

# Impact of green FeO, ZnO, and Ag nanoparticles on the germination rate in *Capsicum annuum* seeds

Henriquez-Alegría. Ana. Ing. <sup>1</sup> and Asmat-Campos, David. Dr. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Trujillo, Perú,

<sup>2</sup> Dirección de Investigación, Innovación y Responsabilidad Social, Universidad Privada del Norte, Campus Trujillo, Perú,

\* [david.asmat@upn.edu.pe](mailto:david.asmat@upn.edu.pe), [anace.ha20@gmail.com](mailto:anace.ha20@gmail.com)

*Abstract - Currently, the challenge of developing innovative and environmentally friendly strategies has led prominent research centers and scientists to design alternatives that not only drive economic growth but also continuously improve productivity in agriculture, a crucial source of global revenue. For this reason, this research focuses on testing an experimental design of environmentally synthesized FeO, ZnO, and Ag nanoparticles applied to the germination process of Capsicum Annuum seeds, evaluating their impact over several days. To comprehend this study, two germination assays were conducted, using around 10 Petri dishes in each, each containing 10 seeds of the mentioned species. These assays were assessed over a period of 9 days. Regarding the concentrations of nanofertilizers, three concentrations (C1, C2, and C3) were selected for each synthesized element based on relevant background. The results showed that, in the first assay, higher germination was observed in the concentrations of FeO and ZnO, but this trend decreased in the concentrations of Ag, where values were initially low and then null, indicating a negative bioaccumulation of substrates in the seeds. Despite not achieving a significant difference in germination percentage compared to the control group, these results will serve as a knowledge source for future applications, whether in plate seeding for germination or in in vitro applications of Capsicum species emergence.*

Keywords: *Nanofertilizers, nanonutrients, nanotoxicity, nanotechnologies, green synthesis.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

# Impacto de las nanopartículas verdes de FeO, ZnO y Ag en la tasa de germinación en semillas de *Capsicum annuum*

Henríquez-Alegría, A. Ing. <sup>1</sup> and Asmat-Campos, D. Dr. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Trujillo, Perú,

<sup>2</sup> Dirección de Investigación, Innovación y Responsabilidad Social, Universidad Privada del Norte, Campus Trujillo, Perú,

\* [david.asmat@upn.edu.pe](mailto:david.asmat@upn.edu.pe), [anace.ha20@gmail.com](mailto:anace.ha20@gmail.com)

**Resumen**– En la actualidad, el reto de desarrollar estrategias innovadoras y respetuosas con el medio ambiente ha llevado a importantes centros de investigación y científicos a diseñar alternativas que no solo impulsen el crecimiento económico, sino que también mejoren de manera continua los procesos productivos en el ámbito de la agricultura, una fuente clave de ganancias a nivel global. Por esta razón, esta investigación se centra en poner a prueba un diseño experimental de nanopartículas de FeO, ZnO y Ag, sintetizadas de manera ecológica, aplicadas al proceso germinativo de semillas de *Capsicum Annuum*, evaluando su impacto a lo largo de varios días. Para comprender este estudio, se llevaron a cabo dos ensayos germinativos, utilizando alrededor de 10 placas de Petri en cada uno, cada una con 10 semillas de la mencionada especie. Estos ensayos se evaluaron durante un periodo de 9 días. En cuanto a las concentraciones de los nanofertilizantes, se seleccionaron tres concentraciones (C1, C2 y C3) para cada elemento sintetizado, basándose en antecedentes relevantes. Los resultados mostraron que, en el primer ensayo, se observó una mayor germinación en las concentraciones de FeO y ZnO, pero esta tendencia disminuyó en las concentraciones de Ag, donde los valores fueron inicialmente bajos y luego nulos, indicando una bioacumulación negativa de sustratos en las semillas. A pesar de no haberse obtenido una diferencia significativa en el porcentaje de germinación en comparación con el grupo de control, estos resultados servirán como fuente de conocimiento para futuras aplicaciones, ya sea en la siembra en placa para la germinación o en aplicaciones in vitro de la emergencia de especies *Capsicum*.

**Palabras clave:** Nanofertilizantes, nanonutrientes, nanotoxicidad, nanotecnologías, síntesis verde.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el planeta entero se encuentra enfrentando diversas situaciones desfavorables; principalmente por el satisfacer las demandas de una población enormemente creciente [1] comprometiendo, no solo a la biodiversidad y la degradación de los ecosistemas; sino también a la seguridad alimentaria, y con ello, la salud pública [2]. Si bien es cierto estos problemas no solo han originado pérdidas ambientales [3]; sino también, han impulsado que grandes entidades científicas y de investigación se orienten por buscar alternativas rentables [4] que mitiguen, ayuden y aporten, no solo en temas de mejora ambiental; sino también, en el crecimiento económico y el bienestar poblacional. [5] Todas estas alternativas van impulsadas a la solicitud de prácticas

agrícolas novedosas para asegurar la sostenibilidad del recurso, y una producción adecuada de alimentos [2] [6].

A la fecha, los fertilizantes químicos y los pesticidas son aplicados en cultivos principalmente para el aumento en la productividad agraria [7]; sin embargo, la aplicación excesiva de agroquímicos no solo perjudica en la fertilidad del suelo y aumenta la resistencia a plagas y patógenos [8]; sino también, representan una amenaza tóxica y letal a la salud; sobre todo al ser ingeridos directamente en cada uno de los alimentos [3]. Este problema se ve reflejado en algunos estudios de inseguridad alimentaria que demuestran que la desnutrición aguda aumenta en los niños menores de 5 años, y a su vez repercutan en algunos logros en materia de desarrollo [9].

Por otro lado, las plantas sufren de estrés abiótico producidos principalmente por la contaminación de metales nocivos en la agricultura, tales como; Pb, Cr, Cd, Si y Mn [10] presentes en fertilizantes químicos, pesticidas, plaguicidas, fungicidas y otros químicos [5], afectando terriblemente el crecimiento y desarrollo de los cultivos [11]. Por dicha razón, durante la última década se han producido avances significativos en el desarrollo de la nanotecnología para la agricultura [4]; incorporando la química verde en procesos fisicoquímicos [12] que han dado como resultado alternativas nuevas para la nutrición del suelo y la planta [7]; tales como nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoplaguicidas, entre otros [2] [5] [6]. Siendo estos ecoamigables para el medio ambiente, y promoviendo la mejora continua.

Para la agricultura, los porcentajes y concentraciones de nutrientes son parte fundamental del crecimiento y desarrollo de la plana [12]; tanto en la fase de germinación [9], como en la emergencia del plantín. [11] Dentro de los porcentajes, la tierra cultivable necesita un 30% de nutrientes fosforados [13], y de otros; tales como, nitrógeno (30%) y potasio (40%) [14]. Por otra parte, las concentraciones óptimas de nutrientes en planta, mediante síntesis de nanopartículas para su aplicación como nanofertilizantes [15], investigaciones han demostrado que mediante la síntesis verde [7], la concentración de aplicación es menos, a comparación de la química [3], y que esta aporta mayor nutrición y menor daño toxicológico en la planta [1], dentro de las cuales se ha confirmado que mediante la síntesis verde de NP FeO, empleando concentraciones de 20

y 40 mg/L, en semillas de arroz cebadas, se obtienen resultados eficientes en cuanto la germinación y el vigor de las plántulas [16]; demostrando un 50% de estimulación en la longitud de raíz y el peso seco [17]. Así también, mediante la aplicación de NP FeO químicas, para la germinación de semillas de trigo, las concentraciones óptimas según estudios varían entre 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 ppm de nanomateriales [18]; sin embargo, cuando estas se encuentran en condiciones hidropónicas, la concentración que impulsa el alargamiento de la raíz se encuentra alrededor de 20 mg/L [19]. Por otro lado, investigaciones avalan de que, al considerar concentraciones entre 50 y 100 mg/L [20], se obtendrá reducción en la longitud de la raíz; atrofiando el desarrollo de la plántula.

En cuanto la aplicación de NP ZnO, las concentraciones óptimas, mediante síntesis verde, parten desde 10, 100 y 500 mg/L [21], demostrando que las dos de mayor concentración, son más eficaces en cuanto el % e índice de emergencia [17]. Dicho aporte es verificado por un estudio donde, mediante el tratamiento empleando NP ZnO químicas, en concentraciones de 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L y 500 mg/L, se logró duplicar el vigor en las semillas de *Capsicum chinense* [22]; así como también, aumentar la germinación y un mejor desarrollo de las longitudes de la plúmula y la radícula [23]. Finalmente, para la aplicación de NP Ag de síntesis verde, se puede lograr obtener un 93,33% de germinación de semillas, a concentraciones máximas de 50 mg/L [24], sin generar daños a nivel estructural en la vegetación [4]; sin embargo, otras investigaciones mencionan que empleando cantidades menores; tales como, 2,5, 5, 10 y 25 mg/L, aceleran también la germinación en semillas y aportan en la actividad enzimática para el crecimiento de especies vegetales [25].

Con todo lo anteriormente mencionado y considerándose un tema de recientes investigaciones y de importancia global para su aplicación, se pretende responder mediante una investigación aplicada en dos ensayos de prueba a la interrogante de: ¿Cuál es el impacto de las nanopartículas verdes de FeO, ZnO y Ag en la tasa de germinación en semillas de *Capsicum Annuum*? En tal sentido, este tema de investigación brindará a la agricultura una solución agrotecnológica, sostenible y sustentable en el mundo, ayudando a producir alimentos de alta calidad y de forma respetuosa con el medio ambiente y en beneficio de la salud, velando siempre por la seguridad alimentaria de las generaciones futuras, incorporando la química verde en la mejora continua del crecimiento agrónomo y ambiental.

## II. METODOLOGÍA

### SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS

#### Tratamiento de cascara:

Se empleó cáscara del descarte de *Vaccinium sp*, la cual fue previamente lavada con agua destilada, para posteriormente ser colocada en una estufa de parafina a una temperatura de 35°C por 21 horas. Una vez obtenida la cáscara seca, fueron almacenadas en placas petri, cubiertas con parafilm.

#### Extracto verde:

La obtención del extracto en medio alcohólico estuvo en función al tipo de nanopartícula del cual se sintetizó. Es así como, para el caso de la NP FeO se consideró un extracto al 7.98% w/v, para las NP ZnO el extracto fue al 3% w/v, y para las de NP Ag al 0.003% w/v.

Para llevar a cabo el diseño experimental, se consideró realizar una extracción asistida de compuestos fenólicos de la materia prima mediante la tecnología de ultrasonido [26], alta presión hidrostática y campos eléctricos pulsados; por lo que en esta investigación se aplicó los siguientes tiempos optimizados de extracción ultrasónica:

- ✓ FeO NP → 10 minutos / T° ambiente
- ✓ ZnO NP → 15 minutos / T° ambiente
- ✓ Ag NP → 20 minutos / T° ambiente

#### Síntesis NP FeO:

Para la síntesis se empleó como precursor el Sulfato Ferroso Heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) a una concentración de 0.06 M. al cual se le añadió 3.5 mL de extracto alcohólico previamente preparado, manteniéndose bajo condiciones de agitación magnética. Para ajustar el pH, se utilizó NaOH, agregándolo en pequeñas cantidades hasta alcanzar un pH alcalino. Finalmente, la mezcla se agitó durante 15 minutos para completar la reacción y asegurar su estabilidad.

#### Síntesis NP ZnO:

Se utilizó como precursor el compuesto Acetato de Zinc dihidratado ( $\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$ ); a una concentración de 3.8% w/v. Seguidamente la mezcla se llevó a 70 °C. Una vez alcanzada la temperatura, se incrementó la velocidad de agitación, para empezar el proceso de reducción añadiendo 11 mL de extracto durante 90 minutos. Finalmente, la muestra fue depositada en un crisol, para ser llevada a calcinación durante 120 minutos.

#### Síntesis NP Ag:

Se partió del precursor nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), a una concentración de 1 mM. Lo obtenido, fue llevado a 60°C, seguidamente se añadió gota a gota 2.5 mL del extracto de arándano, dejándolo en agitación por 10 minutos. Finalmente, la solución se llevó a pH alcalino añadiéndole hidróxido de sodio (NaOH).

## PREPARACIÓN DE NANOFERTILIZANTES

Para la preparación de soluciones de nanofertilizantes de FeO, ZnO y Ag, partiendo de antecedentes, se consideraron tres concentraciones para cada una de ellas (C1, C2 y C3), respectivamente, las cuales fueron aplicadas en dos fases en diferentes concentraciones. Dichas soluciones fueron codificadas, considerando cantidades en masa (g), Vol H<sub>2</sub>O (mL) y procedimiento a llevar a cabo. Todo ello se detalla en los cuadros a continuación:

### Fase 01:

Tabla 1. Cuadro de soluciones nanofertilizante de FeO.

Tipo NP	Código	[C] % m/v	Masa (g)	Vol H <sub>2</sub> O	Obs
FeO	FeO-C1	0.0002	0.0002	100	Agitación magnética (homogenización x 10 min), luego ultrasonido (T° Amb) x 10 min. (previo a tratamiento)
	FeO-C2	0.001	0.001	100	
	FeO-C3	0.002	0.002	100	

Nota de tabla: Se muestran las concentraciones C1, C2 y C3 de FeO NP, por C%, Masa y Vol de H<sub>2</sub>O.

Tabla 2. Cuadro de soluciones nanofertilizante de ZnO.

Tipo NP	Código	[C] % m/v	Masa (g)	Vol H <sub>2</sub> O	Obs
ZnO	ZnO-C1	0.01	0.01	100	Agitación magnética (homogenización x 10 min), luego ultrasonido (T° Amb) x 10 min. (previo a tratamiento)
	ZnO-C2	0.025	0.025	100	
	ZnO-C3	0.05	0.05	100	

Nota de tabla: Se muestran las concentraciones C1, C2 y C3 de ZnO NP, por C%, Masa y Vol de H<sub>2</sub>O.

Tabla 3. Cuadro de soluciones nanofertilizante de Ag.

Tipo NP	Código	[C] % m/v	Vol (mL)	Vol H <sub>2</sub> O	Obs
Ag (coloide)	Ag-C1	9,057	9.057	100 mL	Agitación mecánica
	Ag-C2	14.4	14.49	100 mL	
	Ag-C3	90.5	90.57	100 mL	

Nota de tabla: Se muestran las concentraciones C1, C2 y C3 de Ag NP, por C%, Masa y Vol de H<sub>2</sub>O.

### Fase 02:

Tabla 4. Cuadro de soluciones nanofertilizante de FeO.

Tipo NP	Código	[C] % m/v	Masa (g)	Vol H <sub>2</sub> O	Obs
FeO	FeO-C1	2	0.8	40 mL	Agitación magnética (homogenización x 10 min), luego ultrasonido (T° Amb) x 10 min. (previo a tratamiento)
	FeO-C2	6	2.4	40 mL	
	FeO-C3	12	4.8	40 mL	

Nota de tabla: Se muestran las concentraciones C1, C2 y C3 de FeO NP, por C%, Masa y Vol de H<sub>2</sub>O.

Tabla 5. Cuadro de soluciones nanofertilizante de ZnO.

Tipo NP	Código	[C] % m/v	Masa (g)	Vol H <sub>2</sub> O	Obs
ZnO	ZnO-C1	3	0.8	20 mL	Agitación magnética (homogenización x 10 min), luego ultrasonido
	ZnO-C2	4	2.4	20 mL	

ZnO-C3	9	4.8	20 mL	(T° Amb) x 10 min. (previo a tratamiento)
--------	---	-----	-------	---

Nota de tabla: Se muestran las concentraciones C1, C2 y C3 de ZnO NP, por C%, Masa y Vol de H<sub>2</sub>O.

Tabla 6. Cuadro de soluciones nanofertilizante de Ag.

Tipo NP	Código	[C] % m/v	Vol. (mL)	Vol H <sub>2</sub> O	Obs
Ag (coloide)	Ag-C1	7	0.007	100 mL	Agitación mecánica
	Ag-C2	4	0.04	100 mL	
	Ag-C3	1	0.1	100 mL	

Nota de tabla: Se muestran las concentraciones C1, C2 y C3 de Ag NP, por C%, Masa y Vol de H<sub>2</sub>O.

## GERMINACIÓN EN PLACA PETRI

Se sembraron semillas de *Capsicum annum* en 10 placas petri etiquetadas con la codificación de las soluciones y un control. Se utilizó una pinza por concentración para evitar contaminación cruzada, así como 20 filtros de papel (2 por placa). Se colocaron 10 semillas por placa y se añadieron 68 gotas de solución a cada una. Todo el material fue forrado con papel craft y esterilizado en autoclave a 121°C durante 30 minutos.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las NP de FeO, ZnO y Ag, fueron aplicados como nanofertilizantes, específicamente vinculadas a la evaluación del proceso germinativo, esto como nanonutrientes. Para tal caso, se han considerado un total de nueve concentraciones. La Figura 1 muestra los espectros de absorbancia de las concentraciones de NP FeO, consideradas en ambas fases de la germinación en placa; de las cuales se observan valores de FeO-C1=0.117 u.a, FeO-C2=0.125 u.a, y FeO-C3=0.184 u.a. En todos los casos se puede evidenciar la presencia del pico de excitón en 220 nm.

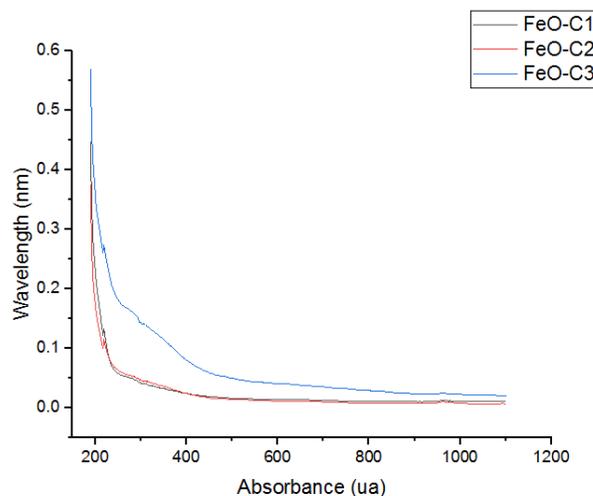


Figura 1. Análisis por espectrofotometría UV vis de las FeO NP, a las tres concentraciones

De la misma manera, la Figura 2 muestra los espectros de absorbancia de las concentraciones de NP ZnO; de las cuales se observan valores de ZnO-C1=0.308 u.a, ZnO-C2=0.712 u.a, y ZnO-C3=0.807 u.a. En todos los casos se puede evidenciar la presencia del pico de excitón en 378 nm.

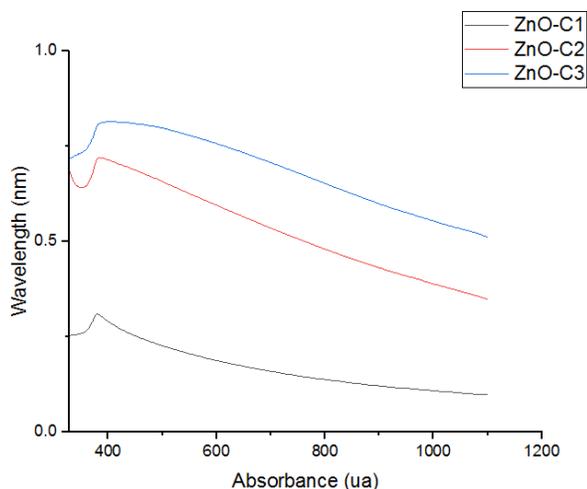


Figura 2. Análisis por espectrofotometría UV vis de las ZnO NP, a las tres concentraciones

Así también, la Figura 3 muestra los espectros de absorbancia de las concentraciones de Ag; donde se puede observar valores de Ag-C1=0.673 u.a, Ag-C2=0.952 u.a, y Ag-C3=3.958 u.a. En todos los casos se puede evidenciar la presencia del pico de plasmón en 410 nm.

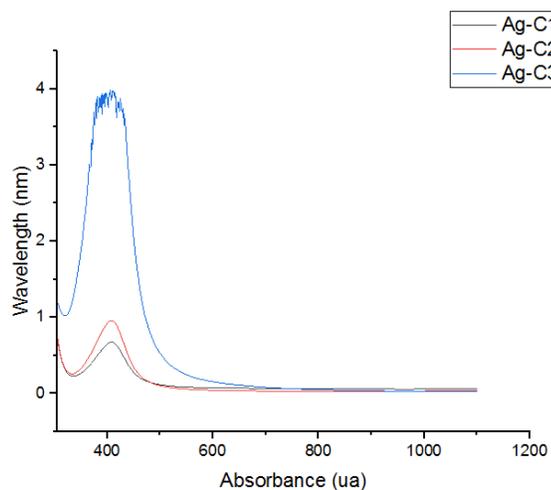


Figura 3. Análisis por espectrofotometría UV vis de las Ag NP, a las tres concentraciones

Dentro de los avances de innovación nanotecnológica en la agroindustria, se han obtenido investigaciones con metodologías inclinadas a la aplicación de nanopartículas, elaboradas mediante síntesis verdes [18] y/o químicas [21], como macro y micronutrientes tanto del suelo, como de la planta [8]. Estos estudios han sido aplicados en una serie de

especies vegetales; tales como en cultivos de arroz [27], trigo [28], tomates [29], quínoa [30], pistacho [31], entre otros; donde se han logrado obtener resultados positivos, como negativos. Tales datos vienen siendo fuente de constantes mejoras para la ciencia en la agricultura [5].

### Porcentaje de germinación

Se evaluó el porcentaje de germinación considerando las concentraciones de nanopartículas de FeO, ZnO y Ag en dos fases de ensayo, cada una con 10 semillas por placa y tres concentraciones diferentes para cada nanofertilizante (C1, C2 y C3), además de la muestra control. Ambos ensayos se realizaron durante 9 días, considerando su finalización cuando no se observó más desarrollo radicular.

En la primera fase, la diferencia entre la muestra control y las tratadas con nanofertilizantes no fue significativa. La Figura 4 muestra que el control y ZnO-C2 (0.025 [C]%) tuvieron un 70% de semillas germinadas. Las concentraciones que se acercaron al mayor porcentaje de germinación fueron FeO-C3 (0.002 [C]%), ZnO-C1 (0.1 [C]%) y ZnO-C3 (0.5 [C]%), todas con un 60% total de germinación. Sin embargo, las tres concentraciones de nanofertilizantes de Ag no superaron el 50% de germinación, con Ag-C1 (30%) y Ag-C2 (10%) siendo inferiores al porcentaje más alto, que fue Ag-C3, que no logró germinación alguna.

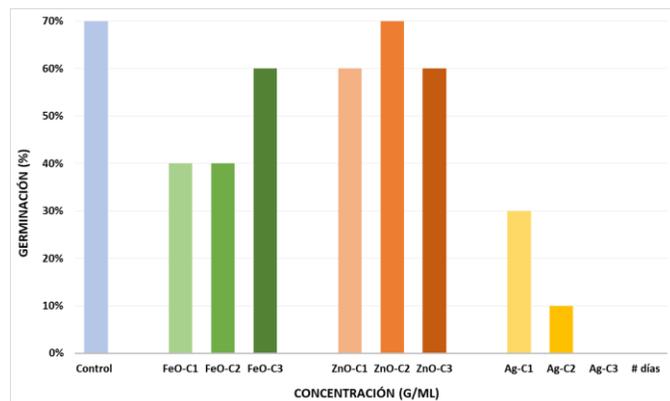


Figura 4. Porcentaje de germinación de semillas *Capsicum annuum* respecto a las concentraciones – Ensayo 1

En el segundo ensayo, se observa en la Figura 5 muestra una diferencia en la germinación de la placa Ag-C3 (1 [C]%), con un notable 80% de germinación. Esto contrasta con la muestra control y el primer ensayo, donde se empleó una mayor concentración de NP Ag. Las concentraciones Ag-C1 y Ag-C2 lograron un 60% y 50% de germinación, respectivamente. En cuanto a las muestras de ZnO, tanto C1 como C3 mostraron un 60% de germinación, superando el porcentaje de la muestra control. Sin embargo, las muestras ZnO-C2 y todas las de FeO estuvieron por debajo del porcentaje total de germinación, siendo las de FeO-C2 y FeO-C3 las que no presentaron ninguna semilla germinada.

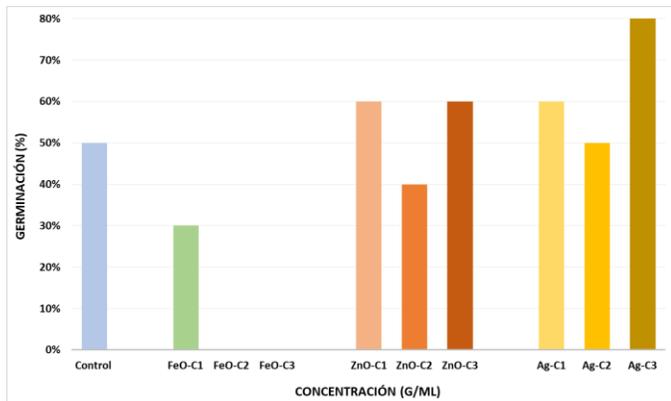


Figura 5. Porcentaje de germinación de semillas *Capsicum annuum* respecto a las concentraciones – Ensayo 2

Respecto a la comparación de porcentaje germinativo entre el ensayo 1 y 2, en el primero se logra observar mayor germinación en las concentraciones de FeO y ZnO; sin embargo, este dato declina en el proceso de germinación de las concentraciones de Ag, donde los valores partieron de bajos a nulos, demostrando una bioacumulación negativa de sustratos en la semilla de *Capsicum Annuum*, este dato es avalado por investigaciones pasadas; las cuales comprobaron que las concentraciones óptimas para el buen desarrollo vegetativo de la planta, se estiman en valores de 50 mg/L [32], 900 mg/L [33], en síntesis verdes, y 5 mg/L [34], 8 mg/L [35], 1000 – 1250 mg/L [36], en síntesis químicas. Dichos antecedentes se pueden comprobar en el Segundo ensayo; donde al reducir las concentraciones de Ag NP, en las soluciones, se pudo obtener un mayor porcentaje germinativo, al igual que la muestra control y las de ZnO. Si bien es cierto, la mayoría de las concentraciones obtuvieron un gran desarrollo en el proceso, se puede determinar que en el caso de las que fueron aplicadas con FeO, no tuvieron buenos resultados a comparación del primer ensayo, demostrando que, a mayor concentración de nanopartículas de FeO, menor será la capacidad de germinación en la Semilla [16]; ya sea por síntesis verde [17], como en síntesis química [18].

La variable de germinación con relación al tiempo representa uno de los parámetros más críticos, ya que está directamente vinculada a la tasa de semillas germinadas, evaluadas en intervalos de días específicos. En este contexto, la Figura 6 muestra que, en el primer ensayo, el comportamiento de cada muestra varía en función de los días transcurridos en el proceso germinativo. Se observa que, excepto en el caso de Ag-C3, hubo una germinación menos acelerada en todas las aplicaciones. Sin embargo, la muestra Ag-C2 mostró una pequeña tasa de germinación, pero esta se manifestó a partir del séptimo día, a diferencia de las otras muestras que presentaron procesos energéticos desde el primer y segundo día.

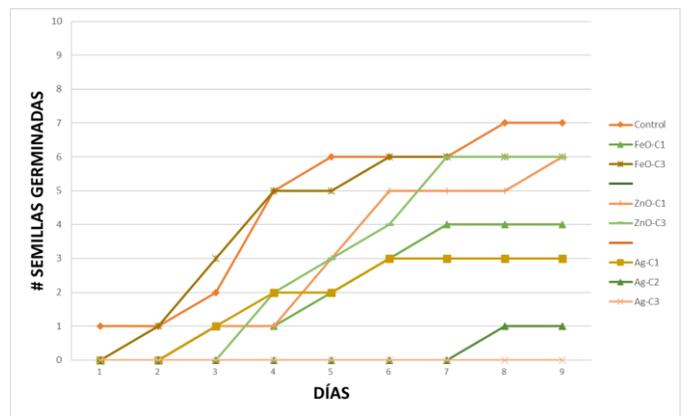


Figura 6. Número de semillas de *Capsicum annuum* germinadas respecto al número de días - Ensayo 1

De la misma forma, en la Figura 7, se logra percibir que en el ensayo dos; a diferencia del uno, el comportamiento germinativo no se observa parejo desde el día 1, logrando percibir una mayor aceleración en el proceso de casi todas las concentraciones; a excepción de la FeO-C2 y FeO-C3, donde no se obtuvo germinación.

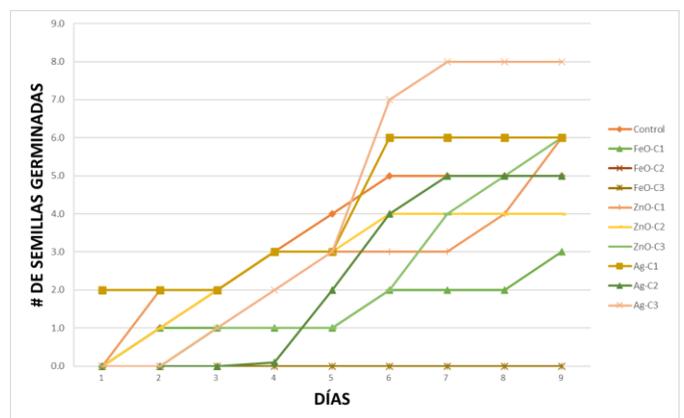


Figura 7. Número de semillas de *Capsicum annuum* germinadas respecto al número de días - Ensayo 2

Para las muestras en evaluación en ambos ensayos, a los 9 días de germinación, se evidenció diferencia significativa en la germinación acelerada y pareja que se obtuvo con las muestras de Zn-O y Ag, del segundo ensayo; todo ello referentes a la muestra control. Por lo que se corrobora que el mecanismo de interacción nanofertilizante – semilla, es producido por interacción química y biológicas [22], lo que implica, no solo los procesos metabólicos, de respiración, síntesis de proteínas elongación del embrión y ruptura de la testa [25]; sino también la construcción de especies de oxígeno, acción del transporte de membrana, la peroxidación de lípidos y el trastorno de las células iónicas [24], lo que genera cambios respecto al control.

Se evaluó también el desarrollo radicular, la Figura 8 muestra la influencia en el crecimiento de las semillas en ambos ensayos; tanto como para la muestra control, y las muestras con tratamiento al pasar los 9 días desde su

colocación en placas. Después de dicho tiempo, se puede evidenciar un notorio desarrollo radicular para la muestra ZnO-C1 con 1.08 mm, seguido de ZnO-C2 con 1.05 mm; asimismo, la concentración FeO-C2 con dos semillas germinadas de 1.04 mm. Finalmente, la muestra control y ZnO-C3, con 1.02 mm y 10.01 mm, respectivamente.

De igual forma, en el Segundo ensayo, las concentraciones con mayor desarrollo radicular, fue la muestra ZnO-C2 con 1.12 mm; seguido de la muestra control con 1.06 mm y 1.02 mm. Finalmente, se encuentra la muestra Ag-C1, con 1.00 mm.

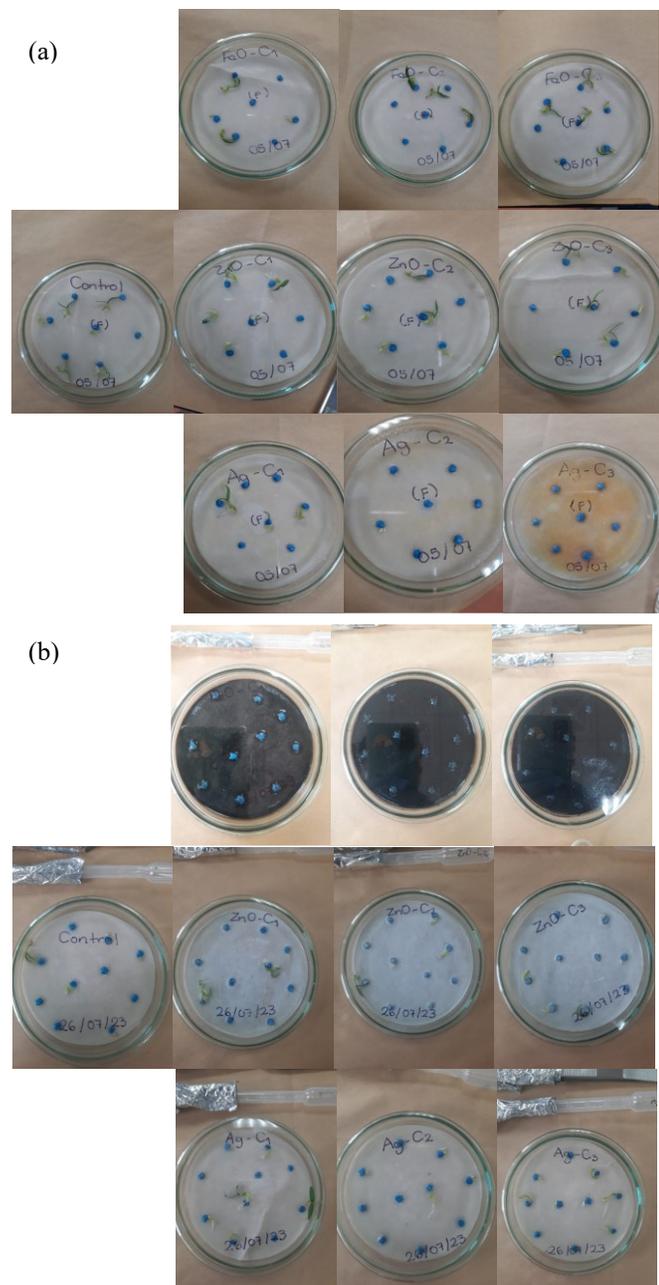


Figura 8. Germinación de semillas *Capsicum annuum* con tratamiento control y FeO, ZnO y Ag NP

Finalmente se logra distinguir el crecimiento radicular y la germinación que se presenta en ambos ensayos, determinando que la bioacumulación de FeO que se puede observar en el ensayo dos, perjudicó a gran escala el desarrollo evolutivo de la semilla [37], atrofiando los nanoporos de la raíz, e impidiendo que los nanonutrientes, ingresen a la estructura biológica de la semilla [38]; sin embargo, en la mayoría de muestras de Ag y ZnO, se logra observar que hubo una mayor difusión para la penetración de agua y oxígeno, aumentando la accesibilidad de nutrientes mejorando la germinación [4].

Las investigaciones sobre el uso de nanopartículas como nanofertilizantes han generado resultados significativos que respaldan su eficacia en la promoción del crecimiento de las plantas y la mejora de la productividad agrícola. Por ejemplo, demostraron que las plantas expuestas a la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) y plata (Ag) experimentaron un significativo aumento en el crecimiento y la producción de biomasa en comparación con las plantas del tratamiento control, lo que resalta el potencial de estas nanopartículas como estimulantes del crecimiento vegetal [39]. Además, destacaron el impacto positivo de las NPs ZnO en el crecimiento y la biomasa del tomate, lo que respalda su aplicación como nanofertilizantes en la agricultura [40].

La relevancia de las nanopartículas en la agricultura se ha enfatizado en varias investigaciones, como la de Almeida et al., 2021, que resaltó el uso de nanopartículas en la producción de nanofertilizantes y nanocidas para mejorar la productividad y la calidad de los productos agrícolas [41]. Asimismo, abordaron el debate sobre la adopción de la nanotecnología en el cultivo de quinua, lo que subraya la importancia de la experimentación participativa en campo para comprender mejor el impacto de estas tecnologías en la agricultura [42].

Además, la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc y cloruro de sodio en el chile pimiento, evaluada por Magdaleno-García, 2024, proporcionó información relevante sobre los diferentes tratamientos y su efecto en los cultivos, lo que contribuye al conocimiento sobre el uso práctico de nanofertilizantes en la agricultura [43].

#### IV. CONCLUSIONES

La síntesis verde de nanopartículas de FeO, ZnO y Ag a partir de la cáscara de arándano, para la germinación de *Capsicum Annuum* resultó ser viable en su gran mayoría, dependiendo de las concentraciones que se empleen; si bien es cierto, no se obtuvo una gran diferenciación porcentual de germinación frente al control; sin embargo, dichos datos sirven como referenciación en cuánto al periodo en tiempo de germinación, y las concentraciones óptimas para su desarrollo; en dicho sentido, este estudio servirá como fuente de conocimiento, para futuras aplicaciones, ya sea a nivel de siembra en placa para la germinación, como en aplicaciones in-vitro de la emergencia de especies *Capsicum*.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación, Innovación y Responsabilidad Social, de la Universidad Privada del Norte, por el apoyo para el financiamiento del proyecto N° UPN 20231001.

## REFERENCIAS

- [1] Pramanik, B., Sar, P., Bharti, R., Gupta, R. K., Purkayastha, S., Sinha, S., Chattaraj, S., & Mitra, D. (2023). Multifactorial role of nanoparticles in alleviating environmental stresses for sustainable crop production and protection. *Plant Physiology and Biochemistry*, 201, 107831. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2023.107831>
- [2] Mitra, D., Adhikari, P., Djebaili, R., Thathola, P., Joshi, K., Pellegrini, M., Adeyemi, N. O., Khoshru, B., Kaur, K., Priyadarshini, A., Senapati, A., Del Gallo, M., Das Mohapatra, P. K., Nayak, A. K., Shanmugam, V., & Panneerselvam, P. (2023). Biosynthesis and characterization of nanoparticles, its advantages, various aspects and risk assessment to maintain the sustainable agriculture: Emerging technology in modern era science. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 103–120. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2023.01.017>
- [3] Munir, N., Gulzar, W., Abideen, Z., Hancock, J. T., El-Keblawy, A., & Radicetti, E. (2023). Nanotechnology improves disease resistance in plants for food security: Applications and challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 51, 102781. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2023.102781>
- [4] Dziergowska, K., & Michalak, I. (2022). The role of nanoparticles in sustainable agriculture. *Smart Agrochemicals for Sustainable Agriculture*, 225–278. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817036-6.00007-8>
- [5] Rani Sarkar, M., Rashid, M. H. or, Rahman, A., Kafi, M. A., Hosen, M. I., Rahman, M. S., & Khan, M. N. (2022). Recent advances in nanomaterials based sustainable agriculture: An overview. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 18, 100687. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2022.100687>
- [6] Visscher, A. M., Vanek, S., Meza, K., Wellstein, C., Zerbe, S., Ccanto, R., Olivera, E., Huaraca, J., Scurrah, M., & Fonte, S. J. (2023). Tree-based land uses enhance the provision of ecosystem services in agricultural landscapes of the Peruvian highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 342, 108213. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.108213>
- [7] Quispe, N., Zanabria, D., Chavez, E., Cuadros, F., Carling, G., & Paredes, B. (2021). Health risk assessment of heavy metals (Hg, Pb, Cd, Cr and As) via consumption of vegetables cultured in agricultural sites in Arequipa, Peru. *Chemical Data Collections*, 33, 100723. <https://doi.org/10.1016/J.CDC.2021.100723>
- [8] Polas, M. R. H., Kabir, A. I., Sohel-Uz-zaman, A. S. M., Karim, R., & Tabash, M. I. (2022). Blockchain Technology as a Game Changer for Green Innovation: Green Entrepreneurship as a Roadmap to Green Economic Sustainability in Peru. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(2), 62. <https://doi.org/10.3390/JOITMC8020062>
- [9] I. O. Adisa et al., “Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action.” *Environ Sci Nano*, vol. 6, no. 7, pp. 2002–2030, May 2019, doi: 10.1039/C9EN00265K.
- [10] Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). The nexus between economic growth, renewable energy use, agricultural land expansion, and carbon emissions: New insights from Peru. *Energy Nexus*, 6, 100067. <https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2022.100067>
- [11] S. Liu, R. Yuan, X. Wang, and Z. Yan, “Soil tungsten contamination and health risk assessment of an abandoned tungsten mine site,” *Science of The Total Environment*, vol. 852, p. 158461, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.158461.
- [12] J. Le, M. C. Law, Y. S. Chan, S. Y. Choy, and A. N. T. Tiong, “The Potential of Fe-Based Magnetic Nanomaterials for the Agriculture Sector,” *ChemistrySelect*, vol. 7, no. 17, p. e202104603, May 2022, doi: 10.1002/SLCT.202104603.
- [13] A. Daryabeigi, A. M. Tabrizi, and A. V. Heir, “Co-application of biochar and titanium dioxide nanoparticles to promote remediation of antimony from soil by Sorghum bicolor: metal uptake and plant response,” *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p. e04669, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.HELIYON.2020.E04669.
- [14] M. Bakshi and A. Kumar, “Copper-based nanoparticles in the soil-plant environment: Assessing their applications, interactions, fate and toxicity,” *Chemosphere*, vol. 281, p. 130940, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.130940.
- [15] H. Sun et al., “Uptake, transformation, and environmental impact of zinc oxide nanoparticles in a soil-wheat system,” *Science of The Total Environment*, vol. 857, p. 159307, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.159307.
- [16] Sun, Y., Mfarrej, M. F. B., Song, X., Ma, J., Min, B., & Chen, F. (2023). New insights in to the ameliorative effects of zinc and iron oxide nanoparticles to arsenic stressed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 199, 107715. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2023.107715>
- [17] Chatterjee, A., Mridha, D., Banerjee, J., Chanda, S., Ray, K., Acharya, K., Das, M., Roychowdhury, T., & Sarkar, J. (2021). Green synthesis of iron oxide nanoparticles and their ameliorative effect on arsenic stress relief in *Oryza sativa* seedlings. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 38, 102207. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2021.102207>
- [18] Prerna, D. I., Govindaraju, K., Tamilselvan, S., Kannan, M., Vasantharaja, R., Chaturvedi, S., & Shkolnik, D. (2021). Influence of nanoscale micro-nutrient  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on seed germination, seedling growth, translocation, physiological effects and yield of rice (*Oryza sativa*) and maize (*Zea mays*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 564–580. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2021.03.023>
- [19] Manzoor, N., Ahmed, T., Noman, M., Shahid, M., Nazir, M. M., Ali, L., Alnusaire, T. S., Li, B., Schulin, R., & Wang, G. (2021). Iron oxide nanoparticles ameliorated the cadmium and salinity stresses in wheat plants, facilitating photosynthetic pigments and restricting cadmium uptake. *Science of The Total Environment*, 769, 145221. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.145221>
- [20] Noor, R., Yasmin, H., Ilyas, N., Nosheen, A., Hassan, M. N., Mumtaz, S., Khan, N., Ahmad, A., & Ahmad, P. (2022). Comparative analysis of iron oxide nanoparticles synthesized from ginger (*Zingiber officinale*) and cumin seeds (*Cuminum cyminum*) to induce resistance in wheat against drought stress. *Chemosphere*, 292, 133201. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.133201>
- [21] Dileep Kumar, G., Raja, K., Natarajan, N., Govindaraju, K., & Subramanian, K. S. (2020b). Invigouration treatment of metal and metal oxide nanoparticles for improving the seed quality of aged chilli seeds (*Capsicum annum* L.). *Materials Chemistry and Physics*, 242, 122492. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2019.122492>
- [22] Israel García-López, J., Lira-Saldivar, R. H., Zavala-García, F., Olivares-Sáenz, E., Niño-Medina, G., Angélica Ruiz-Torres, N., Méndez-Argüello, B., & Díaz-Barriga, E. (2018). Effects of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant enzymes of *Capsicum chinense*. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 100(5–7), 560–572. <https://doi.org/10.1080/02772248.2018.1550781>
- [23] Narendhran, S., Rajiv, P., & Sivaraj, R. (2016). Toxicity of ZnO nanoparticles on germinating *Sesamum indicum* (Co-1) and their antibacterial activity. *Bulletin of Materials Science*, 39(2), 415–421. <https://doi.org/10.1007/S12034-016-1172-4/METRCS>
- [24] Tymoszuk, A., & Wojnarowicz, J. (2020). Zinc Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles Impact on In Vitro Germination and Seedling Growth in *Allium cepa* L. *Materials*, 13(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/MA13122784>
- [25] Zia, M., Yaqoob, K., Mannan, A., Nisa, S., Raza, G., & Rehman, R. ur. (2020). Regeneration response of carnation cultivars in response of silver nanoparticles under in vitro conditions. *Vegetos*, 33(1), 11–20. <https://doi.org/10.1007/S42535-019-00074-9/METRCS>
- [26] Gambin, L. D. B., Cavali, M., Dresch, A. P., Fuhr, J. F., Marafon, F., Bonadiman, B. da S. R., Bilibio, D., Araujo, L., Mibielli, G. M., Priamo, W. L., Bagatini, M. D., & Bender, J. P. (2023). Phenolic compounds from feijoa (*Acca sellowiana*) fruits: Ultrasound-assisted extraction and antiproliferative effect on cutaneous melanoma cells (SK-MEL-28). *Food Bioscience*, 55, 103078. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2023.103078>

- [27] Parveen, A., & Rao, S. (2015). Effect of Nanosilver on Seed Germination and Seedling Growth in *Pennisetum glaucum*. *Journal of Cluster Science*, 26(3), 693–701. <https://doi.org/10.1007/S10876-014-0728-Y/METRICS>
- [28] S. Li et al., “Comparative physiological and metabolomic analyses revealed that foliar spraying with zinc oxide and silica nanoparticles modulates metabolite profiles in cucumber (*Cucumis sativus* L.)” *Food Energy Secur.*, vol. 10, no. 1, p. e269, Feb. 2021, doi: 10.1002/FES3.269.
- [29] Asmat-Campos, D., Medina, E. L., Vásquez, G. M. D. O., Rivero, E. G., Narciso, D. D., Cortijo, L. J., Zapata, L. V., Fernández, J. G., & Amaya, R. R. (2022). ZnO Nanoparticles Obtained by Green Synthesis as an Alternative to Improve the Germination Characteristics of *L. esculentum*. *Molecules* 2022, Vol. 27, Page 2343, 27(7), 2343. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27072343>
- [30] Asmat-Campos, D., Juárez-Cortijo, L., Delfin-Narciso, D., & Carreño-Ortega, Á. (2023). Influence of the concentration of iron oxide (FeO) nanonutrients on the germination process of *Chenopodium quinoa*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1140>
- [31] Mahdavi-Yekta, M., Karimi-Dehkordi, M., Hadian, Z., Salehi, A., Deylami, S., Rezaei, M., & Mousavi Khaneghah, A. (2022). Silver nanoparticles and quinoa peptide enriched nanocomposite films for the detoxification of aflatoxins in pistachio. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2118592>
- [32] Salih, A. M., Qahtan, A. A., Al-Qurainy, F., & Al-Munqedhi, B. M. (2022). Impact of Biogenic Ag-Containing Nanoparticles on Germination Rate, Growth, Physiological, Biochemical Parameters, and Antioxidants System of Tomato (*Solanum tuberosum* L.) In Vitro. *Processes* 2022, Vol. 10, Page 825, 10(5), 825. <https://doi.org/10.3390/PR10050825>
- [33] F. Chen et al., “Combined effects of green manure and zinc oxide nanoparticles on cadmium uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.)” *Chemosphere*, vol. 298, p. 134348, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134348.
- [34] Nayl, A. A., Abd-Elhamid, A. I., Aly, A. A., & Bräse, S. (2022). Recent progress in the applications of silica-based nanoparticles. *RSC Advances*, 12(22), 13706–13726. <https://doi.org/10.1039/D2RA01587K>
- [35] Orozco, A. (2017). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Botanical Sciences*. [https://www.academia.edu/103724585/M%C3%A9todos\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_datos\\_en\\_la\\_germinaci%C3%B3n\\_de\\_semillas\\_un\\_ejemplo\\_Manfreda\\_brachystachya](https://www.academia.edu/103724585/M%C3%A9todos_de_an%C3%A1lisis_de_datos_en_la_germinaci%C3%B3n_de_semillas_un_ejemplo_Manfreda_brachystachya)
- [36] M. Pandorf, L. Pourzahedi, L. Gilbertson, G. V. Lowry, P. Herckes, and P. Westerhoff, “Graphite nanoparticle addition to fertilizers reduces nitrate leaching in growth of lettuce (*Lactuca sativa*),” *Environ Sci Nano*, vol. 7, no. 1, pp. 127–138, Jan. 2020, doi: 10.1039/C9EN00890J.
- [37] S. Chavan, V. Sarangdhar, and N. Vigneshwaran, “Nanopore-based metagenomic analysis of the impact of nanoparticles on soil microbial communities,” *Heliyon*, vol. 8, no. 6, p. e09693, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.HELIYON.2022.E09693.
- [38] X. Xin, J. Nepal, A. L. Wright, X. Yang, and Z. He, “Carbon nanoparticles improve corn (*Zea mays* L.) growth and soil quality: Comparison of foliar spray and soil drench application,” *J Clean Prod*, vol. 363, p. 132630, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.132630.
- [39] Almeida, A.-S. F. de, Bentes, J. L. da S., & Correa Junior, A. (2021). Síntese de nanopartículas – revisão de literatura. *Revista Agraria Academica*, 4(2), 53–69. <https://doi.org/10.32406/v4n2/2021/53-69/agrariacad>
- [40] Magdaleno-García, G., Juárez-Maldonado, A., Betancourt-Galindo, R., González-Morales, S., Sánchez-Vega, M., Cabrera-De, M., Fuente, L., & Méndez-Lopez, A. (2023). Aplicación de nanopartículas de óxido de zinc y cloruro de sodio en chile pimienta. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(NEIII). <https://doi.org/10.19136/ERA.A10NNEIII.3679>
- [41] Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., Lira-Saldivar, R. H., Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., & Lira-Saldivar, R. H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*, 8(17), 140–156. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052016000200140&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200140&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [42] Olarte-Calsina, S., González-Fernández, J. V., Soto-Gonzales, J. L., Carranza-Oropeza, M. V., Olarte-Calsina, S., González-Fernández, J. V., Soto-Gonzales, J. L., & Carranza-Oropeza, M. V. (2022). Nanotechnology adoption factors in quinoa crops. *Información Tecnológica*, 33(6), 83–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000600083>
- [43] Vargas-Martínez, G., Betancourt-Galindo, R., Juárez-Maldonado, A., Sánchez-Vega, M., Sandoval-Rangel, A., & López, A. M. (2023). IMPACT OF NPsZnO AND RHIZOSPHERIC MICROORGANISMS ON TOMATO GROWTH AND BIOMASS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4332>