 11. Germinación de semillas tratadas con NPsZnO de forma varita y hexagonal a diferentes concentraciones.