

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estudio Fisiológico En Semillas Y Plántulas De Maíz Tratadas Con Nanopartículas De Óxido De Magnesio Y Expuestas A Ambientes Salinos

Por:

**RENE ENRIQUEZ MADERO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estudio Fisiológico En Semillas Y Plántulas De Maíz Tratadas Con  
Nanopartículas De Óxido De Magnesio Y Expuestas A Ambientes  
Salinos

Por:

**RENE ENRIQUEZ MADERO**

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

---

MC. Hilda Cecilia Burciaga Dávila  
Coasesor

---

MC. Myrna Ayala Ortega  
Coasesor

---

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

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estudio Fisiológico De La Germinación En Semillas De Maíz  
Tratadas Con Nanopartículas De Óxido De Magnesio Y Expuestas A  
Ambientes Salinos

Por:

**RENE ENRIQUEZ MADERO**

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



MC. Hilda Cecilia Burcanga Dávila  
Coasesor



MC. Norma Ayala Ortega  
Coasesor



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

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2022



## **Derechos de Autor y Declaración de no Plagio**

Todo material contenido en esta tesis esta protegido por la ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

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

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

Autor principal

Asesor principal

---

Rene Enriquez Madero

---

Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

## Derechos de Autor y Declaración de no Plagio

Todo material contenido en esta tesis esta protegido por la ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

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


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

Autor principal



Rene Enriquez Madero

Asesor principal



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

## DEDICATORIA

### **A Dios:**

Por darme fortaleza y guiar mi camino para poder llegar a este punto de mi vida, porque en todo momento estuvo a mi lado y no me dejó solo, por enseñarme a valorar mis triunfos y derrotas, gracias por no dejarme caer.

### **A Mi Familia:**

#### **A Mi Madre:**

A mi madre **Sra. Esperanza Madero Guzmán**, por guiarme en mi camino desde el día que vine al mundo, por sus consejos que me dio durante el camino, por siempre enseñarme a aprender de mis errores, por todos los momentos buenos y malos que pasamos juntos, por las risas y abrazos que me brindó cuando más lo necesitaba, no hay palabras para expresar toda mi gratitud hacia ella, solo que me queda agradecer y dedicarle este logro y esperar que donde quiera que se encuentre, se sienta muy orgullosa de mí, porque yo siempre me sentí muy orgulloso de ella. Muchas gracias, mamá, te amo por siempre.

A mi segunda madre **Sra. Francisca Amalia Enriquez M.** por estar conmigo en los momentos importantes y difíciles de mi vida, por sus consejos que me han sido de gran ayuda.

A mi padre **Sr. Ignacio Enriquez Madero**, gracias por haber y seguir confiando en mí, por todos los consejos que me brindas cada día, por no dejarme caer y siempre estar conmigo, por brindarme todo el apoyo en mi carrera universitaria para poderla culminar.

A mi hermano **Javier Enriquez Madero**, gracias por confiar en mí y no desalentar mis sueños, por aconsejarme y guiar mi camino, por enseñarme y ayudarme cuando más lo necesite, por estar conmigo en mis triunfos y

derrotas, por el apoyo que siempre me brindo día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

A mis hermanas, **Gissel Roque E.** y **Esmeralda Roque E.** gracias por sus consejos y haber confiado en mí, por estar en mis momentos importante, por no dejarme caer y siempre darme ánimos.

A mi novia **Samanta A. Sedeño Zamora**, por estar conmigo en mis triunfos y derrotas, por aconsejarme y motivarme cuando me veía caído, por siempre darme ánimos cuando más lo necesitaba, por desvelarse conmigo cuando me tocaba estudiar para mis exámenes, por hacerme lonche cuando me iba hacer prácticas profesionales, por siempre brindarme apoyo día a día.

A mi **familia en general**, por brindarme su ayuda cuando más lo necesite, por sus consejos, por estar conmigo en mis derrotas y triunfos y por sus sabios consejos.

A la **Sra. Laura Zamora Mendoza**, por aconsejarme y darme ánimos en mis momentos difíciles, por motivarme a perseguir mis sueños, por no dejar que me rinda y darme ánimos.

A la **Sra. Magdalena Adela Bautista M.** y **Sr. Elías Elfego Sánchez P.** por sus consejos, por enseñarme el valor del esfuerzo y por abrirme las puertas de su hogar.

A la **Sra. Guadalupe Elizabeth Yen Valero** y **Sr. Miguel Ángel Barrios Yen**, por abrirme las puertas de su hogar, por aconsejarme y darme su apoyo en mi estancia en la universidad.

A mi **perrita Beluga** por estar conmigo hasta el último día de su vida, por siempre recibirme feliz cuando llegaba de Saltillo.

Quiero agradecerme a mi **Rene Enriquez Madero**, por siempre darme ánimos, por levantarme todos los días con ganas de triunfar y de comerme al mundo, por aprender de mis derrotas y de mis triunfos, por no dejarme caer y seguir luchando, por ser perseverante y no desanimarme.



## AGRADECIMIENTOS

A mi **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional y todo el apoyo que me brindó durante mi estancia académica, no hay forma de expresar lo agradecido que estoy con mi Alma Mater, espero algún día regresarle un poco de lo mucho que me brindó.

A la **Dra. Norma Angelica Ruiz Torres** por todo el apoyo que me brindó cuando comenzó este proyecto, por su ayuda cuando más la necesité, y por darme la oportunidad y confianza de trabajar con mi tesis.

A mis amigos y compañeros de la carrera: **José Ignacio Vázquez Fonseca, Anselmo de la Cruz Juárez, Lizbeth Zaqueroz Aquino, Nanci A. Pérez Godínez, Dulce Bautista Guijosa, José del Carmen Vázquez R.** por brindarme su apoyo y consejos durante mi estancia en la universidad y por siempre alentarme a seguir adelante.

A **Michelle Yen Valero**, por ayudarme en mi siembra de semilla de maíz para mi tesis.

A mis amigos de la vida **Alejandra G. Sánchez B., Oscar J. Castillo L., Michelle Rosas E., Carlos Rodríguez P., Miguel Rojas G.**, gracias por siempre estar ahí para mí, por sus consejos y experiencias de vida compartidas conmigo, ustedes saben que siempre podrán contar conmigo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Nanociencia.....	3
Nanotecnología.....	3
La nanotecnología en la agricultura.....	3
Nanopartículas de MgO (NPsMgO).....	5
Efectos de la salinidad en la germinación.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Ubicación del sitio del experimento.....	7
Preparación de la suspensión con NPsMgO.....	7
Imbibición de semillas de maíz.....	7
Variables evaluadas.....	8
Vigor de germinación (V).....	8
Determinación del contenido de clorofila (CLOR).....	8
Porcentaje de germinación (GER).....	8
Plántulas de alto (PAV) y de bajo vigor (PAB).....	8
Plántulas anormales (PA).....	9
Semillas sin germinar (SSG).....	9
Longitud de plúmula.....	9
Longitud de radícula (LR).....	9
Peso seco de plúmula (PSP) y de radícula (PSR).....	9
Relación peso seco de la radícula/peso seco de plúmula.....	10
Diseño experimental.....	10
Modelo lineal.....	10
Análisis estadístico.....	10

RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
CONCLUSIÓN.....	19
LITERATURA CITADA.....	20

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y sometidas a diferentes niveles de CE .....	16
2. Cuadrados medios del análisis para varianza para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz con nanopartículas de óxido de magnesio y sometidas a diferentes niveles de CE.....	17
3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y sometidas a diferentes niveles de CE .....	19
3.1 Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas híbridas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y germinación en diferentes conductividades eléctrica. ....	20

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Fisiología 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 de la imbibición de semillas de maíz de un híbrido comercial, en una suspensión con nanopartículas de óxido de magnesio (NPsMgO), y la respuesta a ambientes salinos inducidos por diferentes concentraciones de NaCl. Se evaluaron trece tratamientos, un testigo (CE = 0 dS/m), NPsMgO a 50 ppm, y soluciones con once diferentes conductividades eléctricas (0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 1.25, 1.75, 2.0, 2.50, 3.0 y 3.50 dS/m), preparadas con NaCl. Cada tratamiento constó de 100 semillas, divididas en cuatro repeticiones de 25, las cuales se trataron inicialmente con la suspensión de NPsMgO (50 ppm) imbibándose por 24 horas (excepto el testigo que se imbibió en agua destilada). Posterior al tratamiento de imbibición, las semillas se sembraron entre papel Anchor, el cual se humedeció con agua destilada en el testigo, así mismo para el tratamiento con 50 ppm NPsMgO. En el resto de los tratamientos, el papel Anchor se humedeció con la solución respectiva de NaCl. Cada tratamiento se colocó en un contenedor dentro de una cámara bioclimática a una temperatura de 25°C y una humedad relativa de 65 %, con un fotoperíodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad. Se evaluaron las variables porcentaje de vigor de germinación, germinación, plántulas de alto vigor, plántulas de bajo vigor, plántulas anormales, semillas sin germinar, longitud de plúmula, longitud de radícula, peso seco de plúmula, peso seco de radícula, relación peso seco de radícula/peso seco de plúmula, y el contenido de clorofila.

Los resultados indican que imbibir las semillas en NPsMgO, y posteriormente sembrarlas en ambientes salinos, presentan mayor vigor a CE menores a 2.0 dS/m, por ende, el vigor de germinación se reduce a CE mayores a 2.0 dS/m. Sin embargo, el porcentaje de germinación resultó estadísticamente igual en todos los tratamientos. También se observó que el porcentaje de plántulas normales de alto vigor se incrementó en tratamientos que incluyeron imbibir semillas en NPsMgO y germinarlas a diferentes CE. Una vez que las plántulas se desarrollaron, se

observaron diferencias en la acumulación de materia seca (peso seco), crecimiento y niveles de clorofila. El tratamiento que presentó la mayor LP fue 1.25 dS/m, indicando que el maíz requiere de suelos bajos en sales que van de 1.0 a 2.0 dS/m para un mejor desarrollo. Por otra parte, la variable LR presentó el valor más alto (23.25 cm) con el tratamiento NPsMgO 50 ppm, superando estadísticamente al testigo. Esto indica que el magnesio promovió el desarrollo de la radícula. Sin embargo, también se observó que a partir de CE mayores a 2.0 dS/m, se redujo la LR. La acumulación de materia seca en la plúmula (PSP), se incrementó a una CE de 2.0 dS/m, con un valor de 44.81 mg/plúmula, y se redujo en el testigo a 31.83 mg/plúmula. Mientras que para la variable PSR, el menor peso se obtuvo a 3.0 dS/m, con 17.79 mg/radícula, siendo estadísticamente diferente al tratamiento de 1.0 dS/m, que presentó el mayor peso con 32.33 mg/radícula. Se puede observar que la mayor acumulación de materia seca en las plántulas de maíz se presentó en un rango de CE de 1.0 a 2.0 dS/m. Para la relación PSR/PSP se observó un patrón similar a la variable PSR, donde el tratamiento con una CE de 1.0 dS/m, superó al tratamiento con 3.0 dS/m, con valores de 0.87 y 0.42, respectivamente. La variable contenido de clorofila, incrementó con una CE de 0.25 dS/m (30.21 SPAD), superando estadísticamente al resto de los tratamientos.

De acuerdo con los resultados, tratar las semillas con NPsMgO 50 ppm durante el periodo de imbibición, mejora la respuesta a la salinidad durante las últimas fases de la germinación, ya que, en la mayoría de las variables evaluadas en plántula, se observó una mejor respuesta con respecto al testigo y al tratamiento donde únicamente se imbibieron las semillas en la suspensión con NPsMgO (50 ppm).

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos más antiguos y de mayor importancia, su relevancia se debe a la diversidad de usos, principalmente en la nutrición humana.

Hoy en día los factores ambientales se han convertido en un problema importante en las principales áreas de producción de cultivos. Se espera que el estrés hídrico y el estrés por salinidad aumenten con el cambio climático, que se está produciendo a nivel mundial.

La exposición a condiciones de salinidad podría ser una alternativa para identificar genotipos portadores de alelos capaces de reducir el daño inducido por este estrés. La salinidad de suelos tiene un efecto negativo en la producción agrícola, causado por un reducido crecimiento de las plantas, la quema de tejidos, la caída de hojas, y la restricción de agua de las raíces de absorción. Los efectos del daño por salinidad en las plantas pueden llegar a ser irreversibles, ya que se produce un estrés oxidativo, con la generación de especies reactivas del oxígeno (ROS) en el cloroplasto, como los son los radicales de  $O_2$ ,  $OH$ , y de  $H_2O_2$ , cuyo resultado final sería la muerte de la planta.

Por otra parte, el magnesio forma parte esencial de la molécula de la clorofila, es un elemento fundamental del proceso de activación del ATP, y cataliza varios sistemas enzimáticos que regulan los procesos metabólicos. El uso de nanopartículas de óxido de magnesio (NPsMgO) se ha reportado en trabajos como agentes antibacterianos, sin embargo, en la agricultura pueden tener otras aplicaciones. En este trabajo se pretende conocer el efecto de las NPsMgO en la respuesta de plántulas de maíz sometidas a diferentes niveles de salinidad.

.

## **Objetivo**

- Determinar el efecto de la aplicación de NPsMgO en suspensión, a semillas sometidas a diferentes conductividades eléctricas, durante el proceso de germinación.

## **Hipótesis**

- $H_i$ : La aplicación de NPsMgO a semillas previo a la siembra en condiciones de salinidad, mejora la respuesta de las plántulas a las condiciones de estrés.
- $H_0$ : La aplicación de NPsMgO a semillas previo a la siembra en condiciones de salinidad, no mejora la respuesta de las plántulas a las condiciones de estrés.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Nanociencia**

La nanociencia (NC) y la nanotecnología (NT) abordan el tema de lo nanométrico, e investigan la posibilidad de que podamos manipular no sólo moléculas nanométricas, sino también átomos individuales (Biel y Flores, 2006). La NC involucra la investigación y el descubrimiento de nuevas características y propiedades de materiales en la nanoescala, y la NT la manera en que los descubrimientos en la nanoescala son puestos a trabajar (Zayago y Foladori, 2010).

### **Nanotecnología**

La NT ha estado presente en la civilización desde la antigüedad y con el paso del tiempo ha ido creciendo a pasos agigantados, a partir de la década de 1980 y manteniéndose hasta la fecha (Hulla *et al.*, 2015).

La NT ha llegado a evolucionar la agricultura, haciendo más fácil la utilización de NPs en semillas para mejorar algunos parámetros relacionados con la germinación y el desarrollo de la planta, siendo una opción para la conservación de especies en peligro de extinción.

### **La nanotecnología en la agricultura**

La NT se refiere al uso y aplicación de estructuras dimensionales entre 1 y 100 nm (Farokhzad y Langer, 2009). Un nanómetro (nm) es una milmillonésima parte de un metro. Estrechamente relacionado con aplicaciones en la agricultura, acuicultura, producción y alimentos (Sandhya *et al.*, 2017). El conocimiento de la NT ha permitido el desarrollo de técnicas para el manejo de las enfermedades de los cultivos. Se utiliza en la preparación de nuevas formulaciones con nanopartículas (NPs) como insecticidas, fungicidas, repelentes de insectos y feromonas.

El uso de la NT en el sector agrícola ha ofrecido enormes aplicaciones como lo son los nanosensores y los sistemas inteligentes para la liberación controlada de agroquímicos (Salamanca *et al.*, 2005).

Las NPs pueden penetrar los tejidos vegetales cuando se aplican sobre las hojas de las plantas en forma de aerosol o aspersion (Wang *et al.*, 2013), por los estomas y desplazándose luego por el floema hacia diferentes tejidos de las plantas (Jalali *et al.*, 2017). También se pueden aplicar en la zona de las raíces mediante el riego y de esa manera las NPs se pueden desplazar por el sistema conductivo del xilema (López-Moreno *et al.*, 2016).

Numerosos estudios revelan que concentraciones o dosis de NPs menores a 5 ppm pueden promover mayor crecimiento de las plantas. El tamaño de las nanopartículas es un factor que interviene en su penetración y traslocación en el interior de los tejidos vegetales, por lo tanto, a mayor tamaño de las NPs menor será la penetración en las plantas (Adhikari *et al.*, 2016; Cota *et al.*, 2014).

Chinnamuthu y Boopathi (2009) indicaron que las NPs pueden utilizarse en el manejo de las semillas y mencionan una variedad de aplicaciones, en ellas incluyen la imbibición con nano-encapsulaciones de cepas específicas de bacterias a lo cual ellos llaman “semillas inteligentes”, asegurando el establecimiento en campo, haciendo mejora en la productividad de los cultivos. Asimismo, mencionan que la aplicación de NPs mejora la germinación de las semillas y los parámetros fisiológicos relacionados, para optimizar la capacidad de absorción, degradación de reservas y división celular.

Hashemi y Mousa (2013) y Ulla y Arshad (2014) mencionan 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 semillas germinadas y un mayor índice de la velocidad de emergencia. Se han observado resultados prometedores en la germinación de semillas bajo tratamientos con NPs. El periodo de germinación se acelera debido a la

mayor disponibilidad de agua, y el porcentaje de germinación final se incrementa, lo cual indica condiciones adecuadas para el crecimiento del embrión. La clave para el aumento de la tasa final de germinación de las semillas es la penetración de nanomateriales en las semillas, como lo indicó Khodakovskaya *et al.* (2009).

Las NPs debido a sus características fisicoquímicas, son algunos de los posibles candidatos para modular el estado redox y el cambio de la germinación de las semillas, el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas (Mukherjee y Mahapatra, 2009). Se indica que pueden modificar la reacción de oxidación-reducción. La aplicación de NPs estimula la germinación de la mayoría de las especies, pero, no obstante, esto depende de la concentración y del genotipo (Hatami *et al.*, 2014).

### **Nanopartículas de MgO (NPsMgO)**

Las NPsMgO tienen aplicación en la biología, física, química, cosméticos, componentes ópticos, ciencia de polímeros, fabricación de medicamentos farmacéuticos, toxicología e ingeniería mecánica. El MgO es ampliamente utilizado para la catálisis, la remediación de residuos tóxicos y la acción antibacteriana. El MgO puede absorber algunos gases orgánicos y residuos iónicos (Di *et al.*, 2012).

Algunas ventajas de utilizar las nanopartículas de MgO son que este compuesto no es tóxico si se consume, ya que se puede utilizar como un suplemento dietario en forma de MgO y MgOH, puede soportar altas temperaturas, es de bajo costo y sobre todo que tiene una alta actividad antimicrobiana (Bertinetti *et al.*, 2009; Boubeta *et al.*, 2010). Zhen y Bin (2014) demostraron que las nanopartículas de MgO tienen una buena actividad antibacteriana contra *S. aureus* y *E. coli*, de igual forma contra hongos como *A. niger*. Además, reportaron que las nanopartículas de MgO tienen mayor actividad antimicrobiana contra bacterias Gram positivas.

Las propiedades antimicrobianas del MgO se mejoran aún más cuando las partículas de MgO se hacen más pequeñas debido a que el área de contacto

entre las moléculas de este compuesto y de bacterias es mayor (Di *et al.*, 2012).

Fernandes *et al.* (2020) indican que las NPsMgO tienen excelentes propiedades como baja densidad, de naturaleza higroscópica, biocompatibles y bajo costo de producción. Sin embargo, son relativamente pocos los trabajos que se han realizado con semillas.

### **Efecto de la salinidad en la germinación**

Una de las limitantes de la germinación es la salinidad, causando cambios que pueden afectar no solo el proceso germinativo, sino también el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (Ruiz y Torenti, 2012).

La tolerancia de las especies a la salinidad depende de las condiciones ambientales y de la capacidad para controlar la absorción de  $\text{Na}^+$ , principalmente durante la fase de germinación (Layne-Garzaball *et al.*, 2008). La salinidad en el suelo retarda el proceso de germinación debido a las dificultades de imbibición que presentan las semillas en medios con alta salinidad, dado por la disminución de la movilidad del agua que se ve reflejado en un retardo en la germinación.

Meza *et al.* (2006) indican que los porcentajes de germinación disminuyen considerablemente al haber un incremento en las concentraciones de sales en el agua de riego, atribuyendo a que el potencial osmótico inhibe el proceso de imbibición.

El efecto más frecuente sobre las plantas es la disminución del desarrollo debido a una reducción del potencial osmótico del medio de crecimiento y, en consecuencia, de su potencial hídrico; la toxicidad iónica regularmente asociada con la absorción excesiva de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Cl}^-$ , y por ende un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con la absorción de los nutrientes que requiere la planta (García y Jáuregui, 2008).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del sitio del experimento**

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

### **Preparación de la suspensión con NPsMgO**

La suspensión con NPsMgO se preparó a una concentración de 50 ppm, con agua destilada. Se sometió a un proceso de sonicación durante diez minutos, para asegurar su dispersión.

### **Imbibición de semillas de maíz**

Para determinar el efecto de las NPsMgO en la germinación de semillas de maíz, en ambientes con diferentes conductividades eléctricas, se utilizó semilla de un híbrido comercial. Se estableció un ensayo con trece tratamientos, siendo estos el testigo (CE = 0 dS/m), NPsMgO a 50 ppm, y soluciones con once diferentes conductividades eléctricas (0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 1.25, 1.75, 2.0, 2.50, 3.0 y 3.50 dS/m), preparadas con NaCl. Cada tratamiento constó de 100 semillas, divididas en cuatro repeticiones de 25, las cuales se trataron inicialmente con la suspensión de NPsMgO (50 ppm) imbibándose por 24 horas (excepto el testigo que se imbibió en agua destilada).

Posterior al tratamiento con NPsMgO y con la ayuda de unas pinzas de disección, las semillas se sembraron entre dos capas de papel Anchor humedecidas de acuerdo con cada tratamiento. Para el testigo, el papel se humedeció con agua, el tratamiento con 50 ppm NPsMgO también con agua destilada, y para el resto, el papel Anchor se humedeció con la solución respectiva de NaCl, de acuerdo con el tratamiento de la CE correspondiente. En seguida se enrollaron en forma de taco, los cuales se colocaron bolsas

de plástico transparente ordenadas por tratamiento y se situaron en un contenedor dentro de una cámara bioclimática a una temperatura de 25°C y una humedad relativa de 65 %, con un fotoperíodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad.

### **Variables evaluadas**

#### **Vigor de germinación (V)**

Al cuarto día después de la siembra, se realizó el primer conteo para determinar el número de plántulas normales que presentaban dos cm o más de crecimiento de la plúmula y de radícula, parámetro que representa la velocidad y uniformidad de la germinación, además integra el valor del potencial de germinación. Se expresó en porcentaje.

#### **Determinación del contenido de clorofila (CLOR)**

Al onceavo día después de la siembra, se realizó la determinación del verdor, de acuerdo con contenido de clorofila, con el equipo portátil SPAD 502, para lo cual de cada tratamiento se escogieron tres plántulas con la primera hoja de la plúmula bien desarrollada. Se expresó en unidades SPAD (Análisis del Desarrollo de la Planta en el Suelo).

#### **Porcentaje de germinación (GER)**

Al doceavo día se realizó la evaluación final del bioensayo, para determinar el número total de plántulas normales expresado en porcentaje. Se consideraron todas aquellas plántulas que presentaron una raíz primaria vigorosa, con raíces adventicias, y con la plúmula verde y vigorosa.

#### **Plántulas de alto (PAV) y de bajo vigor (PBV)**

Las plántulas normales se clasificaron como de alto y de bajo vigor, de acuerdo con el desarrollo presentado de plúmula y de raíz.

### **Plántulas anormales (PA)**

Plántulas que presentaron la raíz primaria atrofiada, o gruesa y corta, o ausente, con mesocótilo fuertemente torcido, o roto. Con las hojas de la plúmula deformadas, dañadas o ausentes. Plántulas deformadas o fracturadas. Se expresó en porcentaje.

### **Semillas sin germinar (SSG)**

Se consideraron todas aquellas semillas que no tuvieron la capacidad de germinar, aun en condiciones adecuadas de humedad y de temperatura.

### **Longitud de plúmula (LP)**

Se midió la plúmula en todas las plántulas normales de cada tratamiento y repetición, utilizando regla milimétrica. Se expresó en porcentaje.

### **Longitud de radícula (LR)**

En las plántulas normales obtenidas de cada tratamiento se tomó medida con una regla milimétrica, de la longitud de la plúmula y de la radícula y se expresó en cm.

### **Peso seco de plúmula (PSP) y de radícula (PSR)**

Ya terminada la evaluación del bioensayo, las plántulas normales de cada tratamiento y repetición se separaron en plúmula y radícula con un bisturí, enseguida se eliminó la cariósida, y se colocaron en bolsas de papel de estraza. En seguida se llevaron a una estufa de secado marca Tecnodalvo, a una temperatura de 72°C, por un periodo de 24 horas. Posteriormente, se retiraron las muestras de la estufa y se colocaron en un desecador, esto para evitar que obtuvieran humedad del ambiente, se dejaron enfriar y en seguida se obtuvo el peso seco de cada muestra en una balanza analítica de precisión marca OneLab, obteniendo el peso seco de la plúmula y de la radícula, y se expresó en mg.

### **Relación peso seco de la radícula/peso seco de la plúmula**

Se obtuvo de dividir el peso seco de la radícula entre el peso seco de la plúmula.

### **Diseño experimental**

Para el análisis de datos se utilizó un diseño completamente al azar.

### **Modelo lineal:**

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = i-ésima observación correspondiente al j-ésimo tratamiento.

$\mu$  = media general.

$\tau_j$  = efecto del j-ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental correspondiente a la i-ésima observación del j-ésimo tratamiento.

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC ANOVA de SAS, y la comparación de medias aplicando la Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) (SAS, 2009).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Cuadro 1), se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables porcentaje de vigor de germinación y longitud de plúmula (cm), mientras que las variables plántulas de alto vigor, plántulas de bajo vigor y longitud de radícula presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). Estas diferencias indican que hubo una respuesta contrastante a la aplicación de los tratamientos durante la imbibición de las semillas, y a los diferentes niveles de salinidad. Las variables porcentaje de germinación, plántulas anormales y semillas sin germinar, no presentaron diferencias estadísticas.

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de varianza para variables relacionadas con la fisiología de las plántulas, observando diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la longitud de la radícula, la longitud de la plúmula, el peso seco de la radícula, el peso seco de la plúmula, y para la relación peso seco de la radícula/peso seco de la plúmula. Lo anterior indica una respuesta diferencial a los tratamientos evaluados, lo cual posiblemente se deba principalmente a los diferentes niveles de CE, afectando la germinación y el crecimiento de las plántulas.

En el Cuadro 3 se presentan las comparaciones de medias para las variables relacionadas con la germinación de las semillas tratadas con NPsMgO, y germinadas a diferentes CE. Los resultados indican que el menor vigor de germinación se obtuvo en el tratamiento con una CE de 3.0 dS/m con un valor de 77 %, con respecto al testigo que obtuvo 93 %, siendo estadísticamente diferentes. La variable porcentaje de germinación, no mostró diferencias significativas entre tratamientos, los valores se presentaron en un rango de 89 % (3.00 CE) a 97 % (0.75 CE). Por otra parte, la variable PAV obtuvo valores superiores al testigo (41 %) en todos los tratamientos, presentándose un rango de 41% a 84% en la 1.25 CE. Estos resultados indican que el maíz requiere de ciertos niveles de CE para obtener porcentajes altos de plántulas vigorosas.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y sometidas a diferentes niveles de CE.

F. V	G. L	V (%)	GER (%)	PAV (%)	PBV (%)	PA (%)	SSG (%)	LP (cm)	LR (cm)
CE	12	116.92**	35.64 NS	558.10*	590.10*	13.64	12.30	75.90**	504.16*
Error	39	35.69	30.56	131.38	108.61	16.41	21.23	11.19	12.98
C. V. (%)		6.61	5.94	15.86	50.36	138.58	84.45	22.04	18.18

\*, \*\* Niveles de significancia al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$  de probabilidad, respectivamente; GL= Grados de libertad; V= Vigor de germinación; G= Germinación; PAV= Plántulas de alto vigor; PBV= Plántulas de bajo vigor; PA= Plántulas anormales; SSG= Semillas sin germinar; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; CE= Conductividad eléctrica.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis para varianza para las variables fisiológicas evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y sometidas a diferentes niveles de CE.

F. V	GL	PSP (mg/planta)	PSR (mg/planta)	PSR/PSP (mg/planta)	GL	COLOR (SPAD)
CE	12	43.94**	69.91**	0.0546**	12	121.92**
ERROR	39	9.93	4.71	0.0049	247	14.41
C.V (%)		7.87	8.36	10.72		15.59

\*, \*\* Niveles de significancia al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$  de probabilidad, respectivamente; GL= Grados de libertad; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; IND= Longitud de plúmula/Longitud de radícula; CLOR= Contenido de clorofila; PA= Plántulas anormales; CE= Conductividad eléctrica.

En cuanto a las plántulas de bajo vigor, por lógica el testigo obtuvo el valor más alto con 53 %, siendo estadísticamente diferente al resto de los tratamientos, que obtuvieron valores más bajos. Las variables porcentaje de PA y de SSG, presentaron valores estadísticamente iguales.

Los resultados indican que el maíz germina normalmente en ambientes con CE inferiores a 3.0 dS/m (moderadamente salinos), de manera satisfactoria. Por otra parte, el tratamiento con NPsMg 50 ppm, se comportó estadísticamente igual a los tratamientos con diferentes niveles de CE inducidos con NaCl. El Mg es un elemento esencial para el desarrollo de cualquier cultivo, es de los más exigidos en el metabolismo vegetal, llegando a representar hasta un 3% de la materia seca de una planta. Como elemento central de la molécula de clorofila, el Mg está directamente ligado a la producción de energía, volviendo todas las demás funciones metabólicas dependientes de su actuación (Sequi, 2004). Tomando en cuenta lo anterior, se explica el motivo de haber obtenido diferencias en variables relacionadas con el vigor de las semillas. Las diferencias estadísticas en la variable porcentaje de plántulas de alto vigor, indican que el Mg es importante una vez que la plúmula emerge, ya que desde este momento depende por completo de la fotosíntesis, y no de las reservas de las semillas.

En el Cuadro 4 se presentan las comparaciones de medias para variables evaluadas en plántulas. La variable LP presentó el menor valor en el testigo con 13.50 cm, mientras que al imbibir las semillas con NPsMgO 50 ppm se incrementó a 14.21 cm, sin embargo, ambos tratamientos resultaron estadísticamente iguales. El tratamiento que presentó la mayor LP fue 1.25 dS/m, indicando que el maíz requiere de suelos bajos en sales que van de 1.0 a 2.0 dS/m para un mejor desarrollo. Por otra parte, la variable LR presentó el valor más alto (23.25 cm) con el tratamiento NPsMgO 50 ppm, superando estadísticamente al testigo. No obstante, a partir de CE mayores a 2.0 dS/m, la variable LR se redujo.

Cuadro 3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y sometidas a diferentes niveles de CE.

TRATAMIENTO (dS/m)	VIGOR (%)	GER (%)	PAV (%)	PBV (%)	PA (%)	SSG (%)
Testigo	93 a	94 a	41 b	53 a	0 a	6 a
50 ppm NPsMgO	96 a	99 a	74 a	25 bc	1 a	0 a
0.25 (dS/m)	89 ab	91 a	72 a	19 bc	4 a	5 a
0.50 (dS/m)	93 a	91 a	80 a	11 bc	3 a	6 a
0.75 (dS/m)	97 a	97 a	71 a	26 bc	3 a	0 a
1.00 (dS/m)	92 a	94 a	77 a	17 bc	2 a	4 a
1.25 (dS/m)	90 ab	92 a	84 a	8 bc	6 a	2 a
1.50 (dS/m)	94 a	92 a	73 a	19 bc	2 a	6 a
1.75 (dS/m)	94 a	96 a	79 a	17 bc	1 a	3 a
2.00 (dS/m)	85 ab	90 a	71 a	19 bc	6 a	4 a
2.50 (dS/m)	87 ab	93 a	77 a	16 bc	2 a	5 a
3.00 (dS/m)	77 b	89 a	56 ab	33 ab	4 a	7 a
3.50 (dS/m)	87 ab	90 a	84 a	6 c	4 a	6 a
$\bar{x}$	90.30	92.92	72.23	20.67	2.92	4.15
Tukey	14.89	13.77	28.56	25.97	10.09	8.74

Medias con la misma lateral son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ); V= Vigor de germinación; Ger= Germinación; PAV= Plántulas de alto vigor; PBV= Plántulas de bajo vigor; PA= Plántulas anormales; SSG= Semillas sin germinar.

Esto indica que el magnesio promovió el desarrollo de la radícula. La acumulación de materia seca en la plúmula (PSP), se incrementó a una CE de 2.0 dS/m, con un valor de 44.81 mg/plúmula, y se redujo en el testigo a 31.83 mg/plúmula. Mientras que para la variable PSR, el menor peso se obtuvo a 3.0 dS/m, con 17.79 mg/radícula, siendo estadísticamente diferente al tratamiento 1.0 dS/m, que presentó el mayor peso con 32.33 mg/radícula. Se puede observar que la mayor acumulación de materia seca en las plántulas de maíz se presentó en un rango de CE de 1.0 a 2.0 dS/m. Para la relación PSR/PSP se observó un patrón similar a la variable PSR, donde el tratamiento con una CE de 1.0 dS/m, superó al tratamiento con 3.0 dS/m, con valores de 0.87 y 0.42, respectivamente. La variable contenido de clorofila, incrementó con una CE de 0.25 dS/m (30.21 SPAD), superando estadísticamente al resto de los tratamientos. Pero se redujo al incrementar los valores de CE.

En general, la reducción en la respuesta de las variables evaluadas en plántulas en CE superiores a 2.0 dS/m, son resultado del estrés osmótico o la toxicidad iónica que afectan el metabolismo y la movilización de reservas almacenadas en la semilla. En plántula, se reduce la habilidad para absorber agua y esto conlleva reducciones en la tasa de crecimiento, y a concentraciones más altas de NaCl, grandes cantidades de sal entran en la planta en el flujo de la transpiración, por lo que se presenta daño celular que resulta en reducciones en el crecimiento. El daño celular causa además una disminución en la cantidad de clorofila.

De acuerdo con los resultados, tratar las semillas con NPsMgO 50 ppm durante el periodo de imbibición, mejora la respuesta a la salinidad durante las últimas fases de la germinación, ya que, en la mayoría de las variables evaluadas en plántula, se observó una mejor respuesta con respecto al testigo y al tratamiento donde únicamente se imbibieron las semillas en la suspensión con NPsMgO (50 ppm).

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas híbridas de maíz, tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y germinadas en diferentes conductividades eléctricas.

TRATAMIENTO (dS/m)	LP (cm)	LR (cm)	PSP (mg/planta)	PSR (mg/planta)	PSR/PSP (mg/planta)	CLOROFILA (SPAD)
Testigo	13.50 d	17.58 fg	31.83 c	20.66 cde	0.66 b	21.07 d
50 ppm NPsMgO	14.21 cd	23.25 a	38.48 abc	27.13 ab	0.71 ab	25.64 bc
0.25 (dS/m)	15.12 bcd	19.97 cde	40.38 ab	26.03 bc	0.64 b	30.21 a
0.50 (dS/m)	15.83 abc	18.57 ef	38.28 bc	25.20 bcd	0.66 b	24.16 bcd
0.75 (dS/m)	16.31 ab	18.61 ef	40.34 ab	25.64 bcd	0.63 b	23.21 bcd
1.00 (dS/m)	15.03 bcd	22.21 ab	36.91 bc	32.33 a	0.87 a	23.71 bcd
1.25 (dS/m)	16.96 a	20.98 bcd	43.31 ab	30.34 ab	0.70 ab	25.58 bc
1.50 (dS/m)	14.42 cd	21.41 bc	39.82 ab	29.31 ab	0.73 ab	23.22 bcd
1.75 (dS/m)	14.70 bcd	21.29 bcd	39.51 abc	29.24 ab	0.74 ab	24.97 bcd
2.00 (dS/m)	15.56 abc	15.56 h	44.81 a	20.48 de	0.45 cd	21.93 bc
2.50 (dS/m)	15.59 abc	19.60 de	42.35 ab	26.65 b	0.63 b	27.21 ab
3.00 (dS/m)	14.84 bcd	16.37 gh	42.29 ab	17.79 e	0.42 d	21.66 bc
3.50 (dS/m)	15.17 bc	21.97 ba	42.20 ab	26.48 b	0.62 bc	23.83 bcd
$\bar{x}$	15.18	19.81	40.04	25.96	0.65	24.34
Tukey	1.64	1.76	7.85	5.41	0.17	4.01

Medias con la misma lateral son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; PSR/PSP= Peso seco de la radícula/ peso seco de la plúmula; CLOR= Contenido de clorofila en unidades SPAD.

De acuerdo con González y Ramírez, la problemática de la salinización del suelo en las zonas de producción agrícola impone a los investigadores nuevos retos, como la identificación de los indicadores para la selección de genotipos adaptados a condiciones desfavorables.

González et al. (1999) indicaron que durante el desarrollo de las plantas existen distintas fenofases que, por su importancia y comportamiento en condiciones de salinidad, pueden dar información muy precisa de una posible tolerancia, por ello, es que se habla de tolerancia relativa, la cual puede contribuir considerablemente a la tolerancia final del cultivo en condiciones de salinidad.

La tolerancia a la salinidad es un atributo, que a través del mejoramiento genético y haciendo uso de la selección en diferentes etapas y la recombinación, se podrá generar genotipos tolerantes a este tipo de estrés. Por otra parte, las NPsMgO constituyen una opción para modular el efecto de la salinidad impuesta por NaCl.



## CONCLUSIONES

Al imbibir semillas en NPsMgO, y posteriormente sembrarlas en ambientes salinos, se presentó mayor vigor de germinación a CE menores a 2.0 dS/m.

El porcentaje de plántulas normales de alto vigor se incrementó en tratamientos que incluyeron imbibir semillas en NPsMgO y germinarlas a diferentes CE.

El tratamiento que presentó la mayor LP fue 1.25 dS/m, indicando que el maíz requiere de suelos bajos en sales que van de 1.0 a 2.0 dS/m para un mejor desarrollo.

Se observó que a CE mayores a 2.0 dS/m, se redujo la LR.

La acumulación de materia seca en la plúmula (PSP), se incrementó a una CE de 2.0 dS/m, y se redujo significativamente en el tratamiento testigo.

La variable PSR, mostró el valor más alto a 1.0 dS/m, con 32.33 mg/radícula.

Mayor acumulación de materia seca en las plántulas de maíz se presentó en un rango de CE de 1.0 a 2.0 dS/m.

En la relación PSR/PSP el tratamiento con una CE de 1.0 dS/m, superó significativamente al tratamiento con 3.0 dS/m, con valores de 0.87 y 0.42, respectivamente.

La variable contenido de clorofila, relacionada con el verdor de la planta, incrementó con una CE de 0.25 dS/m (30.21 SPAD), superando estadísticamente al resto de los tratamientos.

En general, se obtuvo mejor respuesta en las variables evaluadas en semillas y plántulas, en un rango de 0.25 a 2.0 dS/m, imbibidas previamente con NPsMgO.

## LITERATURA CITADA

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

Bertinetti, L., Drouet, C., Combes, C., Rey, C., Tampieri, A., Coluccia, S. and Martra, G. 2009. Surface characteristics of nanocrystalline appetites: effect of Mg Surface enrichment on morphology, Surface hydration species, and cationic environments. *Langmuir*, 25:5647-5654.

Biel, B. y Flores F., F. 2006. Nanociencia: Manipulación a Escala Atómica y Molecular. *Nanociencia y Nanotecnología I*. No. 34. p.45.

Boubeta, C., Balcells, L., Cristofol, R., Sanfeliu, C., Rodríguez, E., Weissleder, R., Piedrafita, S., Simeonidis, K. and Angelakeris, M. 2010. Self-assembled multifunctional Fe/MgO nanospheres for magnetic resonance imaging and hyperthermia. *Nanomedicine*, 6:362-370.

Brody AL. 2001. What´s active about intelligent packaging. *Food Technology* 55(6), 75-78

Chinnamuthu, C. R. and Boopathi. M. 2009. Nanotechnology and Agroecosystem. *Tamil Madras Agri. J* 96 (1-6):17-31.

Cota, O., Cortez, M., Burgos, A., Ezquerra, J., and Plascencia, M. 2013. Controlled release matrices and micro/nanoparticles of chitosan with antimicrobial potential: development of new strategies for microbial control in agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(7), 1525-1536.

Di, D., He, Z., Sun, Z., and Liu, J. 2012. A new nano-cryosurgical modality for tumor treatment using biodegradable MgO nanoparticles. *Nanomedicine*. 8:1233-1241.

Farokhzad, O. C. and Langer, R. 2009. Impact of nanotechnology on drug delivery. ACS Nano 3: pp. 16-20.

Fernandes, M., Singh, K. R. B., Sarkar, T., Sing, P., and Singh, R. P. 2020. Recent applications of magnesium oxide (MgO) nanoparticles in various domains. Adv. Mater. Lett.11(8), 20081543.

González, L. M. y Ramírez, R. 1999. La absorción en agua por las semillas de arroz a altas concentraciones salinas, como posible indicador de la tolerancia varietal. Cultivos Tropicales, 1999. Vol. 20(1), pp. 31-34 .

González, L. M., Ramírez, M., Ramírez, R. y López, R. 1999. Variable intervarietal del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) durante la germinación y crecimiento de las plántulas en condiciones salinas. Cultivos Tropicales Vol. 20(1) pp. 47-50

García, M., y Jáuregui, D. 2008. Efecto de la salinización con NaCl o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sobre la anatomía foliar en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) con tolerancia salina diferencial. ERNSTIA. 18(1):89-105.

Hashemi, E. and Mosavi, M. 2013. Effect of anatase nanoparticles (TiO<sub>2</sub>) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) *in Vitro*. Biol Trace Elem Res 155:283-286.

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

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

Jalali, M., Ghanati, F., Modarres-Sanavi, A., and Khoshgoftarmanesh, A. 2017. Physiological effects of repeated foliar application of magnetite nanoparticles on maize plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6), 593-602. doi: 10.1111/jac.12208.

Khodakovskaya, M., 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.

Layne-Garsaball, J. A., Méndez-Nateral, J. M. y Mayz-Figueroa, J. 2008. Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 11(1):17-25.

López-Moreno, M., Avilés, L., Pérez, N., Irizarry, B., Perales, O., CedenoMattei, Y., and Román, F. 2016. Effect of cobalt ferrite (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles on the growth and development of *Lycopersicon lycopersicum* (tomato plants). *Science of the Total Environment*, 550, 45-52.

Meza, D. 2003. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 37:217-226.

Mukherjee, M. and Mahapatra, A. 2009. Effect of coinage metal nanoparticles and zwitterionic surfactant on reduction of [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>Cl] (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> by iron (III). *Colloid Surface*. 350: 1-7.

Ruiz, M. y Torenti, O. 2012. Germinación de cuatro pastos bajo condiciones de estrés salino. *Phyton*. 81(2):169-176.

Salamanca-Buentello, F., Persad, D. L., Court, E. B., Martin, D. K., Daar, A. S. y Singer, P. A. 2005. Nanotecnología y el mundo en desarrollo. *PLoS Med.* 2: e97. doi: 10.1371/journal.pmed.00200

Sandhy, M., Kaswani, C., Abhilas, P. C., Fraceto, L. F., and Bahadur Singh, H. 2017. Integrated Approach of Agri-nanotechnology: Challenges and Future Trends. *Front. Plant Sci.* 8:417 doi: [10.3389/fpls.2017.00471](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00471)

Ullah, S. and Arshad, M. 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.

Wang, W. N., Tarafdar, J. C., and Biswas, P. 2013. Nanoparticle synthesis and delivery by an aerosol route for watermelon plant foliar uptake. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(1), 1-13.

Zayago, L. E. y Folarodi, G. 2010. La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. *Economía, sociedad y territorio*. Vol. 10 No.32.

Zhen-Xing, T. and Bin-Feng, L. 2014. MgO nanoparticles as antibacterial agent: preparation and activity. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vol. 31. 3:591-601.