

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE NANOFERTILIZANTES OBTENIDOS POR SÍNTESIS VERDE CON MATA RATON (GLIRICIDIA SEPIUM) APLICADOS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ALGODON (GOSSYPIUM HERBACEUM) EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR**



**AUTOR:**

**KAREN MARGARITA CASTRO OSPINO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2025**

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE NANOFERTILIZANTES  
OBTENIDOS POR SÍNTESIS VERDE CON MATA RATON (GLIRICIDIA SEPIUM)  
APLICADOS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ALGODON (GOSSYPIUM  
HERBACEUM) EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**AUTOR:**

KAREN MARGARITA CASTRO OSPINO

**DIRECTOR**

EMELY VANESSA RUIZ DUARTE  
MAESTRANTE EN CIENCIAS AMBIENTALES

**CODIRECTOR**

SINDI DAYANA HORTA PIÑERES  
DOCTORA EN CIENCIAS FISICAS

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2025**

## RESUMEN

Esta investigación evaluó la efectividad de nanofertilizantes obtenidos mediante síntesis verde utilizando *Gliricidia sepium* (mata ratón) en la germinación de semillas de algodón (*Gossypium herbaceum*) cultivadas en el departamento del Cesar. Este estudio busca contribuir a la implementación de alternativas sostenibles en la agricultura, aprovechando compuestos naturales para la producción de nanofertilizantes como potenciadores del crecimiento vegetal.

La síntesis verde se llevó a cabo empleando extractos de *Gliricidia sepium* como agente bioreductor y estabilizador en la formación de nanopartículas, las cuales fueron caracterizadas mediante técnicas como microscopía y espectroscopía. Para evaluar su efectividad, se realizaron ensayos de germinación bajo condiciones controladas, comparando el comportamiento de las semillas tratadas con nanofertilizantes frente a un grupo control sin tratamiento.

Se observó que la aplicación de nanofertilizantes no tuvo un impacto significativo en el número de hojas, aunque el tratamiento ZnO-GS-300 mostró una ligera ventaja. En cuanto al crecimiento del tallo, se evidenció que la concentración más alta de ZnO favoreció un mayor diámetro, mientras que *Gliricidia sepium* promovió una mejor acumulación de biomasa. Sin embargo, concentraciones elevadas de nanofertilizantes afectaron negativamente la biomasa radicular, aunque ZnO-GS-200 favoreció la elongación de la raíz. Además, la biomasa seca fue mayor en el tratamiento control y menor en ZnO-GS-200, sugiriendo una diferencia en la eficiencia de conversión de nutrientes. Finalmente, se encontraron ligeras variaciones en el pH del suelo, lo que podría influir en la absorción de nutrientes esenciales.

En conclusión, el uso de nanofertilizantes sintetizados de forma ecológica mediante *Gliricidia sepium* representa una estrategia prometedora para optimizar el desarrollo inicial de cultivos de algodón, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles en la región del Cesar.

**Palabras clave:** nanofertilizantes, síntesis verde, *Gliricidia sepium*, semillas de algodón, agricultura sostenible, acetato de zinc.

## ABSTRACT

This research evaluated the effectiveness of nanofertilizers obtained by green synthesis using *Gliricidia sepium* (mouse killers) in the germination of cotton seeds (*Gossypium herbaceum*) grown in the department of Cesar. This study seeks to contribute to the implementation of sustainable alternatives in agriculture, taking advantage of natural compounds for the production of nanofertilizers as plant growth enhancers.

The green synthesis was carried out using extracts of *Gliricidia sepium* as a bioreductor and stabilizing agent in the formation of nanoparticles, which were characterized by microscopy and spectroscopy techniques. To evaluate their effectiveness, germination tests were carried out under controlled conditions, comparing the behavior of seeds treated with nanofertilizers versus a control group without treatment.

Most relevant results: It was observed that the application of nanofertilizers did not have a significant impact on the number of leaves, although the ZnO-GS-300 treatment showed a slight advantage. Regarding stem growth, it was evidenced that the higher ZnO concentration favored a larger diameter, while *Gliricidia sepium* promoted a better biomass accumulation. However, high concentrations of nanofertilizers negatively affected root biomass, although ZnO-GS-200 favored root elongation. In addition, dry biomass was higher in the control treatment and lower in ZnO-GS-200, suggesting a difference in nutrient conversion efficiency. Finally, slight variations in soil pH were found, which could influence the uptake of essential nutrients.

In conclusion, the use of ecologically synthesized nanofertilizers using *Gliricidia sepium* represents a promising strategy to optimize the initial development of cotton crops, promoting sustainable agricultural practices in the Cesar region.

**Key words:** nanofertilizers, green synthesis, *Gliricidia sepium*, cotton seeds, sustainable agriculture, zinc acetate.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN .....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	16
3. OBJETIVOS .....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
4.2. MARCO TEÓRICO.....	21
1. Introducción a la Síntesis Verde y Nanotecnología Agrícola.....	22
2. Nanofertilizantes y su Impacto en la Agricultura .....	23
3. Gliricidia sepium como Fuente de Nanomateriales .....	24
4. Germinación de Semillas de Algodón y su Importancia Económica .....	25
5. Evaluación de la Efectividad de Nanofertilizantes en la Germinación de Semillas de Algodón .....	26
4.3. MARCO CONCEPTUAL .....	26
Banda de absorción: .....	26
Germinación de Semillas de Algodón: .....	27
Gliricidia sepium:.....	27
Nanofertilizantes: .....	27
Nanopartículas: .....	27
Nanotecnología agrícola: .....	27

Óxido de Zinc: .....	28
Precursor: .....	28
Síntesis Verde: .....	28
4.4. MARCO CONTEXTUAL .....	28
4.4.1 Localización de la Ciudad.....	28
4.4.1 Localización del proyecto .....	31
4.5. MARCO LEGAL.....	33
5. MARCO METODOLÓGICO.....	35
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN .....	35
5.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	35
5.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
5.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	36
5.6. MUESTRA POBLACIONAL .....	36
5.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
5.8. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO .....	38
5.8.1. Fase 1. Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO) como base para el desarrollo de un nanofertilizante aplicado en el cultivo de algodón (Gossypium spp.). .....	38
Actividad 1.1 Revisión Bibliográfica de la literatura existente sobre el tema.....	39
Actividad 1.2 Síntesis de nanopartículas .....	39
5.8.2. Fase 2. Caracterización de las nanopartículas de ZnO en síntesis verde .....	40
Actividad 2.1 Caracterización de las nanopartículas mediante la técnica de espectroscopia UV-Vis.....	40
Actividad 2.2 Caracterización Morfológica Espectroscopia Electrónica De Barrido (SEM) .....	41

Actividad 2.3 Caracterización estructural a partir de Rayos X.....	41
5.8.3. Fase 3. Evaluar el efecto del nanofertilizante de ZnO obtenido por síntesis verde en la germinación y crecimiento de plántulas de algodón ( <i>Gossypium spp.</i> ).....	41
Actividad 3.1 Obtención de nanofertilizante.....	41
Actividad 3.2 Preparación de las bandejas de germinación con las semillas de Algodón y aplicación del nanofertilizante.....	43
Actividad 3.3 Aplicación de los diferentes tratamientos (A, B, C y D).....	44
Actividad 3.4 Evaluar la germinación y crecimiento de las semillas de algodón.....	45
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	48
6.1. Fase 1. Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO) como base para el desarrollo de un nanofertilizante aplicado en el cultivo de algodón ( <i>Gossypium spp.</i> ).....	48
6.2. Caracterización de las nanopartículas de ZnO.....	48
- Espectroscopia Electrónica De Barrido (SEM).....	51
6.3. Evaluar el efecto del nanofertilizante de ZnO obtenido por síntesis verde en la germinación y crecimiento de plántulas de algodón ( <i>Gossypium spp.</i> ).....	52
7. CONCLUSIONES.....	83
8. RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	94

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> <i>Ubicación Geográfica de Valledupar, Cesar.</i> .....	29
<b>Figura 2.</b> <i>Ubicación Satelital del laboratorio de Óptica.</i> .....	32
<b>Figura 3.</b> <i>Diseño experimental de los bancos de prueba para la germinación de semillas.</i> .....	37
<b>Figura 4.</b> <i>Esquema del montaje de la caracterización con el espectrómetro UV-Vis</i> .....	40
<b>Figura 5.</b> <i>Esquema general de obtención de nanofertilizante mediante la técnica de síntesis verde.</i> .....	42
<b>Figura 6.</b> <i>Preparación de las bandejas de germinación para la siembra de semillas de algodón.</i> .....	44
<b>Figura 7.</b> <i>Caracterización óptica de nanopartículas de ZnO mediante espectroscopia UV-VIS.</i> .....	49
<b>Figura 8.</b> <i>Patrón de difracción de rayos X (XRD) de las nanopartículas de ZnO.</i> .....	50
<b>Figura 9.</b> <i>Imagen de alta resolución de las nanopartículas de ZnO.</i> .....	51
<b>Figura 10.</b> <i>Germinación de semillas en los distintos tratamientos.</i> .....	55
<b>Figura 11.</b> <i>Grafica análisis de componentes principales (PCA)- primeros dos componentes. ..</i>	67
<b>Figura 12.</b> <i>Distribución de las variables entre los tratamientos.</i> .....	74
<b>Figura 13.</b> <i>Grafica del número de hojas y masa de la hoja.</i> .....	79
<b>Figura 14.</b> <i>Grafica del diámetro mayor y menor del tallo.</i> .....	80
<b>Figura 15.</b> <i>Tabla de masa del tallo por tratamiento</i> .....	80
<b>Figura 16.</b> <i>Grafica masa y longitud de la raíz por tratamiento.</i> .....	81
<b>Figura 17.</b> <i>Grafica biomasa seca por tratamientos.</i> .....	82
<b>Figura 18.</b> <i>Grafica PH del suelo según tratamientos.</i> .....	82

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Marco Legal y normativas referentes al proyecto.....	33
<b>Tabla 2.</b> <i>Bitácora de germinación de semillas</i> .....	53
<b>Tabla 3.</b> <i>Datos promedios de los tratamientos y descriptores físicos</i> .....	56
<b>Tabla 4.</b> <i>Fórmulas de ANOVA</i> . ....	59
<b>Tabla 5.</b> <i>Resultados de ANOVA e interpretaciones</i> . ....	60
<b>Tabla 6.</b> <i>Matriz de Correlación Detallada</i> .....	64
<b>Tabla 7.</b> <i>Resultados estadísticos Media, Desviación estándar, mínimos máximos y rangos</i> . ....	70

## 7. CONCLUSIONES

A lo Largo del desarrollo de esta investigación, se identificaron aspectos clave que reflejan los logros alcanzados en cada uno de los objetivos planteados. La aplicación y evaluación de los tratamientos con nanofertilizantes de ZnO obtenidos por síntesis verde utilizando *Gliricidia sepium* evidenciaron su impacto en la Germinación y crecimiento de las plántulas de algodón (*Gossypium herbaceum*), destacando tanto los beneficios como las posibles limitaciones de su aplicación en la agricultura.

Los resultados mostraron que los tratamientos con ZnO-GRS-200 mg/L y ZnO-GRS-300 mg/L promovieron una Germinación más temprana en comparación con el control, lo que sugiere un efecto positivo en la activación de los procesos iniciales de crecimiento. Asimismo, el análisis de crecimiento de las plántulas indicó que ZnO-GRS-300 mg/L favoreció un mayor diámetro del tallo (2.129 mm), mientras que ZnO-GRS-200 mg/L mostró un crecimiento más equilibrado en términos de longitud de la planta y desarrollo radicular. Sin embargo, en términos de biomasa seca, el tratamiento control presentó valores más altos (2.2 gr), lo que sugiere que el uso de nanofertilizantes puede influir en la distribución de biomasa sin necesariamente incrementar su acumulación total.

La caracterización de las nanopartículas de ZnO mediante espectroscopia UV-Vis, difracción de rayos X (XDR) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) confirmó la formación de estructuras cristalinas tipo Wurtzita, validando la efectividad del método de síntesis verde y su potencial aplicación en la agricultura. Adicionalmente, se resalta que la síntesis verde de nanofertilizantes representa una alternativa sostenible, minimizando el impacto ambiental asociado a la producción de insumos agrícolas y aprovechando *Gliricidia sepium* como un recurso bioreductor eficiente y de bajo costo.

Se identificaron limitaciones en la respuesta de las plántulas a diferentes concentraciones de ZnO, donde dosis más altas podrían afectar el desarrollo de ciertas estructuras. También se observó que la efectividad de los nanofertilizantes puede variar según las condiciones ambientales, lo que sugiere la necesidad de estudios complementarios en condiciones de campo para evaluar su desempeño en escenarios agrícolas reales.

En general, los resultados de esta investigación contribuyen al conocimiento sobre el uso de nanofertilizantes en la agricultura y su impacto en el crecimiento inicial del algodón. Aunque los nanofertilizantes de ZnO demostraron ser una alternativa prometedora, se requiere un mayor análisis sobre su influencia a Largo plazo en la productividad del cultivo, así como su interacción con otros factores agronómicos. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones que permitan optimizar su aplicación y evaluar su potencial en distintos sistemas agrícolas.



## 8. RECOMENDACIONES

Para optimizar el uso de nanofertilizantes en el cultivo de algodón y maximizar su efectividad, es fundamental considerar diferentes estrategias que aborden tanto la dosificación como la evaluación a Largo plazo de sus efectos. Estas recomendaciones buscan mejorar la aplicabilidad del nanofertilizante de ZnO obtenido por síntesis verde, así como generar bases para futuras investigaciones.

Evaluar diferentes concentraciones de ZnO permitirá determinar la dosis óptima que maximice el crecimiento sin afectar la biomasa total de las plántulas, especialmente en el desarrollo de raíces y hojas. ZnO-GRS-200 mg/L mostró una rápida Germinación inicial y un desempeño equilibrado en términos de cantidad total de germinaciones, lo que sugiere que este tratamiento puede ser útil para promover una Germinación rápida.

Es importante realizar estudios a Largo plazo para analizar el impacto del nanofertilizante en la floración, producción de fibra y desarrollo reproductivo del algodón, con el fin de determinar su aplicabilidad en la producción agrícola a gran escala. ZnO-GRS-300 mg/L podría ser útil para aquellos casos en los que se necesite una Germinación rápida, pero se debe estudiar más su efecto a Largo plazo en el crecimiento de las plántulas.

Realizar pruebas en condiciones de campo permitirá evaluar la efectividad de los nanofertilizantes en suelos con diferentes características y bajo distintos regímenes de riego, lo que facilitará su implementación en distintos sistemas agrícolas. El tratamiento control, aunque con una Germinación más tardía, sigue siendo eficaz en términos de número total de germinaciones, lo que lo convierte en una alternativa confiable si se busca optimizar la cantidad total de semillas germinadas.

Es recomendable incluir en futuros estudios el análisis de parámetros fisiológicos adicionales, como la actividad enzimática y la eficiencia en la absorción de nutrientes, para comprender mejor los mecanismos de acción de los nanofertilizantes en las plantas. Además, se

sugiere la inclusión de pruebas en diferentes especies vegetales para ampliar el espectro de aplicación de los nanofertilizantes.

Comparar la efectividad de los nanofertilizantes con otros tipos de biofertilizantes y nanofertilizante permitirá establecer su potencial en la optimización del rendimiento del algodón y su viabilidad en la agricultura sostenible. Comparaciones adicionales en términos de costos, impacto ambiental y beneficios agronómicos ayudarán a definir cuál es la opción más eficiente para su implementación en cultivos comerciales.

Finalmente, realizar un análisis de costos contribuirá a evaluar la viabilidad económica de la producción y aplicación de nanofertilizantes en cultivos comerciales, considerando tanto los beneficios agronómicos como su impacto en la reducción del uso de fertilizantes químicos tradicionales.



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Algodón: qué es, su origen, usos y características.* (s/f). de <https://humanidades.com/algodon/>

Bopape, D. A., Motaung, D. E., & Hintsho-Mbita, N. C. (2022). Green synthesis of ZnO: Effect of plant concentration on the morphology, optical properties and photodegradation of dyes and antibiotics in wastewater. *Optik*, 251(168459), 168459. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.168459>

Cardona, A. (2018, julio 26). Qué es la erosión del suelo: causas y consecuencias. *ecologriaverde.com*. <https://www.ecologriaverde.com/que-es-la-erosion-del-suelo-causas-y-consecuencias-1500.html>

de México, T. de E. S. del O. del E. (s/f). *LOZANO-CAMARGRO, Maria Luisa, \*, LORENZILLA-GRARCÍA, Jatziri, GRALICIA-LUIS, Laura y BARRERA-CALVA, Enrique.* <https://doi.org/10.35429/H.2020.8.69>

de Prensa y Colaboradores, O. (2021, noviembre 4). *Cómo germinar brotes de hortalizas en casa - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). <https://www.ciad.mx/como-germinar-brotes-de-hortalizas-en-casa/>

Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De La Rosa-Reta, C. V., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de Lactuca sativa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(28), 299–308. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>

*Mata-ratón, madrecaao (Gliricidia sepium).* (s/f). Edu.co. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/229>

*Matarratón (Gliricidia sepium).* (s/f). NaturaLista Colombia. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de <https://colombia.inaturalist.org/taxa/163327-GRliricidia-sepium>

*Mi Municipio.* (s/f). GROV.co. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de <https://valledupar-cesar.grov.co/MiMunicipio/Pagrinas/Economia.aspx>

Nanopartículas ¿Qué son? Tipos, usos y propiedades. (2020, marzo 31). *Subir.cc.* <https://subir.cc/nanoparticulas/>

Perez Adassus, M. B., Spetter, C. V., & Lassalle, V. L. (2020). *Caracterización de nanopartículas de óxido de Zinc sintetizadas por vía verde a partir de Aloe Vera.* Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Singh, J., Kumar, S., Alok, A., Upadhyay, S. K., Rawat, M., Tsang, D. C. W., Bolan, N., & Kim, K.-H. (2019). The potential of green synthesized zinc oxide nanoparticles as nutrient source for plant growth. *Journal of Cleaner Production*, 214, 1061–1070. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.018>

*Síntesis verde de nanopartículas de ZnO con actividad antibacteriana para funcionalizar textiles de algodón.* (s/f). Edu.co. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de [https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/sintesis-verde-de-nanoparticulas-con-actividad-antibacteriana-pa/4229](https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/sintesis-verde-de-nanoparticulas-con-actividad-antibacteriana-pa/4229)

Stefani, F. (s/f). *Propiedades ópticas de nanopartículas metálicas. Manipulando luz y calor en la nanoescala.* Uba.ar. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de <https://www.df.uba.ar/es/academica/coloquios3/pasados/2009/6536-propiedades-opticas-de-nanoparticulas-metalicas-manipulando-luz-y-calor-en-la-nanoescala>

Valenzuela-Amaro, H. M., Vázquez Ortega, P. GR., Zazueta-Alvarez, D. E., López-Miranda, J., & Rojas-Contreras, J. A. (2022). Síntesis verde de nanopartículas de magnetita (NPs-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): factores y limitaciones. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 16(30), 1e–18e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69744>

(S/f-a). GROV.co. Recuperado el 9 de mayo de 2025, de <https://www.ica.grov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/resoluciones-derogradas/resol-970-de-2010.aspx>

(S/f-b). Recuperado el 9 de mayo de 2025, de [http://file:///C:/Users/admoc/Downloads/EFFECT\\_OF\\_GRLiricidia\\_sepium\\_LEAFY\\_BIOMASS\\_AND\\_NPK\\_.pdf](http://file:///C:/Users/admoc/Downloads/EFFECT_OF_GRLiricidia_sepium_LEAFY_BIOMASS_AND_NPK_.pdf)

(S/f-c). Recuperado el 9 de mayo de 2025, de <http://file:///C:/Users/admoc/Downloads/Dialnet-SintesisVerdeDeNanoparticulasDeZnOConActividadAnti-8083747.pdf>

(S/f-d). Researchgate.net. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/378297698\\_Modelacion\\_de\\_suelos\\_degradados\\_debido\\_a\\_procesos\\_agroindustriales\\_mediante\\_el\\_uso\\_de\\_imagrenes\\_Sentinel\\_en\\_el\\_municipio\\_de\\_Valledupar-Cesar\\_Colombia\\_Modeling\\_of\\_degraded\\_soils\\_due\\_to\\_agro-industrial\\_p](https://www.researchgate.net/publication/378297698_Modelacion_de_suelos_degradados_debido_a_procesos_agroindustriales_mediante_el_uso_de_imagrenes_Sentinel_en_el_municipio_de_Valledupar-Cesar_Colombia_Modeling_of_degraded_soils_due_to_agro-industrial_p)

(S/f-e). Recuperado el 10 de mayo de 2025, de [http://file:///C:/Users/admoc/Downloads/1074-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2917-2-10-20160126%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/admoc/Downloads/1074-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2917-2-10-20160126%20(1).pdf)

(S/f-d). Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C. V., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de Lactuca sativa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 299-308.

Dimkpa, C. O., McLean, J. E., Martineau, N., Britt, D. W., Haverkamp, R., & Anderson, A. J. (2012). Silver Nanoparticles Disrupt Wheat (*Triticum aestivum* L.) Growth in a Sand Matrix. *Environmental Science & Technology*, 47(2), 1082-1090. <https://doi.org/10.1021/es302973y>

Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C. V., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022a). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de Lactuca sativa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 299-308. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>

Dimkpa, C. O., McLean, J. E., Martineau, N., Britt, D. W., Haverkamp, R., & Anderson, A. J. (2012). Silver Nanoparticles Disrupt Wheat (*Triticum aestivum* L.) Growth in a Sand Matrix. *Environmental Science & Technology*, 47(2), 1082-1090. <https://doi.org/10.1021/es302973y>

Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C. V., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022a). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 299-308. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>

Dimkpa, C. O., McLean, J. E., Martineau, N., Britt, D. W., Haverkamp, R., & Anderson, A. J. (2012). Silver Nanoparticles Disrupt Wheat (*Triticum aestivum* L.) Growth in a Sand Matrix. *Environmental Science & Technology*, 47(2), 1082-1090. <https://doi.org/10.1021/es302973y>

GRalindo-GRuzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C. V., Zermeño-GRonzález, H., & GRalindo-GRuzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 299-308. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>

Estrada-Arellano, K. L., Vázquez-Vázquez, C., Betancourt-GRalindo, R., Muy-Rangrel, M. D., Valenzuela-Núñez, L. M., García-Hernández, J. L., & Gallegros-Robles, M. Á. (2023). Fertilización foliar con nanopartículas de ZnO y su efecto en la producción, calidad biofísica y nutraceútica en frutos de nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Terra Latinoamericana*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1585>

Fortis-Hernández, M., Pivaral-Chávez, A. GR., Galindo-Guzmán, A. P., Preciado-Rangel, P., Ruiz-Ortega, F. J., & Trejo-Valencia, R. (2024). Nanopartículas de óxido de zinc para incrementar rendimiento, compuestos bioactivos y actividad enzimática en lechuga. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1). <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3939>

Apak R, Özyürek M, Güçlü K, Çapanoğlu E (2016) Antioxidant activity/capacity measurement. 2. Hydrogen atom transfer (HAT)-based, mixed-mode (electron transfer (ET)/HAT), and lipid peroxidation assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64: 1028-1045. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04743>.

Blackwell RD, Murray AJS, Lea PJ (1990) Enzymes of photorespiratory carbon pathway. In: Lea PJ (eds) *Methods in plant biochemistry*. Academic Press. USA. pp. 129-144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-461013-2.50015-0>.

Estrada-Arellano, K. L., Vázquez-Vázquez, C., Betancourt-Galindo, R., Muy-Rangel, M. D., Valenzuela-Núñez, L. M., García-Hernández, J. L., & Gallegos-Robles, M. Á. (2023b). Fertilización foliar con nanopartículas de ZnO y su efecto en la producción, calidad biofísica y nutraceútica en frutos de nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Terra Latinoamericana*, 41. [https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1585\\*](https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1585*)

VP, V. P. D., & A, A. C. (2016). Artículos científicos, tipos de investigación y productividad científica en las Ciencias de la Salud. *Revista Ciencias de la Salud*, 14(1), 115-121. <https://doi.org/10.12804/revsalud14.01.2016.10>

VP, V. P. D., & A, A. C. (2016b). Artículos científicos, tipos de investigación y productividad científica en las Ciencias de la Salud. *Revista Ciencias de la Salud*, 14(1), 115-121. <https://doi.org/10.12804/revsalud14.01.2016.10>

Jamdagni, P., Khatri, P., & Rana, J. (2016). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity. *Journal Of King Saud University - Science*, 30(2), 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.10.002>

Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270>

Zhao, L., Sun, Y., Hernandez-Viezcas, J. A., Hong, J., Majumdar, S., Niu, G., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J. R., & GRardea-Torresdey, J. L. (2015). Monitoring the Environmental Effects of CeO<sub>2</sub> and ZnO Nanoparticles Through the Life Cycle of Corn (*Zea mays*) Plants and in Situ  $\mu$ -XRF Mapping of Nutrients in Kernels. *Environmental Science & Technology*, 49(5), 2921-2928. <https://doi.org/10.1021/es5060226>

Wang, P., Lombi, E., Zhao, F., & Kopittke, P. M. (2016). Nanotechnology: A New Opportunity in Plant Sciences. *Trends In Plant Science*, 21(8), 699-712. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.04.005>

Siddiqi, K. S., & Husen, A. (2017). Plant Response to Engineered Metal Oxide Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1861-y>

Raptis, T., Vokas, GR., Langrouanis, P., & Kaminaris, S. (2015). Total Power Quality Index for Electrical Networks Using Neural Networks. *Energy Procedia*, 74, 1499-1507. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.706>

Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M. GR. H., Saradhi, P. P., Khanna, P. K., & Arora, S. (2012). Silver Nanoparticle-Mediated Enhancement in Growth and Antioxidant Status of Brassica juncea. *Applied Biochemistry And Biotechnology*, 167(8), 2225-2233. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9759-8>

Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M., Zia-Ur-Rehman, M., Farid, M., & Abbas, F. (2016). Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal Of Hazardous Materials*, 322, 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.061>

Raliya, R., & Tarafdar, J. C. (2013). ZnO Nanoparticle Biosynthesis and Its Effect on Phosphorous-Mobilizing Enzyme Secretion and Gum Contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research*, 2(1), 48-57. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0049-z>

Sonia, P., Jain, J. K., Singrhal, P., & Saxena, K. K. (2021). Performance evaluation of hybrid polymer nanocomposite. *Materials Today Proceedings*, 44, 1659-1663. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.826>

Sonia, P., Jain, J. K., Singhal, P., & Saxena, K. K. (2021b). Performance evaluation of hybrid polymer nanocomposite. *Materials Today Proceedings*, 44, 1659-1663. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.826>

Abomuti, M. A., Danish, E. Y., Firoz, A., Hasan, N., & Malik, M. A. (2021). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Salvia officinalis* Leaf Extract and Their Photocatalytic and Antifungal Activities. *Biology*, *10*(11), 1075. <https://doi.org/10.3390/biology10111075>

Hernández, H. P., López-Valdez, F., Juárez-Maldonado, A., Méndez-López, A., Sarabia-Castillo, C. R., García-Mayagoitia, S., Torres-Gómez, A. P., Valle-García, J. D., & Pérez-Moreno, A. Y. (2023). Implicaciones de los nanomateriales utilizados en la agricultura: una revisión de literatura de los beneficios y riesgos para la sustentabilidad. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria En Nanociencia y Nanotecnología*, *17*(32), 1e-50e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69720>

Fortis-Hernández, M., Pivaral-Chávez, A. GR., Galindo-Guzmán, A. P., Preciado-Rangel, P., Ruiz-Ortega, F. J., & Trejo-Valencia, R. (2024). Nanopartículas de óxido de zinc para incrementar rendimiento, compuestos bioactivos y actividad enzimática en lechuga. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *11*(1). <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3939>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Muestra la distribución del sustrato FORZA en cada cavidad de las bandejas de germinación, asegurando una preparación uniforme para la siembra de las semillas de algodón.

