

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

**Programa de desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental,
energética y alimentaria II**



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

**4G03 Programa de desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental,
energética y alimentaria II**

**Efecto de las nanopartículas de selenio en las plantas, CIATEJ, Campus Zapopan,
Jalisco**

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ing. en Nanotecnología, Alejandro Salvador Macias Sandoval

Profesor PAP: Dra. Soledad García Morales

Tlaquepaque, Jalisco, diciembre de 2022

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP.....	27
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional.....	27
Resumen	29
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional	29
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	30
1.2 Caracterización de la organización	31
1.3 Identificación de la(s) problemática(s)	31
1.4 Planeación de alternativa(s)	32
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora.....	34
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos.....	37
1.7. Bibliografía y otros recursos	42
2. Productos	44
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia	57
3.1 Sensibilización ante las realidades	57
3.2 Aprendizajes logrados	57

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El PAP *Efecto de las nanopartículas de selenio en las plantas*, CIATEJ, Campus Zapopan, Jalisco, es parte de un proyecto iniciado en el semestre de otoño de 2022. Se abordó la problemática de aumentar la producción alimentaria para una población creciente y el uso de fertilizantes químicos que dañan a la tierra y a los consumidores. El principal objetivo es conocer los efectos de las nanopartículas de selenio (SeNPs) en el crecimiento de plantas de frijol. Se propusieron dos objetivos específicos: Sintetizar y caracterizar SeNPs y determinar los parámetros a analizar.

Se obtuvieron SeNPs por dos vías de síntesis verde. Las primeras se obtuvieron utilizando como base extractos metanólicos de *Calendula officinalis* (nanopartículas de 133 nm), y las segundas con extractos metanólicos de *Amphipterygium glaucum* (nanopartículas de 8 nm). A ambas nanopartículas se les hizo un análisis EDS, una micrografía en el MEB y se midió el tamaño de partícula. Para cuantificar el impacto de las nanopartículas en las plantas, se aplicaron 3 tratamientos con dos concentraciones (20 y 50 μM). El cultivo empleado fue *Phaseolus vulgaris*, los parámetros analizados fueron: altura de planta, cantidad de vainas por planta y cantidad de brotes de flores.

Los tratamientos con SeNPs aumentaron la producción del cultivo, ya que las plantas tratadas con SeNPs tuvieron mayor crecimiento, más vainas y una mayor cantidad de flores. Como producto de este PAP se generó un protocolo que compara las características de las SeNPs y el efecto de los tratamientos en el crecimiento de las plantas.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

La presente investigación, de tipo experimental, fue llevada a cabo en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Sede Zapopan, con la asesoría de la Dra. Soledad García Morales. La estancia se realizó en la Unidad de Biotecnología Vegetal, en la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos, uno de los resultados previos de esta línea es la obtención de nanopartículas de selenio (SeNPs), las cuales fueron producidas por síntesis verde, usando extracto de plantas. La metodología y el uso de estas SeNPs están registrados en dos solicitudes de patente. En este PAP, a la fecha, ya se ha llevado a cabo la síntesis de SeNPs, siguiendo la metodología ya estandarizada previamente y se realizó una caracterización parcial; se evaluarán sus efectos en el crecimiento de planta de frijol (variedad GR-04) y en pimiento (variedad California Wonder). Por lo tanto, se plantea, como objetivo general, evaluar el efecto de nanopartículas de selenio en plantas cultivables y, como objetivo específico, sintetizar y caracterizar SeNPs y posteriormente determinar los parámetros a analizar.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

La nanotecnología tiene como objetivo producir nuevos efectos en la materia, partiendo de la manipulación a nivel molecular y atómico de la materia; esto se logra debido a que las nanopartículas tienen una mayor área superficial, por lo que su reactividad puede aumentar considerablemente. La nanotecnología engloba la obtención de nanopartículas, películas delgadas, nanotubos, etc., [1].

La nanotecnología puede revolucionar a la agricultura, así como a la industria alimentaria. Con ayuda de nanomateriales de última generación, es posible aumentar la captación de nutrientes por las plantas, lo que deriva en un aumento en cantidad/calidad de frutos, alargamiento de raíces, velocidad de enraizamiento/crecimiento, etc., detectar enfermedades más rápidamente y también prevenirlas, con apoyo de fungicidas y bactericidas nanoestructurados [2].

Se han registrado diversos esfuerzos para mejorar las prácticas agrícolas mediante la nanotecnología; en la actualidad ya se han desarrollado fertilizantes, pesticidas, fungicidas y estimulantes, entre otros productos, todos ellos nanoestructurados [2]. En 2021, Hernández

y colaboradores, partiendo de una síntesis verde, implementaron nanopartículas de selenio como agente antibacteriano en plantas ornamentales [3].

La directora del presente PAP, Dra Soledad García Morales, en el 2021 formó parte de un equipo de investigación con el que publicó un artículo [3] sobre las propiedades antibacterianas, en particular, de cepas bacterianas potencialmente clínicas, a partir de SeNPs obtenidas mediante síntesis verde. En esa investigación, se desarrolló una técnica de síntesis verde, en la que emplean como base ácido ascórbico y extractos vegetales de *Calendula officinalis*, logrando obtener SeNPs de 40-60 nm, produciendo efectos antimicrobianos y antioxidantes. En el mismo año, la Dra. García también dirigió una tesis de maestría [4], en la cual fueron sintetizadas SeNPs mediante otra técnica de síntesis verde (también desarrollada en la investigación), utilizando como base extractos metanólicos de *Amphipterygium glaucum*; lograron observar propiedades antifúngicas, antibacterianas y efectos bioestimulantes, con las cuales lograron mejorar el crecimiento de las plantas observadas.

1.2 Caracterización de la organización

El presente PAP se lleva a cabo en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), sede Zapopan, en la Unidad de Biotecnología Vegetal, cuya directora es la Dra. Antonia Gutiérrez Mora. La Unidad de Biotecnología Vegetal tiene como objetivo incrementar las ventajas competitivas e innovadoras en los mercados globales de los sectores agrícola, agropecuario y agroindustrial. La directora del proyecto es la Dra. Soledad García.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

En la actualidad, la población humana ronda en los 8 mil millones de personas y se estima que para el 2050, este número alcance los 9.9 mil millones. En promedio, se utilizan los recursos naturales 1.7 veces más rápido de la capacidad que tiene la naturaleza de reproducir [5]. Debido al aumento de la población, ha sido necesario un uso extenuante de los campos agrícolas para la producción de alimentos, derivando en una erosión por el sobreuso mismo

[6]. Por otra parte, el abuso de fertilizantes en las plantaciones genera un déficit de otros nutrientes [7]. Debido a ello, es necesario desarrollar nuevos productos agrícolas que sean capaces de mejorar la producción de alimentos conseguida por los insumos agrícolas tradicionales, sin afectar a la tierra ni a los consumidores de los productos derivados de la agricultura.

La nanotecnología abre la posibilidad de desarrollar insumos nanoestructurados para uso agrícola (como fertilizantes, bioestimulantes, bactericidas, pesticidas, fungicidas, etc.) que sean capaces de aumentar la producción de los cultivos. Asimismo, pueden traer mejoras a la agricultura empleando menor cantidad de reactivo debido a que, al tratarse de materia con una mayor área superficial, su reactividad aumenta sustancialmente; como consecuencia, los cultivos no serán cargados con cantidades excesivas de productos (fertilizantes, pesticidas, etc.), disminuyendo (o evitando completamente) el daño al medio ambiente [2].

1.4. Planeación de alternativa(s)

El presente PAP da continuidad a investigaciones previas, [3], en las cuales se estudió, entre otras cosas, la actividad antimicrobiana, antifúngica y efectos bioestimulantes de nanopartículas de selenio. Si bien el uso de nanopartículas de selenio pueda resultar más económico que la aplicación de nanopartículas de plata con fines antimicrobianos, durante las investigaciones previas se optó por selenio por más razones [8].

Por un lado, la aplicación de selenio (Se) en plantas, a bajas concentraciones, resulta en una mejora en su crecimiento, además, disminuye el estrés abiótico. Por otro lado, la mayoría de las selenoproteínas, es decir, proteínas que contienen SeCyt (21° aminoácido natural (SeCyt), codificado por el codón UGA), tienen la capacidad de actuar como oxidorreductasas, previniendo daño a componentes celulares [4].

En la tabla 1 se muestra el plan de trabajo del presente PAP. Se especifica el tipo de recurso (recursos humanos, materiales económicos y tecnológicos) necesario para poder llevar a cabo la actividad. Cabe mencionar que las actividades parten el día 15 de agosto, semana 1 del cronograma, terminando el 2 de diciembre, en la semana 16 del cronograma.

Para conocer los efectos de las SeNPs se estableció un experimento en invernadero con plantas de frijol. Las plantas están divididas en siete grupos (se tienen seis grupos con la aplicación de cada tratamiento además de un grupo de control), cada grupo está conformado por 8 macetas y cada maceta contiene 3 plantas.

Debido a que existen bioestimulantes que promueven el crecimiento de las raíces y tallos, la velocidad de maduración y la cantidad y peso de los frutos, se quiere conocer si las SeNPs también producen un efecto estimulante en las plantas. Con este fin, se propuso que los parámetros a analizar en el presente PAP sean: altura, cantidad de frutos (vainas) y cantidad de flores (como parámetros del rendimiento de las plantas). Otros parámetros deseables para analizar para investigaciones posteriores, y que en esta no se pudo concretar debido al largo ciclo de vida de la planta, son: longitud de raíces, masa en seco de la planta y tamaño y peso promedio de frutos.

Tabla 1. Cronograma de actividades previstas para la realización del PAP.

Actividad	Recursos	Agosto			Septiembre				Octubre				Noviembre				
		S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16
Revisión de literatura	AG, TP	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Diseño y establecimiento del experimento en invernadero.	AG, TI	■	■	■	■	■	■										
Síntesis de las nanopartículas de selenio (SeNPs)	AG, LU	■	■	■	■	■	■										
Aplicación de los tratamientos con SeNPs	TI, LU					■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Seguimiento del experimento en invernadero	TI, LU					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Determinación de variables de crecimiento de las plantas	AG, TP, TI	■	■		■	■			■	■			■	■			
Cosecha del experimento	TI														■		
Conclusiones y perspectivas	AG, TP														■	■	
Revisiones semanales sobre el avance del reporte escrito.	AG, TP		■		■		■		■		■		■		■	■	■

En la tabla 2 se muestra el significado de las abreviaturas utilizadas para referir los recursos necesarios en cada actividad planeada.

Tabla 2. Abreviaturas de los recursos en el cronograma de actividades

Recursos Utilizados	
Abreviatura	Significado
AG	Asesoría Dra. Soledad García
TP	Trabajo personal
TI	Trabajo en invernadero
LU	Laboratorio de usos múltiples

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Las SeNPs se plantean como una alternativa para mejorar la producción de los cultivos. Por esta razón, en el presente PAP se seleccionó el cultivo de frijol para evaluar el efecto de las nanopartículas y se estableció un experimento en invernadero.

Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato, se utilizó una mezcla de peat moss o musgo de tuba (marca Novarbo) y vermiculita (marca Accimin), en una relación de un litro por un litro. Para facilitar la mezcla de los sustratos y la colocación de las semillas, se agregó agua (1 litro por cada 10 L de la mezcla). La mezcla del sustrato se colocó en 56 macetas de 3 litros cada una; cabe mencionar que en cada maceta fueron sembradas 5 semillas de frijol GR-04 y se regaron 2 veces por semana.

Solución nutritiva

Las plantas fueron fertilizadas con la solución nutritiva, cuyo contenido se puede observar en la tabla 3. La concentración de los nutrientes varió de acuerdo con el crecimiento de las plantas; en la tabla 3 se presenta el valor, en molaridad, de cada elemento al 100% de su concentración para las plantas.

Dos semanas después de haber germinado todas las semillas de frijol, se comenzó a aplicar la solución nutritiva. Durante las 2 primeras semanas consecutivas a su germinación, se

aplicó (1 vez por semana) la solución nutritiva al 25% de su concentración, distribuyendo 200 mL de esta en cada maceta con plantas de frijol. A partir de la tercera semana posterior a la germinación, se aumentó la dosis al 50% de la concentración, aplicando 2 veces a la semana la solución, con 250 mL por maceta.

Tabla 3: Contenido y concentración de la solución nutritiva Hoagland

Macroelementos	Concentración [mM]
NH ₄ H ₂ PO ₄	1.00
Ca(NO ₃) ₂ x 4H ₂ O	5.00
MgSO ₄ x 7H ₂ O	2.00
KNO ₃	6.00
Microelementos	Concentración [μM]
H ₃ BO ₃	46.26
CuSO x 5H ₂ O	0.32
ZnSO ₄ x 7H ₂ O	0.77
MnCl ₂ x 4H ₂ O	9.15
Na ₂ Mo ₄ x 2H ₂ O	0.11
Fe - EDTA	40.00

Preparación de SeNPs

Existen estudios previos sobre dos variables de síntesis verde de SeNPs (investigaciones dirigidas por la doctora Soledad, [3], [4]), ambas con un tamaño de partícula resultante semejantes entre sí, por lo que se propuso la aplicación de ambas nanopartículas en plantas, utilizando dos concentraciones diferentes. Ambas síntesis utilizan selenito de sodio (Na₂SeO₃) como precursor y diferentes extractos metanólicos, por lo que, en el presente PAP, se busca observar los efectos de ambos tratamientos en plantas. A continuación, se describen ambas síntesis.

SeNPs (COF)

Para la preparación de la solución coloidal, se empleó la técnica de síntesis verde por reducción de selenito de sodio (Na₂SeO₃) [3], [4]. Se mezclaron 10 mL de Na₂SeO₃ 10 mM, 3.5 mL de ácido ascórbico a 40 mM y 120 μL de extracto metanólico de caléndula (*Calendula officinalis*) (concentrado COF), a 100 mg/mL. La solución fue mezclada con agitador magnético a 1150 rpm a 40°C por 30 minutos. La reacción se completó después de guardar,

por 24 horas, la solución a 4°C. La solución obtenida se almacenó a esta temperatura para su uso posterior.

SeNPs (CHE)

De manera similar, se utilizó la técnica de síntesis verde para la producción de las SeNPs; fueron mezclados 80 µL de extracto metanólico (concentrado CHE del extracto metanólico de *Amphipterygium glaucum*) con 10 mL de Na₂SeO₃ a una concentración de 50 mg/mL. La solución fue mezclada con agitación magnética a 1200 rpm, a 40°C por 40 minutos, finalmente, la reacción fue almacenada a 4°C.

Tratamientos implementados

Se implementaron siete tratamientos en ocho macetas cada uno. En cada maceta se sembraron 5 semillas de frijol variedad GR-04; 14 días después, se retiraron dos plantas por maceta, cuya apariencia se distanciaba más del resto. El criterio para la elección fue el tamaño de hoja y la altura de la planta. Se utilizaron tres tratamientos diferentes a dos niveles de concentración más un testigo (tabla 4). Los tratamientos fueron disueltos en agua, además, se agregó 80 µL de tween 20, con el fin de mejorar la dispersión del tratamiento; estos tratamientos se aplicaron en los cultivos de manera foliar, hasta conseguir el punto de rocío en cada hoja.

Tabla 4: Tipos de tratamientos

Número de tratamiento	Tipo de tratamiento	Concentración [µM]
1	Se (Na ₂ SeO ₃)	20
2	Se (Na ₂ SeO ₃)	50
3	SeNPs (COF)	20
4	SeNPs (COF)	50
5	SeNPs (CHE)	20
6	SeNPs (CHE)	50
7	Testigo	0

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

En las figuras 1 y 2 se examina, mediante análisis EDS (Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva, por sus siglas en inglés) las muestras COF y CHE (respectivamente), es posible comprobar la proporción de la composición de cada muestra. En las figuras 3 y 4 se analizó por micrografía MEB (Microscopio Electrónico de Barrido, JEOL JMS-6010LA) las muestras COF y CHE (respectivamente), consiguiendo observar el tamaño y la textura de las muestras después de liofilización; el tamaño promedio de la muestra COF es de 3.31 μm , el de CHE es de 1.33 μm . En las figuras 5 y 6 se encuentran las gráficas de la distribución de tamaño de partícula de las muestras COF y CHE (respectivamente), (Analizadas con Litesizer 500, AntonPark); el tamaño promedio de la muestra COF es de 133 nm y el de CHE es de 8 nm. La diferencia del tamaño de las partículas analizadas por el MEB y el Litesizer puede deberse a que, para hacer el análisis en el primero, fue necesario liofilizar las muestras, generando que las partículas se aglomeren.

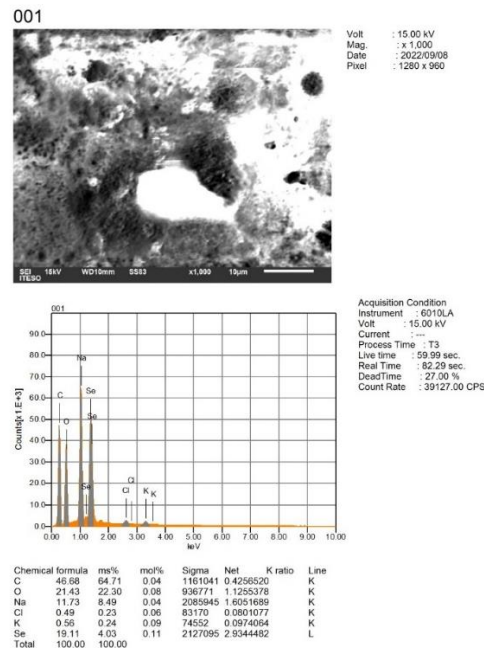


Figura 1. Análisis con EDS al tratamiento de las SeNPs COF

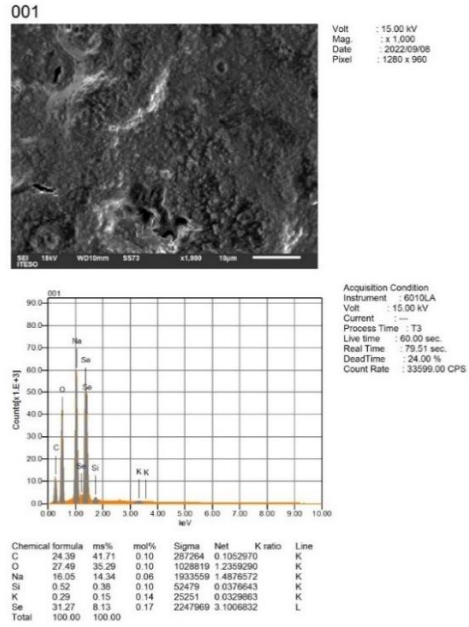


Figura 2. Análisis con EDS al tratamiento de las SeNPs CHE

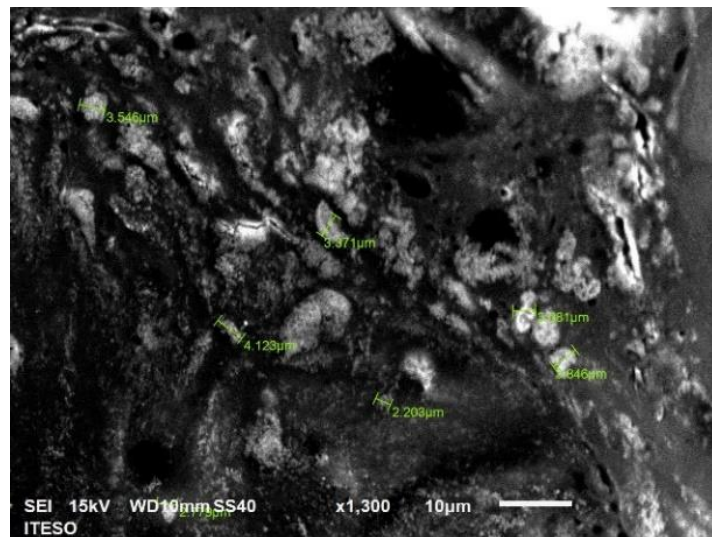


Figura 3. Mediciones de partícula del tratamiento COF

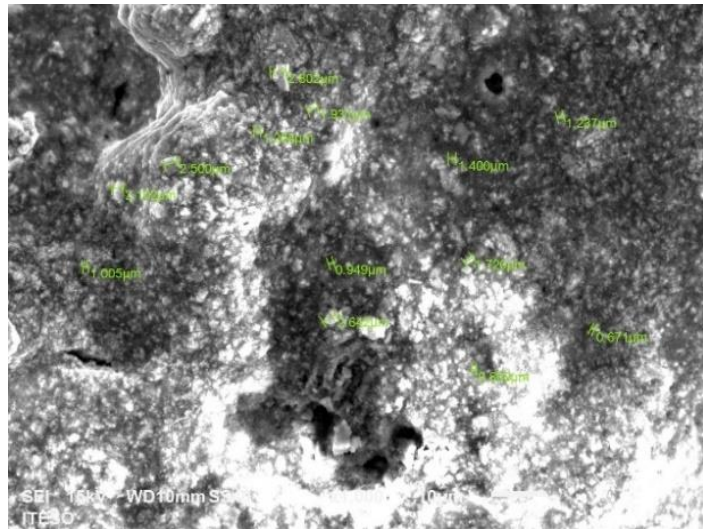


Figura 4. Mediciones de partícula del tratamiento CHE

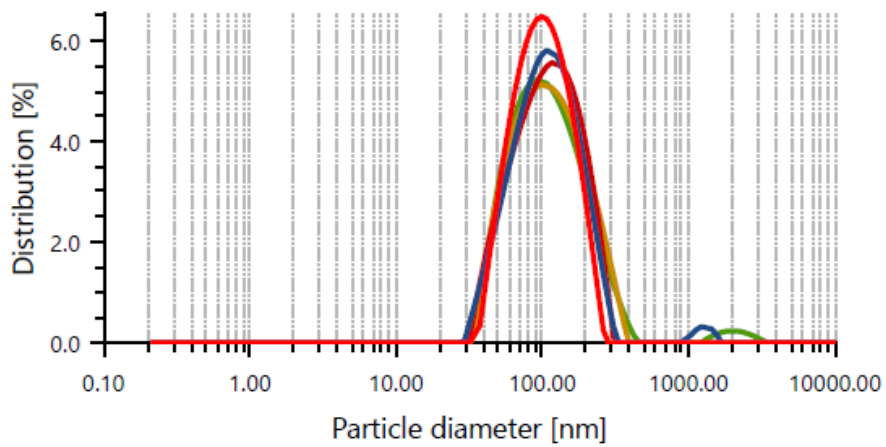


Figura 5. Tamaño de partícula de la muestra COF

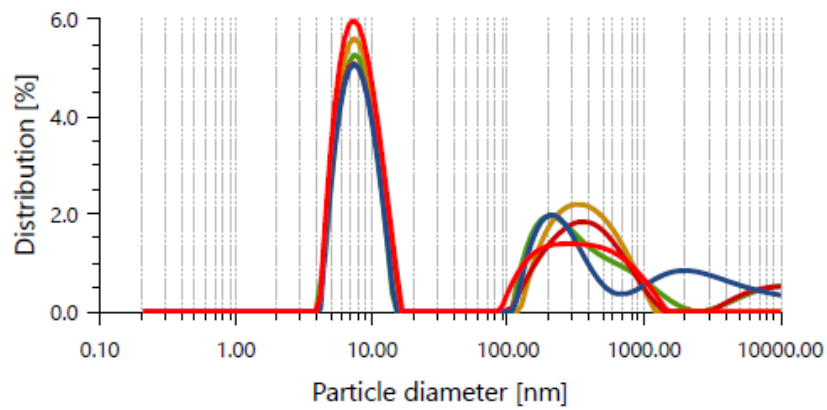


Figura 6. Tamaño de partícula de la muestra CHE

De los resultados presentados en la tabla 5 (brote de flores), tabla 6 (cantidad de vainas) y en la figura 7 (tamaño promedio de plantas por tratamiento), se puede comparar el desempeño de los tratamientos con las SeNPs con respecto al testigo. Como es posible observar en la tabla 7 (impacto porcentual de los tratamientos con respecto a los cultivos testigo), los tratamientos CHE a 20 μM y COF a 50 μM produjeron los mejores resultados en comparación del testigo con mayor número de flores, vainas y altura de la planta (tabla 7). Por otro lado, en la figura 8 se puede observar el tamaño de una planta promedio de cada cultivo (en ambas concentraciones de los tratamientos) con respecto al testigo; la planta tratada con CHE a 20 μM (figura 8.B) es la más frondosa, por otro lado, la planta tratada con COF a 50 μM (figura 8.C) fue la más alta. Respecto a la tabla 5, cabe mencionar que, si bien la cantidad de flores en un cultivo puede ser relevante, lo más destacado de esta prueba es la velocidad con la que empezaron a brotar las flores en cada caso, un brote temprano de flores puede significar una germinación temprana.

Tabla 5. Brote de flores. Cantidad de plantas con brotes. Datos tomados el 20/Oct/2022

Tratamiento	Plantas observadas
Testigo	2
Se 20	4
Se 50	4
CHE 20	6
CHE 50	2
COF 20	1
COF 50	3

Tabla 6. Brote de vainas. Cantidad de plantas con vainas y promedio de vainas por tratamiento. Datos tomados el 27/Oct/2022

Plantas con vainas	Vainas totales	Promedio de vainas por planta	Promedio de vainas por planta
Testigo	2	10	5.0
Se 20	3	10	3.3
Se 50	4	16	4.0
CHE 20	7	56	8.0
CHE 50	3	11	3.7
COF 20	3	7	2.3
COF 50	7	17	2.4

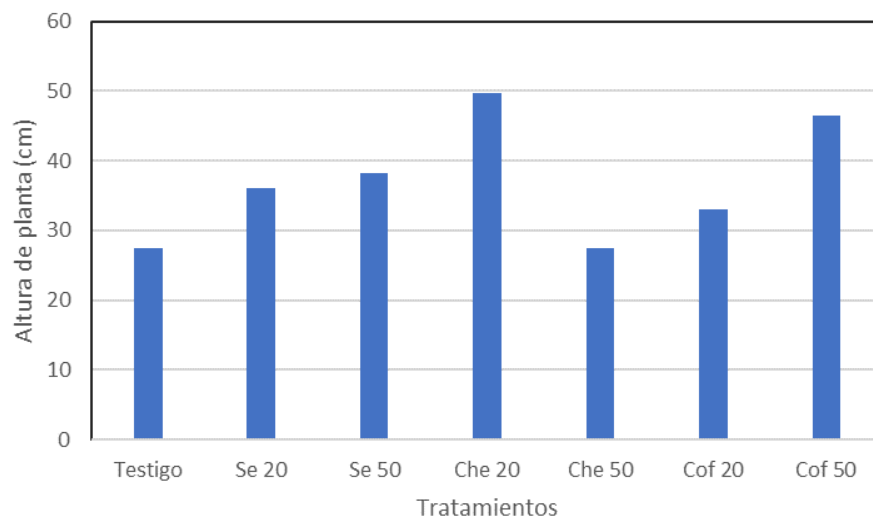


Figura 7. Tamaño promedio de plantas por tratamiento. Datos recolectados el 1/Nov/2022

Tabla 7: Ventaja porcentual de cada tratamiento respecto al testigo. Fueron elegidos los mejores resultados de cada tratamiento para la comparación.

Prueba	CHE 20 μM	COF 50 μM	Se 50 μM
Flores	200	50	100
Vainas	460	70	60
Altura	76.79	67.86	39.29

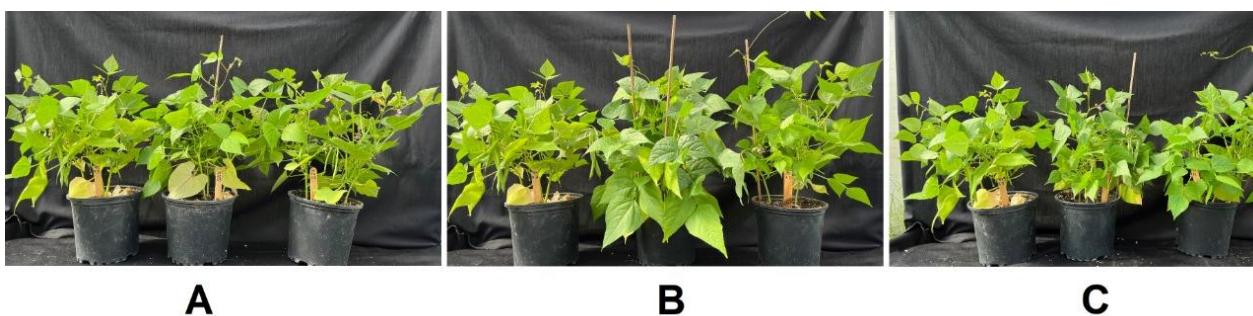


Figura 8. Comparación de tamaño de cada tratamiento con respecto a una planta testigo. En cada imagen, de izquierda a derecha, están ordenadas por testigo, tratamiento a 20 μM y tratamiento a 50 μM . La figura 8.A corresponde a plantas tratadas con selenio, la figura 8.B al tratamiento CHE y la figura 8.C al tratamiento COF

Los resultados sugieren, por lo tanto, que las nuevas alternativas nanotecnológicas como las nanopartículas pueden resultar en una solución a la problemática planteada, al aumentar la producción de la planta (tamaño y cantidad de vainas). Las pruebas implementadas

demuestran que el tratamiento CHE a 20 μM es la mejor de todas las alternativas planteadas, obteniendo los mejores rendimientos en las plantas tratadas.

La diferencia de los resultados promedio de los cultivos tratados con CHE y con COF pueden deberse al tamaño de partícula, de 8 y de 133 nm, respectivamente. Se concluye prospectando que, a menor tamaño de la partícula, más fácilmente la partícula podrá atravesar los poros de las hojas. Por lo, un tratamiento que utilice tamaños de partículas pequeños (como el tratamiento CHE, con 8 nm) a baja concentración (20 μM) puede proveer a la planta de selenio a un grado donde es beneficioso para la misma. Siguiendo esa misma línea de pensamiento, un tratamiento semejante, pero a mayor concentración podría generar efectos adversos en la planta.

Finalmente, también se concluye que el tratamiento COF a 50 μM fue beneficioso para los cultivos puesto que, aunque su concentración era mayor, al tener un mayor tamaño de partícula se dificulta la absorción del selenio en las hojas de la planta, evitando efectos tóxicos.

Por otro lado, con el fin de comprender con mayor profundidad el impacto de las SeNPs CHE y COF en los cultivos, es necesario cuantificar la masa seca y el rendimiento (número de vainas y peso seco del frijol) de los cultivos a los que se les ha aplicado los tratamientos, una vez que estos terminen su ciclo de vida. Este último aspecto no pudo completarse debido a que, a la fecha en la que se escribió el presente trabajo, los cultivos no han completado su ciclo de vida, el cual, se estima, pasará dentro de 2 a 3 semanas posteriores a la entrega del documento. La cuantificación de la masa seca y el rendimiento de los cultivos es una prueba que nos permitiría ilustrar el probable impacto de los tratamientos en diversos tipos de plantas, por lo que se sugiere para futuras investigaciones realizar este análisis.

1.7. Bibliografía y otros recursos

[1] K. Ariga, K. Minami, M. Ebara, y J. Nakanishi, «What are the emerging concepts and challenges in NANO? Nanoarchitectonics, hand-operating nanotechnology and mechanobiology», *Polym. J.*, vol. 48, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2016, doi: 10.1038/pj.2016.8.

- [2] Shweta, S. Sood, A. Sharma, S. Chadha, y V. Guleria, «Nanotechnology: A cutting-edge technology in vegetable production», *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, vol. 96, n.º 6, pp. 682-695, nov. 2021, doi: 10.1080/14620316.2021.1902864.
- [3] J. A. Hernández-Díaz *et al.*, «Antibacterial Activity of Biosynthesized Selenium Nanoparticles Using Extracts of *Calendula officinalis* against Potentially Clinical Bacterial Strains», *Molecules*, vol. 26, n.º 19, Art. n.º 19, ene. 2021, doi: 10.3390/molecules26195929.
- [4] J. J. Garza-García, «Síntesis verde de nanopartículas de selenio con actividad antimicrobiana para el control de fitopatógenos y su efecto en ornamentales.», Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, 2021.
- [5] J. P. Gustafson, P. H. Raven, y P. R. Ehrlich, *Population, Agriculture, and Biodiversity: Problems and Prospects*. University of Missouri Press, 2020.
- [6] D. Higgitt, «Soil erosion and soil problems», *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.*, vol. 17, n.º 4, pp. 461-472, dic. 1993, doi: 10.1177/030913339301700404.
- [7] E. Zamora, «Algunas Deficiencias Nutricionales en Cultivos Protegidos», *Universidad de Sonora*, 2016. <https://es.scribd.com/document/462943094/ALGUNAS-DEFICIENCIAS-NUTRICIONALES-EN-CULTIVOS-PROTEGIDOS> (accedido 30 de septiembre de 2022).
- [8] S. García-Morales, «Actividad antimicrobiana de NP@Se en plantas ornamentales», 22 de septiembre de 2022.

2. Productos

Nombre y código del PAP	4G03 Programa de desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental, energética y alimentaria II
Nombre del proyecto	Efecto de las nanopartículas de selenio en las plantas, CIATEJ, Campus Zapopan, Jalisco
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Protocolo de investigación: Documento en el cual se detallan los efectos de nanopartículas de selenio (SeNPs) en plantas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>). El documento compara el desempeño de la aplicación de dos tamaños de SeNPs. Está realizado con el fin de ser utilizado como documentación para investigaciones futuras.
Autores:	Alejandro Salvador Macias Sandoval

Protocolo de investigación

Efecto de las nanopartículas de selenio en las plantas, CIATEJ, Campus Zapopan, Jalisco

PRESENTAN

Alejandro Salvador Macias Sandoval

Dra. Soledad García

Resumen

En la presente investigación se abordó la problemática de aumentar la producción alimentaria para una población creciente y el uso de fertilizantes químicos que dañan a la tierra y a los consumidores. El principal objetivo es conocer los efectos de las nanopartículas de selenio (SeNPs) en el crecimiento de plantas de frijol. Para ello, se propusieron 2 objetivos específicos: Sintetizar y caracterizar SeNPs y determinar los parámetros a analizar.

Se obtuvieron SeNPs por dos vías diferentes de síntesis verde. Las primeras se obtuvieron utilizando como base extractos metanólicos de *Calendula officinalis* (Nanopartículas de 133 nm), las segundas con extractos metanólicos de *Amphipterygium glaucum* (Nanopartículas de 8 nm). A ambos tipos de nanopartículas se les hizo un análisis EDS, una micrografía en el MEB y se midió el tamaño de partícula. Para cuantificar el impacto de las nanopartículas en las plantas, se aplicaron 3 tratamientos con dos concentraciones (20 y 50 μM), más un testigo. El cultivo empleado fue frijol (*Phaseolus vulgaris*), los parámetros analizados fueron: altura de planta, cantidad de vainas por planta y cantidad de brotes de flores.

Los tratamientos con SeNPs aumentaron la producción del cultivo, ya que las plantas tratadas con SeNPs tuvieron mayor crecimiento, más vainas y una mayor cantidad de flores. Se generó un protocolo que compara las características

Introducción

En la actualidad, la población humana ronda en los 8 mil millones de personas y se estima que para el 2050, este número alcance los 9.9 mil millones. En promedio, se utilizan los recursos naturales 1.7 veces más rápido de la capacidad que tiene la naturaleza de reproducir [1]. Debido al aumento de la población, ha sido necesario un uso extenuante de los campos

agrícolas para la producción de alimentos, derivando en una erosión por el sobre uso mismo [2]. Por otra parte, el abuso de fertilizantes en las plantaciones genera un déficit de otros nutrientes [3]. Debido a ello, es necesario desarrollar nuevos productos agrícolas que sean capaces de mejorar la producción de alimentos conseguida por los insumos agrícolas tradicionales, sin afectar a la tierra ni a los consumidores de los productos derivados de la agricultura.

La nanotecnología abre la posibilidad de desarrollar insumos nanoestructurados para uso agrícola (como fertilizantes, bioestimulantes, bactericidas, pesticidas, fungicidas, etc.) que sean capaces de aumentar la producción de los cultivos. Asimismo, pueden traer mejoras a la agricultura empleando menor cantidad de reactivo debido a que, al tratarse de materia con una mayor área superficial, su reactividad aumenta sustancialmente; como consecuencia, los cultivos no serán cargados con cantidades excesivas de productos (fertilizantes, pesticidas, etc), disminuyendo (o evitando completamente) el daño al medio ambiente [4].

Antecedentes

El presente trabajo da continuidad a investigaciones previas, [5], en las cuales se estudió, entre otras cosas, la actividad antimicrobiana, antifúngica y efectos bioestimulantes de nanopartículas de selenio. Si bien el uso de nanopartículas de selenio pueda resultar más económico que la aplicación de nanopartículas de plata con fines antimicrobianos, durante las investigaciones previas se optó por selenio por más razones [6].

Por un lado, la aplicación de selenio (Se) en plantas, a bajas concentraciones, resulta en una mejora en su crecimiento, además, disminuye el estrés abiótico. Por otro lado, la mayoría de las selenoproteínas, es decir, proteínas que contienen SeCyt (21° aminoácido natural (SeCyt), codificado por el codón UGA), tienen la capacidad de actuar como oxidorreductasas, previniendo daño a componentes celulares [7].

Para conocer los efectos de las SeNPs se estableció un experimento en invernadero con plantas de frijol. Las plantas están divididas en siete grupos (se tienen seis grupos con la aplicación de cada tratamiento además de un grupo de control), cada grupo está conformado por 8 macetas y cada maceta contiene 3 plantas.

Debido a que existen bioestimulantes que promueven el crecimiento de las raíces y tallos, la velocidad de maduración y la cantidad y peso de los frutos, se quiere conocer si las SeNPs también producen un efecto estimulante en las plantas. Con este fin, se propuso que los parámetros a analizar en el presente PAP sean: altura, cantidad de frutos (vainas) y cantidad de flores (como parámetros del rendimiento de las plantas). Otros parámetros deseables para analizar para investigaciones posteriores, y que en esta no se pudo concretar debido al largo ciclo de vida de la planta, son: longitud de raíces, masa en seco de la planta y tamaño y peso promedio de frutos.

Objetivos

Como objetivo general, se plantea evaluar el efecto de las nanopartículas de selenio en plantas cultivables. Para lograrlo, se plantean como objetivos específicos sintetizar y caracterizar SeNPs y posteriormente determinar los parámetros a analizar.

Materiales y métodos

Las SeNPs se plantean como una alternativa para mejorar la producción de los cultivos. Por esta razón, se seleccionó el cultivo de frijol para evaluar el efecto de las nanopartículas y se estableció un experimento en invernadero.

Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato, se utilizó una mezcla de peat moss o musgo de tuba (marca Novarbo) y vermiculita (marca Accimin), en una relación de un litro por un litro. Para facilitar la mezcla de los sustratos y la colocación de las semillas, se agregó agua (1 litro por cada 10 L de la mezcla). La mezcla del sustrato se colocó en 56 macetas de 3 litros cada una; cabe mencionar que en cada maceta fueron sembradas 5 semillas de frijol GR-04 y se regaron 2 veces por semana.

Solución nutritiva

Las plantas fueron fertilizadas con la solución nutritiva, cuyo contenido se puede observar en la ilustración 1. La concentración de los nutrientes varió de acuerdo con el crecimiento de las plantas; en la ilustración 1 se presenta el valor, en molaridad, de cada elemento al 100% de su concentración para las plantas.

Dos semanas después de haber germinado todas las semillas de frijol, se comenzó a aplicar la solución nutritiva. Durante las 2 primeras semanas consecutivas a su germinación, se aplicó (1 vez por semana) la solución nutritiva al 25% de su concentración, distribuyendo 200 mL de esta en cada maceta con plantas de frijol. A partir de la tercera semana posterior a la germinación, se aumentó la dosis al 50% de la concentración, aplicando 2 veces a la semana la solución, con 250 mL por maceta.

Preparación de SeNPs

Existen estudios previos sobre dos variables de síntesis verde de SeNPs (investigaciones dirigidas por la doctora Soledad, [5], [7]), ambas con un tamaño de partícula resultante semejantes entre sí, por lo que se propuso la aplicación de ambas nanopartículas en plantas, utilizando dos concentraciones diferentes. Ambas síntesis utilizan selenito de sodio (Na_2SeO_3) como precursor y diferentes extractos metanólicos, por lo que, en el presente PAP, se busca observar los efectos de ambos tratamientos en plantas. A continuación, se describen

Macroelementos	Concentración [mM]
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1.00
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	5.00
$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	2.00
KNO_3	6.00
Microelementos	Concentración [μM]
H_3BO_3	46.26
$\text{CuSO} \times 5\text{H}_2\text{O}$	0.32
$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	0.77
$\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	9.15
$\text{Na}_2\text{Mo}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	0.11
Fe - EDTA	40.00

ambas síntesis.

Ilustración 1: Contenido y concentración de la solución nutritiva Hoagland

SeNPs (COF)

Para la preparación de la solución coloidal, se empleó la técnica de síntesis verde por reducción de selenito de sodio (Na_2SeO_3) [5], [7]. Se mezclaron 10 mL de Na_2SeO_3 10 mM, 3.5 mL de ácido ascórbico a 40 mM y 120 μL de extracto metanólico de caléndula (*Calendula officinalis.*) (concentrado COF), a 100 mg/mL. La solución fue mezclada con agitador

magnético a 1150 rpm a 40°C por 30 minutos. La reacción se completó después de guardar, por 24 horas, la solución a 4°C. La solución obtenida se almacenó a esta temperatura para su uso posterior.

SeNPs (CHE)

De manera similar, se utilizó la técnica de síntesis verde para la producción de las SeNPs; fueron mezclados 80 µL de extracto metanólico (concentrado CHE) con 10 mL de Na₂SeO₃ a una concentración de 50 mg/mL. La solución fue mezclada con agitación magnética a 1200 rpm, a 40°C por 40 minutos, finalmente, la reacción fue almacenada a 4°C.

Tratamientos implementados

Se implementaron siete tratamientos en ocho macetas cada uno. En cada maceta se sembraron 5 semillas de frijol variedad GR-04; 14 días después, se retiraron dos plantas por maceta, cuya apariencia se distanciaba más del resto. El criterio para la elección fue el tamaño de hoja y la altura de la planta. Se utilizaron tres tratamientos diferentes a dos niveles de concentración más un testigo (ilustración 2). Los tratamientos fueron disueltos en agua; además, se agregó 1 mL de tween 20, con el fin de mejorar la dispersión del tratamiento; estos tratamientos se aplicaron en los cultivos de manera foliar, hasta conseguir el punto de rocío en cada hoja.

Número de tratamiento	Tipo de tratamiento	Concentración [µM]
1	Se	20
2	Se	50
3	SeNPs (COF)	20
4	SeNPs (COF)	50
5	SeNPs (CHE)	20
6	SeNPs (CHE)	50
7	Testigo	0

Ilustración 2: Tipos de tratamientos

Resultados y discusión

En las ilustraciones 3 y 4 se examina, mediante análisis EDS (Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva, por sus siglas en inglés) las muestras COF y CHE (respectivamente), es

posible comprobar la proporción de la composición de cada muestra. En las ilustraciones 5 y 6 se analizó por micrografía MEB (Microscopio Electrónico de Barrido, JEOL JMS-6010LA) las muestras COF y CHE (respectivamente), consiguiendo observar el tamaño y la textura de las muestras después de liofilización; el tamaño promedio de la muestra COF es de 3.31 μm , el de CHE es de 1.33 μm . En las ilustraciones 7 y 8 se encuentran las gráficas de la distribución de tamaño de partícula de las muestras COF y CHE (respectivamente), (Analizadas con Litesizer 500, AntonPark); el tamaño promedio de la muestra COF es de 133 nm y el de CHE es de 8 nm. La diferencia del tamaño de las partículas analizadas por el MEM

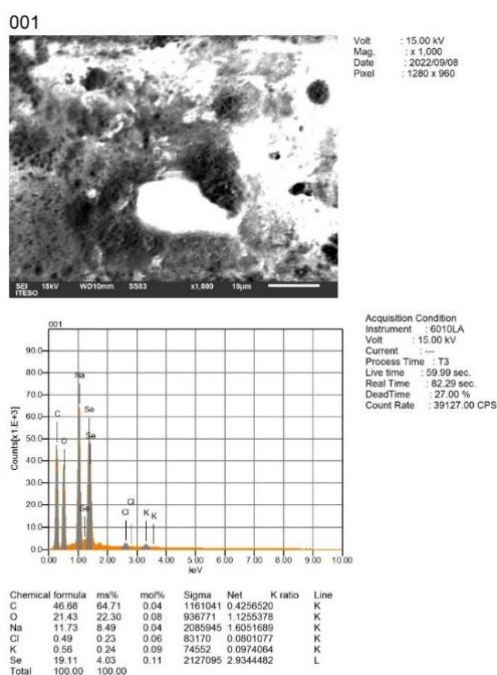
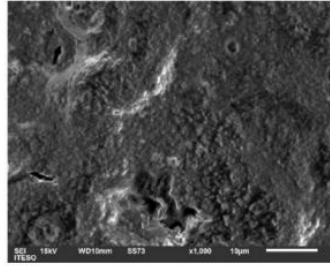
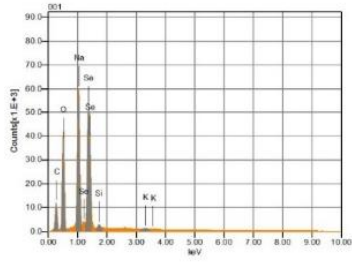


Ilustración 3: Análisis con EDS al tratamiento COF

001



Volt : 15.00 kV
Mag. : x 1,000
Date : 2022/09/08
Pixel : 1280 x 900



Acquisition Condition
Instrument : 6010LA
Volt : 15.00 kV
Current : -
Process Time : T3
Live time : 60.00 sec.
Real Time : 79.51 sec.
DeadTime : 24.00 %
Count Rate : 33599.00 CPS

Chemical formula	ms%	mo%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	24.38	41.71	0.10	267264	0.1052970	K
O	27.49	35.29	0.10	1026819	1.2355296	K
Na	16.05	14.34	0.06	1933559	1.4878572	K
Si	0.52	0.38	0.10	52479	0.0376643	K
K	0.29	0.15	0.14	25251	0.0329893	K
Se	31.27	8.13	0.17	2247969	3.1006832	L
Total	100.00	100.00				

Ilustración 4: Análisis con EDS al tratamiento CHE

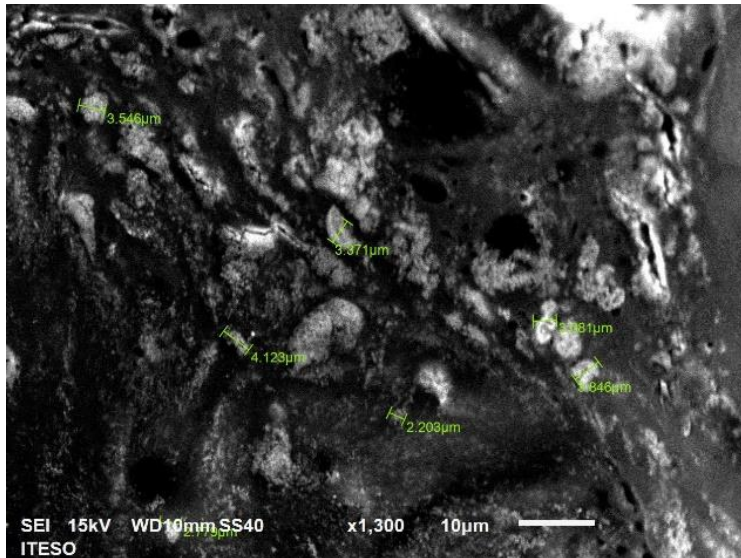


Ilustración 5: Mediciones de partícula del tratamiento COF

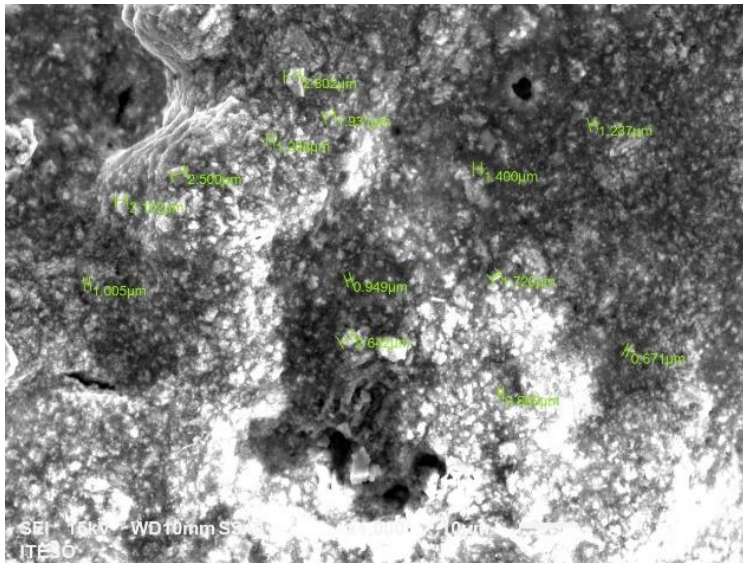


Ilustración 6: Mediciones de partícula del tratamiento CHE

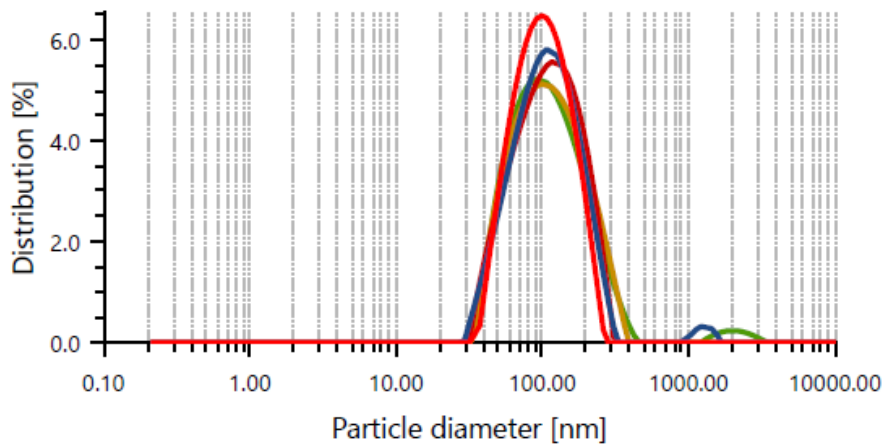


Ilustración 7: Tamaño de partícula de la muestra COF

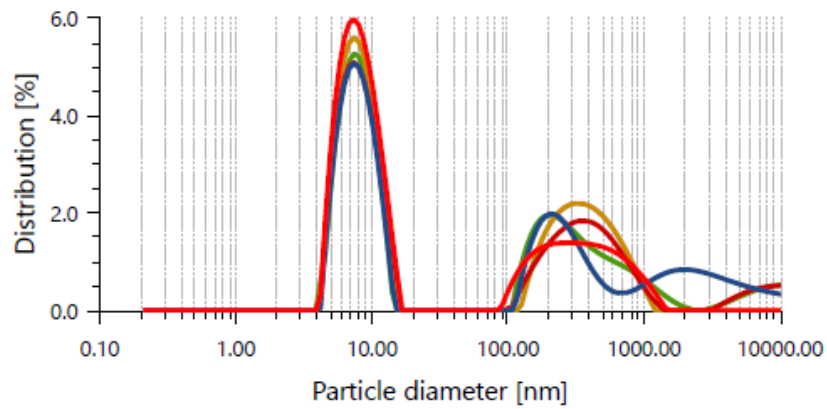


Ilustración 8: Tamaño de partícula de la muestra CHE

De los resultados presentados en la ilustración 9 (brote de flores), ilustración 10 (cantidad de vainas) y en la ilustración 11 (tamaño promedio de plantas por tratamiento), se puede comparar el desempeño de los tratamientos con las SeNPs con respecto al testigo. Como es posible observar en la ilustración 12 (impacto porcentual de los tratamientos con respecto a los cultivos testigo), que los tratamientos CHE a 20 μM y COF a 50 μM produjeron los mejores resultados en comparación del testigo con mayor número de flores, vainas y altura de la planta. Por otro lado, en la ilustración 13 se puede observar el tamaño de una planta promedio de cada cultivo (en ambas concentraciones de los tratamientos) con respecto al testigo; la planta tratada con CHE a 20 μM (imagen 13.B) es la más frondosa, por otro lado, la planta tratada con COF a 50 μM (imagen 13.C) fue la más alta. Respecto a la ilustración 9, cabe mencionar que, si bien la cantidad de flores en un cultivo puede ser relevante, lo más destacado de esta prueba es la velocidad con la que empezaron a brotar las flores en cada caso, un brote temprano de flores puede significar una germinación temprana.

Tratamiento	Plantas observadas
Testigo	2
Se 20	4
Se 50	4
Che 20	6
Che 50	2
COF 20	1
COF 50	3

Ilustración 9: Brote de flores. Cantidad de plantas con brotes. Datos tomados el 20/Oct/2022

Tratamiento	Plantas con vainas	Vainas totales	Promedio de vainas por planta
Testigo	2	10.0	5.0
Se 20	3	10.0	3.3
Se 50	4	16.0	4.0
Che 20	7	56.0	8.0
Che 50	3	11.0	3.7
COF 20	3	7.0	2.3
COF 50	7	17.0	2.4

Ilustración 10: Brote de vainas. Cantidad de plantas con vainas y promedio de vainas por tratamiento. Datos tomados el 27/Oct/2022

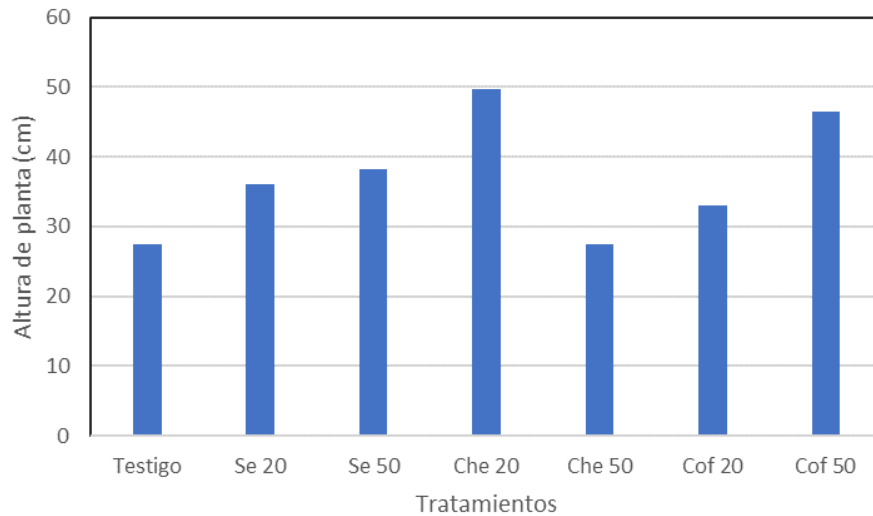


Ilustración 11: Tamaño promedio de plantas por tratamiento. Datos recolectados el 1/Nov/2022

Prueba	CHE 20 μM	COF 50 μM	Se 50 μM
Flores	200	50	100
Vainas	460	70	60
Altura	76.79	67.86	39.29

Ilustración 12: Ventaja porcentual de cada tratamiento respecto al testigo. Fueron elegidos los mejores resultados de cada tratamiento para la comparación.



A

B

C

Ilustración 13: Comparación de tamaño de cada tratamiento con respecto a una planta testigo. En cada imagen, de izquierda a derecha, están ordenadas por testigo, tratamiento a 20 μM y tratamiento a 50 μM . Imagen 13.A corresponde a plantas tratadas con selenio, la imagen 13.B al tratamiento CHE y la imagen 13.C al tratamiento COF

Conclusiones

Los resultados sugieren, por lo tanto, que las nuevas alternativas nanotecnológicas como las nanopartículas pueden resultar en una solución a la problemática planteada, al aumentar la producción de la planta (tamaño y cantidad de vainas). Las pruebas implementadas demuestran que el tratamiento CHE a 20 μM es la mejor de todas las alternativas planteadas, obteniendo los mejores rendimientos en las plantas tratadas.

La diferencia de los resultados promedio de los cultivos tratados con CHE y con COF pueden deberse al tamaño de partícula, de 8 y de 133 nm, respectivamente. Se concluye prospectando que, a menor tamaño de la partícula, más fácilmente la partícula podrá atravesar los poros de las hojas. Por lo que un tratamiento que utilice tamaños de partículas pequeños (como el tratamiento CHE, con 8 nm) a baja concentración (20 μM) puede proveer a la planta de selenio a un grado donde es beneficioso para la misma. Siguiendo esa misma línea de pensamiento, un tratamiento semejante, pero a mayor concentración podría generar efectos adversos en la planta. Finalmente, también se concluye que el tratamiento COF a 50 μM fue beneficioso para los cultivos puesto que, aunque su concentración era mayor, al tener un mayor tamaño de partícula se dificulta la absorción del selenio en las hojas de la planta

Por otro lado, con el fin de comprender con mayor profundidad el impacto de los tratamientos CHE y COF en los cultivos, es necesario cuantificar la masa seca de los cultivos a los que se les ha aplicado los tratamientos, una vez que estos han terminado su ciclo de vida. Este último aspecto no pudo completarse debido a que, a la fecha en la que se escribió el presente trabajo, los cultivos no han terminado su ciclo de vida, el cual, se estima, pasará dentro de 2 a 3 semanas posteriores a la entrega del documento. La cuantificación de la masa seca de los cultivos es una prueba que nos permitiría ilustrar el probable impacto de los tratamientos en diversos tipos de plantas, por lo que se sugiere para futuras investigaciones realizar este análisis.

Bibliografía

[1] J. P. Gustafson, P. H. Raven, y P. R. Ehrlich, *Population, Agriculture, and Biodiversity: Problems and Prospects*. University of Missouri Press, 2020.

- [2] D. Higgitt, «Soil erosion and soil problems», *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.*, vol. 17, n.º 4, pp. 461-472, dic. 1993, doi: 10.1177/030913339301700404.
- [3] E. Zamora, «Algunas Deficiencias Nutricionales en Cultivos Protegidos», *Universidad de Sonora*, 2016. <https://es.scribd.com/document/462943094/ALGUNAS-DEFICIENCIAS-NUTRICIONALES-EN-CULTIVOS-PROTEGIDOS> (accedido 30 de septiembre de 2022).
- [4] Shweta, S. Sood, A. Sharma, S. Chadha, y V. Guleria, «Nanotechnology: A cutting-edge technology in vegetable production», *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, vol. 96, n.º 6, pp. 682-695, nov. 2021, doi: 10.1080/14620316.2021.1902864.
- [5] J. A. Hernández-Díaz *et al.*, «Antibacterial Activity of Biosynthesized Selenium Nanoparticles Using Extracts of *Calendula officinalis* against Potentially Clinical Bacterial Strains», *Molecules*, vol. 26, n.º 19, Art. n.º 19, ene. 2021, doi: 10.3390/molecules26195929.
- [6] S. García-Morales, «Actividad antimicrobiana de NP@Se en plantas ornamentales», 22 de septiembre de 2022.
- [7] J. J. Garza-García, «Síntesis verde de nanopartículas de selenio con actividad antimicrobiana para el control de fitopatógenos y su efecto en ornamentales.», Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, 2021.

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Trabajar en el desarrollo de una alternativa a los bioestimulantes modernos hizo que me percatara de los daños que están relacionados al mal uso de los fertilizantes convencionales. Muy buena parte de los agricultores no cuentan con los recursos para modernizar una infraestructura que les permita aumentar su producción, por lo que se ven obligados a buscar otros métodos más alcanzables, como lo es aumentar la cantidad de fertilizante.

Una sobre nitrificación, por mencionar un ejemplo, tiene repercusiones en los mantos acuíferos subterráneos, pero los agricultores están preocupados por aumentar su producción con métodos que le sean alcanzables. Es por esto por lo que es necesario desarrollar tecnología que no solo pueda aumentar la producción de los cultivos, sino que se debe de hacer accesible.

3.2 Aprendizajes logrados

Apenas se comenzó con el PAP fueron sintetizadas las nanopartículas con un método que era completamente desconocido para mí, la síntesis verde; fue un reto aprender el principio de funcionamiento, puesto que no contaba con la teoría básica. Por otro lado, también fue necesario conocer las bases de la nutrición y la fisiología vegetal, algo ajeno a mi carrera, pero bastante útil para mejorar el proyecto. Finalmente, se aplicó una nueva técnica de caracterización, por medio de DLS se determinó el tamaño de partícula.

3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

	Competencia	Evidencia	Relevancia/Fortaleza *	Competencias nuevas	Competencias potenciadas
Categorizar los elementos, si es un conocimiento, una habilidad, una actitud,	Conocimientos	Bases de tejidos vegetales	Haber cursado la clase "Tejidos de células vegetales"	Comprender la fisionomía vegetal para su mejora	Se utilizó una técnica de síntesis de NP nueva para mí, además de conocer las metodologías con las que se evalúa el impacto de bioestimulantes en las plantas. Mejoró mi habilidad para hacer investigaciones bibliográficas, redacción de reportes y habilidades generales en el laboratorio.
		Bases de nutrición vegetal	Haber cursado la clase "Tejidos de células vegetales"	Comprender el principio de transmisión de nutrientes de las plantas	
		Síntesis química de NP	Haber cursado clases pertinentes, así como trabajo	El proyecto partirá desde la síntesis de NP, por lo que será muy útil	
	Habilidades	Manejo de material de laboratorio químico	Materias cursadas y experiencia en el trabajo	La síntesis de las NP será química	
		Manejo de equipo de caracterización de NP	Experiencia en el trabajo	Se podrá caracterizar las NP sintetizadas	
	Actitudes	Pasión por los tejidos y nutrición vegetal	Cursos relativos a ello, proyectos personales, etc	Trabajar con un interés genuino	
		Eficiente organización	-	Realizar trabajos en los tiempos apropiados	
		Trabajo en equipo	Equipos de clases y experiencia en el trabajo	Vital para un equipo de investigación	

La síntesis verde fue el tema más relevante, en mi opinión, debido a que resuelve de raíz una de las mayores problemáticas de la nanotecnología, sus residuos nanoestructurados. Por otro lado, trabajar en este PAP me permitió darme una idea básica del desarrollo de bioestimulantes/fertilizantes, por lo que ahora tengo nociones de cómo evaluar su efectividad. Asimismo, tantas horas en el laboratorio y en el invernadero me ayudó sustancialmente a mejorar mis habilidades dentro de ambos espacios.