

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Ingeniería en agronomía para la producción sustentable

"Evaluación de la eficacia biológica de una formulación a base de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa"

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:

Ingeniero en Agronomía para la Producción Sustentable

Presenta

Juan Miguel Romero Rodríguez

Director: Dr. Abraham Monteón Ojeda

Co-director: MC. Oscar Castelán López

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, diciembre de 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales
Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo., a 12 de noviembre de 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a él pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía para la Producción Sustentable, **Juan Miguel Romero Rodríguez**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Evaluación de la eficiencia biológica de una formulación a base de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales para el control de Moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
SECRETARIO Dr. Oscar Arce Cervantes
VOCAL 1 Dr. Abraham Monteón Ojeda
VOCAL 2 Biol. Oscar Castelán López

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

ATENTAMENTE
“Amor, Orden y Progreso”




Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
Coordinador del PE de Ingeniería
en Agronomía para la Prod. Sust

c.c.p. Archivo.

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



2025



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo** y al **Instituto de Ciencias Agropecuarias** por brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

Al Programa Académico de **Ingeniería en Agronomía para la Producción Sustentable** por permitir mi formación profesional, académica y personal.

Al Dr. Abraham Monteón Ojeda, director de tesis, por su guía, acompañamiento y valiosas observaciones que enriquecieron esta investigación. Su apoyo académico fue fundamental para la correcta realización de este trabajo.

Al M.C. Óscar Castelán López, codirector, por su asesoría técnica, sus recomendaciones metodológicas y su disponibilidad para orientar el desarrollo experimental y el análisis de resultados.

A los profesores y personal del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales, por contribuir de manera significativa a mi formación durante estos años.

A los productores y colaboradores que facilitaron los frutos y las condiciones necesarias para la realización del estudio en poscosecha.

Finalmente, a mi familia por su apoyo incondicional, su motivación constante y por acompañarme en cada etapa de este proceso académico.

CONTENIDO

RESUMEN.....	6
SUMMARY	7
OBJETIVOS	8
General.....	8
Específicos	8
HIPÓTESIS	8
INTRODUCCIÓN	9
REVISIÓN DE LITERATURA	10
Taxonomía y biología del cultivo.....	10
Importancia económica y social del cultivo.....	10
Daños por plagas y enfermedades en fresa	10
Manejo convencional y limitaciones.....	10
Nanotecnología y control fitosanitario.....	11
Síntesis verde de nanopartículas de selenio	11
Eficacia antifúngica y mecanismos de acción.....	11
Avances recientes y perspectivas.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Ubicación del sitio experimental	13
Establecimiento del ensayo	13
Elemento de prueba y patosistema evaluado	13
Diseño experimental	14
Aplicación de tratamientos.....	14
Evaluación de la efectividad biológica y fitotoxicidad.....	16
Severidad	16
Incidencia	17
Fitotoxicidad	17
Métodos estadísticos y cálculo de eficacia	17
Calendario de actividades	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19

Evaluación previa	19
Primera evaluación	20
Incidencia	20
Severidad	22
Segunda evaluación	25
Incidencia	25
Severidad	26
Tercera evaluación.....	29
Incidencia	29
Severidad	30
Fitotoxicidad	33
DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIONES	37
ANEXO I.....	41

Evaluación de la eficacia biológica de una formulación a base de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa

RESUMEN

El moho gris, causado por *Botrytis cinerea*, es una de las enfermedades pre y poscosecha más devastadoras del cultivo de fresa (*Fragaria × ananassa*), ya que afecta directamente la productividad y calidad del fruto. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia biológica de una formulación a base de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales para el control de esta enfermedad en fresas en condiciones poscosecha. Se compararon tres dosis del fungicida formulado con nanopartículas y extractos botánicos (25, 50 y 100 mL L⁻¹), una dosis de tiabendazol (1,5 mL L⁻¹) y un testigo sin aplicación. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cuatro réplicas. Cada unidad experimental consistió en un contenedor plástico con diez frutos, separados entre sí, para un total de 40 frutos por tratamiento y 200 frutos en cada experimento. Se seleccionaron frutos aparentemente sanos para asegurar una incidencia inicial de la enfermedad del 0% en todas las unidades experimentales. Los frutos fueron lavados y desinfectados; Posteriormente, se inoculó la superficie individualmente con una suspensión de *Botrytis sp.* a una concentración de 1×10^4 conidios mL⁻¹. Los tratamientos experimentales se aplicaron mediante aspersión. Se evaluaron la incidencia y la severidad a los 0, 5, 8 y 15 días después de la aplicación (DDA). Las variables registradas se sometieron a un análisis de varianza y a una prueba de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el programa estadístico SAS System v. 9.1 para determinar la efectividad biológica de los tratamientos.

Keywords: strawberry, efficacy, fungicide, agroecological management, postharvest.

Evaluation of the biological efficacy of a selenium nanoparticle-based formulation synthesized with plant extracts for the control of gray mold (*Botrytis cinerea*) in strawberry fruit

SUMMARY

Gray mold, caused by *Botrytis cinerea*, is one of the most devastating pre- and post-harvest diseases of strawberry (*Fragaria × ananassa*) cultivation, directly impacting fruit productivity and quality. This study aimed to evaluate the biological efficacy of a selenium nanoparticle-based formulation synthesized with plant extracts for controlling this disease in strawberries under post-harvest conditions. Three doses of the fungicide formulated with nanoparticles and botanical extracts (25, 50, and 100 mL L⁻¹), one dose of thiabendazole (1.5 mL L⁻¹), and a control with no application were compared. Treatments were distributed in a completely randomized design with four replicates. Each experimental unit consisted of a plastic container with ten fruits, separated from each other, for a total of 40 fruits per treatment and 200 fruits in each experiment. Apparently healthy fruits were selected to ensure an initial disease incidence of 0% in all experimental units. The fruits were washed and disinfected; subsequently, the surface was individually inoculated with a *Botrytis* sp. suspension at a concentration of 1×10^4 conidia mL⁻¹. The experimental treatments were applied by spraying. Incidence and severity were evaluated at 0, 5, 8, and 15 days after application (DAA). The recorded variables were subjected to analysis of variance and a Tukey test ($p < 0.05$) using the SAS System v. 9.1 statistical software to determine the biological effectiveness of the treatments.

Keywords: strawberry, efficacy, fungicide, agroecologicalmanagement, post-harvest.

OBJETIVOS

General

Evaluar la efectividad biológica de una formulación a base de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales para el control del moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa (*Fragaria × ananassa*) bajo condiciones de poscosecha.

Específicos

- Comparar la efectividad biológica del fungicida formulado con nanopartículas y extractos botánicos con la de un fungicida químico sintético registrado y de uso común en el manejo del moho gris en fresa bajo condiciones de poscosecha.
- Evaluar el efecto fitotóxico del fungicida a base de nanopartículas y extractos botánicos sobre los frutos de fresa (*Fragaria × ananassa*).

HIPÓTESIS

El fungicida formulado con nanopartículas de selenio y extractos botánicos a una dosis de 100 $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ presenta una efectividad biológica comparable a la de tiabendazol para el control de moho gris en frutos de fresa bajo condiciones de poscosecha.

INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria × ananassa*) es uno de los cultivos hortofrutícolas de mayor relevancia económica en México, especialmente en los estados de Michoacán, Guanajuato y Baja California. La variedad 'Albión' ha cobrado importancia por su alta productividad, calidad de fruto y tolerancia relativa a condiciones climáticas variables (Lira & Ruiz, 2023). Sin embargo, la rentabilidad y vida poscosecha del fruto se ven afectadas por la incidencia de enfermedades fúngicas, entre las cuales el moho gris, causado por *Botrytis cinerea*, constituye una de las principales limitantes para la producción comercial. (Álvarez-Medina et al., 2017).

Botrytis cinerea es un hongo necrotrófico de amplia distribución que infecta tejidos florales, hojas y frutos, provocando pudriciones blandas y pérdidas poscosecha que pueden superar el 30 % de la producción total cuando no se aplican medidas de control adecuadas (Roldán, 2011). Tradicionalmente, su manejo se ha basado en el uso intensivo de fungicidas sintéticos; sin embargo, el desarrollo de cepas resistentes, los riesgos toxicológicos y las regulaciones ambientales cada vez más estrictas han impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles y seguras.

En este contexto, la nanotecnología se presenta como una herramienta prometedora dentro del manejo fitosanitario de cultivos. Las nanopartículas de selenio (SeNPs) han mostrado propiedades antimicrobianas y antioxidantes destacadas, capaces de inhibir el crecimiento micelial y la esporulación de diversos fitopatógenos, incluido *B. cinerea* (Campos, 2024). La síntesis verde de SeNPs mediante extractos vegetales representa una alternativa ecológica frente a los métodos químicos convencionales, al reducir el uso de reactivos tóxicos y conferir mayor estabilidad biológica al material sintetizado (Álvarez, 2025).

Diversos estudios reportan que las SeNPs sintetizadas con extractos vegetales pueden inducir mecanismos de defensa en plantas, aumentar la actividad de enzimas antioxidantes y reducir la incidencia de enfermedades poscosecha. Por tanto, evaluar su eficacia biológica en frutos de fresa representa una opción viable y ambientalmente responsable para el control del moho gris. Este estudio busca aportar evidencia experimental sobre el potencial de una formulación basada en nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales para el manejo sostenible de enfermedades fúngicas en la producción de fresa variedad 'Albión' en México.

REVISIÓN DE LITERATURA

Taxonomía y biología del cultivo

El género *Fragaria* pertenece a la familia Rosaceae, orden Rosales, clase Magnoliopsida y división Magnoliophyta, dentro del reino Plantae. La especie cultivada más importante a nivel mundial es *Fragaria × ananassa* Duchesne ex Rozier, híbrido interespecífico originado del cruce entre *F. chiloensis* y *F. virginiana*. Este híbrido combina cualidades agronómicas como alta productividad, frutos grandes y dulces, y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas (Pineda, 2020).

Importancia económica y social del cultivo

El cultivo de fresa es estratégico dentro del sector hortofrutícola mexicano por su alta rentabilidad, generación de empleo y capacidad exportadora. México ocupa el tercer lugar a nivel mundial en exportación de fresa fresca, principalmente hacia Estados Unidos, Canadá y Japón (SADER, 2022). Entre 2010 y 2023, la superficie cultivada creció más del 100 %, alcanzando más de 13 mil hectáreas, impulsada por el aumento de la demanda internacional y la adopción de tecnologías de producción intensiva bajo cubierta (FAO, 2023).

Además de su importancia económica, la fresa tiene un papel relevante en la alimentación humana por su alto contenido de compuestos bioactivos (antocianinas, vitamina C, flavonoides y fenoles), asociados con propiedades antioxidantes y beneficios para la salud (Hamouda, 2024). Por tanto, la conservación de su calidad poscosecha y su inocuidad son aspectos esenciales para mantener la competitividad del producto mexicano.

Daños por plagas y enfermedades en fresa

La fresa es altamente susceptible a diversas enfermedades de origen fúngico y bacteriano, así como al ataque de insectos y ácaros. Entre las enfermedades de mayor impacto económico se encuentran *Botrytis cinerea* (moho gris), *Phytophthora cactorum* (pudrición de corona), *Verticillium dahliae* (marchitez vascular) y *Colletotrichum acutatum* (antracnosis). *Botrytis cinerea* destaca por su amplio rango de hospederos y su capacidad de persistir como esclerocios o micelio latente, lo que dificulta su erradicación completa. Durante la poscosecha, este patógeno puede desarrollarse incluso en condiciones de refrigeración, causando pudrición blanda, pérdida de firmeza y rechazo comercial del fruto. Se estima que las pérdidas ocasionadas por *B. cinerea* pueden superar el 30 % de la producción total (SADER, 2021).

Manejo convencional y limitaciones

Tradicionalmente, el manejo de *B. cinerea* se basa en la aplicación repetida de fungicidas sintéticos (boscalida, fludioxonil, iprodiona, tiabendazol, entre otros). Aunque estos productos suelen ser eficaces, su uso intensivo genera varios problemas, resistencia fúngica por presión selectiva, reduciendo la eficacia con el tiempo, acumulación de residuos químicos en el fruto, que limita la exportación, impactos negativos sobre la microbiota del suelo, polinizadores y salud humana (FAO, 2023) estas limitaciones han impulsado el desarrollo de estrategias de manejo

agroecológico que integren el uso de biofungicidas, extractos vegetales, microorganismos benéficos y nanomateriales con potencial antifúngico (FAO, 2023).

Nanotecnología y control fitosanitario

La nanotecnología aplicada a la agricultura ha mostrado resultados promisorios en el control de enfermedades vegetales y en la mejora de la eficiencia en la liberación de compuestos activos. Las nanopartículas (NPs), por su tamaño reducido (<100 nm) y alta relación superficie/volumen, poseen una reactividad química superior, lo que les confiere propiedades antimicrobianas y antioxidantes significativas.

En particular, las nanopartículas de selenio (SeNPs) han demostrado capacidad para inhibir el crecimiento micelial, alterar la permeabilidad de membranas celulares fúngicas, y generar especies reactivas de oxígeno (ROS) que inducen estrés oxidativo en los patógenos (Abd-Elkader et al., 2021; Hamouda, 2024). Estas partículas pueden interferir también con la germinación de esporas y la formación de biopelículas, dificultando la colonización del hospedero.

Síntesis verde de nanopartículas de selenio

La síntesis verde o biogénica de SeNPs mediante extractos vegetales representa una alternativa ecológica frente a los métodos químicos convencionales, que suelen implicar el uso de reductores tóxicos y altas temperaturas. En la síntesis verde, compuestos naturales como flavonoides, terpenos, fenoles y proteínas actúan como agentes reductores y estabilizantes, dando lugar a nanopartículas más estables y biocompatibles (Song et al., 2025). La investigación de Nowruzi et al. (2023) sintetizaron SeNPs utilizando extractos de cianobacterias, demostrando una fuerte actividad antifúngica contra *Botrytis cinerea*. De igual forma, Desouky et al. (2025) reportaron que nanopartículas de selenio recubiertas con quitina y obtenidas por síntesis verde aumentaron la eficacia antifúngica contra *Sclerotinia spp.*, mejorando la vida útil de los frutos tratados.

Eficacia antifúngica y mecanismos de acción

Los mecanismos de acción de las SeNPs contra hongos fitopatógenos incluyen: interferencia en la integridad celular, provocando fuga de componentes intracelulares, inhibición enzimática de procesos metabólicos esenciales (como síntesis de quitina o respiración mitocondrial). Inducción de defensas en el hospedero, mediante la activación de enzimas antioxidantes (peroxidasa, catalasa, superóxido dismutasa) que fortalecen la respuesta inmune vegetal. Estudios *in vitro* y en frutos poscosecha han mostrado que las SeNPs reducen significativamente la severidad del moho gris, prolongan la firmeza y reducen la pérdida de peso del fruto durante el almacenamiento (Hamouda et al., 2024).

Avances recientes y perspectivas

Diversos estudios han confirmado el potencial de las nanopartículas de selenio (SeNPs) como agentes biofungicidas ecológicos, destacando su eficacia en el control de patógenos de poscosecha y su contribución a la prolongación de la vida útil de los frutos (Hamouda *et al.* 2024) reportaron que las SeNPs con tamaños entre 26 y 39 nm redujeron hasta en un 70 % la incidencia de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa tratados, además de extender su vida de anaquel en diez días con respecto al control no tratado. De manera similar, (Song *et al.*, 2025) mostraron que las SeNPs sintetizadas mediante extractos de *Rosa rugosa* mostraron una eficacia en la inhibición de diversos patógenos de poscosecha en frutos de tomate y fresa, lo que sugiere que los compuestos fenólicos presentes en los extractos vegetales utilizados durante la síntesis pueden potenciar la acción antifúngica del selenio.

Por otra parte, Abd-Elkader *et al.* (2021) destacaron que el selenio, además de su efecto biocida, actúa como un micronutriente esencial que promueve la síntesis de compuestos fenólicos y refuerza la tolerancia de las plantas frente al estrés oxidativo, lo cual contribuye indirectamente a la reducción de infecciones fúngicas. En conjunto, estos hallazgos respaldan el enfoque de que las nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales representan una alternativa sustentable y eficiente frente al uso de fungicidas químicos convencionales. Su aplicación no solo ofrece una estrategia eficaz para el manejo de enfermedades en poscosecha, sino que también reduce el impacto ambiental y favorece la aceptación social de prácticas agrícolas más seguras y sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en condiciones de poscosecha en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los ensayos se realizaron en laboratorio bajo condiciones controladas de humedad relativa ($50 \pm 5\%$), temperatura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$).

Establecimiento del ensayo

El experimento se desarrolló en el laboratorio de manejo poscosecha del Colegio de Postgrados, campus Montecillo, Estado de México, localizado en las coordenadas $19^\circ 27'46.0''\text{ N}$ y $98^\circ 54'15.4''\text{ O}$ (equivalente a $19.462763, -98.904279$) (Figura 1). El ensayo se estableció utilizando contenedores plásticos de tipo comercial, con el propósito de simular las condiciones normales de almacenamiento poscosecha.

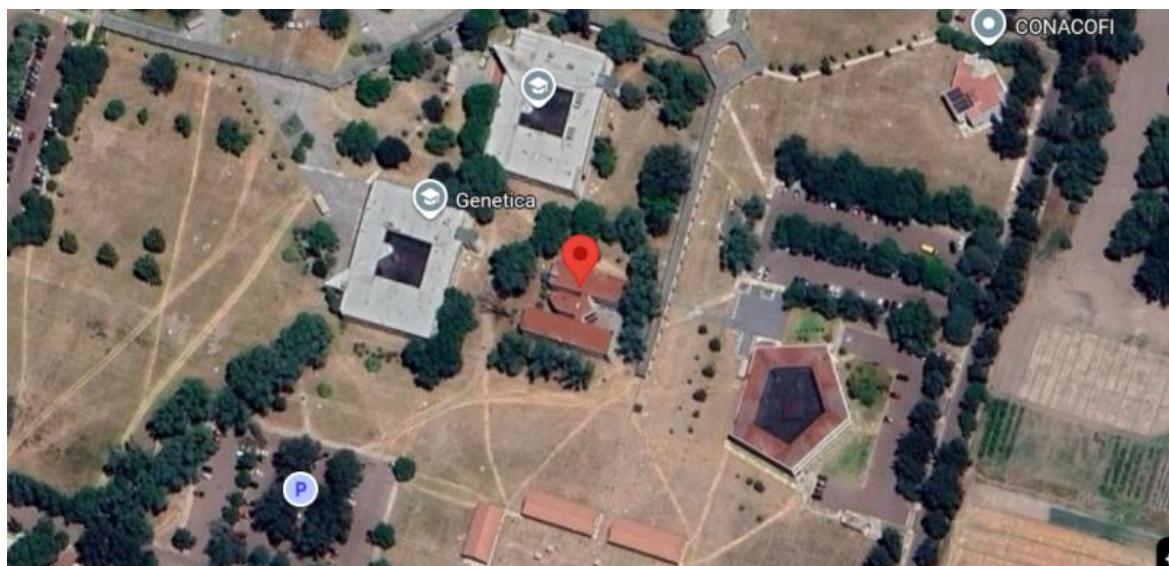


Figura 1. Imagen satelital en donde se localiza el laboratorio en donde se desarrolló el estudio.

Elemento de prueba y patosistema evaluado

Se evaluaron tres dosis del fungicida formulado con nanopartículas de selenio y extracto botánico de *Calendula officinalis*, un fungicida químico sintético de uso común y un testigo absoluto (sin aplicación). Posteriormente, los contenedores plásticos se cerraron herméticamente con sus tapas y se mantuvieron bajo condiciones similares a las de los almacenes comerciales. Las evaluaciones de incidencia y severidad de la enfermedad se realizaron a los 0, 5, 8 y 15 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA).

El fungicida evaluado (elemento de prueba) es una formulación en solución acuosa a base de nanopartículas de selenito de sodio (0.128 %), ácido ascórbico (0.704 %) y extracto de *Calendula officinalis* (0.12 %). Este producto se clasifica como fungicida misceláneo debido a su bajo o nulo

impacto ambiental y a su reducida toxicidad en mamíferos. Fue empleado para evaluar su efecto sobre el moho gris, enfermedad causada por el hongo *Botrytis cinerea*, patógeno asociado al cultivo de fresa (*Fragaria × ananassa*).

Se colectaron muestras para el establecimiento de aislamientos monospóricos e identificación con base en las características morfológicas típicas de los ascomicetos, de acuerdo con Bailey y Jeger (1992), Barnett y Hunter (1998) y Campo et al. (2020).

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento, lo que conformó un total de 20 unidades experimentales (UE). Cada unidad experimental consistió en un contenedor plástico con diez frutos, manteniendo separación entre ellos, para un total de 40 frutos por tratamiento y 200 frutos en todo el experimento.

Aplicación de tratamientos

Se seleccionaron frutos aparentemente sanos para asegurar un porcentaje de incidencia inicial de enfermedad del 0 % en todas las unidades experimentales. Los frutos se lavaron durante tres minutos en una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm y, posteriormente, se sumergieron por tres minutos en agua destilada estéril. Luego se dejaron secar a temperatura ambiente y se distribuyeron en cinco lotes correspondientes a los tratamientos. Cada lote se colocó en contenedores plásticos con toallas de papel secas en el fondo.

A continuación, la superficie de cada fruto se inoculó individualmente con 100 μ L de una suspensión de una cepa de *Botrytis cinerea* previamente aislada e identificada a una concentración de 1×10^4 conidios mL^{-1} . Posteriormente, se aplicaron los tratamientos experimentales mediante aspersión, consistentes en tres dosis del fungicida formulado con nanopartículas de selenio y extractos vegetales de *Calendula officinalis*, un testigo (tiabendazol) y un testigo absoluto (sin aplicación). Se realizó únicamente una aplicación de los tratamientos, los cuales se enlistan en el Cuadro 1.

Finalmente, los contenedores plásticos se cerraron con sus respectivas tapas y se mantuvieron bajo condiciones similares a las de los almacenes comerciales. Las evaluaciones de incidencia y severidad se realizaron a los 0, 5, 8 y 15 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa (*Fragaria × ananassa*) bajo condiciones de poscosecha controladas, México, 2024

Tratamientos	Dosis
T1. fungicida (nanopartículas de selenio + extracto de <i>Calendula officinalis</i>)	25 mL L ⁻¹ de agua
T2. fungicida (nanopartículas de selenio + extracto de <i>Calendula officinalis</i>)	50 mL L ⁻¹ de agua
T3. fungicida (nanopartículas de selenio + extracto de <i>Calendula officinalis</i>)	100 mL L ⁻¹ de agua
T4. Tiabendazol	1.5 mL L ⁻¹ de agua
T5. Testigo absoluto	-----

Se seleccionó tiabendazol como testigo regional debido a que su ingrediente activo está registrado para el control en poscosecha de diversos patosistemas, incluyendo afectaciones por moho gris (*Botrytis spp.*) en manzano, peral, tejocote y membrillo, así como por *Penicillium spp.* en cítricos. Además, controla enfermedades como pudrición de la corona (*Ceratocystis paradoxa*, *Fusarium roseum*), antracnosis (*Colletotrichum musae*) y pudrición del fruto (*Deightoniella torulosa*) en fresa. Cabe mencionar que tanto el manzano como la fresa pertenecen al orden Rosales y a la familia Rosaceae, por lo que están estrechamente emparentados. El testigo regional es un producto ampliamente utilizado en pre y poscosecha en regiones productoras de fresa en Puebla, Morelos y Michoacán.



Figura 2. Instalación del experimento en laboratorio, en condiciones de poscosecha.

Evaluación de la efectividad biológica y fitotoxicidad

La evaluación se centró en el monitoreo de la incidencia y severidad de moho gris en las unidades experimentales. Inicialmente, se seleccionaron frutos sanos para asegurar un porcentaje de incidencia inicial del 0 % en todas las unidades. Posteriormente, se realizaron evaluaciones de eficacia de control a los 5, 8 y 15 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA).

De cada unidad experimental se revisaron diez frutos, evaluándose tanto la incidencia como la severidad de la enfermedad, lo que resultó en un tamaño de muestra de 40 frutos por tratamiento y 200 frutos en total para todo el ensayo.

Los datos obtenidos de porcentaje de incidencia y severidad se sometieron a análisis de varianza y a prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey ($\alpha = 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS v. 9.1. El análisis se realizó de forma independiente para cada evaluación.

Severidad

Los frutos de fresa con síntomas de moho gris (*Botrytis cinerea*) en cada contenedor se evaluaron individualmente utilizando la escala de ocho clases validada por Huang *et al.*, (2011), como se muestra a continuación:

Clase	Porcentaje de daño (%)
0	0
1	<12.5
2	12.6 a 25.0
3	25.1 a 37.5
4	37.6 a 50.0
5	50.1 a 62.5
6	62.6 a 75.0
7	75.1 a 87.5
8	87.6 a 100%

El porcentaje de severidad se calculó mediante la fórmula de Vanderplank (1968):

$$s(\%) = \frac{\sum i}{N(V_{max})} \times 100$$

Donde:

s = Porcentaje de severidad

$\sum i$ = Sumatoria de los valores observados

N = Número de frutos evaluados

V_{max} = Valor máximo de la escala

Incidencia

Incidencia promedio (IP): La incidencia promedio (IP) se evaluó mediante la presencia o ausencia de signos del patógeno en los frutos y se calculó con la siguiente fórmula (Molina et al., 2006):

$$IP = \frac{\sum_{j=1}^J \frac{n_j}{N_j}}{R}$$

Donde n_j corresponde a la cantidad de frutos con presencia moho gris (*B. cinerea*) en la repetición j , N_j cantidad total de frutos en la repetición j y R cantidad de repeticiones por tratamiento (Molina et al., 2006).

Fitotoxicidad

Dado que el estudio se realizó en frutos bajo condiciones controladas de poscosecha, la fitotoxicidad se registró con base en la presencia de efectos adversos de los tratamientos sobre los frutos. Para determinar la fitotoxicidad, se evaluaron síntomas como necrosis o cambios de coloración en los frutos, incluyendo blanqueamiento, oscurecimiento, enrojecimiento o decoloración localizada (manchas internas o externas). La determinación se realizó con base en la escala propuesta por la *European Weed Research Society* (EWRS), expresando los resultados en porcentaje de fitotoxicidad sobre las unidades experimentales como se muestra a continuación:

Valor puntual	Efecto sobre el cultivo	% de fitotoxicidad al cultivo
1	Sin efecto	0
2	Síntomas muy ligeros	1.0 - 3.5
3	Síntomas ligeros	3.5 - 7.0
4	Síntomas sin daños en rendimiento	7.0 - 12.5
5	Daño medio	12.5 – 20
6	Daños elevados	20 – 30
7	Daños muy elevados	30 – 50
8	Daños severos	50 – 99
9	Muerte completa	100

Métodos estadísticos y cálculo de eficacia

Los datos de incidencia y severidad obtenidos en cada unidad experimental y por fecha se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias múltiples utilizando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), empleando el paquete estadístico SAS v. 9.1. Previamente, se verificaron los supuestos de los análisis: homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la independencia de las observaciones, asegurada por la aleatorización de los tratamientos en las unidades experimentales.

El porcentaje de eficacia de los tratamientos se calculó mediante la fórmula de Abbott:

$$\% \text{eficacia} = \frac{IT - it}{IT} \times 100$$

Donde:

- IT = Incidencia o severidad en el testigo absoluto
- it = Incidencia o severidad en el tratamiento evaluado

Debido al incremento de la senescencia de los frutos en las etapas finales del estudio y con el fin de obtener datos de calidad, se consideraron únicamente tres evaluaciones para el cálculo de eficacia.

Calendario de actividades

Cuadro 2. Calendario de actividades del estudio sobre la efectividad biológica de una formulación a base de nanopartículas de selenio y extractos vegetales para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa (*Fragaria × ananassa*) bajo condiciones de poscosecha, 2024

Actividad	Fecha
Evaluación previa y aplicación de tratamientos	01 – marzo - 2024
Primera evaluación	06 – marzo - 2024
Segunda evaluación	09 - marzo - 2024
Tercera evaluación	16 – marzo - 2024

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación previa

En el Cuadro 3 se aprecia los resultados obtenidos en la evaluación previa. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) realizada a la INCIDENCIA, se observa la conformación de una sola agrupación para todos los tratamientos debido a que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ellos, esto se debe a que la distribución inicial de la enfermedad es homogénea en todas las unidades experimentales. La incidencia inicial de la enfermedad observada en los frutos al momento de la instalación del experimento fue de 0%. Con respecto de la prueba de comparación múltiple de medias por el método de Tukey, todos los tratamientos fueron conjuntados en un mismo grupo estadístico, el cual fue denominado “A”.

Cuadro 3. Resultados del análisis de la evaluación previa de la INCIDENCIA en el estudio de evaluación de la efectividad biológica del fungicida a base de nanopartículas + extractos botánicos para el control de Moho gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo de Fresa (*Fragaria × ananassa*) en condiciones de poscosecha.

Tratamientos	Dosis	Severidad
		Tukey ($\alpha = 0.05$)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	25 mL*L ⁻¹	A
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	50 mL*L ⁻¹	A
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	100 mL*L ⁻¹	A
T4. Tiabendazol	1.5 mL*L ⁻¹	A
T5. Testigo absoluto	NA	A

Lo anterior indica que el nivel de incidencia es similar en todas las unidades experimentales.



Figura 3. Estado de los frutos en las unidades experimentales al inicio del ensayo.

Primera evaluación

Incidencia

Los resultados de la primera evaluación de incidencia se muestran en el Cuadro 4. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos con la misma letra o agrupación son estadísticamente iguales. Bajo el criterio anterior se tienen cinco agrupaciones diferentes. El tratamiento que presentó menor incidencia fue el T4 (Tiabendazol, $1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) que registró un promedio de porcentaje de incidencia de 3%. Segundo, los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) obtuvieron 10 y 20 % de incidencia. Por último, el tratamiento T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) registró un promedio de 45% de incidencia por unidad experimental. El testigo absoluto obtuvo la mayor incidencia con un promedio de 65%.

Cuadro 4. Resultados del análisis de la INCIDENCIA de la primera evaluación del estudio de la efectividad biológica del fungicida a base de nanopartículas + extractos botánicos para el control de Moho gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo de Fresa (*Fragaria × ananassa*) en condiciones de poscosecha, 2024.

Tratamientos	Dosis Kg o mL*L ⁻¹	Incidencia		
		Tukey ($\alpha =$ 0.05)	Promedio	Eficacia (%)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	25 mL*L ⁻¹	B	45%	31%
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	50 mL*L ⁻¹	C	20%	69%
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	100 mL*L ⁻¹	D	10%	85%
T4. Tiabendazol	1.5 mL*L ⁻¹	D	3%	96%
T5. Testigo absoluto	NA	A	65%	0%
PR > F				<.0001

En la Figura 4 se muestra la gráfica obtenida en la primera evaluación, en las cuales se observa el efecto de los tratamientos sobre la incidencia de la enfermedad.

T4 (Tiabendazol, 1.5 mL*L⁻¹ de agua) registró la mejor eficacia con un 96%, seguido los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 100 mL*L⁻¹ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 50 mL*L⁻¹ de agua) quienes obtuvieron 85 y 69% respectivamente, por otro lado, el T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 25 mL*L⁻¹ de agua) obtuvo 31% de eficacia; finalmente se agrega que todos los tratamientos superaron significativamente el control de la enfermedad en comparación con testigo absoluto.

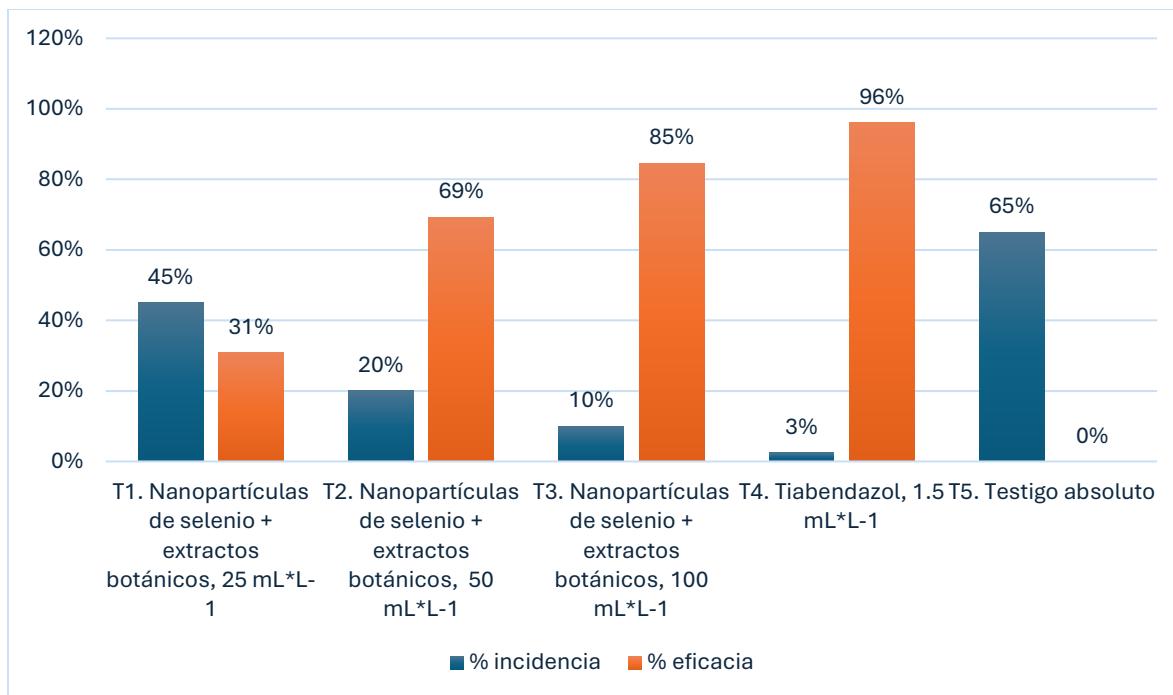


Figura 4. Primera evaluación de incidencia. Promedio de INCIDENCIA y eficacias de control en la primera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

Severidad

Los resultados de la primera evaluación de severidad se muestran en el Cuadro 5. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos con la misma letra o agrupación son estadísticamente iguales.

El tratamiento que presentó menor severidad fue el T4 (Tiabendazol, 1.5 mL*L^{-1} de agua) que registró un promedio de 0.08 de la escala de severidad. Segundo, los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 100 mL*L^{-1} de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 50 mL*L^{-1} de agua) que obtuvieron 0.23 y 0.50 de la escala de severidad. Por último, el tratamiento T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 25 mL*L^{-1} de agua) registró un promedio de 1.43 de severidad. El testigo absoluto obtuvo la mayor severidad con un promedio de 1.8.

Cuadro 5. Primera evaluación de severidad. Resultados del análisis realizado a la información de SEVERIDAD recolectada durante la primera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

TRATAMIENTOS	DOSES	Severidad		
		Tukey ($\alpha=0.05$)	promedio	Eficacia (%)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	25 mL*L ⁻¹	A	1.43	21%
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	50 mL*L ⁻¹	B	0.50	72%
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	100 mL*L ⁻¹	B	0.23	88%
T4. Tiabendazol	1.5 mL*L ⁻¹	B	0.08	96%
T5. Testigo absoluto	NA	A	1.80	0%
PR>F		<.0001		

En la Figura 5, se muestra la gráfica obtenida en la primera evaluación de severidad, en las cuales se observa el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la enfermedad.

T4 (Tiabendazol, 1.5 mL*L⁻¹ de agua) registró la mejor eficacia con un 93%, seguido los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 100 mL*L⁻¹ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 50 mL*L⁻¹ de agua) obtuvieron 90 y 80% respectivamente, por otro lado, T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 25 mL*L⁻¹ de agua) el obtuvo 45% de eficacia; finalmente se agrega que todos los tratamientos superaron significativamente el control de la enfermedad en comparación con testigo absoluto.

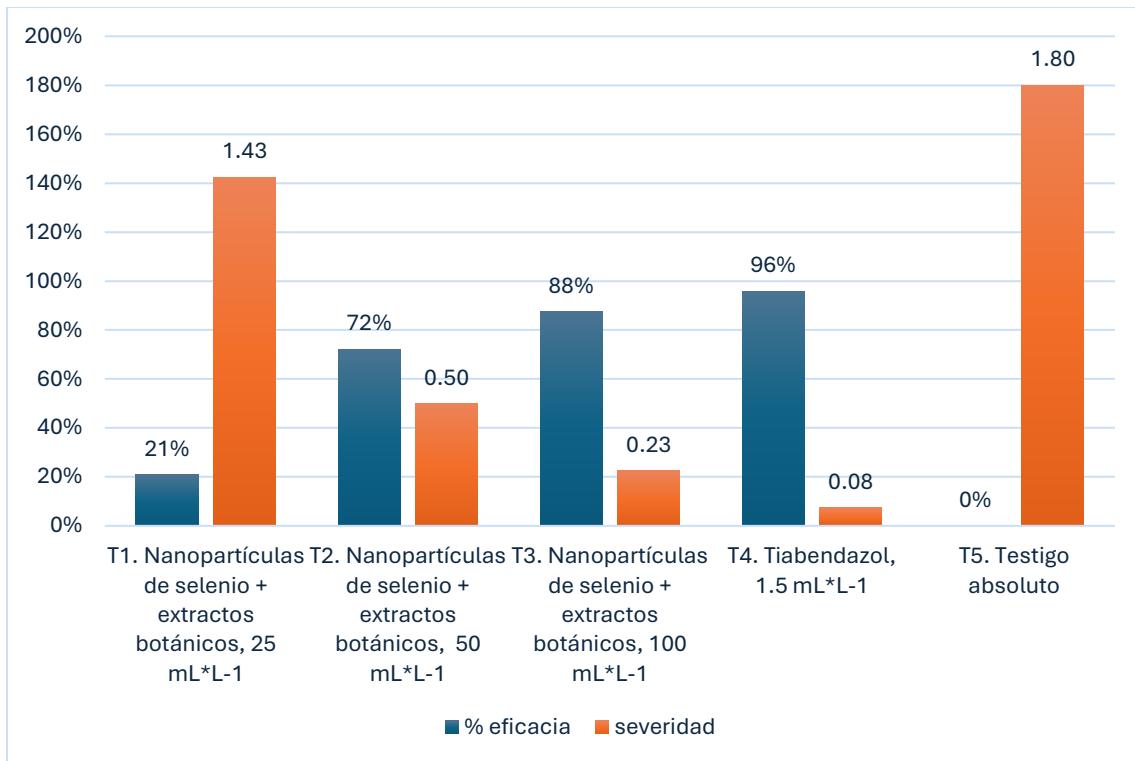


Figura 5. Primera evaluación de severidad. Promedio de SEVERIDAD y eficacias de control en la primera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.



Figura 6. Estado de los frutos en las unidades experimentales durante la primera evaluación de tratamientos.

Segunda evaluación

Incidencia

Los resultados de la segunda evaluación de incidencia se muestran en el Cuadro 6. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos con la misma letra o agrupación son estadísticamente iguales. El tratamiento que presentó menor incidencia fue el T4 (Tiabendazol, $1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) que registró un promedio de porcentaje de incidencia de 18%. Segundo, los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) obtuvieron 33 y 40% de incidencia. Por último, el tratamiento T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) registró un promedio de 58% de incidencia por unidad experimental. El testigo absoluto obtuvo la mayor incidencia con un promedio de 93%.

Cuadro 6. Segunda evaluación de incidencia. Resultados del análisis realizado a la información de INCIDENCIA recolectada durante la segunda evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

TRATAMIENTOS	DOSIS	Tukey ($\alpha=0.05$)	Incidencia % promedio	Eficacia (%)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	$25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	B	58%	38%
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	$50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	C	40%	57%
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	$100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	D	33%	65%
T4. Tiabendazol	$1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	D	18%	81%
T5. Testigo absoluto	NA	A	93%	0%
PR>F			<.0001	

En la Figura 7 se muestra la gráfica obtenida en la segunda evaluación, en las cuales se observa el efecto de los tratamientos sobre la incidencia de la enfermedad.

T4 (Tiabendazol, $1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) registró la mejor eficacia con un 81%, seguido de tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) obtuvieron 65 y 57% respectivamente, por otro lado, el T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) obtuvo 38% de eficacia; finalmente se agrega que todos los tratamientos superaron significativamente el control de la enfermedad en comparación con testigo absoluto.

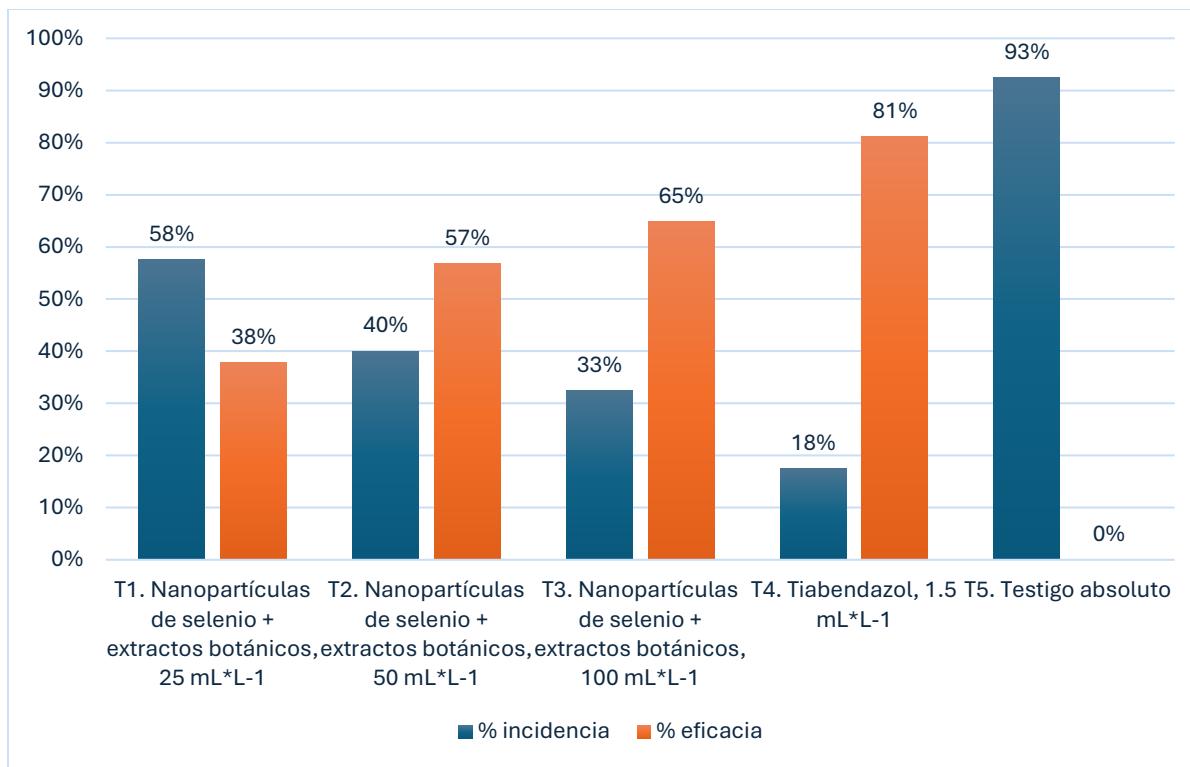


Figura 7. Segunda evaluación de incidencia. Promedio de INCIDENCIA y eficacias de control en la segunda evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas. Guerrero, 2024.

Severidad

Los resultados de la segunda evaluación de severidad se muestran en el Cuadro 7. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos con la misma letra o agrupación son estadísticamente iguales.

El tratamiento que presentó menor severidad fue el T4 (Tiabendazol, 1.5 mL*L⁻¹ de agua) que registró un promedio de 0.6 de la escala de severidad; de forma similar, el T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula sp.*, 100 mL*L⁻¹ de agua) alcanzó una severidad de 1.03. El tratamiento T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula sp.*, 50 mL*L⁻¹ de agua) alcanzó 1.38 de severidad, y finalmente el T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula sp.*, 25 mL*L⁻¹ de agua) registró un promedio de 1.8 de severidad. El testigo absoluto obtuvo la mayor severidad con un promedio de 3.83.

Cuadro 7. Segunda evaluación de severidad. Resultados del análisis realizado a la información de SEVERIDAD recolectada durante la segunda evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

TRATAMIENTOS	DOSIS	Tukey ($\alpha=0.05$)	Severidad promedio	Eficacia (%)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	25 mL*L ⁻¹	B	1.80	53%
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	50 mL*L ⁻¹	C	1.38	64%
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	100 mL*L ⁻¹	C	1.03	73%
T4. Tiabendazol	1.5 mL*L ⁻¹	C	0.60	84%
T5. Testigo absoluto	NA	A	3.83	0%
PR>F			<.0001	

En la Figura 8, se muestra la gráfica obtenida en la segunda evaluación de severidad, en las cuales se observa el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la enfermedad. T4 (Tiabendazol, 1.5 mL*L⁻¹ de agua) registró la mejor eficacia con un 84%, seguido los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 100 mL*L⁻¹ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 50 mL*L⁻¹ de agua) quienes obtuvieron eficacias del 73 y 64% respectivamente. Finalmente, el tratamiento T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 25 mL*L⁻¹ de agua) obtuvo 53% de eficacia. Todos los tratamientos superaron significativamente al testigo absoluto.

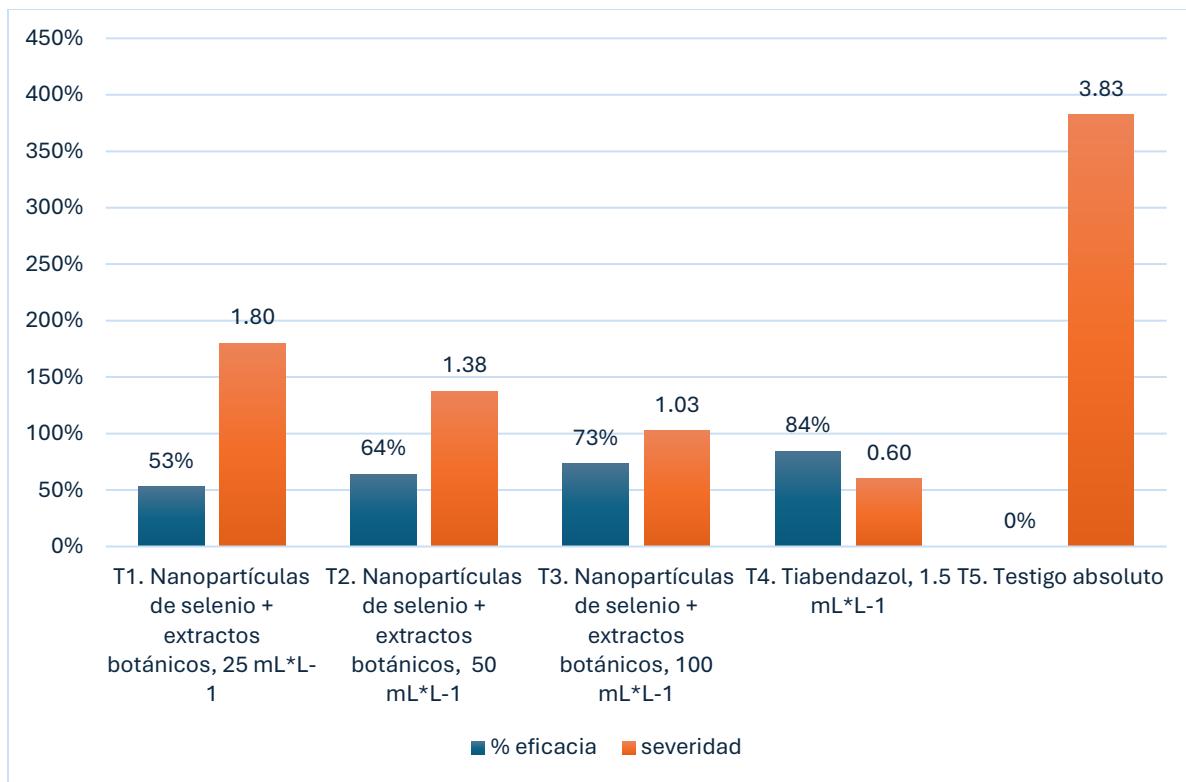


Figura 8. Segunda evaluación de severidad. Promedio de SEVERIDAD y efficacias de control en la segunda evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.



Figura 9. Estado de los frutos en las unidades experimentales durante la segunda evaluación de tratamientos.

Tercera evaluación

Incidencia

Los resultados de la tercera evaluación de incidencia se muestran en el Cuadro 8. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos con la misma letra o agrupación son estadísticamente iguales. Bajo el criterio anterior se tienen cinco agrupaciones diferentes.

El tratamiento que presentó menor incidencia fue el T4 (Tiabendazol, $1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) que registró un promedio de porcentaje de incidencia de 45%. Segundo, los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) y obtuvieron 50 y 63 % de incidencia. Por último, el tratamiento T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) registró un promedio de 80% de incidencia por unidad experimental. El testigo absoluto obtuvo la mayor incidencia con un promedio de 100%.

Cuadro 8. Tercera evaluación de incidencia. Resultados del análisis realizado a la información de INCIDENCIA recolectada durante la tercera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

TRATAMIENTOS	DOSIS	Incidencia		
		Tukey ($\alpha=0.05$)	%	Eficacia (%)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	$25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	B	80%	20%
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	$50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	C	63%	38%
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	$100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	D	50%	50%
T4. Tiabendazol	$1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$	D	45%	55%
T5. Testigo absoluto	NA	A	100%	0%
PR>F		<.0001		

En la Figura 10 se muestra la gráfica obtenida en la tercera evaluación de incidencia, en las cuales se observa el efecto de los tratamientos sobre la incidencia de la enfermedad.

T4 (Tiabendazol, $1.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) registró la mejor eficacia con un 55%, seguido los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) obtuvieron 50 y 38% respectivamente, por otro lado, el T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., $25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua) obtuvo 20% de eficacia; finalmente se agrega que todos los tratamientos superaron significativamente el control de la enfermedad en comparación con testigo absoluto.

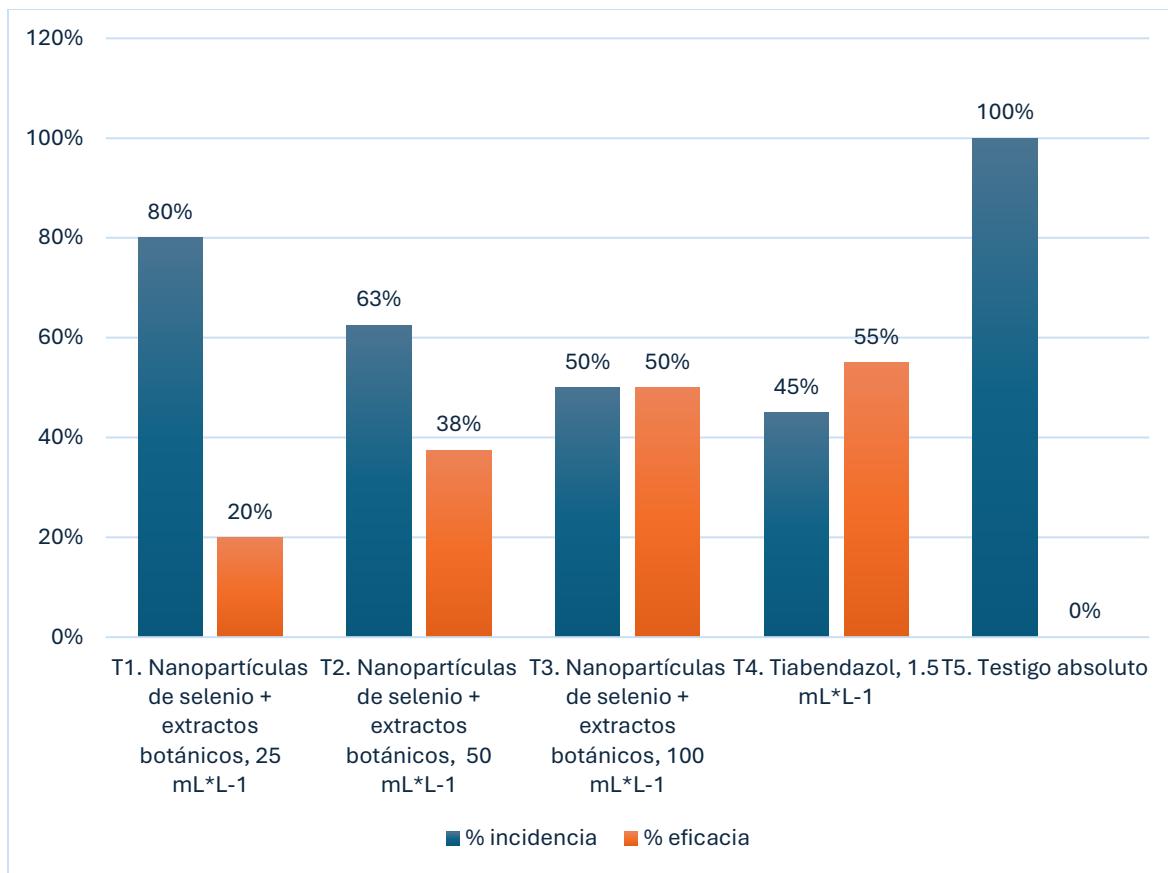


Figura 10. Tercera evaluación de incidencia. Promedio de INCIDENCIA y eficacias de control en la tercera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

Severidad

Los resultados de la tercera evaluación de severidad se muestran en el Cuadro 9. En la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos con la misma letra o agrupación son estadísticamente iguales.

El tratamiento que presentó menor severidad fue el T4 (Tiabendazol, 1.5 mL^*L^{-1} de agua) que registró un promedio de 1.78 de la escala de severidad; de forma similar, el T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 100 mL^*L^{-1} de agua) alcanzó una severidad de 1.83. Después, los tratamientos T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 50 mL^*L^{-1} de agua) y T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 25 mL^*L^{-1} de agua) registraron un promedio de 2.10 y 2.45 de severidad. El testigo absoluto obtuvo la mayor severidad con un promedio de 5.08.

Cuadro 9. Tercera evaluación de severidad. Resultados del análisis realizado a la información de SEVERIDAD recolectada durante la tercera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

TRATAMIENTOS	DOSIS	Tukey ($\alpha=0.05$)	Severidad promedio	Eficacia (%)
T1. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	25 mL*L ⁻¹	B	2.45	52%
T2. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	50 mL*L ⁻¹	C	2.10	59%
T3. Nanopartículas de selenio + extractos botánicos	100 mL*L ⁻¹	C	1.83	64%
T4. Tiabendazol	1.5 mL*L ⁻¹	C	1.78	65%
T5. Testigo absoluto	NA	A	5.08	0%
PR>F			<.0001	

En la Figura 11, se muestra la gráfica obtenida en la tercera evaluación de severidad, en las cuales se observa el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la enfermedad.

T4 (Tiabendazol, 1.5 mL*L⁻¹ de agua) registró la mejor eficacia con un 65%, seguido los tratamientos T3 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 100 mL*L⁻¹ de agua) y T2 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 50 mL*L⁻¹ de agua) quienes obtuvieron eficacias del 64 y 59% respectivamente. Finalmente, el tratamiento T1 (nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp., 25 mL*L⁻¹ de agua) obtuvo 52% de eficacia. Todos los tratamientos superaron significativamente al testigo absoluto.

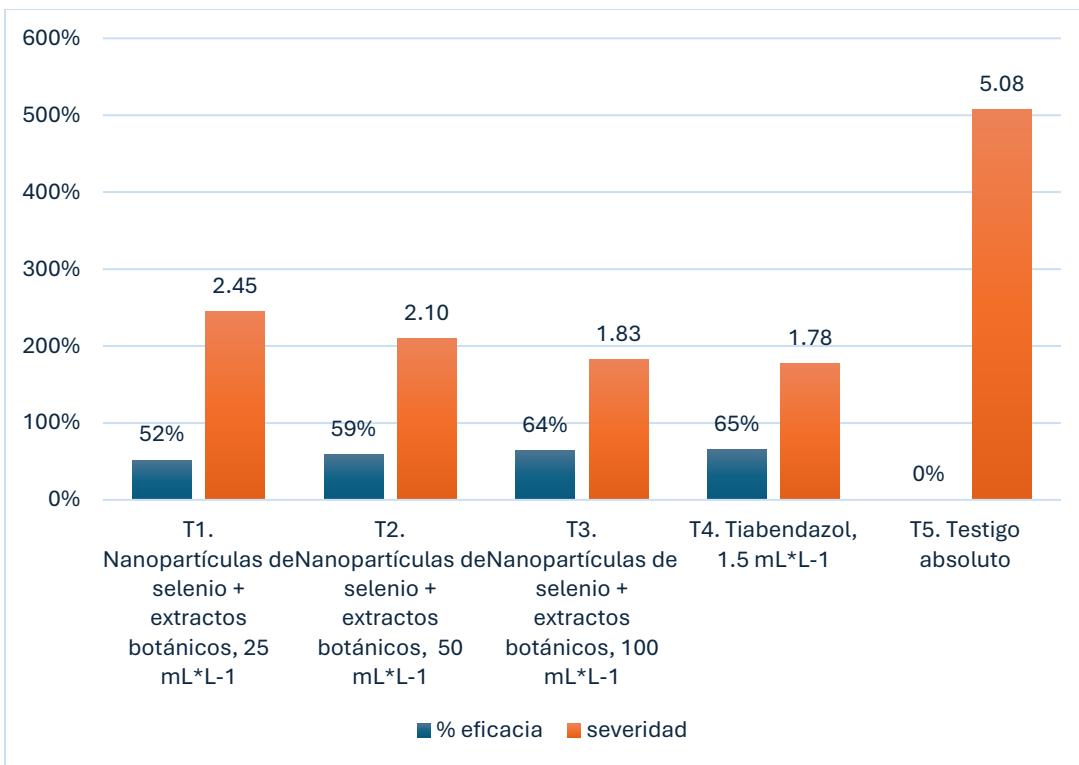


Figura 11.Tercera evaluación de severidad. Promedio de SEVERIDAD y efficacias de control en la tercera evaluación de tratamientos para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa en poscosecha bajo condiciones controladas.

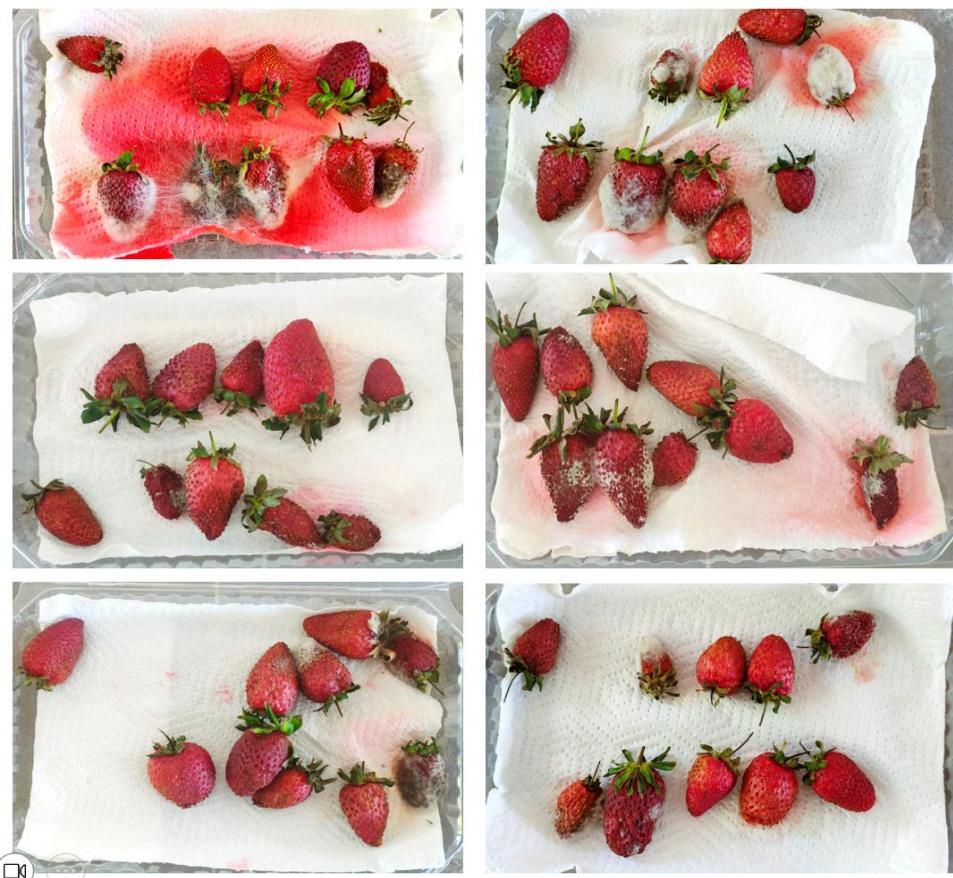


Figura 12. Estado de los frutos en las unidades experimentales durante la tercera evaluación de tratamientos.

Fitotoxicidad

En cada fecha de evaluación de la eficacia, se valoró el posible efecto fitotóxico provocado por la aplicación del producto nanopartículas selenio + extracto de *Calendula* sp. Para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en fresa, para tal fin, se utilizó la escala propuesta por la EWRS. Las observaciones en campo permitieron concluir que la aplicación del producto citado a dosis de 25, 50 y 100 mL^*L^{-1} de agua, no ejercieron ningún efecto fitotóxico en el cultivo de fresa, en las condiciones en las que se realizó el presente estudio.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la formulación a base de nanopartículas de selenio sintetizadas con extracto de *Calendula officinalis* reduce de forma significativa la incidencia y severidad del moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa bajo condiciones de poscosecha. En las tres evaluaciones realizadas, las dosis intermedia y alta (50 y 100 mL·L⁻¹) mostraron consistentemente mejores desempeños que la dosis baja (25 mL·L⁻¹) y que el testigo absoluto, lo que indica una respuesta dependiente de la concentración de la formulación experimental. Este patrón de dependencia dosis-respuesta es congruente con la literatura sobre el uso de SeNPs y otros nanomateriales como agentes antifúngicos, en la que se documenta que la eficacia suele aumentar con la concentración hasta cierto umbral, debido a una mayor disponibilidad superficial y a una mayor capacidad para interactuar con estructuras fúngicas (Joshi et al., 2019; Huang et al., 2023).

La superior eficacia manifiesta por el tiabendazol en las primeras evaluaciones, en particular en incidencia y severidad a corto plazo, concuerda con su comportamiento como fungicida químico de acción comprobada y ampliamente usado en poscosecha (Li et al., 2023). No obstante, a pesar de no alcanzar siempre el nivel de control del fungicida sintético, la formulación basada en SeNPs presentó reducciones de severidad superiores al 50 % a partir de la segunda evaluación —un umbral considerado relevante en estrategias poscosecha cuando se prioriza la reducción del uso de fitosanitarios convencionales—. Resultados similares han sido reportados en trabajos con SeNPs y formulaciones seleno-inorgánicas, donde se observa una marcada reducción del desarrollo de *B. cinerea* y otras pudriciones poscosecha (Hamouda et al., 2024; Nowruzi et al., 2023).

En cuanto a los posibles mecanismos que subyacen a la actividad antifúngica observada, la literatura apunta a múltiples vías de acción de SeNPs que concuerdan con la reducción de incidencia y severidad registrada en este estudio. Entre los mecanismos más citados están la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que inducen estrés oxidativo en hongos, la alteración de la permeabilidad de la membrana y la integridad celular fúngica, la interferencia en procesos metabólicos esenciales de los patógenos y la inhibición de la germinación de esporas (Joshi et al., 2019; Huang et al., 2023; Liu et al., 2022). Además, el selenio puede contribuir indirectamente a la preservación de la calidad del fruto mediante efectos antioxidantes que ralentizan la senescencia y mantienen la integridad tisular, lo que dificulta la colonización por patógenos oportunistas (Lu et al., 2022; Aftab et al., 2023). En el caso de formulaciones sintetizadas con extractos vegetales —como la empleada en este estudio con *Calendula officinalis*— se añade la posibilidad de una acción sinérgica: compuestos fenólicos y flavonoides presentes en el extracto actúan como agentes estabilizantes durante la síntesis verde y, a su vez, aportan actividad antifúngica propia o potenciadora (Song et al., 2025; Hamouda et al., 2024).

La evolución temporal de la eficacia observada en las tres evaluaciones aporta información práctica valiosa. En la primera evaluación (corto plazo) se observó un control notable en las dosis altas, con una eficacia que se reduce gradualmente hacia la tercera evaluación (día 15),

coincidiendo con el incremento natural de la senescencia y la pérdida de firmeza del fruto, factores que favorecen la progresión de *B. cinerea* (Li et al., 2023). Esta tendencia sugiere que la formulación tiene una ventana de máxima efectividad en los primeros días de almacenamiento y que la protección a plazo más largo podría requerir estrategias complementarias, tales como la combinación con recubrimientos comestibles, tecnologías de atmósfera modificada o aplicaciones adicionales en el punto de recolección/empacado (Liu et al., 2022; Sam et al., 2025).

En términos de seguridad y fitotoxicidad, el estudio no detectó efectos adversos sobre los frutos a las dosis evaluadas. Esto es coherente con trabajos previos que señalan que, cuando se emplean adecuadamente, las SeNPs sintetizadas biológicamente pueden presentar baja fitotoxicidad y ser compatibles con la calidad sensorial del fruto (Hamouda et al., 2024; Aftab et al., 2023). Sin embargo, conviene ser cauteloso: la fitotoxicidad y la migración de nanopartículas sobre/in los tejidos pueden depender de la forma de la partícula, su recubrimiento y su estabilidad química, por lo que la caracterización físico-química detallada (tamaño, carga zeta, estado de agregación, liberación de iones) es necesaria para validar la seguridad en un contexto regulatorio y comercial (Huang et al., 2023; Liu et al., 2022).

Respecto a la aplicabilidad práctica, los resultados sugieren que la formulación podría integrarse como una herramienta de manejo poscosecha orientada a reducir la carga de fungicidas químicos convencionales en la cadena de comercialización, especialmente en líneas de producción que valoran la reducción de residuos químicos. No obstante, antes de su adopción a escala comercial es indispensable evaluar su desempeño bajo condiciones reales de cadena de frío y transporte, su estabilidad en cajas y empaques comerciales, y su interacción con el microbioma superficial del fruto y con agentes preservantes empleados por la industria (Sam et al., 2025; Song et al., 2025). También es recomendable estudiar la eficacia en variedades comerciales distintas de 'Albión' y frente a aislamientos de *B. cinerea* con distintos perfiles de virulencia o resistencia a fungicidas.

Este trabajo tiene limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. El ensayo se realizó en condiciones de laboratorio controladas de temperatura y humedad, lo cual facilita la comparabilidad experimental pero no reproduce la variabilidad de condiciones en plantas empacadoras, transporte y puntos de venta. Además, la inoculación artificial con una suspensión estándar de conidios permite evaluar la eficacia en condiciones de presión de enfermedad homogénea, pero puede no reflejar la incidencia natural compleja que ocurre en campo y durante la manipulación. Finalmente, la caracterización nanométrica completa de la formulación (por ejemplo, TEM, XRD, FTIR, análisis de liberación de Se) no se presenta en detalle en este estudio; tal caracterización es esencial para correlacionar propiedades fisicoquímicas con eficacia biológica y seguridad (Joshi et al., 2019; Liu et al., 2022).

Como líneas futuras se recomienda: a) realizar ensayos de validación en condiciones de cadena de frío y empaque comercial para estimar su rendimiento práctico; b) caracterizar fisicoquímicamente las SeNPs empleadas para establecer relaciones dosis-respuesta más precisas; c) evaluar la persistencia y posible translocación de Se en tejidos del fruto para garantizar la seguridad alimentaria; d) explorar la compatibilidad y sinergias con recubrimientos comestibles y tratamientos de atmósfera modificada; e) analizar la eficacia frente a distintos

aislamientos de *B. cinerea* y otras pudriciones poscosecha relevantes. Estas acciones permitirían mover la tecnología desde la prueba de concepto hacia aplicaciones comerciales robustas y regulatoriamente aceptables.

En síntesis, la formulación a base de SeNPs sintetizadas con *Calendula officinalis* demostró ser una alternativa prometedora para el manejo poscosecha de *Botrytis cinerea* en fresa, con efectos dependientes de la dosis, sin fitotoxicidad observable en condiciones experimentales y con posibilidad de integrarse en programas de manejo que busquen reducir el empleo de fungicidas sintéticos. No obstante, la transición a escala comercial exige más investigación sobre estabilidad, seguridad y desempeño en condiciones reales.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que la formulación a base de nanopartículas de selenio combinadas con extracto de *Calendula sp.* Representa una alternativa prometedora para el manejo del moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa bajo condiciones de poscosecha. Las dosis evaluadas (25, 50 y 100 mL·L⁻¹ de agua) no generaron síntomas de fitotoxicidad en el cultivo, de acuerdo con la escala EWRS, lo que confirma la seguridad del producto para su aplicación en el fruto.

Asimismo, las tres concentraciones mostraron porcentajes de eficacia superiores al 50% en la reducción de la severidad de la enfermedad a partir de la segunda evaluación, destacando la dosis de 100 mL·L⁻¹, que presentó el mayor control sobre el patógeno. Esto evidencia el potencial del tratamiento como una herramienta efectiva dentro de estrategias de manejo poscosecha, contribuyendo a la reducción del uso de fungicidas químicos convencionales y a la adopción de alternativas más sostenibles.

El cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas, valida la consistencia y confiabilidad de los datos experimentales obtenidos. En conjunto, estos resultados respaldan el uso de nanopartículas de selenio con extractos botánicos como una opción ecológica y eficiente para el control de *B. cinerea*, aportando conocimientos relevantes para el desarrollo de tecnologías sustentables aplicadas a la protección de cultivos hortofrutícolas.

BIBLIOGRAFÍA

Abd-Elkader, D. Y., Salem, M. Z., Komeil, D. A., Al-Huqail, A. A., Ali, H. M., Salah, A. H., ... & Hassan, H. S. (2021). Post-harvest enhancing and *Botrytis cinerea* control of strawberry fruits using low cost and eco-friendly natural oils. *Agronomy*, 11(6), 1246.

Aftab, A., et al. (2023). Shelf-life extension of *Fragaria × ananassa* Duch. using selenium nanoparticles. (Artículo/entrada en PubMed Central).

Al-Otibi, F., Alfuzan, S. A., Alharbi, R. I., Al-Askar, A. A., Al-Otaibi, R. M., Al Subaie, H. F., & Moubayed, N. M. (2022). Comparative study of antifungal activity of two preparations of green silver nanoparticles from *Portulaca oleracea* extract. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2772-2781.

Álvarez-Chimal, R., Arenas-Alatorre, J. Á., Marichi-Rodríguez, F., Correa-Prado, R., & Álvarez-Pérez, M. A. (2025). Green chemistry in the synthesis of nanoparticles and their antibacterial properties. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 18(34).

Álvarez-Medina, A., Silva-Rojas, H. V., Leyva-Mir, S. G., Marbán-Mendoza, N., & Rebollar-Alviter, Á. (2017). Resistencia de *Botrytis cinerea* de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) a fungicidas en Michoacan México. *Agrociencia*, 51(7), 783-798.

Campos Jiménez, E. del R. (2024). *Biosíntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de cobre y su actividad antifúngica contra Botrytis cinerea* (Tesis de Maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada, B.C., México.

Desouky, A., et al. (2025). Green synthesis and agricultural applications of selenium nanoparticles. *Journal of Nano biotechnology*.

FAO. (2023). *Sustainable crop production and postharvest management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hamouda, R. A., Abdel-Hamid, M. S., Hagagy, N., & Nofal, A. M. (2024). The potent effect of selenium nanoparticles: insight into the antifungal activity and preservation of postharvest strawberries from gray mold diseases. *Postharvest Biology and Technology*.

Huang, T., et al. (2023). Using inorganic nanoparticles to fight fungal infections in plants: current status and future directions. *Trends in Biotechnology* (Artículo disponible en ScienceDirect). DOI reportado en el portal editorial (consultar en ScienceDirect).

INIFAP. (2022). *Tecnologías para la producción de fresa en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Joshi, S. M., et al. (2019). Mycogenic selenium nanoparticles as potential new generation broad spectrum antifungal molecules. *Frontiers in Microbiology* (o similar; artículo en PMC).

Li, L., Pan, H., Deng, L., Qian, G., Wang, Z., Li, W., & Zhong, C. (2022). The antifungal activity and mechanism of silver nanoparticles against four pathogens causing kiwifruit post-harvest rot. *Frontiers in Microbiology*, 13, 988633.

Li, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2023). Postharvest behavior of *Botrytis cinerea* in strawberries: influence of ripening, storage temperature, and antifungal treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 194, 112117.

Li, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2023). Postharvest control of *Botrytis cinerea* in strawberries using natural antimicrobial strategies. *Postharvest Biology and Technology*, 199, 112157.

Lira Ortiz, R., & Ruíz Rivas, M. (2023). *Producción de plantas de fresa con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria* (Folleto Técnico Núm. 37). Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Liu, Y., et al. (2022). Temperature-responsive selenium nanohydrogel for grey mould management. *Journal/Series of RSC* (Royal Society of Chemistry). DOI: 10.1039/D2TB00345G.

Lu, N., et al. (2022). Selenium improves the content of vitamin C in the fruit of strawberry by regulating the enzymes responsible for vitamin C metabolism. *Plant, Soil and Environment (PSE)*. DOI: 10.17221/48/2022-PSE.

Nowruzi, B., Jalil, B. S., & Metcalf, J. S. (2023). Antifungal screening of selenium nanoparticles biosynthesized by microcystin-producing *Desmonostoc alborizicum*. *BMC biotechnology*, 23(1), 41.

Nowruzi, B., Jalil, B. S., & Metcalf, J. S. (2023). Antifungal screening of selenium nanoparticles biosynthesized by microcystin-producing *Desmonostoc alborizicum*. *BMC Biotechnology*, 23, 41.

OCDE & FAO. (2023). *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2023-2032*. Éditions OCDE.

Pineda Rosas, T. V. (2020). *Fragaria, la variedad genética detrás de la fresa* Artículo científico, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato Salamanca.

Roldán Néstor, O. (2011). *Evaluación del efecto de programas de manejo del moho gris (*Botrytis cinerea* Pers.) en precosecha en la incidencia en poscosecha en zarzamora en el Estado de Michoacán* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio de la Universidad Autónoma Chapingo.

SAGARPA. (2017). *Diagnóstico del cultivo de fresa y análisis de enfermedades poscosecha en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Sam, S., et al. (2025). Antioxidant coatings with selenium nanoparticles for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life / Journal relevante* (ScienceDirect). Enlace: (consultar ScienceDirect para acceso y DOI).

Song, L., Le, et al. (2025). Biosynthesis of Selenium Nanoparticles from *Rosa rugosa* and their antifungal activity. *Agronomy* (MDPI).

Tian, X., Jiang, X., Welch, C., Croley, T. R., Wong, T. Y., Chen, C., ... & Yin, J. J. (2018). Bactericidal effects of silver nanoparticles on lactobacilli and the underlying mechanism. *ACS applied materials & interfaces*, 10(10), 8443-8450.

ANEXO I

DATOS DE INCIDENCIA REGISTRADOS. EVELUACION PREVIA.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
1	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
4	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
3	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
10	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00
5	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
7	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
6	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
15	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
12	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00
8	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
14	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
9	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
18	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
13	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00
11	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
16	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
17	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
19	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
20	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00

DATOS DE SEVERIDAD REGISTRADOS. EVELUACION PREVIA.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
1	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
4	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
3	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
10	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00
5	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
7	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
6	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
15	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
12	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00
8	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
14	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
9	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
18	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
13	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00
11	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	0.00
16	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.00
17	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
19	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
20	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T5	0.00

DATOS DE INCIDENCIA REGISTRADOS. PRIMERA EVALUACIÓN.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T1	0.40
1	T2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.20
4	T3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.10
3	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
10	T5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	T5	0.70
5	T1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T1	0.50
7	T2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.20
6	T3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.20
15	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
12	T5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	T5	0.70
8	T1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T1	0.50
14	T2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.20
9	T3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.10
18	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
13	T5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T5	0.50
11	T1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T1	0.40
16	T2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.20
17	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
19	T4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.10
20	T5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	T5	0.70

DATOS DE SEVERIDAD REGISTRADOS. PRIMERA EVALUACIÓN.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	3	2	3	3	0	0	0	0	0	0	T1	1.10
1	T2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.50
4	T3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.20
3	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
10	T5	1	2	1	2	3	3	3	0	0	0	T5	1.50
5	T1	3	3	4	3	2	0	0	0	0	0	T1	1.50
7	T2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.50
6	T3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.50
15	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
12	T5	2	2	3	3	4	2	1	0	0	0	T5	1.70
8	T1	3	4	3	3	4	0	0	0	0	0	T1	1.70
14	T2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.50
9	T3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.20
18	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.00
13	T5	2	2	4	4	3	0	0	0	0	0	T5	1.50
11	T1	3	4	3	4	0	0	0	0	0	0	T1	1.40
16	T2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.50
17	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.00
19	T4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.30
20	T5	4	4	3	3	2	5	4	0	0	0	T5	2.50

DATOS DE INCIDENCIA REGISTRADOS. SEGUNDA EVALUACIÓN.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	T1	0.60
1	T2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T2	0.40
4	T3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.30
3	T4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.20
10	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	T5	0.80
5	T1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T1	0.50
7	T2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	T2	0.30
6	T3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.30
15	T4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.20
12	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	T5	0.90
8	T1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	T1	0.70
14	T2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T2	0.40
9	T3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.30
18	T4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.10
13	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	T5	1.00
11	T1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T1	0.50
16	T2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T2	0.50
17	T3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T3	0.40
19	T4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.20
20	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	T5	1.00

DATOS DE SEVERIDAD REGISTRADOS. SEGUNDA EVALUACIÓN.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	2	3	2	2	3	3	0	0	0	0	T1	1.50
1	T2	3	4	3	5	0	0	0	0	0	0	T2	1.50
4	T3	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	T3	0.90
3	T4	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.70
10	T5	4	5	5	4	6	5	3	3	0	0	T5	3.50
5	T1	3	2	3	3	4	0	0	0	0	0	T1	1.50
7	T2	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	T2	1.00
6	T3	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	T3	1.00
15	T4	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.60
12	T5	3	3	2	4	4	3	5	4	4	0	T5	3.20
8	T1	4	2	3	3	5	4	5	0	0	0	T1	2.60
14	T2	3	4	3	4	0	0	0	0	0	0	T2	1.40
9	T3	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	T3	1.00
18	T4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.40
13	T5	4	5	5	3	4	4	3	5	4	4	T5	4.10
11	T1	4	2	3	3	4	0	0	0	0	0	T1	1.60
16	T2	2	3	4	4	3	0	0	0	0	0	T2	1.60
17	T3	4	3	2	3	0	0	0	0	0	0	T3	1.20
19	T4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	T4	0.70
20	T5	4	4	5	5	4	3	6	5	5	4	T5	4.50

DATOS DE INCIDENCIA REGISTRADOS. TERCERA EVALUACIÓN.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	T1	0.80
1	T2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	T2	0.60
4	T3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T3	0.40
3	T4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T4	0.40
10	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	T5	1.00
5	T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	T1	0.90
7	T2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	T2	0.60
6	T3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T3	0.50
15	T4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	T4	0.40
12	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	T5	1.00
8	T1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	T1	0.70
14	T2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	T2	0.70
9	T3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	T3	0.60
18	T4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T4	0.50
13	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	T5	1.00
11	T1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	T1	0.80
16	T2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	T2	0.60
17	T3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T3	0.50
19	T4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	T4	0.50
20	T5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	T5	1.00

DATOS DE SEVERIDAD REGISTRADOS. TERCERA EVALUACIÓN.

UE	TRAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		LV
2	T1	3	3	2	4	3	2	3	3	0	0	T1	2.30
1	T2	3	3	4	3	4	3	0	0	0	0	T2	2.00
4	T3	3	3	5	4	0	0	0	0	0	0	T3	1.50
3	T4	4	3	3	4	0	0	0	0	0	0	T4	1.40
10	T5	5	6	6	5	6	7	5	4	5	5	T5	5.40
5	T1	3	4	3	3	2	3	3	4	3	0	T1	2.80
7	T2	3	4	4	3	3	4	0	0	0	0	T2	2.10
6	T3	3	5	3	4	3	0	0	0	0	0	T3	1.80
15	T4	4	4	5	4	0	0	0	0	0	0	T4	1.70
12	T5	5	5	4	6	6	4	5	4	4	5	T5	4.80
8	T1	2	4	3	3	2	5	3	0	0	0	T1	2.20
14	T2	3	4	3	3	5	2	3	0	0	0	T2	2.30
9	T3	3	5	3	4	4	3	0	0	0	0	T3	2.20
18	T4	5	3	4	3	6	0	0	0	0	0	T4	2.10
13	T5	5	5	6	5	4	5	5	7	5	4	T5	5.10
11	T1	2	4	3	3	2	5	3	3	0	0	T1	2.50
16	T2	3	4	3	3	4	3	0	0	0	0	T2	2.00
17	T3	4	3	3	5	3	0	0	0	0	0	T3	1.80
19	T4	5	3	4	4	3	0	0	0	0	0	T4	1.90
20	T5	5	5	4	4	6	6	5	5	4	6	T5	5.00

Salida del análisis de varianzas y comparaciones de medias de las evaluaciones: previa, primera y segunda

Procedimiento ANOVA

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
trat	5	T1 T2 T3 T4 T5

Número de observaciones 20
Sistema SAS 22:56 Monday, May 17, 2024 12

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Prev

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	0	0	.	.
Error	15	0	0		
Total correcto	19	0			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Prev Media
0.000000	.	0	0

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	4	0	0	.	.
				22:56 Monday, May 17, 2024	13

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza Prev
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	4	0	0	.	.
Error	15	0	0		
				22:56 Monday, May 17, 2024	14

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudiantizado de Tukey (HSD) para Prev

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	15
Error de cuadrado medio	0
Valor crítico del rango estudiantizado	4.36699
Diferencia significativa mínima	0

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento		Media	N	trat
A	0	4	T1	
A	0	4	T2	
A	0	4	T3	
A	0	4	T4	
A	0	4	T5	

Sistema SAS 22:56 Monday, May 17, 2024 15

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Ev1

Fuente	DF	Suma de Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		cuadrados	la media		
Modelo	4	1.07800000	0.26950000	59.89	<.0001
Error	15	0.06750000	0.00450000		
Total correcto	19	1.14550000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Ev1 Media
0.941074	23.53756	0.067082	0.285000

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Anova SS	la media		
trat	4	1.07800000	0.26950000	59.89	<.0001
		Sistema SAS	22:56 Monday, May 17, 2024	27	

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza Ev1
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Cuadrado		F-Valor	Pr > F
		Suma de cuadrados	de la media		
trat	4	0.000136	0.000034	1.22	0.3435
Error	15	0.000419	0.000028		
		Sistema SAS	22:56 Monday, May 17, 2024	28	

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudiantizado de Tukey (HSD) para Ev1

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	15
Error de cuadrado medio	0.0045
Valor crítico del rango estudiantizado	4.36699
Diferencia significativa mínima	0.1465

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento		Media	N	trat
A	0.65000	4	T5	
B	0.45000	4	T1	
C	0.20000	4	T2	
C	0.10000	4	T3	
D	0.02500	4	T4	
				Sistema SAS 22:56 Monday, May 17, 2024 29

Procedimiento ANOVA

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
trat	5	T1 T2 T3 T4 T5

Número de observaciones	20
Sistema SAS	22:56 Monday, May 17, 2024 40

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Ev2

Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	4 1.32200000	0.33050000	55.08	<.0001
Error	15 0.09000000	0.00600000		
Total correcto	19 1.41200000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Ev2 Media
0.936261	16.13743	0.077460	0.480000

Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	4 1.32200000	0.33050000	55.08	<.0001
	Sistema SAS 22:56 Monday, May 17, 2024 41			

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza Ev2
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	4 0.000101	0.000025	1.01	0.4320
Error	15 0.000375	0.000025		
	Sistema SAS 22:56 Monday, May 17, 2024 42			

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudiantizado de Tukey (HSD) para Ev2

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	15
Error de cuadrado medio	0.006
Valor crítico del rango estudentizado	4.36699
Diferencia significativa mínima	0.1691

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento		Media	N	trat
A	0.92500	4	T5	
B	0.57500	4	T1	
C	0.40000	4	T2	
C	0.32500	4	T3	
D	0.17500	4	T4	
			Sistema SAS	22:56 Monday, May 17, 2024 43

Procedimiento ANOVA

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
trat	5	T1 T2 T3 T4 T5

Número de observaciones	20
Sistema SAS	22:56 Monday, May 17, 2024 54

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Ev3

Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	4 0.82000000	0.20500000	53.48	<.0001
Error	15 0.05750000	0.00383333		
Total correcto	19 0.87750000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Ev3 Media
0.934473	9.172432	0.061914	0.675000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	4 0.82000000	0.20500000	53.48	<.0001	
	Sistema SAS	22:56 Monday, May 17, 2024 55			

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza Ev3
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	4 0.000074	0.000018	1.26	0.3271
Error	15 0.000219	0.000015		

Sistema SAS 22:56 Monday, May 17, 2024 56

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Ev3

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	15
Error de cuadrado medio	0.003833
Valor crítico del rango estudentizado	4.36699
Diferencia significativa mínima	0.1352

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento		Media	N	trat
A	1.00000	4	T5	
B	0.80000	4	T1	
C	0.62500	4	T2	
C	0.50000	4	T3	
D	0.45000	4	T4	

VARIABLES METEOROLÓGICAS DEL LUGAR DE ESTUDIOS

Fecha	temp media	tmin	tmax
01 – marzo - 2024	13.5	12	15
2 – marzo - 2024	15.7	14.2	17.2
3 – marzo - 2024	15.3	13.8	16.8
4 – marzo - 2024	14.5	13	16
5 – marzo - 2024	14	12.5	15.5
6 – marzo - 2024	13.5	12	15
7 – marzo - 2024	14.7	13.2	16.2
8 – marzo - 2024	13.1	11.6	14.6
9 – marzo - 2024	14.8	13.3	16.3
10 – marzo - 2024	15.7	14.7	16.7
11 – marzo - 2024	15	13.5	16.5