

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA**



TESIS

Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO_2 en la desinfección fúngica de *B. cinerea* Pers en cultivos de maíz (*Zea mays*) contaminado por agua residuales domésticas.

PRESENTADO POR:

GEOVANA CIRIACO CHUQUILLANQUI

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

HUANCAYO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIDAD DE POSGRADO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

BACHILLER: GEOVANA CIRIACO CHUQUILLANQUI

Siendo las diecinueve horas, del día jueves quince del mes de febrero del año dos mil veinticuatro, en la sala virtual de la plataforma Microsoft Teams de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú; con la presencia del jurado examinador, conformado por los catedráticos.

- PRESIDENTE** : Dr. Venancio Santiago NAVARRO RODRÍGUEZ.
SECRETARIO : Dr. Iván Luis OSORIO LOPEZ.
ASESOR : Dra. Juana María MENDOZA SANCHEZ.
VOCAL (01) : Dra. Juana María MENDOZA SANCHEZ.
VOCAL (02) : Dr. Hugo SUASNABAR BUENDIA.
VOCAL (03) : Dr. César Augusto LOAYZA MORALES.

Se reunieron para la sustentación virtual, oral y pública de la Tesis para optar el grado Académico de MAESTRA en INGENIERÍA AMBIENTAL, de la Egresada **GEOVANA CIRIACO CHUQUILLANQUI**.

Después de darse lectura al Expediente N° 293898, en el que consta el cumplimiento de todas las disposiciones reglamentarias, los señores miembros del jurado, receptionaron la Tesis titulada:

"Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO₂ en la desinfección fúngica de B. Cinerea Pers en Cultivos de maíz (Zea Mays) contaminado por agua residuales domésticas"

Y formuladas las preguntas, estas fueron defendidas y absueltas por el graduando.

Acto seguido el jurado procedió a la votación, el que dio como resultado el siguiente calificativo:

Vocal (01) :... 18.00... (*Bueno*).....
 Vocal (02) :... 17.50... (*Bueno*).....
 Vocal (03) :... 17.00... (*Bueno*).....
PROMEDIO:..... 17.50... (*Bueno*).....

Siendo las... 20:30... horas, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando al pie los presentes.



Dr. Venancio Santiago NAVARRO RODRÍGUEZ
 Presidente



Dr. Iván Luis OSORIO LOPEZ
 Secretario



Dra. Juana María MENDOZA SANCHEZ
 (Vocal 1)



Dr. Hugo SUASNABAR BUENDIA
 (Vocal 2)



Dr. César Augusto LOAYZA MORALES
 (Vocal 3)

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA
TESIS

Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO₂ en la desinfección fúngica de *B. cinerea* Pers en cultivos de maíz (*Zea mays*) contaminado por agua residuales domésticas.

PRESENTADA POR:

GEOVANA CIRIACO CHUQUILLANQUI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN INGENIERIA AMBIENTAL

APROBADO POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE:



Dr. Venancio Santiago NAVARRO RODRÍGUEZ

PRIMER MIEMBRO:



Dra. Juana María MENDOZA SANCHEZ

SEGUNDO MIEMBRO:



Dr. Hugo SUASNABAR BUENDIA

TERCER MIEMBRO:



Dr. César Augusto LOAYZA MORALES

ASESOR DE TESIS:



Dra. Juana María MENDOZA SANCHEZ

Huancayo 15 de febrero de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE POSGRADO



INFORME N° 001-2024-JMMS-FIQ-UNCP

AL : Dr. VENANCIO SANTIAGO NAVARRO RODRIGUEZ
Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química.

DE : Dra. JUANA MARIA MENDOZA SANCHEZ
Docente Asesor de Tesis – UPG - FIQ – UNCP

ASUNTO : REPORTE DE SIMILITUD DE CONTENIDO (TURNITIN)

FECHA : Huancayo, 04 de Abril de 2024.

Mediante el presente me dirijo a usted para saludarle y a la vez hacer de su conocimiento, que después de haber procedido a la verificación de similitud con el TURNITIN, en cumplimiento a la Ley Universitaria N° 30220, Estatuto de la UNCP, Reglamento de investigación y la Resolución N° 2064-CU-2017 del Código de Ética de Investigación de la UNCP, el resultado fue el siguiente:

TITULO DE TESIS	TESISTA	RESULTADO DE SIMILITUD
“Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO_2 en la desinfección fúngica de B. Cinerea Pers en Cultivos de maíz (Zea Mays) contaminado por agua residuales domésticas”.	• GEOVANA CIRIACO CHUQUILLANQUI	15 %

Adjunto el documento de visualización para lo cual se informa a usted para los fines correspondientes. En consecuencia, recomiendo que el tesista continúe con sus trámites correspondientes en tanto que el porcentaje de similitud no supera el máximo de 25% exigido por el reglamento, salvo mejor parecer.

Agradeciendo su atención especial al presente me despido reiterándole mi estima personal. Atentamente,


Dra. JUANA MARIA MENDOZA SANCHEZ
DOCENTE - ASESOR

cc. Archivo.

Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO₂ en la desinfección fúngica de *B. cinerea* Pers en cultivos de maíz (*Zea mays*) contaminado por agua residuales domésticas.

Por JUANA MARIA MENDOZA SÁNCHEZ

Fecha de entrega: 04-abr.-2024 11:37a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2339921459

Nombre del archivo: GOEVANA_CIRIACO-TESIS-FINAL.pdf

Total, de palabras: 17,916

Total, de caracteres: 103,067

Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de [SiO]₂ en la desinfección fúngica de B. cinerea Pers en cultivos de maíz (Zea mays) contaminado por agua residuales domést

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	1%
5	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unicauca.edu.co:8080 Fuente de Internet	1%
7	cybertesis.uach.cl Fuente de Internet	<1%

repositorio.unheval.edu.pe

31	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	ciatej.mx Fuente de Internet	<1 %
33	conferencia.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	www.smf.org.mx Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Francisco de Vitoria Trabajo del estudiante	<1 %
39	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias: <15 words

Excluir bibliografía

Activo

Asesor

Dr. JUANA MARIA MENDOZA SÁNCHEZ

CODIGO ORCID ID 0000-0002-1872-9102

D.N.I. N° 19839078

Dedicatoria

“A DIOS, por haberme dado la fuerza y voluntad de culminar una meta más en mi vida. A mi familia, por su amor incondicional y apoyo constante. A mis docentes por su sabiduría y guía. A todos aquellos que creyeron en mí, gracias por ser parte de este logro”

Agradecimientos

“En primer lugar a DIOS por brindarme la oportunidad de culminar una etapa más en mi vida.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible mi éxito en esta etapa de mi vida, a mis profesores por su dedicación y conocimiento compartidos en especial a la Doctora Juana Mendoza. A mi familia por su apoyo incondicional. A mis compañeros de clase por su compañerismo y las experiencias compartidas.

Gracias a todos por ser parte de este logro tan importante para mí. ”

Índice General

Dedicatoria.....	ix
Agradecimientos	x
Índice General.....	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de tablas	xv
Resumen.....	xvi
Abstract.....	17
Introducción	18
MARCO TEÓRICO	21
1.1 Antecedentes de la Investigación	21
1.1.1 Antecedentes Nacionales.....	21
1.1.2 Antecedentes Internacionales	24
1.2 Bases Teóricas y conceptuales	28
1.2.1 El maíz.....	28
1.2.2 El maíz en el Perú.....	29
1.2.3 Descripción botánica	29
1.2.4 La inflorescencia femenina (mazorca)	30
1.2.5 Características edafoclimáticas del maíz amiláceo	31
1.2.6 Clasificación taxonómica	33
1.2.7 Problemas fitosanitarios	33
1.2.8 Hongo <i>Botrytis cinerea</i> pers (<i>B. cinerea</i>).....	34
1.2.9 Clasificación taxonómica	35
1.2.10 Hospedantes de <i>Botrytis cinerea</i>	35
1.2.11 Características morfológicas	36
1.2.12 Ciclo de la enfermedad	37
1.2.13 Condiciones ambientales favorables para el desarrollo del hongo.....	38
1.2.14 Control químico de <i>B. cinerea</i>	39
1.2.15 Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de <i>Botrytis</i>	39
1.2.16 Método del medio envenenado.....	40
1.2.17 Nanopartículas	41
1.2.18 Propiedades Antimicrobianas de las Nanopartículas de SiO ₂	41
1.2.19 Caracterización de nanopartículas de SiO ₂	42

1.3 Definición de términos básicos	43
1.4 Hipótesis de Investigación.....	46
1.4.1 Hipótesis general	46
1.4.2 Hipótesis específicas	46
1.5 Operacionalización de Variables	47
1.5.1 Variables Independientes (VI):.....	47
1.5.2 Variables Dependientes (VD):.....	47
DISEÑO METODOLÓGICO.....	48
2.1 Tipo de investigación y nivel de investigación	48
2.3 Método y diseño de investigación	48
2.4 Población y muestra	50
2.4.1. Población	50
2.4.2. Tamaño de muestra.....	50
2.4.3 Técnicas de muestreo	50
2.5 Técnica e instrumento de recopilación de datos	51
2.5.1 Procedimiento de recolección de datos	52
2.5.1.1 Caracterización de nanopartículas de óxido de silicio	52
2.5.1.2 Aislamiento y purificación <i>B. cinerea</i> a partir del tejido enfermo	54
2.5.1.3 Caracterización del hongo aislado.....	55
2.5.1.4 Evaluación in vitro de la actividad antifúngica de SiO ₂ - NPs.....	55
2.6 Técnica de procesamiento de datos	57
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	58
3.1. Caracterización de nanopartículas de SiO ₂	58
3.1.1. Dispersion de Luz Dinamica	58
3.1.2. Microscopia Electronica de Barrido	60
3.2. Caracterizacion de Hongos <i>Botrytis cinerea persoon</i>	62
3.2.1. Microscopio Optica	62
3.3. Evaluación de la desinfección fúngica de Nanopartículas de SiO ₂ en <i>Botrytis cinerea</i>	64
3.3.1. Metodo de medio envenenado	64
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	88

Índice de Figuras

Figura 1. Morfología del grano de maíz	31
Figura 2. Conidióforo productor de conidios de <i>B. cinerea</i>	37
Figura 3. Ciclo de vida de <i>Botrytis cinerea pers.</i>	38
Figura 4. Nanopartículas de óxido de silicio utilizadas en la investigación.....	54
Figura 5. Hongo <i>B. cinerea</i> desarrollándose en APD	55
Figura 6. Inoculación de tapones de micelio.	57
Figura 7. Caracterización de nanopartículas de óxido de silicio por DLS	59
Figura 8. Nanopartículas de SiO ₂ bajo microscopio electrónico.....	61
Figura 9. Conidióforo de <i>B. cinerea</i> con producción de conidias observadas con un microscopio óptico.	63
Figura 10. Prueba de normalidad de porcentaje de inhibición micelial	67
Figura 11. Grafica de caja y bigotes de Porcentaje de inhibición micelial a distintas concentraciones de NPs- SiO ₂	70
Figura 12. Grafica de caja y bigotes de porcentaje de inhibición micelial para distintos tiempos de contacto	72
Figura 13. Grafica de caja y bigotes de porcentaje de inhibición micelial de variables cruzadas	73
Figura 14. Grafica de superficies de porcentaje de inhibición micelial	75
Figura 15. Equipo DLS empleado para la caracterización de las nanopartículas de SiO ₂ ..	88
Figura 16. Microscopio Electrónico de Barrido utilizado para la caracterización de las nanopartículas de SiO ₂	88
Figura 17. Muestra de maíz infectado con <i>B. cinerea</i>	89
Figura 18. Pesado del medio de cultivo APD.....	89
Figura 19. Preparación del medio de cultivo APD	90

Figura 20 Sembrado de <i>B. cinerea</i> por el método de tapón de micelio.....	90
Figura 21. Aislamiento de hongo <i>B. cinerea pers</i> en cultivo agar papa dextrosa	91
Figura 22. B. Visualización del hongo <i>B. cinerea</i> a través del microscópio óptico.....	91
Figura 23. Dispensación del medio de cultivo APD en placas Petri.	92
Figura 24. Extracción de tapones de micelio de <i>B. cinerea pers</i> a partir de aislamientos del hongo.	92
Figura 25. Inoculación <i>Botrytis cinerea pers</i> en la placa de tratamiento contenida con el medio envenenado.	93
Figura 26. Cultivo de hongos: control y tratamiento con nanopartículas de SiO ₂	93
Figura 27. Incubación de las muestras.....	94
Figura 28. Medición del crecimiento radial del hongo al día 2.....	94
Figura 29. Medición del crecimiento radial del hongo al día 5.....	95
Figura 30. Medición del crecimiento radial del hongo al día 2.....	95
Figura 31. Crecimiento del hongo al día 7 en el cultivo de control y tratamiento con nanopartículas de SiO ₂	96

Índice de tablas

Tabla 1. Requerimientos climáticos del maíz amiláceo	31
Tabla 2. Concentración de nanopartículas.....	47
Tabla 3. Tiempos de contacto.....	47
Tabla 4. Niveles máximos y mínimos de los indicadores de las variables independientes.	49
Tabla 5. Matriz de diseño	49
Tabla 6. Resultados de inhibición micelial.....	65
Tabla 7. Análisis de varianza.....	68

Resumen

El hongo fitopatógeno *Botrytis cinerea pers* es una amenaza común para el cultivo de maíz en la región central, lo que resulta en pérdidas económicas para los agricultores. El objetivo de este trabajo fue investigar cómo la concentración y el tiempo de exposición a las nanopartículas de SiO₂ pueden afectar en la desinfección fúngica de *B. cinerea pers* en granos de maíz (*Zea mays*) contaminado por aguas residuales domésticas. El estudio se realizó utilizando una investigación aplicada, de nivel explicativo, empleando el método de investigación experimental con una muestra de 27 mazorcas de maíz infectadas por *B. cinerea Pers*, aplicando el diseño factorial con tres niveles, dos variables independientes y tres réplicas (3²x3). Las variables independientes fueron el tiempo de contacto (2, 5 y 7 días) y la concentración de nanopartículas de óxido de silicio (2000, 4000 y 6000 mg/L), efectos que fueron observados en la variable dependiente, siendo esta la inhibición del crecimiento micelial, medida en milímetros de halo de inhibición. Para procesar y analizar los resultados, se utilizaron pruebas estadísticas como la prueba de normalidad, el análisis de varianza (ANOVA) y otros, utilizando programas estadísticos como SPSS y Minitab para el procesamiento de los datos e interpretación de los resultados. La caracterización de las nanopartículas de óxido de silicio por técnicas como la dispersión de luz dinámica (DLS) y microscopía electrónica de barrido (SEM) mostraron diámetros de 22.1 y 20.52 nm, respectivamente. Los resultados mostraron que a medida que se incrementa la concentración de nanopartículas, también se incrementa el porcentaje de inhibición del crecimiento del hongo y a medida que pasaba el tiempo, el hongo era inhibido de forma positiva hasta alcanzar los 5 días de tratamiento.

Palabras clave: Porcentaje de inhibición, *Botrytis cinerea*, nanopartículas, silicio, maíz

Abstract

The phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea pers* is a common threat to corn crops in the central region, resulting in economic losses for farmers. The purpose of this study was to investigate how the concentration and exposure time to SiO₂ nanoparticles can affect the fungal disinfection of *B. cinerea pers* in corn (*Zea mays*) grains contaminated by domestic wastewater. The study was conducted using applied research, at an explanatory level, employing the experimental research method with a sample of 27 corn cobs infected by *B. cinerea Pers*, applying the factorial design with three levels, two independent variables, and three replicates (3²x3). The independent variables were contact time (2, 5, and 7 days) and the concentration of silicon dioxide nanoparticles (2000, 4000, and 6000 mg/L), effects that were observed in the dependent variable, being this the inhibition of mycelial growth, measured in millimeters of inhibition halo. To process and analyze the results, statistical tests such as the normality test, analysis of variance (ANOVA), and others were used, utilizing statistical programs like SPSS and Minitab for data processing and interpretation of the results. The characterization of silicon dioxide nanoparticles by techniques such as dynamic light scattering (DLS) and scanning electron microscopy (SEM) showed diameters of 22.1 and 20.52 nm, respectively. The results showed that as the concentration of nanoparticles increased, so did the percentage of inhibition of fungal growth, and as time passed, the fungus was positively inhibited up to 5 days of treatment.

Keywords: inhibition percentage, *Botrytis cinerea*, nanoparticles, silicon, corn.

Introducción

En la actualidad, la agricultura se enfrenta a múltiples desafíos, siendo uno de los más críticos la gestión de patógenos que afectan los cultivos (Juma, 2019). El maíz (*Zea mays*), un cultivo esencial para la seguridad alimentaria mundial no es ajeno a estos problemas. Entre los agentes patógenos, el hongo *Botrytis cinerea pers* se destaca por su impacto negativo en la producción de maíz (Rouf et al., 2016). Esta tesis se enfoca en una solución innovadora para combatir este desafío: el uso de nanopartículas de óxido de silicio (SiO_2) en la desinfección fúngica, especialmente en cultivos contaminados por aguas residuales domésticas, una problemática creciente en zonas agrícolas.

La presencia de *B. cinerea pers* en cultivos de maíz representa una amenaza significativa, provocando pérdidas económicas considerables para los agricultores. A pesar de los esfuerzos por controlar este hongo, las estrategias convencionales presentan limitaciones, incluyendo resistencia a fungicidas y efectos ambientales adversos (Zurita Macalupú, 2017). Por lo tanto, surge la necesidad de explorar métodos alternativos, siendo las nanopartículas de SiO_2 un campo prometedor por su potencial antimicrobiano.

El estudio de las nanopartículas de SiO_2 en la lucha contra patógenos fúngicos es relativamente nuevo y ofrece una perspectiva ecológica y sostenible (Goswami & Mathur, 2022). Esta investigación pretende llenar un vacío en el conocimiento actual, evaluando cómo la concentración y el tiempo de exposición a estas nanopartículas afectan la desinfección de *B. cinerea pers* en maíz. Además, al considerar la contaminación por aguas residuales domésticas, esta tesis aborda una problemática ambiental y de salud pública, agregando un valor significativo a la investigación.

El objetivo principal de esta tesis es evaluar la eficacia de las nanopartículas de SiO_2 en diferentes concentraciones y tiempos de contacto, para inhibir o reducir la presencia del hongo *B. cinerea pers* en cultivos de maíz contaminados por aguas residuales. Se busca

determinar la relación entre la concentración de las nanopartículas y el tiempo de exposición para maximizar la eficacia de desinfección, minimizando a su vez los posibles efectos negativos en el cultivo y el medio ambiente.

Para lograr estos objetivos, se adoptará una metodología de investigación experimental aplicada. Se utilizarán muestras de maíz contaminadas con *B. cinerea pers*, tratándolas con diferentes concentraciones de nanopartículas de SiO₂ y evaluando los efectos a lo largo de diversos periodos de tiempo. Los resultados se analizarán mediante técnicas estadísticas avanzadas, como el análisis de varianza (ANOVA), para determinar la eficacia de las nanopartículas en la inhibición del crecimiento del hongo.

Este estudio es crucial para el desarrollo de nuevas estrategias en el manejo fitosanitario en la agricultura. Los resultados podrían ofrecer una alternativa viable y sostenible a los métodos convencionales de control de hongos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la protección del medio ambiente. Además, esta investigación podría servir de base para futuros estudios en la aplicación de nanotecnología en la agricultura, abriendo el camino hacia prácticas agrícolas más innovadoras y sostenibles.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO_2 en la desinfección fúngica de *B. Cinerea Pers* en cultivos de maíz (*Zea Mays*) contaminado por agua residuales domésticas.

Objetivos específicos

- Identificar el tipo de configuración espacial que presentan las nanopartículas de SiO_2 en comparación con los hongos *B. Cinerea Pers* en granos de maíz (*Zea Mays*).
- Evaluar el efecto que producirá la variación la concentración de nanopartículas de SiO_2 en la desinfección fúngica de *B. Cinerea Pers* en cultivos de maíz (*Zea Mays*) contaminado por agua residuales domésticas.
- Evaluar el efecto que producirá la variación del tiempo de contacto de nanopartículas de SiO_2 en la desinfección fúngica de *B. Cinerea Pers* en cultivos de maíz (*Zea Mays*) contaminado por agua residuales domésticas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la Investigación

1.1.1 Antecedentes Nacionales

(Ruiz & Ramos, 2021) evaluaron la efectividad del uso de quitosano (QUI) y aceites esenciales de *Citrus aurantifolia* (AECA) y *Origanum vulgare* (AEOV) para prevenir infecciones de *Botrytis cinerea* en tomates. Encontraron que en las pruebas in vitro, todas las concentraciones de AEOV y QUI utilizadas (10 $\mu\text{L}/\text{mL}$, 5 $\mu\text{L}/\text{mL}$, 2.5 $\mu\text{L}/\text{mL}$ y 1.25 $\mu\text{L}/\text{mL}$ para AEOV y 4 mg/mL y 8 mg/mL para QUI) demostraron una eficacia del 100% en la inhibición del crecimiento de *B. cinerea*. Sin embargo, la aplicación de AECA a 20 $\mu\text{L}/\text{mL}$ solo logró una inhibición del 40-47%. Menciona que la aplicación de los recubrimientos compuestos por QUI 4 $\mu\text{L}/\text{mL}$ + AEOV 5 $\mu\text{L}/\text{mL}$ redujo significativamente la severidad de la infección por *B. cinerea* en los tomates. Además, indicaron que los recubrimientos de quitosano y aceites esenciales mantuvieron la calidad sensorial de los tomates y tuvieron un efecto igual o menor que el fungicida sintético Iprodione 0.8mg/mL + Myclobutanil 0.1 mg/mL en la prevención de la infección por *B. cinerea*. El autor concluye que los resultados sugieren que los recubrimientos compuestos por QUI y AEOV podrían ser una alternativa natural y prometedora para la protección de diversos frutos y alimentos contra patógenos, ya que tienen una actividad antifúngica mejorada y no generan resistencia por parte del hongo.

(Casimiro, 2022) evaluó el efecto de fertilizantes foliares, Zineryg (con presencia de Cu y Zn) y Fx 31 (con presencia de cobre, zinc y ácido cítrico) en el control de *B. cinerea* en tomates. Realizaron la evaluación del efecto antifúngico en placas petri mediante la técnica del medio envenenado, para lo cual emplearon 5 tratamientos con cuatro repeticiones: T0-testigo (solo PDA),

T1- Zynergy (0.51 L/cil), T2-Zynergy (1 L/cil), T3-Fx 31 (0.5 L/cil) y T4-el fungicida denominado Boscalid (250g/cil); sobre las placas petri contenidas con el medio de cultivo o fertilizante solidificado sembraron 5 mm de micelio del hongo en activo crecimiento, el cual incubaron a 25°C hasta que en el tratamiento testigo el hongo colonice toda la superficie de la placa petri, este caso fue 6 días. Los investigadores midieron a diario el diámetro de crecimiento del hongo, observando que en el primer día se observó un crecimiento significativo del hongo en el tratamiento testigo (10 mm) y en el tratamiento con Boscalid (5 mm); a los seis días después de la inoculación encontraron que el efecto antifúngico en el diámetro de crecimiento micelial de B. cinerea fue de 0% para T0, 68,9% para T1, 95% para T2, 98,13% para T3 y 2,5% para T4. Concluyeron que a nivel de laboratorio los fertilizantes foliares presentan una alta eficacia en el control de B. cinerea.

(Espino, 2022) investigó el efecto de diferentes concentraciones de nanopartículas Core-shell Ag- [SiO]₂ en el crecimiento in vitro de Escherichia coli y Staphylococcus aureus, así como la determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB). Utilizaron la técnica de Kirby Bauer modificado con hoyos para evaluar el efecto antibacteriano, y se encontraron halos de inhibición en concentraciones de 8,3 µg/mL, 6,23 µg/mL, 4,15 µg/mL y 2,08 µg/mL para Escherichia coli y a concentraciones de 8,3 µg/mL, 6,23 µg/mL y 4,15 µg/mL para Staphylococcus aureus. Empleó la técnica de microdilución para determinar la CMI y la CMB. Encontró la CMI (1.25 ug/ml y 2.91ug/ml) y CMB (1.66 ug/ml y 3.35 ug/ml) para la Escherichia coli y Staphylococcus aureus, respectivamente. Las pruebas estadísticas Anova y Tukey confirmaron la existencia de una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados y entre las bacterias. Por lo cual concluyeron que las nanopartículas Core-shell Ag-SiO₂ son efectivas para inhibir el crecimiento bacteriano y pueden tener aplicaciones en la lucha contra las infecciones.

(Cornelio & Quiñones, 2019) investigó un nuevo método para eliminar bacterias *E. coli* presentes en aguas residuales municipales extraídas de un reactor RAFA, utilizando nanopartículas de sílice (NPs- $[\text{SiO}]_2$). Para ello caracterizaron las NPs- $[\text{SiO}]_2$, estudiaron su actividad microbiana y pusieron en funcionamiento el reactor RAFA; luego monitorearon la eficiencia del reactor hasta alcanzar un porcentaje mayor del 80%; cuando alcanzaron una eficiencia del 81,5%, evaluaron la concentración y el tiempo de contacto necesario para inactivar las bacterias *E. coli* en el efluente del reactor. La caracterización de las NPs-SiO₂ mediante las técnicas DLS, SEM, TEM y Espectrofotometría UV-Vis, mostró el diámetro hidrodinámico de las NPs (11 - 11,7 nm), su forma simiesférica y la presencia del pico más elevado en los 195,5 nm, que da evidencia de la formación de SiONPs. Las NPs- $[\text{SiO}]_2$ a concentraciones de 20, 120 y 240 ppm fueron evaluadas en el efluente del reactor RAFA y se tomaron muestras a diferentes tiempos de contacto 2, 4, 6 horas, obteniendo un resultado óptimo de 120 ppm y 2 horas para la concentración y tiempo de contacto, respectivamente; condiciones a la cual se logró una inactivación de 71,4% de la bacteria.

(Vinces, 2021) evaluaron el uso de óxido de Silicio para controlar la severidad de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*), hongo que ataca frecuentemente a la planta de maíz. Utilizaron un diseño experimental con bloques completos al azar y determinaron la severidad de la enfermedad utilizando escalas de evaluación visual y un procesador de imágenes. Procesaron los datos en Infostat y se realizaron un análisis económico para determinar la rentabilidad de la aplicación. Encontraron que el programa Leaf Doctor es efectivo para evaluar la mancha de asfalto. La dosis de 168 kg/ha de silicio resultó en una mayor resistencia a la enfermedad y mayor rentabilidad en comparación con otros tratamientos. En las hojas bajas, que son más propensas a la enfermedad, el daño resultó 4,47% en el programa y 4,90% en el análisis visual.

1.1.2 Antecedentes Internacionales

(Youssef et al., 2019) sintetizaron nanopartículas de quitosano (CN), nanopartículas de sílice (SN) y nanocompuestos de quitosano-sílice (CSN) para evaluar su eficacia antifúngica contra *Botrytis cinerea*, causante de del moho gris de las uvas de mesa, probaron in vivo (bajo infecciones artificiales y naturales). Los nanomateriales fueron caracterizados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM); el diámetro promedio - forma de CN, SN y CSN fue 200 nm - esférico, 60 nm - amorfo y 48 nm - amorfo, respectivamente. Las pruebas in vitro mostraron que CN, SN y CSN redujeron el crecimiento de hongos en un 72, 76 y 100 %. Bajo infección natural, CSN fue el tratamiento más efectivo y redujo el desarrollo de moho gris en un 59 y 83%, para las uvas Italia y Benitaka, respectivamente. De ello, los autores sugieren el uso de estos nanomateriales como medio de control alternativo, para reducir o sustituir el uso de fungicidas para el control del moho gris de la uva.

(Goswami & Mathur, 2022) prepararon nanopartículas de SiO_2 (SiO_2 NPs) por calcinación de residuos (corazón de la mazorca de maíz y bagazo de caña de azúcar) en horno de mufla con temperaturas variables (400-1000°C) por 2 h en presencia de aire estático. Caracterizaron las SiO_2 NPs por Microscopía electrónica microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM), espectroscopía infrarroja de transmisión de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (XRD) espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDX), en la cual encontraron que las nanopartículas eran amorfas con un tamaño promedio de 17.23 nm y estaban compuestas por silicio (43.84%), O (24.2%) and C (17.23%). Realizaron un experimento de difusión en disco para comprobar la eficacia de las SiO_2 NPs contra *Fusarium oxysporum* y *Aspergillus niger* en placas de agar papa dextrosa a diferentes concentraciones de SiO_2 NPs (100, 250, 500 y 1000 ug). La

mayor inhibición del crecimiento micelial se obtuvo a la concentración de 1000 ug con un porcentaje máximo de inhibición de 73,42% y un 58,92% para *F. oxysporum* y *Aspergillus niger*, respectivamente.

(Angelova et al., 2018) examinaron las propiedades antifúngicas de materiales híbridos que contienen SiO_2 , hidroxipropilcelulosa y $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (SiO_2/HPC). Los cuales fueron sintetizados por la técnica sol-gel, con tetraetilortosilicato (TEOS) como fuente de sílice. Utilizaron *Candida albicans* 74 para evaluar la actividad antifúngica de los materiales. El estudio incluyó dos experimentos, el primero midió la cantidad de células vivas tras el contacto con el compuesto, en donde encontraron que tras 24 h y en presencia de un 2,5 % en peso de iones de zinc, los materiales redujeron el crecimiento fúngico en un 75,8 %; el segundo midió la zona de inhibición alrededor de los materiales, en la cual la zona de inhibición más clara y amplia fue de 11.75 mm en 24 h y 5% 5% en peso de zinc. Concluyendo que los materiales híbridos tienen actividades antibacterianas y antifúngicas de amplio espectro que podrían ser útiles en entornos sanitarios.

(Arshad et al., 2018) sintetizaron nanopartículas de SiO_2 dopadas con zinc ($Zn-d-SiO_2$ NPs) en tres solventes (n-hexano, acetonitrilo y alcohol isoamílico) para evaluar el potencial antibacteriano en *Bacillus subtilis* y *E. coli*; y antifúngico en *Candida parapsilosis* y *Aspergillus niger*, mediante el método de difusión en disco. Caracterizaron las $Zn-d-SiO_2$ NPs por las técnicas SEM, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), TEM, y difracción de rayos X (DRX); en la cual evidenciaron la presencia del enlace metálico SiO_2 , la forma hexagonal de las nanopartículas y su tamaño promedio de 7.93 nm. Las NPs de $Zn-d-SiO_2$ preparadas en presencia de acetonitrilo mostraron la mayor actividad antibacteriana (6% y 4,5%), seguidas de isoamil alcohol (3% y 2,4%) y n-hexano (2% y 1%) contra *B. subtilis* y *E. coli*, respectivamente. Registraron la actividad antifúngica en el orden siguiente: n-hexano (0,34% y 0,43%) < alcohol

isoamilo (0,27% y 0,19%) < acetonitrilo (0,21% y 0,17%) contra *C. parapsilosis* y *A. niger*, respectivamente.

(Arshad et al., 2019) produjeron nanopartículas de SiO_2 dopadas con Fe_2O_3 (Fe_2O_3 -d- SiO_2 NPs) por el método de coprecipitación a 70°C utilizando tres solventes diferentes (acetonitrilo, n-hexano y alcohol isoamílico) con la finalidad de evaluar su actividad antimicrobiana frente a un conjunto de sepas bacterianas y fúngicas. Las Zn-d- SiO_2 NPs fueron caracterizadas por las técnicas SEM, FTIR, TEM, DRX y DLS; donde encontraron que las nanopartículas tenían forma elipsoidal con tendencia a formar agregados y eran del orden de 5.89 nm a 19.89 nm. Las NPs preparadas en acetonitrilo mostraron la mayor actividad antibacteriana y antifúngica. Los valores de concentración mínima inhibitoria (MIC) registrados fueron 0,31 mg/L y 0,21 mg/L (acetonitrilo) y 0,24 mg/L y 0,18 mg/L (alcohol isoamílico) para *C. parapsilosis* y *A. niger*, respectivamente. Las NPs preparadas en n-hexano mostraron un valor MIC de 0,09 mg/L.

(Erazo et al., 2019) obtuvieron nanopartículas de ZnO (ZnO-NPs) mediante el método de precipitación controlada, utilizando acetato de zinc como agente precursor y dos solventes diferentes, ácido acético y etilenglicol, con el fin de evaluar su actividad antifúngica sobre *B. cinerea*. Llevaron a cabo la espectroscopía infrarroja de Transformada de Fourier, espectroscopía de absorción UV-Vis, difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de transmisión (TEM) para caracterizar las ZnO-NPs. Para evaluar la capacidad antifúngica de las ZnO-NPs, aislaron el hongo objeto de estudio a partir de tejidos enfermos de tomates. Sembraron 10 µL de la suspensión del hongo (15 esporas/µL) en las superficies de las placas petri que contenían PDA con ZnO-NPs a 6, 9 y 12 mmol/L y a lo largo de ocho días midieron el área de crecimiento del hongo. La caracterización de las ZnO-NPs reveló su fase cristalina, con un tamaño de 40 nm y forma acicular al utilizar ácido acético como solvente, mientras que con etilenglicol las ZnO-NPs

alcanzaron los 40 nm y presentaron forma esférica. Los resultados indicaron que la presencia de las ZnO-NPs tuvo un efecto significativo en la disminución del crecimiento del hongo, siendo el tratamiento más eficaz aquel con una concentración de 12 mmol/L tanto para las ZnO-NPs de forma acicular como esférica. En conclusión, se determinó que estas nanopartículas inhiben en gran medida el crecimiento de *B. cinerea*.

(Bikdeloo et al., 2021) investigaron la actividad antifúngica de nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs) sintetizadas de manera biogénica utilizando hojas de *Rosmarinus officinalis* frente a *Botrytis cinerea*. Llevaron a cabo una evaluación antifúngica in vitro mediante el método de dilución de agar. Para ello, inocularon discos de 1.5 cm de micelio del hongo, obtenidos de cultivos fúngicos de 7 días de edad, en el centro de placas petri que contenían PDA con soluciones de CuO-NPs a concentraciones de 0, 3, 5, 7, 11 y 15 mmol/L, y las incubaron a 25°C. Las nanopartículas que sintetizaron fueron caracterizadas utilizando diversas técnicas, como UV-vis, SEM, DRX y DLS. Estas técnicas revelaron la formación de nanopartículas de óxido de cobre con una absorbancia máxima a 540 nm, un diámetro medio de 50 nm y una estructura cúbica centrada. Los resultados indicaron que las tasas inhibitorias de las CuO-NPs a concentraciones de 3, 5, 7, 11 y 15 mmol/L fueron del 45.71%, 74.78%, 85.43% y 100%, respectivamente, a cinco días después de la inoculación. Los autores concluyeron que estas nanopartículas de óxido metálico redujeron significativamente el desarrollo de *Botrytis cinerea*.

(Issam et al., 2021) evaluaron la actividad antifúngica contra *Botrytis cinerea* de ZnO-NPs sintetizadas de manera ecológica utilizando extracto de hojas de olivo. Las ZnO-NPs se caracterizaron por espectrofotometría UV-Vis, difracción de rayos X (XRD), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM) acoplada a microanálisis de rayos X por dispersión de energía (EDXMA). Determinaron la

capacidad antifúngica in vitro de las ZnO-NPs midiendo el efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *B. cinerea* inoculadas en PDA suplementadas con las NPs a diferentes concentraciones (0, 100, 200, 400, 800 y 100 ppm). Además, registraron la eficacia protectora y antifúngica de las concentraciones de ZnO-NPs en condiciones in vivo mediante pulverización foliar en hojas separadas y plantas enteras de haba. Los resultados mostraron que las ZnO-NPs biosintetizadas presentan pureza cristalina, son de forma esférica a hexagonal y su diámetro promedio asciende a 17,41 nm. Los autores encontraron que las NPs en cuestión reducían significativamente el crecimiento y la patogenicidad de *B. cinerea* a concentraciones mayores a 400 ppm, concluyendo así que las ZnO-NPs tienen una actividad antifúngica prometedora que podría utilizarse como fungicida para la protección del haba contra *B. cinerea*.

1.2 Bases Teóricas y conceptuales

1.2.1 El maíz

El maíz, cuyo nombre científico es *Zea mays*, forma parte de la familia de las gramíneas. Este cereal, es el tercer cultivo más importante, solo después del arroz y trigo (Rouf et al., 2016). El maíz es un alimento básico ya que sirve de fuente de carbohidratos para la dieta humana de los países en desarrollo y constituye una fuente de ingresos para la población; por otro lado, en países desarrollados este grano es utilizado principalmente para la alimentación de animales (Ngoune & Shelton, 2020). Con el procesamiento del maíz se obtienen productos como harina de maíz, snacks, sémola, almidón, tortillas y cereales para desayuno. Según Rouf et al. (2016). en la actualidad el desarrollo de nutraceuticos, los componentes fitoquímicos del maíz y sus propiedades a la salud de las personas están siendo materia de investigación.

Según Orús (2023) a nivel mundial Estados Unidos lidera la producción de maíz con 383,94 millones de toneladas (Mt), le sigue China con 272,55 Mt y Brasil con 88,46 Mt.

1.2.1.1 Origen

Grande & Orozco (2013) mencionan que la siembra de la primera planta de maíz se realizó hace 7000 años en el Valle de Tehuacán en México, posteriormente se difundió hacia el norte en Canadá y hacia el sur en Argentina. El origen del maíz ha sido bastante estudiado y se puede hacer referencia a tres teorías que pretenden explicarlo; una de las teorías sostiene que el cereal en cuestión proviene de una forma de maíz silvestre, la otra de un teosinte silvestre y la restante refiere a un antepasado desconocido; cada una de las cuales se sustenta en diferentes campos de investigación, pero la adopción del teosinte como ancestro directo de maíz es la que tiene mayor aceptación por las evidencias contundentes a su favor (Acosta, 2009).

1.2.2 El maíz en el Perú

El maíz se cultiva en las tres zonas naturales del Perú. El maíz amarillo duro se cultiva en la costa y en la selva, representando el 56% de la superficie sembrada con este cereal. Por otro lado, en los andes predomina el cultivo de maíz amiláceo, donde las partes bajas están labradas con maíz choclero y las partes medias con maíz canchero. En la sierra del Perú, el maíz amiláceo es uno de los principales alimentos de las personas. La mayoría de la producción se enfoca en el autoconsumo, como el choclo, cancha, mote, harina precocida, bebidas y otros usos. El consumo per cápita de esta planta alcanza el 34,52 g/persona/día, lo que lo convierte en un motor de desarrollo para los pobladores de los estratos más pobres del país. Por lo tanto, en Perú esta planta es considerada estratégica (García, 2017).

1.2.3 Descripción botánica

La planta del maíz es una monocotiledónea de crecimiento anual que presenta porte robusto, su desarrollo se considera rápido, de 80 a 200 días de acuerdo a la variedad.(Grande &

Orozco, 2013). Este vegetal suele crecer de 2 a 6 m, es de apariencia frondosa, con sistema radicular fibroso y reducida cantidad de macollos en el sistema caulinar (Sánchez, 2014).

- El tallo es robusto, puede alcanzar los 4 metros y no muestra ramificaciones. No hay presencia de entrenudos, al realizar un corte transversal se evidencia una medula esponjosa (Izquierdo, 2012).
- Las hojas están abrazadas al tallo, son alargadas, lanceoladas, alternas y paralelinervias; los extremos son afilados y cortantes. El haz presenta vellosidades (Izquierdo, 2012).
- Las raíces del maíz son fasciculadas, los cuales brindan el soporte necesario a la planta (Izquierdo, 2012).
- La Inflorescencia del maíz es monoica, la inflorescencia femenina y masculina están separadas, motivo por el cual existe una polinización cruzada en la planta. Las yemas laterales ubicadas en las hojas de la parte alta darán origen a la inflorescencia femenina denominada mazorca. La inflorescencia masculina se sitúa en la parte superior de la planta, consiste en una espiga central con varias ramificaciones laterales donde se da la producción del polen (Sánchez, 2014).

1.2.4 La inflorescencia femenina (mazorca)

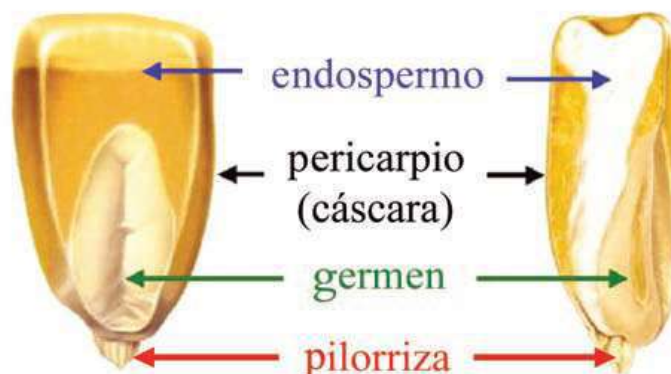
Presenta de 12 a 16 hileras de grano, lo que equivale de 300 a 1000 granos, de 190-300 g/millar de granos, representa alrededor del 42 % del peso seco de la planta, cada grano se denomina cariósipide y no presenta latencia (Sánchez, 2014).

El grano está compuesto por la piloriza, el pericarpio, el endospermo triploide y el embrión diploide. La piloriza es de estructura cónica que une el grano con el carozo, se compone de celulosa y hemicelulosa, y otros carbohidratos complejos. El pericarpio forma la

pared del fruto presenta un 87% de fibra cruda (hemicelulosa y celulosa), otras proteínas, cenizas y azúcares; su función es de protección y contención a las demás estructuras del grano. El endospermo suministra nutrientes para la germinación de la semilla, está constituido por un 87% de almidón, 8 % proteínas y 5% de agua. El embrión o germen es la estructura a partir de la cual se forma una nueva planta y presenta un elevado contenido de grasas, proteínas y minerales (Benítez & Pfeiffer, 2006).

Sánchez (2014) menciona que el pericarpio representa del 5 a 6 % de peso total del grano, el embrión del 12-13%, y el endospermo del 80-85%.

Figura 1. Morfología del grano de maíz



Fuente: (Benítez & Pfeiffer, 2006)

1.2.5 Características edafoclimáticas del maíz amiláceo

Mathews (2017) menciona que el maíz amiláceo, cultivado en la sierra peruana, necesita de 10 a 14 horas de sol al día, temperatura media del suelo superior a 10°C y menor a 30°C para evitar la disminución de la capacidad absorción de agua por parte de las raíces.

Tabla 1. Requerimientos climáticos del maíz amiláceo

Parte aérea	Parte radicular	Días después del sembrado	Temperatura a óptima	Temperatura crítica	Humedad óptima	Déficit hídrico
Germinación		0 - 10	15°C a 25°C	<10°C y >30°C	60% - 80%	Sensible
Emergencia	Brotamiento de raíces	10 - 15	15°C a 25°C	<10°C y >30°C	60% - 80%	Sensible
Desarrollo de hojas	crecimiento de raíces	90 - 100	15°C a 25°C	<6°C y >30°C	60% - 80%	Sensible
Panojamiento	Crecimiento de raíces	100 - 115	15°C a 21°C	<7°C y >30°C	60% - 80%	Sensible
Espigamiento	Crecimiento de raíces	115 - 135	15°C a 25°C	<7°C y >30°C	60% - 80%	Sensible
Maduración lechosa		135 - 160	15°C a 20°C	<7°C y >30°C	60% - 80%	Tolerante
Maduración pastosa		160 - 190	15°C a 20°C	<7°C y >30°C	60% - 80%	Tolerante
Maduración cornea		190 - 225	15°C a 20°C	<7°C y >30°C	60% - 80%	Tolerante
Senescencia		190 - 225	15°C a 20°C	<7°C y >30°C	60% - 80%	Tolerante

Fuente: adaptado de Mathews (2017)

Asimismo, las plantas del maíz amiláceo se adaptan mejor a suelos de textura media como el franco, franco arcilloso arenoso o franco arcilloso; de buen drenaje, profundos y de buena estructura, la pendiente del terreno no debe superar el 15% y la precipitación pluvial debe situarse entre 500 mm y 700 mm. El rango del pH adecuado del suelo es de 6,1 a 7,8; con la composición de materia orgánica superior al 4% (Mathews, 2017).

1.2.6 Clasificación taxonómica

Rouf et al. (2016) muestra la siguiente clasificación taxonómica del maíz:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Sub clase: Commelinidae

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

1.2.7 Problemas fitosanitarios

Jara (2014) describe a las pudriciones de mazorca como el mayor problema fitosanitario en el cultivo de maíz a causa de la repercusión económica que representan; asimismo, menciona que la intensidad de estas enfermedades depende de las condiciones ambientales, ocasionando perjuicio más significativo en años de mayor precipitación.

- a) Pudrición gris por *Physalospora*. El hongo *Physalospora zeae* es responsable de producir granos de color negro a gris. Durante las infecciones tempranas, el capacho se pega a los granos y los torna de color negro debido a la formación de muchos esclerocios. Periodos prolongados de alta humedad y calor fomentan la propagación de la infección (Varón &

Sarria, 2007).

- b) Pudrición rosada por Fusarium. Causada por el hongo Fusarium moniliforme. En los primeros estados, las mazorcas con este problema muestran granos blancos a rosados. Después, se muestra el desarrollo del hongo a través de la formación de micelio blanco o rosado sobre o entre los granos, y en etapas más avanzadas, los granos germinan. La alta humedad relativa, las puntas descubiertas del fruto, la falta de nutrientes, el daño a las mazorcas por parte de los pájaros, la presencia de insectos barrenadores, la cosecha tardía y los volcanes son factores que favorecen la infestación (Varón & Sarria, 2007).
- c) Pudrición por Diplodia. Es causado por el hongo Diplodia maydis, que tiene un micelio blanco abundante y puntos negros en las mazorcas de color pajiza. En estados avanzados, las mazorcas se tornan de color café oscuro. Los climas cálidos y húmedos favorecen la infección (Varón & Sarria, 2007)

1.2.8 Hongo *Botrytis cinerea* pers (*B. cinerea*)

El género Botrytis es uno de los taxones fúngicos más antiguos y mejor estudiados, de la cual la especie *B. cinerea* es la más conocida e investigada (Bi et al., 2023). Esto debido a que es uno de los patógenos fúngicos de mayor relevancia en la producción de frutas y hortalizas en todo el mundo, causando daños en una extensa variedad de cultivos (Parra et al., 2018). Este hongo puede infectar las plantas (hojas, tallos, flores, frutos y tubérculos) tanto en el campo, cosecha y postcosecha presentando un color grisáceo característico en el tejido afectado (Ribera, 2007)

Etimología

El nombre de la especie proviene del latín *cinereus-a-um* (de color grisáceo o ceniza), que se refiere al color grisáceo de las esporas acumuladas en el tejido vegetal infectado. Por otro lado, la etimología del género *Botrytis* proviene del Griego *botrys*, que significa "grupos de uvas", debido a la organización de sus conidias en forma de racimos (Ribera, 2007).

1.2.9 Clasificación taxonómica

Según lo mencionado por (Ribera, 2007). *B. cinerea* tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Fungi

División: Deuteromycota

Clase: Hyphomycetes

Orden: Moniliales

Familia: Moniliaceae

Género: *Botrytis*

Especie: *Botrytis cinerea*

1.2.10 Hospedantes de *Botrytis cinerea*

Bi et al. (2023) menciona que existen más de 35 especies de *Botrytis*, los cuales son patógenos necrotróficos, es decir, que para obtener los nutrientes que necesitan primero deben matar las células de la planta. Las especies de *Botrytis* manifiestan un rango estrecho de hospedantes, pero a diferencia de los otros la especie *cinerea* es capaz de afectar una amplia variedad de especies vegetales, incluidos los principales cultivos agrícolas, llegando a infectar a más de 200 especies de plantas (Fillinger & Elad, 2016). Por lo que es parecido filogénicamente a *Sclerotinia sclerotiorum*, patógeno causante de la enfermedad del moho blanco en cientos de especies de plantas. *B. cinerea* es menos agresivo que *S. sclerotiorum*, pero puede infectar hojas y tallos intactos. Las plantas cultivadas en invernadero son más susceptibles a la infección por el

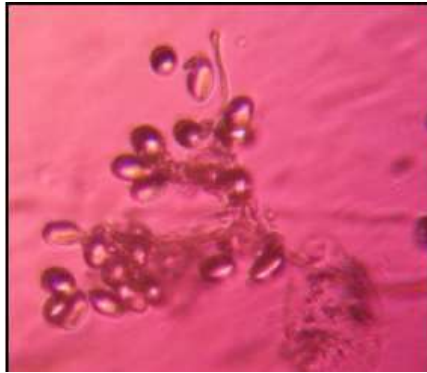
hongo en cuestión (Agrios, 2005). Sus hospedantes principales son frutales (fresa, uva, manzana, plátano, arándano, naranja, etc.), hortalizas (tomate, lechuga, pimiento, zanahoria, pepino, berenjena) y ornamentales (rosa, clavel, violeta, crisantemo, etc.) (Matute, 2019)

1.2.11 Características morfológicas

B. cinerea tiene conidióforos septados ramificados, de los cuales se deriva pequeños esterigmas que producen conidias multinucleadas, heterocarióticas, hialinas o ligeramente coloreadas, unicelulares, ovoides o esféricas (Agrios, 2005). En la infección, el hongo se sitúa en la epidermis del tejido vegetal utilizando hifas ramificadas con septos y varios tipos de estructuras de penetración, incluidos los apresorios, que con prontitud invadirán el tejido. Con el incremento de la edad del patógeno se forman los esclerocios, los cuales son amorfos y sirven como estructuras de resistencia para proteger al patógeno de las condiciones climáticas desfavorables (Ribera, 2007).

En aislados de fresa, el hongo *B. cinerea* presentó conidióforos septados grandes (2 mm de longitud) y gruesos (16 – 30 μm), con ramificaciones en la parte distal, ápices hinchados y esterigmas que producían conidios lisos color café claro, unicelulares de elipsoides a ovoides del tamaño de 7,4 a 13 μm (Matute, 2019).

Figura 2. Conidióforo productor de conidios de *B. cinerea*



Fuente: (Matute, 2019)

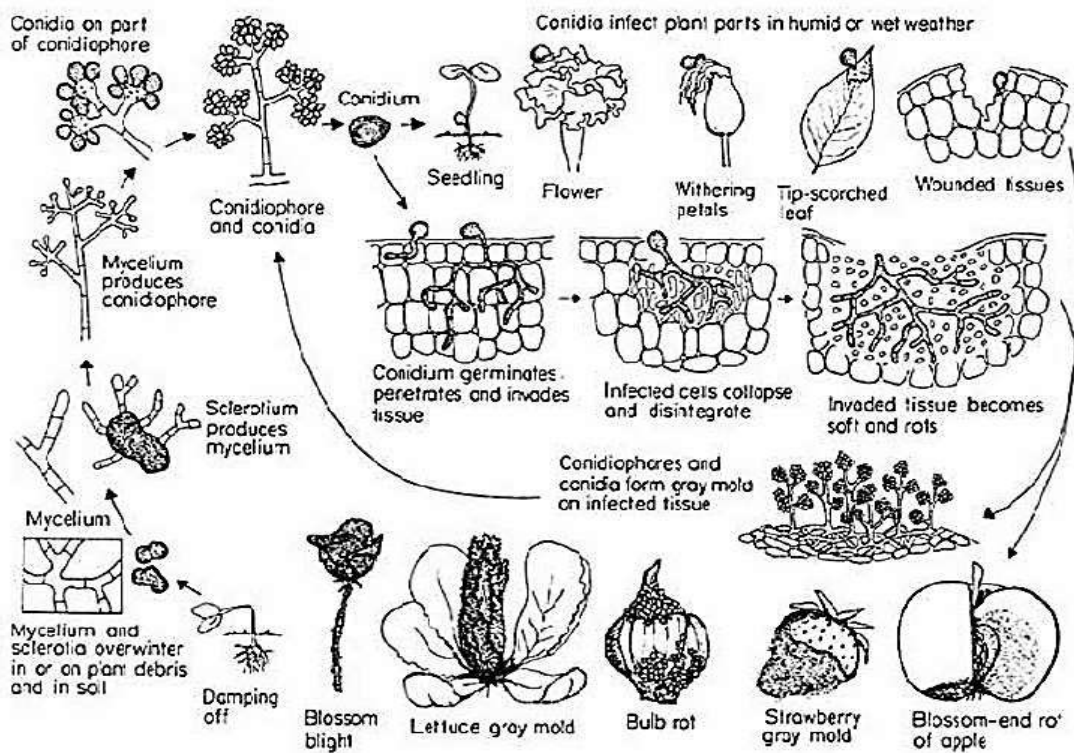
1.2.12 Ciclo de la enfermedad

B. cinerea es un hongo parasitario facultativo que puede crecer en tejidos necróticos como saprofito o como parásito. Al hongo se puede encontrar en forma de micelio en tejido vegetal en descomposición o como esclerocios durante la época invernal. Después del invierno, el micelio crece y los esclerocios germinan para producir conidióforos (Ribera, 2007). Las conidias se liberan desde los conidióforos hasta llegar al hospedero, donde comienza el proceso de infección bajo condiciones climáticas favorables (temperatura, presencia de nutrientes exudados en la cutícula, edad y concentración de inoculado y edad del tejido (Gómez, 2013).

Las conidias producen micelio una vez que entran en contacto con el hospedero, que generalmente ocurre entre 5 y 8 horas, durante el cual estas estructuras deben permanecer húmedas. El micelio penetra en el tejido a través de heridas, aberturas naturales o mediante la participación de enzimas, la secreción de toxinas o una combinación de estas; invade el tejido causando la desintegración de las células vegetales y el tejido se ablanda y se pudre. En el tejido infectado, el micelio produce conidióforos y libera conidias nuevas. El proceso continúa y el hongo regresa a su estado de hibernación al próximo invierno (Gómez, 2013).

Este fitopatógeno produce síntomas que varían según la parte de la planta infectada y el estado fisiológico de los tejidos (Matute, 2019). Así, pudrición en frutos y tubérculos, marchitamiento en el tejido, pústula y manchas foliares, canchros en los tallos, declive de las plántulas y tizones en las inflorescencias son algunos de los signos que se pueden observar (Ribera, 2007).

Figura 3. Ciclo de vida de *Botrytis cinerea* pers.



Fuente: (Matute, 2019)

1.2.13 Condiciones ambientales favorables para el desarrollo del hongo

(Coley-Smith et al., 1980) indican que el rango de humedad relativa del aire necesario para la germinación de las conidias es del 93 al 100%, mientras que el rango de temperaturas de germinación es más amplio y puede oscilar entre 0 y 26 °C. La humedad es un factor más limitante

que la temperatura. En cuanto al desarrollo micelial, la mayoría de los estudios han demostrado que *B. cinerea* crece dentro de un rango óptimo de 20 a 25 °C, pero puede mostrar un crecimiento significativo incluso a 0 °C. La tasa de crecimiento disminuye significativamente a valores mayores que 25°C, pero puede crecer hasta 35°C sobre sustratos específicos, como el agar papa sucrosa (PSA) (Leonelli, 2006).

1.2.14 Control químico de *B. cinerea*

Se basa en el uso de agentes fungicidas y actualmente es el método de mayor popularidad para el control de *Botrytis cinerea*, mediante el empleo de productos que actúan de diversas maneras. Sin embargo, debido a la variabilidad genética de este hongo, abundante producción de esporas y la aplicación en reiteradas ocasiones del mismo fungicida a ocasionado la resistencia del fitopatógeno a los fungicidas de los grupos Benzimidazoles y Dicarboximidias (Leonelli, 2006). La aplicación en reiteradas ocasiones de los mismos agentes fungicidas incrementa la presión selectiva y, por ende, fomenta el desarrollo de resistencia. Es por ello, que recomiendan que la aplicación de fungicidas debe contemplar la rotación y la combinación de productos con diferentes modos de acción. Entre los fungicidas mas utilizados contra *B. cinerea* se tiene a thiophanate methyl, iprodione, boscalid, cypronil y otros (Matute, 2019).

Asimismo, (Gómez, 2013) menciona que los patógenos con alta variabilidad genética, como es el caso de *Botrytis* debido a su amplio rango de hospederos y distribución espacial.; evidencian mayor probabilidad de vencer la resistencia genética del hospedero.

1.2 15 Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de *Botrytis*.

a. Caracterización molecular

Fernando (2019) indica que para identificar aislados fungosos y especies del género *Botrytis* de manera más rápida y precisa, es necesario complementar los métodos tradicionales o

visuales con técnicas de biología molecular. Los estudios moleculares han permitido identificar y caracterizar la diversidad genética de los agentes patógenos. Esto es posible porque las técnicas moleculares ofrecen numerosas ventajas en comparación con los métodos de identificación convencionales. Estas técnicas son rápidas, versátiles y sensibles. La reacción en cadena de la polimerasa (PCR), por ejemplo, permite la obtención de millones de copias de ADN y permite la síntesis específica de un segmento de ADN delimitado por un par de partidores que lo flanquean. Asimismo, la optimización de esta estrategia para cada estudio es esencial, y la selección de partidores adecuados es un factor crucial. En trabajos previos emplearon principalmente técnicas moleculares para caracterizar la diversidad genética de las especies de *Botrytis* utilizando genes nucleares como G3PDH, HSP60 y RPB2 (Gómez, 2013).

b. Caracterización morfológica

La delimitación de especies de *Botrytis* tradicionalmente se ha basado en la evaluación de las características morfológicas y culturales relacionadas con la especificidad del hospedero (Gómez, 2013). Algunas especies se han delimitado utilizando características como la forma y el tamaño de estructuras como conidióforos, conidias y esclerocios. Sin embargo, hay muchas otras especies con morfología similar y la identificación puede verse afectada significativamente por condiciones de cultivo como el pH, la relación C:N, la disponibilidad de nutrientes, la temperatura y el sustrato. Mientras que el crecimiento de los esclerocios puede ser influenciado por factores como la temperatura, el pH y el sustrato (Fillinger & Elad, 2016)

1.2.16 Método del medio envenenado

El método del medio envenenado antifúngico es una técnica ampliamente utilizada en microbiología para evaluar la efectividad de sustancias o compuestos contra hongos y levaduras. Este método se basa en la preparación de un medio de cultivo agarizado al cual se le añade una

concentración significativa de una sustancia antifúngica con el propósito de inhibir el crecimiento de los hongos. La sustancia antifúngica puede ser un agente químico, un extracto de planta, un producto natural u otro compuesto conocido por sus propiedades antifúngicas. Estas sustancias se incorporan de manera homogénea al medio de agar durante su preparación. Posteriormente, los hongos o levaduras de interés se siembran en la superficie del medio envenenado y se incuban en condiciones adecuadas de temperatura y humedad. Durante el periodo de incubación, se realiza un seguimiento del crecimiento de los hongos y se evalúa su capacidad para resistir o sobrevivir a la presencia de la sustancia antifúngica. En caso de que los hongos sean susceptibles, se observará una inhibición o restricción en su crecimiento en comparación con un control sin la sustancia antifúngica (Vera & Esparza, 2018).

1.2.17 Nanopartículas

La nanotecnología estudia y manipula la materia a nanoescala, específicamente entre 1 y 100 nanómetros, aprovechando propiedades físicas únicas para crear aplicaciones innovadoras. Las nanopartículas, definidas por su tamaño menor a 100 nm en varias direcciones y con diversas formas, destacan por su alta relación superficie-volumen que les otorga propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a las de mayor escala. Sus características incluyen fenómenos cuánticos y efectos de tamaño cuántico, lo que las hace útiles en campos como electrónica, biomedicina, farmacología, cosmética, energía, medio ambiente, catálisis y ciencia de materiales. (Nowack & Bucheli, 2007).

1.2.18 Propiedades Antimicrobianas de las Nanopartículas de SiO₂

Las nanopartículas de dióxido de silicio han demostrado tener propiedades antimicrobianas significativas, particularmente en la inhibición y control de patógenos fúngicos en la agricultura.

Su eficacia está influenciada por factores como el tamaño de las partículas, la concentración y el tiempo de exposición (Gómez, 2018).

1.2.19 Caracterización de nanopartículas de SiO₂

- DLS (Dispersión dinámica de Luz)

La técnica de Dispersión Dinámica de Luz (DLS) es un método de análisis ampliamente reconocido y eficaz para determinar las distribuciones de tamaño de partículas en suspensiones coloidales y emulsiones. Funciona mediante el análisis de la luz que las partículas en suspensión dispersan, proporcionando datos precisos sobre el tamaño promedio de las partículas y su distribución.

El DLS utiliza un haz de luz láser que incide sobre la muestra, y las partículas presentes dispersan esta luz en varios ángulos. Un detector captura esta luz dispersa y registra las variaciones en la intensidad lumínica, que son consecuencia del movimiento browniano de las partículas. Estas fluctuaciones son claves para determinar el tamaño de las partículas en la muestra. Esta técnica es esencial para verificar las especificaciones de los productos y evaluar la eficacia de los procedimientos de dispersión, lo que la convierte en una herramienta invaluable en el campo de la nanotecnología y la investigación de materiales (Babick, 2020).

- SEM (Microscopía electrónica de barrido)

La Microscopía Electrónica de Barrido (SEM, del inglés Scanning Electron Microscopy) representa una técnica avanzada de imagen, que emplea un haz de electrones en lugar de luz visible para examinar la superficie de una muestra con una resolución y amplificación superior. Esta metodología se distingue por su capacidad para generar imágenes detalladas de alta resolución de la superficie de la muestra, superando las limitaciones de la microscopía óptica tradicional.

En el proceso del SEM, un haz de electrones concentrado se proyecta sobre un punto específico de la muestra y luego se desplaza secuencialmente a lo largo de su superficie. La interacción del haz con la muestra genera diversas señales, incluyendo electrones retrodispersados, electrones secundarios y rayos X característicos. Estas señales son capturadas por detectores especializados, permitiendo la creación de una imagen exhaustiva y detallada de la superficie de la muestra. Utilizando detectores específicos, se puede identificar la composición química y la distribución espacial de los elementos dentro de la muestra. Esta característica resulta invaluable en el análisis de materiales, incluyendo la investigación de fallas, la caracterización de materiales nanoestructurados y el estudio detallado de la composición de materiales diversos (Inkson, 2016).

1.3 Definición de términos básicos

Nanotecnología

La nanotecnología se enfoca en la investigación, diseño y fabricación de materiales y dispositivos en una escala de 1 a 100 nanómetros. A esta minúscula dimensión, la materia muestra propiedades únicas, permitiendo la manipulación molecular para crear funciones específicas (Hulla et al., 2015).

Estabilidad coloidal

La estabilidad coloidal representa la habilidad de las partículas en suspensión de mantenerse dispersas sin unirse o asentarse, siendo crucial en diversas aplicaciones, dado que las partículas pierden su efectividad funcional al aglomerarse o sedimentarse. Mediante técnicas de repulsión electrostática, repulsión estérica o repulsión por hidratación se puede lograr la estabilidad coloidal (Gambinossi et al., 2015).

Caracterización de nanopartículas

Hace referencia a procesos y técnicas para analizar y describir las propiedades físicas, químicas y estructurales de las nanopartículas de óxido de silicio; la dispersión de luz dinámica y microscopía electrónica de barrido son algunas de las técnicas de caracterización de nanopartículas (Youssef et al., 2019).

Botrytis cinérea:

Botrytis cinerea, un hongo filamentoso, es responsable de la enfermedad llamada "moho gris" que afecta a múltiples cultivos, ocasionando considerables pérdidas económicas. Su propagación es favorecida en entornos con altos niveles de humedad y temperaturas moderadas (Youssef et al., 2019).

Conidios

El conidio es una forma de propagación asexual presente en ciertos hongos como *Botrytis cinerea*. Son células haploides generadas en cantidades significativas, liberándose al entorno para colonizar nuevos entornos. Sus características morfológicas y producción pueden ser afectadas por factores ambientales como la humedad y la temperatura (Shao et al., 2021).

Hongo Necrotrófico

Un hongo necrotrófico es un tipo de patógeno fúngico que, como parte de su estrategia de infección, induce la muerte de las células del huésped. Esto se logra mediante la liberación de enzimas que degradan la pared celular de la planta y la producción de toxinas que provocan la muerte celular. A diferencia de los hongos biotróficos, que se alimentan de células vivas del huésped, los hongos necrotróficos obtienen nutrientes de células que ya están muertas o en proceso de deterioro (Shao et al., 2021).

Conidio hialino

Los conidios hialinos son estructuras reproductivas asexuales de ciertos hongos, como *Botrytis cinerea*. Se distinguen por su transparencia o falta de pigmentación visible. El término "hialino" describe su aspecto claro, siendo células individuales o grupos sin coloración aparente (Bikdeloo et al., 2021).

Inhibición fungica

La inhibición fúngica implica la capacidad de un compuesto o sustancia para detener o disminuir el crecimiento de hongos. Estos agentes inhibidores pueden ser naturales o artificiales y se aplican en la agricultura, medicina e industria alimentaria para prevenir o tratar infecciones por hongos. Actúan interrumpiendo la formación de la pared celular, la síntesis proteica o el proceso de síntesis de ácidos nucleicos del hongo (Shao et al., 2021).

Inoculación

En el campo de la microbiología, la inoculación consiste en la introducción deliberada de un agente patógeno o material biológico, como una cepa microbiana o una muestra clínica, en un entorno biológico o medio de cultivo específico. Este proceso se lleva a cabo con el propósito de estudiar el comportamiento, la replicación o los efectos de dicho agente en condiciones controladas. Esta práctica permite analizar la respuesta del sistema hospedador o el crecimiento del microorganismo, siendo un procedimiento fundamental en la investigación microbiológica y en el desarrollo de cultivos y pruebas de laboratorio (Tortora et al., 2017).

Fitoalexinas

Las fitoalexinas son sustancias químicas generadas por las plantas como parte de su mecanismo de protección frente a la presencia de patógenos como hongos, bacterias y virus. Estos compuestos poseen propiedades antimicrobianas que actúan como barrera contra la propagación de la infección (Shao et al., 2021) .

Actividad antifúngica

La actividad antifúngica se define como la habilidad de una sustancia o agente para detener o evitar el desarrollo y la expansión de hongos patógenos. Esta actividad está asociada con la efectividad de un compuesto o método para inhibir la viabilidad y el crecimiento de los hongos. Implica la interferencia del agente en procesos vitales para la supervivencia y reproducción de los hongos, tales como la replicación del ADN, la formación de la pared celular o la síntesis proteica (Ruiz & Ramos, 2021).

1.4 Hipótesis de Investigación

1.4.1 Hipótesis general

La concentración y el tiempo de contacto de nanopartículas de SiO_2 tendrá un efecto positivo en la desinfección fúngica de *B. cinerea pers* en cultivos de maíz (*Zea mays*) contaminado por agua residuales domésticas

1.4.2 Hipótesis específicas

- El tipo de configuración espacial que presentan las nanopartículas de SiO_2 será esférica en comparación con los hongos *B. cinerea pers* en granos de maíz (*Zea mays*) que presentaran formaciones ramificadas.
- La variación de la concentración de nanopartículas de SiO_2 producirá un efecto positivo en la desinfección fúngica de *B. cinerea pers* en cultivos de maíz (*Zea mays*) contaminado por agua residuales domésticas.
- La variación del tiempo de contacto de nanopartículas de SiO_2 producirá un efecto positivo en la desinfección fúngica de *B. cinerea pers* en cultivos de maíz (*Zea mays*) contaminado por agua residuales domésticas.

1.5 Operacionalización de Variables

1.5.1 Variables Independientes (VI):

- Concentración de nanopartículas de SiO₂

Indicador:

→ Concentración (mg/L)

- Tiempo de contacto

Indicador:

→ Tiempo (días)

Tabla 2. Concentración de nanopartículas

-1	0	+1
2000 mg/L	4000 mg/L	6000 mg/L

Tabla 3. Tiempos de contacto

-1	0	+1
2 días	5 días	7 días

1.5.2 Variables Dependientes (VD):

Inhibición del crecimiento micelial de hongo *B. cinerea* Pers.

Indicador:

Impedimento de desarrollo micelial (% de inhibición).

CAPITULO II

DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Tipo de investigación y nivel de investigación

Tipo de investigación

El tipo de Investigación es APLICADA, según Lozada, (2014) este tipo de investigación está orientada a resolver problemas de las actividades humanas, en donde se formulan hipótesis que buscan resolver dichos problemas, apoyándose en la investigación básica. Relaciona la teoría y el producto.

Nivel de investigación

El nivel de Investigación es EXPLICATIVA, de acuerdo a la literatura de estudios realizados en el tema propuesto, emplean este tipo de nivel, en el cual se busca explicar el porqué de los hechos o algún fenómeno y las condiciones a la que se da este, estableciendo relaciones causa-efecto entre dos o más variables, haciendo uso del método científico para probar la evidencia (Abreu, 2012).

2.3 Método y diseño de investigación

Método de investigación

El método empleado es EXPERIMENTAL:

Diseño de investigación

Según el enfoque cuantitativo experimental, nos permitirá comprender científicamente el proceso del efecto de las variables independientes de ingreso que afectan a la variable de salida.

Para ello utilizaremos un diseño factorial:

N° pruebas = 3k

Dónde:

3: representa el número de niveles

k: representa el número de variables independientes

En el proyecto se trabajó 2 variables independientes con 3 niveles cada una y 2 réplicas, como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Niveles máximos y mínimos de los indicadores de las variables independientes

INDICADORES		DOMINIO EXPERIMENTAL		
x ₁	Tiempo de contacto (días)	2, 5, 7 días		
x ₂	Concentración de nanopartículas de SiO ₂ (mg/L)	2000 mg/L	4000 mg/L	6000 mg/L

Fuente: Propia

Entonces el número de pruebas totales queda de la siguiente manera:

$$\text{Número de pruebas} = 3^2 * 3 = 27$$

En la tabla 5 podemos apreciar la matriz de experimentos con los niveles de cada variable independiente, realizando todas las combinaciones posibles haciendo un total de 48.

Tabla 5. Matriz de diseño

MATRIZ DE EXPERIMENTOS				
FACTORES			RESULTADOS	
N°	x ₁ (mg/L)	x ₂ (días)	Inhibición de hongo <i>B. cinerea</i>	
			Pers	

1	2000	2	% de inhibición
2	2000	5	% de inhibición
3	2000	7	% de inhibición
4	4000	2	% de inhibición
5	4000	5	% de inhibición
6	4000	7	% de inhibición
7	6000	2	% de inhibición
8	6000	5	% de inhibición
9	6000	7	% de inhibición

Fuente: Propia

2.4 Población y muestra

2.4.1. Población

Mazorcas de maíz (*Zea mays*) con presencia de hongo *B. cinerea Pers.*

2.4.2. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra fue 27 mazorcas de maíz (*Zea mays*) con presencia de Hongo *B. cinerea Pers.*

2.4.3 Técnicas de muestreo

Muestreo aleatorio simple

2.5 Técnica e instrumento de recopilación de datos

En esta investigación la técnica utilizada fue el experimento, cuyo instrumento es el plan experimental.

Los instrumentos y equipos necesarios fueron:

- Incubadora de muestras:
- Autoclave
- Campana de extracción
- Sonda de ultrasonidos
- Cocinilla eléctrica
- Contador de colonias
- Sistema de purificación de agua
- Balanza analítica
- Mechero bunsen
- Vernier
- Microscopio óptico
- Equipo DLS
- Microscopio electrónico de barrido

Los materiales utilizados fueron:

- Placas de Petri
- Pissetas
- Vasos de precipitación
- Probetas

- Matraces
- Lunas de reloj
- Sacabocados de 5 mm
- Micro espátula-cuchara de laboratorio
- Cuchara espátula de laboratorio
- Papel aluminio
- Cinta Parafilm
- Cooler
- Bolsas ziplock

2.5.1 Procedimiento de recolección de datos

2.5.1.1 Caracterización de nanopartículas de óxido de silicio

DLS (Dispersión dinámica de Luz) (Dynamic light Scattering)

Se utilizó para determinar el diámetro hidrodinámico de las nanopartículas de SiO₂ con una sensibilidad de hasta 1 nm. Para ello, se disolvió 10 mg de nanopartículas de SiO₂ en 1000 ml de agua desionizada y se sonó durante 20 min para dispersar las partículas; luego, se enjuagó los viales que se utilizarán en el equipo DLS con la disolución sonicada, antes de verter la muestra a ser analizada. Finalmente, se introdujo un vial con la disolución al equipo DLS, y se registró la lectura del tamaño de las nanopartículas de SiO₂.

SEM (Microscopía electrónica de barrido)

Se utilizó para determinar el tamaño y morfología de las nanopartículas de SiO₂, el cual tiene una sensibilidad de hasta 10 nm. Se siguió en siguiente procedimiento.

- Se depositó una pequeña cantidad de la muestra sobre un soporte adecuado, como lo es el portaobjetos para SEM.

- Se realizó el secado de punto crítico, donde las muestras se introdujeron en la cámara de alta presión del secador de punto crítico. Se cubrió la cámara con etanol absoluto, se elevó la presión y la temperatura hasta alcanzar el punto crítico (31°C, 73.8 bar) del gas CO₂ alimentado para la extracción de agua. Este proceso se realizó durante 45 min.
- Las nanopartículas de SiO₂ son aislantes, por lo que a menudo se requiere un recubrimiento conductor para evitar la acumulación de carga durante el análisis SEM. Esto se logra mediante la técnica de metalización por pulverización Catódica, en la cual Las muestras deshidratadas se depositaron sobre portamuestras Stub SEM de 12 mm de diámetro las cuales se encuentra recubiertas con cinta conductora de carbono de doble adhesivo. Estas fueron ingresadas dentro de la cámara de vacío de un metalizador por pulverización catódica para ser recubiertas con una nanopelícula de oro de 10 nm de espesor. El proceso se realizó a 0.002 bar de presión y una temperatura de 15°C bajo un amperaje de 30 mA y durante un tiempo de 120 segundos.
- Finalmente, la muestra se ingresó a la cámara de vacío del Microscopio Electrónico de Barrido, la cual se inunda con Nitrógeno gaseoso (99.7% N₂) garantizando que la temperatura ambiental de la sala esté ajustada a 17°C. Se inicio el proceso de vacío con una bomba rotativa de alta velocidad hasta alcanzar una presión de 0.0028 Pa. Las muestras fueron analizadas una a una bajo un voltaje de aceleración de 15000V, una magnificación superior a 100 000X, una altura focal de mínima de 5mm, 2 detectores (Secondary Electron e InBeam Detector) y modo de enfoque de profundidad. El SEM utiliza un haz de electrones para escanear la muestra, creando imágenes detalladas de las nanopartículas, esto permite observar características como el tamaño, la morfología y la distribución de las nanopartículas de SiO₂.

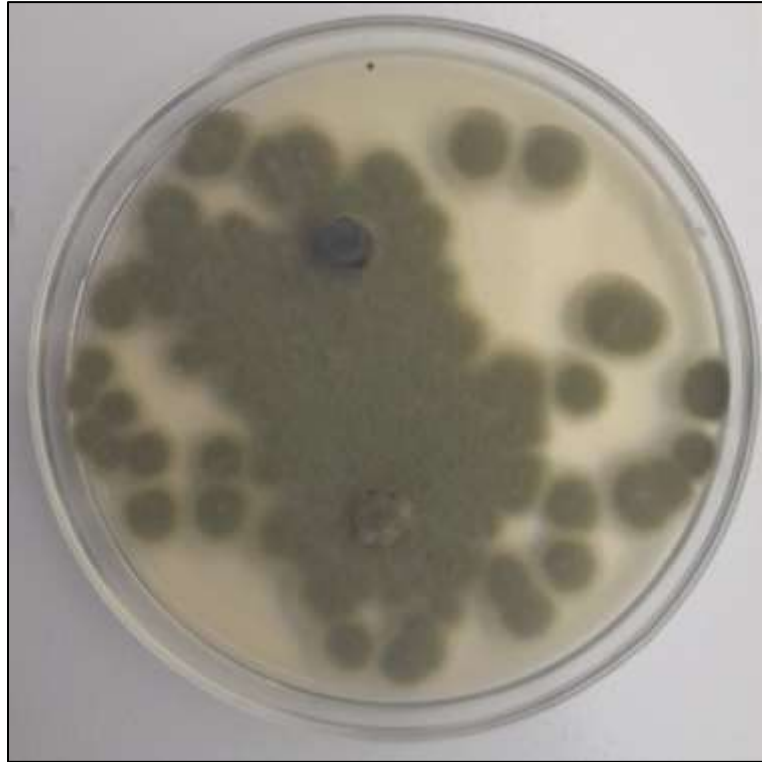
Figura 4. Nanopartículas de óxido de silicio utilizadas en la investigación



2.5.1.2 Aislamiento y purificación *B. cinerea* a partir del tejido enfermo

Se tomó varias muestras de mazorcas de maíz que presenten el síntoma típico de infección por el hongo *B. cinerea*, correspondiente a una esporulación grisácea. La muestra se observó al microscopio óptico para evidenciar la presencia de conidióforos típicos y conidios. Luego, se extrajo tapones de micelio del hongo desarrollado en el maíz para colocarlas en una placa de Petri contenidas con APD gelificado (preparado según las indicaciones del fabricante), se selló con cinta Parafilm y se incubó a 25°C por 7 días. Pasado el tiempo correspondiente, se realizó una purificación del cultivo, para lo cual se extrajo un tapón de micelio del borde de crecimiento de activo crecimiento del cultivo y se sembró en otra placa de Petri contenidas con APD y se incubó a las condiciones ya descritas.

Figura 5. Hongo *B. cinerea* desarrollándose en APD



2.5.1.3 Caracterización del hongo aislado

Para el análisis macroscópico se evaluó la coloración del micelio (gris claro, gris oscuro). En el análisis microscópico se consideró la forma y el color de los conidióforos y conidios, tomando una pequeña muestra del micelio del hongo mediante la técnica de la cinta adhesiva para realizar la caracterización de los aislados mediante la visualización en un microscopio óptico. Los conidióforos fueron observados utilizando el lente objetivo 40 x a la escala de 100 μm , mientras que los conidios fueron visualizados con el lente objetivo 100 x a la escala de 20 μm .

2.5.1.4 Evaluación in vitro de la actividad antifúngica de SiO_2 -NPs

Esta actividad se realizó a partir de cultivos puros de *B. cinerea* aisladas y solución de SiO_2 -NPs.

a) Preparación de la solución de SiO_2 -NPs

Una solución madre de SiO₂-NPs fue preparada a 10 000 ppm utilizando agua ultrapura como solvente; para lo cual, se pesó 0.5 g de SiO₂-NPs comercial de marca MKNano y se adicionó a un vaso de 100 ml contenido con 50 ml de agua ultrapura. La solución fue llevada a sonicación por 20 min al 50% de potencia de trabajo del equipo; inmediatamente, se tomó 8, 24 y 32 ml de la solución madre para trasvasarlo a matraces que contenían 32, 24 y 16 ml de APD fundido, respectivamente; logrando una concentración de 2000, 4000 y 600 ppm de SiO₂-NPs disueltas en APD. Se prosiguió con la homogenización de las muestras por agitación. Asimismo, se tuvo un matraz que contenía 40 ml de APD sin SiO₂-NPs, la cual actuará como el tratamiento control. Los matraces contenidos con las mezclas y el matraz que contenía solo APD fueron autolavados a 121°C por 15 min.

b) Inoculación de *B. cinerea*

En condiciones de asepsia y utilizando un mechero bunsen, las muestras anteriormente autoclavadas y aun calientes, a una temperatura aproximada de 45 a 50°C, fueron vertidas en placas de Petri de 9 cm de diámetro (40 ml por placa) y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para su correspondiente gelificación. Se extrajeron tapones de micelio de 5 mm de diámetro del borde de crecimiento de cultivos puros de *B. cinerea* de 7 días de edad, para colocarlas en el centro de las placas de Petri, sellarlas con cinta Parafilm e incubarlas a 25°C en condiciones de oscuridad. La placa de Petri inoculada con *B. cinerea* que contenía solo APD representa el control. Se tuvieron 12 placas de Petri como resultado del triplicado del tratamiento y control.

Figura 6. Inoculación de tapones de micelio.



Con un vernier, se midió el crecimiento fúngico radial de *B. cinerea* a los 2, 5 y 7 días después de la inoculación. Para cuantificar el porcentaje de inhibición en diámetro de colonia se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición}(\%) = \frac{dc - dt}{dc} \times 100$$

Donde:

dc: diámetro del crecimiento fúngico lineal en el control.

dt: diámetro del crecimiento fúngico lineal en el tratamiento.

2.6 Técnica de procesamiento de datos

Se usará pruebas como la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Correlación de Pearson para variables cuantitativas mediante el uso de programas estadísticos SPSS, Minitab y R para la validación de los datos.

CAPITULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Caracterización de nanopartículas de SiO₂

3.1.1. Dispersión de Luz Dinámica

En el presente apartado se muestra la caracterización de las nanopartículas de óxido de silicio mediante la Dispersión Dinámica de Luz (DLS), esta técnica también es conocida como Espectroscopía de Correlación de Fotones (ECP) o Dispersión de Luz Cuasi Elástica (DLCE), es una técnica utilizada para determinar la distribución del tamaño de partículas pequeñas en suspensión, así como su estabilidad bajo diversas condiciones (Ramos, 2017). La DLS mide el movimiento browniano de las partículas y utiliza esta información para calcular su tamaño mediante la ecuación de Stokes-Einstein. Específicamente para las nanopartículas de sílice, el tamaño es un atributo crítico que define su utilidad, y la DLS ofrece un método rápido, preciso y repetible para obtener esta información. La caracterización de las nanopartículas de óxido de silicio es crucial debido a que sus propiedades pueden variar significativamente con el tamaño y la DLS ayuda a medir no solo este parámetro, sino también la estabilidad de estas nanopartículas con el tiempo, la cual puede ser influenciada por factores como el pH y la temperatura.

Figura 7. Caracterización de nanopartículas de óxido de silicio por DLS



En la figura 7 se observa el resultado de caracterización de las nanopartículas de óxido de silicio por DLS, el cual evidencia un tamaño promedio de 22.1 nm. Asimismo, se visualiza que el histograma del diámetro promedio de las nanopartículas es unimodal y su comportamiento indica que se tienen nanopartículas monodispersas (de tamaño uniforme). La monodispersidad de las SiO₂-NPs es una característica de mucha importancia debido a que asegura propiedades físicas y químicas consistentes de las nanopartículas, garantiza la reproducibilidad en la investigación y aumenta la estabilidad y dispersión en suspensiones, lo cual es esencial para el desarrollo y la aplicación eficiente de las nanopartículas en la inhibición de *B. cinerea*.

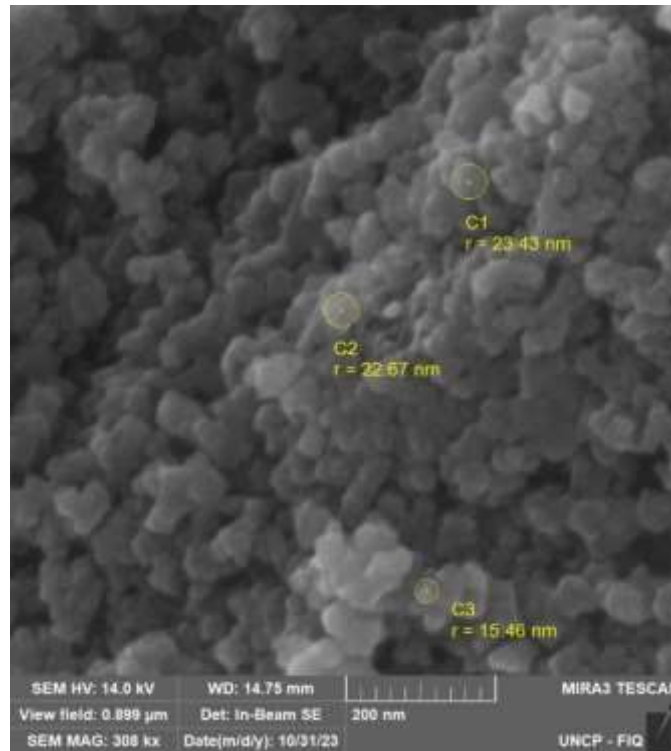
Lo encontrado es coherente con resultados obtenidos por otros autores como Goswami & Mathur (2022) quienes en su caracterización de SiO₂-NPs sintetizadas utilizando residuos agroindustriales encontró un tamaño promedio de 17.23 nm, y lo reportado por (Issam et al., 2021) que obtuvo SiO₂-NPs de 17.41 nm. Sin embargo investigadores como Arshad et al. (2018) en su caracterización encontraron nanopartículas de menor tamaño (7.93 nm) esto puede deberse a que

tuvieron un mayor control de los parámetros y al pequeño volumen de muestra con el que trabajaron. Asimismo, Youssef et al. (2019) en su caracterización de SiO₂-NPs encontró que presentaban un diámetro promedio de 60 nm, lo cual es superior al tamaño reportado en la presente investigación, lo que podría explicarse con el poco control de variables (no hay control de pH ni temperatura) y el menor tiempo de síntesis empleado.

3.1.2. Microscopia Electronica de Barrido

En esta sección, se muestra los resultados obtenidos en la caracterización por microscopía electrónica de barrido (SEM) de las SiO₂-NPs. La técnica SEM constituye una metodología esencial dentro del ámbito de la nanotecnología para la caracterización exhaustiva de nanopartículas como las SiO₂-NPs. Este procedimiento emplea un haz focalizado de electrones para sondear la superficie de una muestra permitiendo obtener imágenes de alta resolución que revelan con precisión la morfología y topografía de las nanopartículas examinadas (Cuadros Moreno et al., 2014). Es trascendental la caracterización de SiO₂-NPs por SEM debido a la capacidad de esta técnica para proporcionar información detallada sobre la forma, el tamaño, la distribución y la textura superficial de las nanopartículas, aspectos que son determinantes para evaluar sus propiedades y su funcionalidad en aplicaciones específicas (Novitom, 2015).. Asimismo, es importante considerar que las características dimensionales y morfológicas de las nanopartículas inciden de manera significativa en su desempeño y seguridad.

Figura 8. Nanopartículas de SiO₂ bajo microscopio electrónico



En la Figura 8 se muestra la imagen de las SiO₂-NPs capturada por el microscopio electrónico de barrido, se aprecia la uniformidad de las nanopartículas, las cuales presentaron un tamaño promedio de 20.52 nm. Asimismo, se visualiza que las nanopartículas muestran una morfología similar a la esférica con una superficie lisa.

La presente investigación arroja resultados que están en línea con los descubrimientos de estudios anteriores. Goswami & Mathur (2022) hallaron un diametro medio de 17.23 nm en SiO₂-NPs sintetizadas empleando desechos agroindustriales como agente reductor, mientras que Cornelio & Quiñones (2019) reportaron un dimaetro de 12 nm para sus nanopartículas de SiO₂. Contrariamente, (Ranjbarzadeh et al., 2018) y (Moradikazerouni et al., 2019) lograron obtener nanopartículas de mayor tamaño 100 nm y 78 nm, respectivamente; esto se debe posiblemente a un control menos estricto de las condiciones de síntesis

La correlación entre los resultados obtenidos mediante DLS y SEM en la caracterización de nanopartículas de óxido de silicio, con diámetros promedio de 22.1 y 20.52 nanómetros respectivamente, subraya la precisión de estas técnicas analíticas. Por lo tanto, los datos de DLS y SEM confirman de forma contundente que las nanopartículas de SiO₂ estudiadas se encuentran dentro del rango nanométrico, con las propiedades inherentes a esta escala.

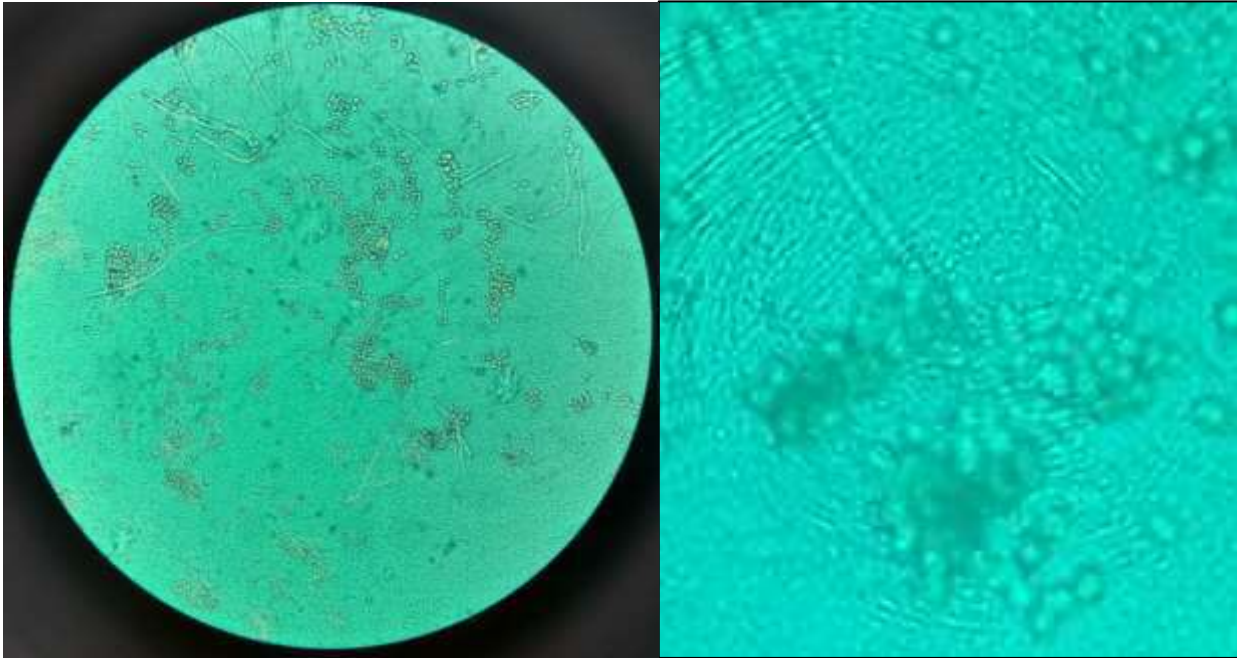
En procesos como la desinfección fúngica el tamaño de las partículas es crucial ya que influye en la eficacia, Gambinossi et al. (2015) menciona que nanopartículas más pequeñas podrían penetrar más fácilmente las paredes celulares del hongo, lo que mejora potencialmente su efectividad en la inhibición del crecimiento fúngico.

3.2. Caracterización de Hongos *Botrytis cinerea* person

3.2.1. Microscopio Óptica

En la investigación se utilizó la microscopía óptica debido a que constituye una herramienta esencial en la visualización de hongos gracias a su capacidad para proporcionar imágenes detalladas de las estructuras y características de los hongos. La Figura 9 muestra los resultados de caracterización de *B. cinerea* mediante microscopía óptica.

Figura 9. Conidióforo de *B. cinerea* con producción de conidias observadas con un microscopio óptico.



La microscopía óptica se combinó con la técnica de tinción con azul de metileno para mejorar la observación. Tras la tinción las células del hongo se tornaron de color azul favoreciendo su observación. Esto se debe a que el azul de metileno es un colorante catiónico que ingresa por la pared celular relativamente porosa del hongo, uniéndose a estructuras ácidas (ácidos nucleicos en el núcleo y en los ribosomas) dentro de la célula, permitiendo de esta manera, la visualización detallada del hongo bajo el microscopio (Varghese et al., 2014).

El aislado del hongo en APD evidenció esporulación grisácea (moho gris), característico de *B. cinerea*. En la Figura 9 se visualiza la caracterización morfológica bajo el microscopio óptico del aislado fúngico, donde se observa que los conidióforos mostraron estructuras rígidas, de pared lisa y gruesa, con divisiones y ramificaciones en la parte distal y pequeños esterigmas (extensión de la célula generadora de esporas); con respecto a las conidias, estas presentaron forma elipsoidal ovoide, de paredes aparentemente lisas y en conjunto se asemejan a racimos de uvas.

Estos resultados guardan relación con lo encontrado por (Juma, 2019) en aislados de flores y frutos de manzanas y (Terrones et al., 2019) en frutos de zarzamora, quienes además mencionan que la forma y tamaño de los conidios pueden variar ligeramente dependiendo de las condiciones de desarrollo del hongo y del huésped infectado; y pueden producir mayor o menor cantidad de esclerocios dependiendo del lugar de crecimiento del hongo en la planta (flor, fruto, hoja).

3.3. Evaluación de la desinfección fúngica de Nanopartículas de SiO₂ en *Botrytis cinerea*

3.3.1. Metodo de medio envenenado

En este estudio, se aplicó la metodología del medio envenenado para cuantificar la inhibición de *B. cinerea* por distintos tratamientos con nanopartículas de SiO₂. Esta técnica, prevalente en microbiología, implica la adición de un agente antifúngico al medio de cultivo seguida de la inoculación del hongo objetivo (Erazo et al., 2019). La evaluación se basa en la observación del crecimiento fúngico, donde la inhibición indica la eficacia del agente. El porcentaje de inhibición se determina comparando el crecimiento fúngico en el medio con agente inhibidor y un medio control. La técnica es crucial para determinar y cuantificar la efectividad de antifúngicos como las SiO₂-NPs.

En el presente estudio, se utilizó el Agar Papa Dextrosa (PDA) como medio de cultivo, dado su contenido de nutrientes específicos para el desarrollo fúngico. Se prepararon distintas concentraciones de nanopartículas de SiO₂ (2000, 4000 y 6000 ppm), que luego fueron incorporadas al medio de cultivo para generar un "medio envenenado" y se tuvo un medio control sin nanopartículas. Posteriormente, se inoculó cada medio con tapones de micelio de *B. cinerea* de 5mm en fase activa de crecimiento. Se midió el diámetro del crecimiento fúngico indicativo de la expansión del hongo en presencia de las nanopartículas a los 2, 5 y 7 días. Los hallazgos se ilustran en la tabla 6 que muestra los resultados de la técnica de medio envenenado.

Tabla 6. Resultados de inhibición micelial

FACTORES		Halo de crecimiento (mm)			Porcentaje de inhibición micelial (%)		
Concentración (mg/L)	Tiempo de contacto (días)	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Grupo de control	2	10.80	10.30	10.50	GC	GC	GC
	5	16.28	18.82	17.92	GC	GC	GC
	7	17.40	19.68	18.80	GC	GC	GC
2000	2	8.54	8.10	6.87	20.93	21.36	34.62
	5	12.76	8.70	9.35	21.62	53.77	47.82
	7	15.60	9.00	12.19	10.34	54.27	35.16
4000	2	7.06	7.00	6.81	34.63	32.04	35.19
	5	10.62	8.10	9.06	34.77	56.96	49.44
	7	11.78	9.00	11.04	32.30	54.27	41.28
6000	2	6.00	6.80	6.59	44.44	33.98	37.24
	5	8.94	10.20	6.33	45.09	45.80	64.68
	7	10.90	12.30	8.60	37.36	37.50	54.28

Fuente: Propia

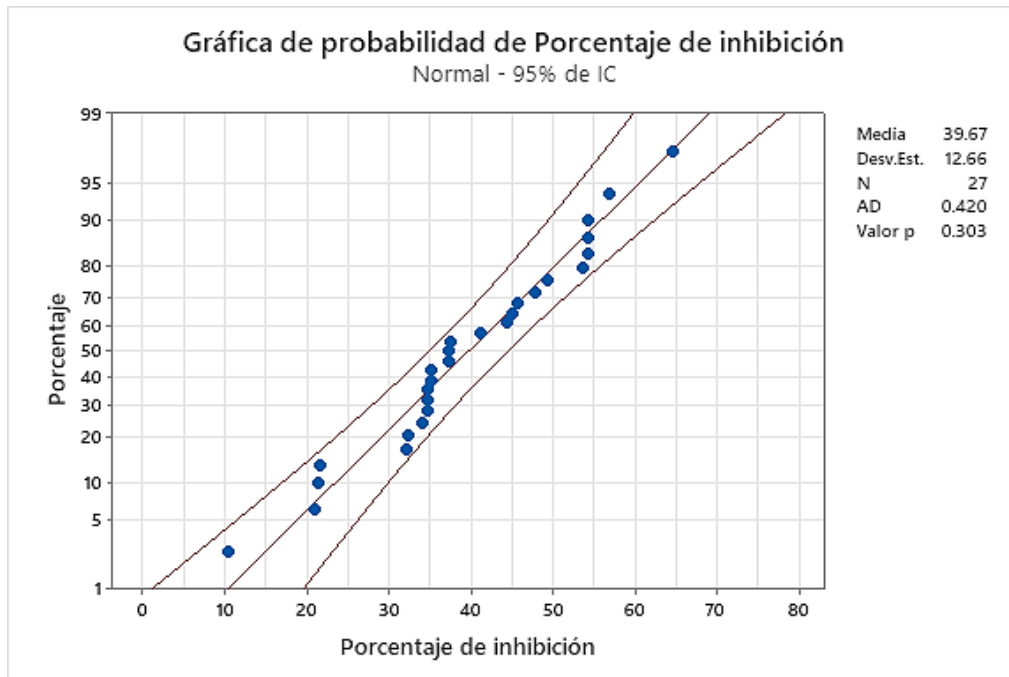
En los resultados de la investigación presentada en la tabla 6, se observa que tras la incubación bajo condiciones óptimas, se observó cierto crecimiento fúngico en el medio envenenado, aunque se anticipaba una inhibición comparativa frente al control. De todos los experimentos desarrollados el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial más alto que se logró alcanzar fue de 64.68 % a una concentración de 6000 ppm de SiO₂-NPs a los 5 días. Asimismo, el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial más bajo encontrado fue de 10.34% a una concentración de 2000 ppm de SiO₂-NPs y 7 días de tiempo de contacto.

Asimismo, los resultados indican que al incrementa la concentración de nanopartículas de SiO₂, el porcentaje de inhibición micelial también muestra un crecimiento. Una evidencia de ello es que a los 5 días de tiempo de contacto a 2000 ppm el porcentaje de inhibición micelial resultó ser 41.7 %, y muestra un incremento a 47.06 % y luego a 51.85 % a 4000 y 6000 ppm,

respectivamente. Esto es coherente con lo encontrado por investigadores como (Youssef et al., 2019) quienes indican que una mayor concentración SiO₂-NPs un mayor potencial antifúngico.

Por otro lado, en los resultados presentados se da a conocer que con el incremento hasta cierto tiempo de contacto se logra un mayor porcentaje de inhibición, un ejemplo de ello es que a 6000 ppm el porcentaje de inhibición micelial se incrementa de 38.55 % a 51.85 % a tiempos de contacto de 2 y 5 días, respectivamente. Lo mencionado anteriormente se relaciona con investigaciones anteriores como lo desarrollado por (Ahmed et al., 2021). Sin embargo, a un tiempo de contacto excesivo el porcentaje de inhibición micelial disminuye, como lo sucedido a la concentración de 6000 ppm, en donde se observa el decrecimiento del porcentaje de inhibición micelial de 51.85 % a 43.05 % cuando el tiempo de contacto pasa de 5 a 7 días. Lo anterior se puede atribuir a la adaptación del hongo, debido a que con un tiempo de contacto excesivo los hongos pueden desarrollar mecanismos de resistencia a las nanopartículas, o la disminución del porcentaje de inhibición micelial puede ser ocasionada por la modificación del ambiente del medio de cultivo debido a que la interacción prolongada de las nanopartículas con el medio puede alterar las condiciones del mismo como el pH y nutrientes.

Figura 10. Prueba de normalidad de porcentaje de inhibición micelial



La figura 10 muestra los resultados del análisis de normalidad siguiendo el método de Anderson-Darling para los datos de porcentaje de inhibición micelial. La prueba de Anderson-Darling es un procedimiento estadístico avanzado que se utiliza para determinar si un conjunto de datos sigue una distribución gaussiana, también denominada distribución normal. Esta técnica es una adaptación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con una mayor sensibilidad hacia las colas de la distribución de los datos. Tapia & Cevallos (2021) mencionan que la prueba de Anderson-Darling es especialmente valiosa en el análisis de muestras pequeñas o en situaciones donde es crucial examinar la normalidad en las colas extremas de la distribución. Su uso permite asegurar la validez de métodos estadísticos que dependen de la normalidad de los datos, como el análisis de varianza (ANOVA) y otras técnicas paramétricas.

Al realizar la prueba de Anderson-Darling a los resultados de porcentaje de inhibición micelial, el valor p obtenido fue:

$$p = 0.303$$

Para este caso se plantean dos hipótesis:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal.

H_a : Los datos no siguen una distribución normal.

Teniendo en cuenta el criterio de análisis que nos menciona lo siguiente:

Sí $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Sí $p > \alpha$, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Donde $\alpha = 0.05$

En la investigación $p > \alpha$, por lo que se acepta la hipótesis nula, que nos indica que los datos siguen una distribución normal.

Este resultado indica que los datos sobre la inhibición micelial de *Botrytis cinerea*, derivados de tratamientos con distintas concentraciones de nanopartículas de SiO₂ y variados tiempos de exposición, se ajustan a una distribución normal. Por lo tanto, es apropiado aplicar métodos estadísticos paramétricos adicionales a estos datos. Este enfoque metodológico aumenta la validez y fiabilidad de los resultados del presente estudio.

Tabla 7. Análisis de varianza

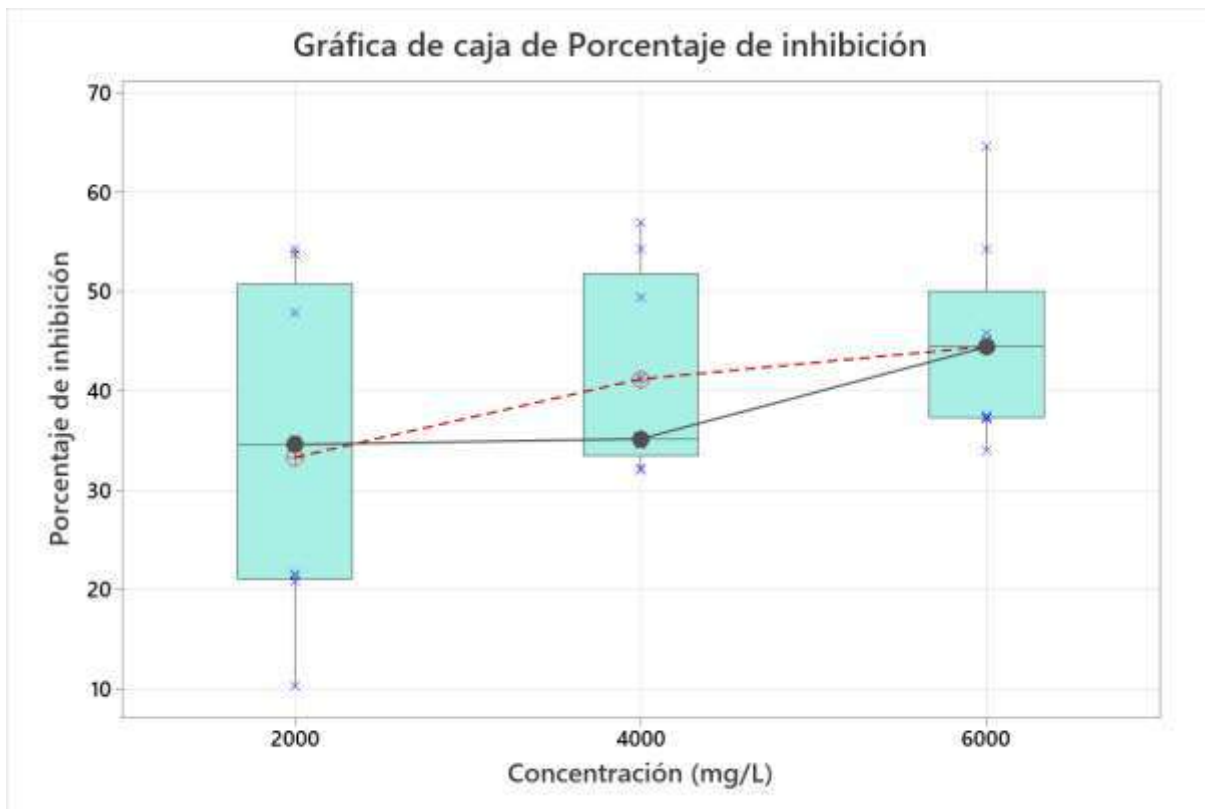
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Concentración (mg/L)	2	592.67	296.336	1.99	0.165
Tiempo de contacto (días)	2	875.38	437.692	2.95	0.045
Concentración (mg/L)*Tiempo de contacto (días)	4	23.25	5.814	0.04	0.997
Error	18	2674.49	148.583		
Total	26	4165.80			

Fuente: Propia

Basado en los datos de la tabla 7, se realizan las siguientes observaciones: Para la concentración de nanopartículas, el valor p de 0.165, superior al nivel de significancia estándar de 0.05, lo cual evidencia que la variación en la concentración de nanopartículas de SiO₂ no presenta efecto significativo en la inhibición micelial de *Botrytis cinerea*. En cuanto al tiempo de contacto, con un valor p de 0.045, que es inferior al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) se infiere que la variación del tiempo sí presenta un efecto significativo en la inhibición de *B. cinerea*. Además, la interacción entre la concentración de nanopartículas de SiO₂ y el tiempo de contacto, exhibe un valor p de 0.997, siendo mayor al nivel de significancia, indicando de esta manera que estos factores operan independientemente. De ello, se puede mencionar que el tiempo de contacto es la variable que influyen significativamente en la inhibición micelial de *B. cinerea* de forma independiente.

La mayor eficacia observada en la inhibición de *B. cinerea* utilizando nanopartículas de SiO₂ fue a 6000 ppm y 5 días, lo cual puede atribuirse a una mejor interacción entre las nanopartículas SiO₂ y el hongo al incrementarse la concentración. Estos hallazgos son consistentes con lo encontrado por autores como (Kong et al. (2020), quienes indican que este fenómeno podría deberse a una mayor interacción de las nanopartículas con las células fúngicas, una cobertura de superficie ampliada que impide el crecimiento y reproducción del hongo, y un efecto dosis-respuesta, donde más nanopartículas resultan en una mayor actividad antifúngica.

Figura 11. Grafica de caja y bigotes de Porcentaje de inhibición micelial a distintas concentraciones de NPs- SiO₂



La figura 11 muestra la inhibición micelial del hongo *Botrytis cinerea pers* en respuesta a tres diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de silicio (SiO₂): 2000, 4000 y 6000 mg/l. Interpretando los datos con mayor certeza, la cual es brindada por el diagrama de caja y bigotes, se aprecia la tendencia del aumento del porcentaje de inhibición al aumentar la concentración, de 2000 a 4000 mg/l, pero no se percibe un incremento significativo del porcentaje de inhibición al aumentar la concentración de 4000 a 6000 ppm.

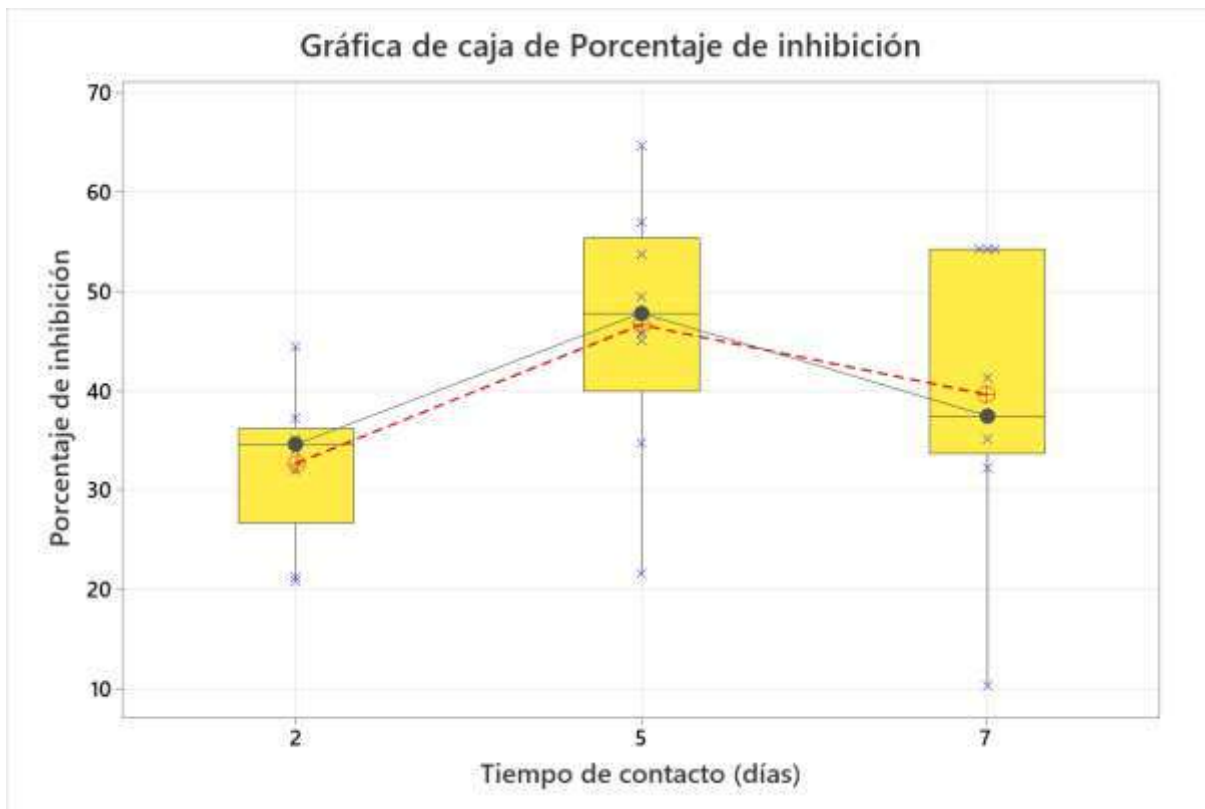
Argumentando la efectividad de las nanopartículas, estas muestran una clara inhibición contra el hongo *Botrytis cinerea pers*, mostrando la actividad que posee las nanopartículas de dióxido de silicio en el metabolismo o crecimiento de dichos hongos, sin embargo, este aumento no se refleja tan drásticamente sino es hasta llegar a los 6000 mg/l de tratamiento, el cuál sería el

punto óptimo al momento de evaluar solo el efecto global que tiene el factor concentración en el tratamiento. Mostrándose, además, un solapamiento en la concentración de nanopartículas a medida que aumenta la concentración, lo cual hace suponer que no se obtendrán mayores porcentajes de inhibición, aunque se aumente a más de 6000 mg/l la concentración de nanopartículas de óxido de silicio, alcanzado su punto máximo cercano a 65% de inhibición en un dato aislado.

Lo encontrado en la investigación con respecto al tiempo de contacto, es coherente con investigaciones desarrolladas anteriormente como lo reportado (Cornelio & Quiñones, 2019) quienes observaron un incremento en la inactivación de bacterias *E. coli* al incrementar la concentración de nanopartículas de SiO₂ y con la investigación desarrollada por (Ruiz, 2018) que menciona que al incrementar la concentración de quitosano con aceites esenciales contra *B. cinerea* observaron un incremento en la desinfección fúngica.

Respecto a la variabilidad de los datos: El rango intercuartíl (IQR), que representa la altura de las cajas) es relativamente similar entre las concentraciones de 2000 y 4000 mg/l, pero parece ser más estrecho para la concentración de 6000 mg/l. Esto indica que la respuesta a 6000 mg/L es más consistente entre las réplicas del experimento y, por tanto, posee el mayor grado de precisión, por consiguiente, menor variabilidad a diferencia de las cajas de las concentraciones de 2000 y 4000 mg/l.

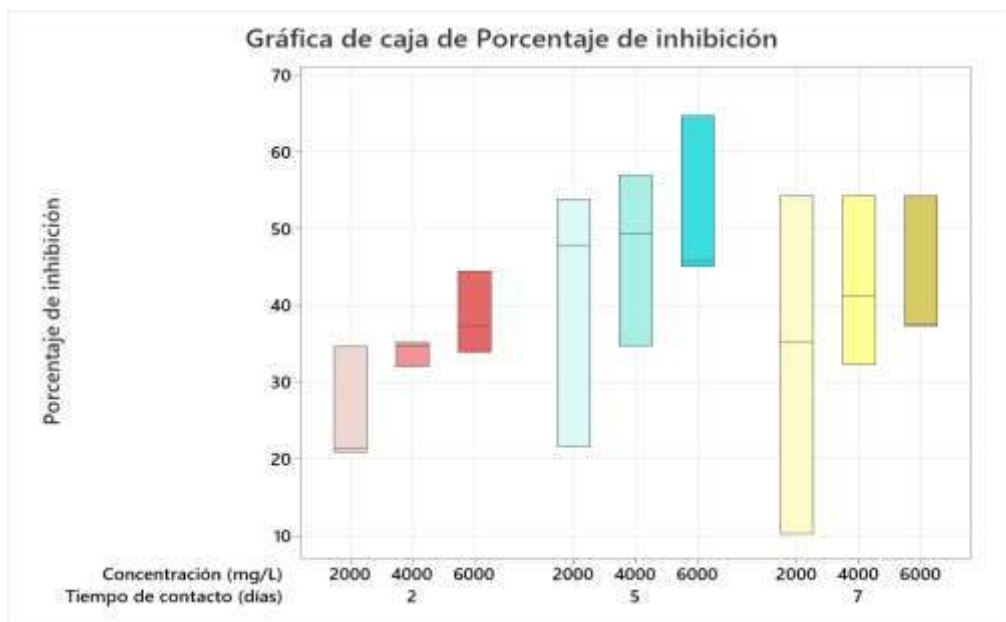
Figura 12. Grafica de caja y bigotes de porcentaje de inhibición micelial para distintos tiempos de contacto



La figura 12 muestra el porcentaje de inhibición del hongo *Botrytis cinerea pers* tratado con nanopartículas oxido de silicio (SiO_2) a diferentes tiempos de contacto de 2, 5 y 7 días. Respecto al efecto del tiempo de contacto en el tratamiento, parece haber un aumento en la mediana del porcentaje de inhibición del día 2 al día 5, lo que sugiere que un mayor tiempo de contacto mejora la efectividad de las nanopartículas de silicio contra el hongo. Sin embargo, del día 5 al día 7, la mediana disminuye, lo que podría indicar que el efecto inhibitorio de las nanopartículas no se incrementa linealmente con el tiempo y puede haber un punto de saturación o efectos adversos en tiempos de contacto prolongados, esto se puede argumentar con la adaptación y resistencia que el hongo ofrece al verse sometido a un medio de nanopartículas de óxido de silicio durante un tiempo prolongado como se hace evidente.

Respecto a la variabilidad de la respuesta, los rangos intercuartíl (IQR), la altura de las cajas) muestran que la variabilidad es más pequeña en el día 2, denotando así la precisión en los resultados, a diferencia del día 7 que posee una mayor variabilidad que incluso no se muestra el bigote superior al estar la mayoría de datos por encima de la mediana. El día 5 muestra casi una simetría perfecta en los datos, lo cual, a su vez manifiesta la consistencia en el procedimiento y los datos obtenidos, esta discusión sugiere que la respuesta al tratamiento puede ser más consistente en tiempos de contacto más cortos como los mostrados en los dos primeros tiempos de contacto que, a diferencia del último, puede existir cierto sesgo al momento de evaluar la inhibición en tiempos prolongados. Este resultado muestra coherencia con lo revelado por Kong et al. (2020), quienes en su investigación encontraron que la exposición prolongada del hongo *Candida albicans* a nanopartículas de óxido de magnesio disminuyó la actividad antifúngica de las nanopartículas.

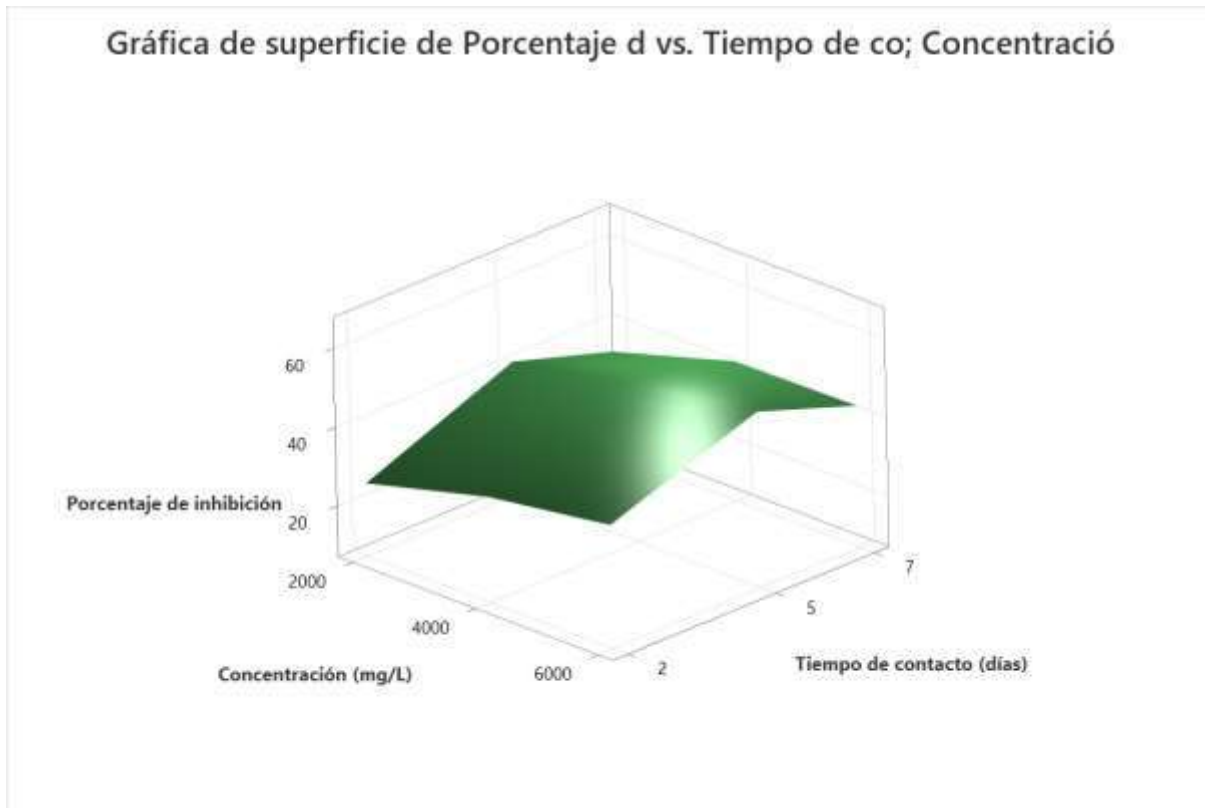
Figura 13. Gráfica de caja y bigotes de porcentaje de inhibición micelial de variables cruzadas



En la Figura 13 se muestra el porcentaje de inhibición del hongo *Botrytis cinerea pers* al ser tratado con nanopartículas de dióxido de silicio a concentraciones de 2000, 4000 y 6000 mg/l y en tiempos

de contacto de 2, 5 y 7 días. Hay una tendencia general de que, a mayor concentración de nanopartículas de dióxido de silicio, mayor es el porcentaje de inhibición del hongo. Esto se observa en las medianas de las cajas, que parecen aumentar con la concentración. No obstante, en la última concentración el hongo aparenta adquirir resistencia, ya que con 5 y 7 días de contacto se observa que la concentración de 6000 mg/l tuvo el efecto contrario y disminuyó ligeramente el porcentaje de inhibición respecto a la media de los datos. Esto solo es posible de visualizar con el gráfico de cajas y bigotes de variables cruzadas y ordenadas de forma categórica. Se observa, además, que existe una tendencia clara que a 5 días de tratamiento se obtienen los mejores porcentajes de inhibición, los cuales, a su vez, disminuyen para el día 7 por efecto de la resistencia que el hongo muestra a periodos largos con estas nanopartículas específicamente. Se podría incluso, realizar la aseveración de que el punto óptimo del gráfico se encuentra con la concentración de 4000 mg/l a 5 días de tratamiento, debido a que su mediana y el 50% de sus datos tienen gran similitud en valor al tratamiento con la misma cantidad de días, pero con 6000 mg/l de concentración, lo cual se apoya del análisis por separado de los factores, en los cuales se mostró que a concentraciones más altas el porcentaje de inhibición empieza a tener un crecimiento lento y aplanarse respecto a las gráficas, también apoyado por un crecimiento en los rangos intercuartiles a medida que la concentración aumenta, evidenciándose una variabilidad debido a las diferentes reacciones que presenta el hongo al ser sometido a tratamientos con valores de factores extremos superiores.

Figura 14. Grafica de superficies de porcentaje de inhibición micelial



En la figura 14 se muestra la gráfica de superficies en forma de mallas, el cual muestra que el punto óptimo de tratamiento se encuentra con la concentración de 4000 mg/l y con un tiempo de contacto de 5 días. Este resultado es coherente con lo discutido anteriormente con los gráficos de cajas y bigotes, en los cuales se hizo referencia que mayores concentraciones y días podrían tener el efecto contrario de inhibición, ya que el hongo parece mostrar resistencia y adaptación a las nanopartículas de dióxido de silicio. El comportamiento típico del aumento en el porcentaje de inhibición con el incremento de la concentración de nanopartículas fue reportado por autores como Bikdeloo, et al (2021) con el uso de nanopartículas de cobre, sin embargo, el efecto de la resistencia al tratamiento de este hongo fue estudiado por Goswami & Mathur (2022) en el efecto de las nanopartículas de óxido de silicio frente a los hongos *Fusarium oxysporum* y *A. niger* tuvo un

punto óptimo, apreciando los investigadores que los hongos se empezaron a adaptar al tratamiento para esta nanopartícula en específico.

CONCLUSIONES

- Al evaluar el efecto de los dos factores, concentración de nanopartículas de óxido de silicio y tiempo de contacto en el tratamiento, se puede llegar a la conclusión general de que ambos factores poseen un efecto positivo y que este alcanza un punto óptimo a partir del cual empiezan a perder ligeramente su efectividad. Siendo la concentración de 4000 mg/l y tiempo de contacto de 5 días los más adecuados para llevar a cabo un tratamiento exitoso del hongo *Botrytis cinérea* por el método del medio envenenado, ya que a mayores valores el hongo presenta adaptación al tratamiento, el cual debe ser considerado en el empleo de esta nanopartícula en particular.
- Se logró realizar una caracterización minuciosa de las nanopartículas de óxido de silicio (SiO₂) mediante el uso de las técnicas de DLS y SEM, donde las SiO₂-NPs presentaron tamaños de 22.10 y 20.52 nm, respectivamente. La técnica SEM proporcionó una visión detallada sobre la forma de las nanopartículas, indicando que poseen una estructura similar a la esférica. Esta particular forma es significativa ya que puede afectar las propiedades y el rendimiento de las nanopartículas, así como su interacción con otros materiales en diferentes contextos. Mientras que el hongo *B. cinerea* presentó formaciones ramificadas.
- Se evaluó la variación de la concentración de nanopartículas de óxido de silicio en el tratamiento para la inhibición micelial del hongo *Botrytis cinerea*. Los resultados mostraron que a medida que se incrementa la concentración de nanopartículas, también se incrementa el porcentaje de inhibición del crecimiento del hongo. Sin embargo, la inhibición empezó a decaer a partir de la concentración de 4000 mg/l, por lo cual esta concentración se considera suficiente debido a la resistencia y adaptación de este hongo al medio envenenado. Este

hallazgo sugiere que las nanopartículas de óxido de silicio pueden ser una herramienta efectiva para controlar la propagación de dicho hongo.

- Se evaluó la variación del tiempo de contacto del tratamiento con nanopartículas de óxido de silicio en la inhibición del hongo. Los resultados mostraron que a medida que pasaba el tiempo, el hongo era inhibido de forma positiva hasta alcanzar los 5 días de tratamiento, para evidenciarse el decaimiento de la inhibición a días posteriores. Este fenómeno podría deberse a que el hongo se adaptó al medio envenenado al prolongar el tiempo, un comportamiento que ha sido observado por otros autores en la literatura científica. Este hallazgo sugiere que el tiempo de exposición es un factor relevante a ser considerado en el diseño de tratamientos antifúngicos basados en nanopartículas de óxido de silicio.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar a cabo la caracterización molecular de los aislados de *Botrytis cinerea* para fortalecer la precisión de los resultados en este estudio.
- Se recomienda la implementación de un diseño experimental alternativo, como el diseño de series cronológicas múltiples, para investigar de manera más exhaustiva la inhibición de *Botrytis cinerea* por nanopartículas de SiO₂.
- Se sugiere expandir la investigación para incluir el estudio de la acción de las nanopartículas de SiO₂ en aislados de *Botrytis cinerea* procedentes de otros cultivos regionales significativamente afectados por este patógeno, como la cebolla y la arveja.
- Se recomienda explorar el uso de distintas técnicas de inhibición de hongos que involucren nanopartículas, más allá de las empleadas en esta investigación. Esto podría incluir variaciones en la formulación de las nanopartículas, como cambios en su composición, tamaño, recubrimiento superficial o funcionalización.
- Se propone evaluar la eficacia de las nanopartículas de óxido de silicio SiO₂ en la inhibición de *Botrytis cinerea pers* bajo condiciones de campo. Dado que los entornos de laboratorio ofrecen resultados prometedores, es crucial validar si estas nanopartículas mantienen su efectividad en un entorno agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R. (2009). El cultivo de maíz, su origen y clasificación. El maíz en cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113–120. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n2/ctr160209.pdf>
- Agrios, G. (2005). *Plant pathology* (5ta ed.). Elsevier Academic Press. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Agrios%2C+G.+%282005%29.+Plant+pathology+%285ta+ed.%29&btnG=
- Ahmed, H. E., Iqbal, Y., Aziz, M. H., Atif, M., Batool, Z., Hanif, A., Yaqub, N., Farooq, W. A., Ahmad, S., Fatehmulla, A., & Ahmad, H. (2021). Green synthesis of CeO₂ nanoparticles from the abelmoschus esculentus extract: Evaluation of antioxidant, anticancer, antibacterial, and wound-healing activities. *Molecules*, 26(15). <https://doi.org/10.3390/molecules26154659>
- Angelova, T., Rangelova, N., & Georgieva, N. (2018). Antifungal properties of SiO₂/hydroxypropyl cellulose hybrid materials doped with zinc ions against *Candida albicans* 74. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(2), 104–107. <https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i2>
- Arshad, M., Abbas, M., Ehtisham-ul-Haque, S., Farrukh, M. A., Ali, A., Rizvi, H., Soomro, G. A., Ghaffar, A., Yameen, M., & Iqbal, M. (2019). Synthesis and characterization of SiO₂ doped Fe₂O₃ nanoparticles: Photocatalytic and antimicrobial activity evaluation. *Journal of Molecular Structure*, 1180, 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.11.104>
- Arshad, M., Qayyum, A., Shar, G. A., Soomro, G. A., Nazir, A., Munir, B., & Iqbal, M. (2018). Zn-doped SiO₂ nanoparticles preparation and characterization under the effect of various solvents: Antibacterial, antifungal and photocatlytic performance evaluation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 185, 176–183.

<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.043>

Babick, F. (2020). Dynamic light scattering (DLS). In *Characterization of Nanoparticles*.

Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814182-3.00010-9>

Benítez, C., & Pfeiffer, H. (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. *Revista*

Materiales Avanzados, 7, 15–20.

<https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero07.pdf#page=19>

Bi, K., Liang, Y., Mengiste, T., & Sharon, A. (2023). Killing softly : a roadmap of Botrytis cinerea pathogenicity. *Trends in Plant Science*, 28(2), 211–222.

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.08.024>

Bikdeloo, M., Irvani, M. A., Roosta, H. R., & Ghanbari, D. (2021). Green synthesis of Copper

Nanoparticles Using Rosemary Extract to Reduce Postharvest Decays Caused by Botrytis

Cinerea in Tomato. *Journal of Nanostructures*, 11(4), 834–841.

<https://doi.org/10.22052/JNS.2021.04.020>

Celardo, I., Pedersen, J., Enrico, T., & Ghibelli, L. (2011). Nanoscale Pharmacological potential

of cerium oxide nanoparticles. *Nanoscale*, 3, 1411–1420. <https://doi.org/10.1039/c0nr00875c>

Coley-Smith, J., Jarvis, W., & Verhoeff, K. (1980). *The biology of Botrytis*. Academic Press Inc.

[https://books.google.com.pe/books/about/The_Biology_of_Botrytis.html?id=Ae1JAAAAY](https://books.google.com.pe/books/about/The_Biology_of_Botrytis.html?id=Ae1JAAAAYAAJ&redir_esc=y)

[AAJ&redir_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/The_Biology_of_Botrytis.html?id=Ae1JAAAAYAAJ&redir_esc=y)

Cornelio, E., & Quiñones, N. (2019). *Evaluación de la concentración y el tiempo de contacto de*

las nanopartículas de óxido de silicio para la inactivación de las bacterias E. coli en aguas

residuales municipales. Universidad Nacional Del Centro Del Perú.

Das, S., Dowding, J., Klump, K., McGinnis, J., Self, W., & Seal, S. (2013). Cerium oxide

nanoparticles : applications and prospects in nanomedicine R eview. *Future Medicine*, 8(9),

1483–1508.

- Erazo, A., Mosquera, S. A., & Rodríguez-Paéz, J. E. (2019). Synthesis of ZnO nanoparticles with different morphology: Study of their antifungal effect on strains of *Aspergillus niger* and *Botrytis cinerea*. *Materials Chemistry and Physics*, 234, 172–184.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.075>
- Fernando, J. (2019). *Identificación y caracterización de aislados de Botrytis cinerea obtenidos desde flores atizonadas y frutos con pudrición calicinal cvs. Cripps Pink y Fuji*. [Tesis de maestría, Universidad de Talca]. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/11902>
- Fillinger, S., & Elad, Y. (2016). *Botrytis-the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. Springer International Publishing Switzerland.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0>
- Gambinossi, F., Mylon, S. E., & Ferri, J. K. (2015). Aggregation kinetics and colloidal stability of functionalized nanoparticles. *Advances in Colloid and Interface Science*, 222, 332–349.
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.07.015>
- García, P. (2017). El cultivo del maíz en el mundo y en Perú. *Revista de Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu*, 4(2), 73–79.
<https://doi.org/https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n2.005>
- Gómez, T. (2013). *Caracterización de aislamientos de Botrytis cinerea de rosa en la Sabana de Bogotá* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/50427>
- Gopinath, K., Karthika, V., Sundaravadivelan, C., Gowri, C., & Arumugam, A. (2015). Mycogenesis of cerium oxide nanoparticles using *Aspergillus niger* culture filtrate and their applications for antibacterial and larvicidal activities. *Journal of Nanostructure in Chemistry*,

5(3), 295–303. <https://doi.org/10.1007/s40097-015-0161-2>

- Goswami, P., & Mathur, J. (2022). Application of agro-waste-mediated silica nanoparticles to sustainable agriculture. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00496-5>
- Grande, D., & Orozco, B. (2013). Producción y procesamiento del maíz. *Guillermo de Ockham*, 11(1), 97–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.21500/22563202.604>
- Griffith, G., Easton, G., Detheridge, A., Roderick, K., Edwards, A., Worgan, H., Nicholson, J., & Perkins, W. (2007). Copper deficiency in potato dextrose agar causes reduced pigmentation in cultures of various fungi. *Federation of European Microbiological Societies, 1938*, 165–171. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00923.x>
- Hulla, J. E., Sahu, S. C., & Hayes, A. W. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human and Experimental Toxicology*, 34(12), 1318–1321. <https://doi.org/10.1177/0960327115603588>
- Inkson, B. (2016). Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>
- Issam, N., Naceur, D., Nechi, G., Maatalah, S., Zribi, K., & Mhadhbi, H. (2021). Green synthesised ZnO nanoparticles mediated by *Olea europaea* leaf extract and their antifungal activity against *Botrytis cinerea* infecting faba bean plants. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 54(15–16), 1083–1105. <https://doi.org/10.1080/03235408.2021.1889859>
- Izquierdo, A. (2012). *Evaluación del cultivo de maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe - Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1832/15/UPS-YT00102.pdf>

- Jara, V. (2014). Manejo integrado del cultivo y de las plagas de maíz. In *Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA* (Vol. 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.35676/inia/st.245>
- Juma, F. (2019). *Identificación y caracterización de aislados de Botrytis cinerea obtenidos desde flores atizonadas y frutos con pudrición calicinal cvs. Cripps Pink y Fuji*. Universidad de Talca.
- Kong, F., Wang, J., Han, R., Ji, S., Yue, J., Wang, Y., & Ma, L. (2020). Antifungal Activity of Magnesium Oxide Nanoparticles: Effect on the Growth and Key Virulence Factors of *Candida albicans*. *Mycopathologia*, 185(3), 485–494. <https://doi.org/10.1007/s11046-020-00446-9>
- Kowalskal, B., & Dudek, R. (2021). The Minimum Inhibitory Concentration of Antibiotics : Methods , Interpretation , Clinical Relevance. *Pathogens*, 10(165), 1–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pathogens10020165>
- Leonelli, G. (2006). *Evaluación del antagonismo in vitro ejercido por microorganismos sobre Botrytis Cinerea Pers. ex fries en frutos de fresa* [Tesis de maestría, Universidad Austral de Chile,]. https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148538/CUP-2007-0025_TESIS.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Mathews, C. (2017). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de Maíz Amiláceo*. <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/material-de-divulgacion/fichas-tecnicas/2019/27-requerimientos-agroclimaticos-del-cultivo-de-maiz-amilaceo/file#:~:text=Las plantas de maíz amiláceo,buen crecimiento de las raíces.>
- Matute, P. (2019). *Control biológico del moho gris (Botrytis cinerea) en cultivos de fresa (Fragaria vesca L.) mediante hongos filamentosos antagonistas*. [Tesis de licenciatura, Universidad

Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18147>

- Moradikazerouni, A., Ranjbarzadeh, R., Bakhtiari, R., & Asadi, A. (2019). An experimental study on stability and thermal conductivity of water / silica nano fluid : Eco-friendly production of nanoparticles. *Journal of Cleaner Production*, 206, 1089–1100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.205>
- Ngoune, L., & Shelton, C. (2020). Estimation of Maize (*Zea mays* L.) Yield Per Harvest Area: Appropriate methods. *Agronomy*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy10010029>
- Novitom. (2015). *SEM-FEG Microscopy*. <https://www.novitom.com/en/nos-technologies-2/microscopie-sem-feg/>
- Nowack, B., & Bucheli, T. (2007). *Occurrence , behavior and effects of nanoparticles in the environment*. 150(2007), 5–22. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.006>
- Orús, A. (2023). *Ranking de los principales productores de maíz a nivel mundial en 2021*. Agricultura y Ganadería. <https://es.statista.com/estadisticas/613419/principales-productores-de-maiz-en-el-mundo/>
- Parra, C., Diáñez, F., Santos, M., Navarro, M. J., Blanco, R., & Gea, F. J. (2018). Screening of antifungal activity of 12 essential oils against eight pathogenic fungi of vegetables and mushroom. *Letters in Applied Microbiology*, 67(4), 400–410. <https://doi.org/10.1111/lam.13053>
- Ramos, A. (2017). Dynamic Light Scattering Applied to Nanoparticle Characterization. *Nanocharacterization Techniques*, 99–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-49778-7.00004-7>
- Ranjbarzadeh, R., Akhgar, A., Musivand, S., & Afrand, M. (2018). Effects of graphene oxide

- silicon oxide hybrid nanomaterials on rheological behavior of water at various time durations and temperatures : Synthesis , preparation and stability. *Powder Technology*, 335, 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.05.036>
- Ribera, A. (2007). *Evaluación y caracterización de la actividad antifúngica de la especie Quillaja saponaria mol. cultivada in vitro en botrytis cinerea pers* [Tesis de doctorado, Universidad de la Frontera]. <https://doctoradornn.ufro.cl/wp-content/uploads/2021/01/15-alejandra-rivera.pdf>
- Rouf, T., Prasad, K., & Kumar, P. (2016). Maize—A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>
- Ruiz, M. (2018). *Aplicación de Quitosano con Aceites Esenciales contra Botrytis cinerea Pers. “Moho Gris” en Lycopersicon esculentum P. Mill “Tomate”*. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/1677>
- Ruiz, M., & Ramos, J. (2021). *In vitro antifungal evaluation of chitosan with essential oils from Citrus x aurantifolia(Christm.) Swingle “sutil lemon” and Origanum vulgareL. “oregano” against Botrytis cinereaPers. “gray mold”* (Vol. 11, Issue 3) [Universidad Ricaldo Palma]. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.03.03>
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (Zea mays). *Reduca (Biología). Serie Botánica*, 7(2), 151–171. <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739/1776>
- Shao, D., Smith, D. L., Kabbage, M., & Roth, M. G. (2021). Effectors of Plant Necrotrophic Fungi. *Frontiers in Plant Science*, 12(June), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.687713>
- Tapia, E., & Cevallos, L. (2021). PROCESOS PRODUCTIVOS : ANDERSON-DARLING , RYAN-JOINER ., *Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2), 83–106.

<https://matriculapre.up.ac.pa/index.php/societas/article/view/2302>

- Terrones, J., Nietol, D., Nava, C., Téliz, D., García, R., Vallejo, M. R., & Sánchez, P. (2019). Botrytis cinerea causante del moho gris en frutos de zarzamora en México. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 37(3), 365–382. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1906-1>
- Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2017). *Microbiología* (12a ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Varghese, Naveena, & Joy. (2014). *Microbiology. Laboratory Manual* (1ra ed.). https://www.researchgate.net/publication/306018042_Microbiology_Laboratory_Manual
- Varón, F., & Sarria, G. A. (2007). Enfermedades del Maíz y su manejo. In *Bulletin of Insectology* (Vol. 64, Issue 1). ICA. <http://www.ica.gov.co/getattachment/ebc4faee-6dee-4767-aa3f-0553c71290c4/Enfermedades-del-maiz-y-su-manejo.aspx%0Ahttp://www.bdigital.unal.edu.co/12778/%0Ahttps://cgspace.cgiar.org/handle/10568/68971%0Ahttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q>
- Vera, I., & Esparza, I. (2018). *Metodologías para Evaluar el Efecto de Nanopartículas en el Control de Hongos y Bacterias Fitopatógenos*. 3, 141–146.
- Youssef, K., Oliveira, A. G. De, Augusto, C., Hussain, I., & Ruffo, S. (2019). Synergistic effect of a novel chitosan / silica nanocomposites-based formulation against gray mold of table grapes and its possible mode of action. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.249>
- Zurita Macalupú, S. (2017). *Atlas para el diagnóstico micológico*.

ANEXOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Figura 15. Equipo DLS empleado para la caracterización de las nanopartículas de SiO₂



Figura 16. Microscopio Electrónico de Barrido utilizado para la caracterización de las nanopartículas de SiO₂

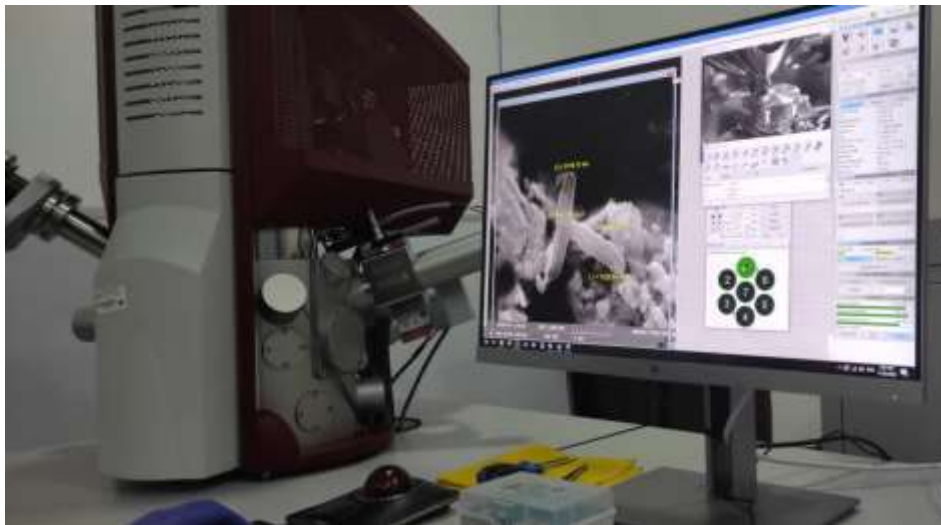


Figura 17. Muestra de maíz infectado con *B. cinerea*



Figura 18. Pesado del medio de cultivo APD



Figura 19. Preparación del medio de cultivo APD



Figura 20 Sembrado de *B. cinerea* por el método de tapón de micelio

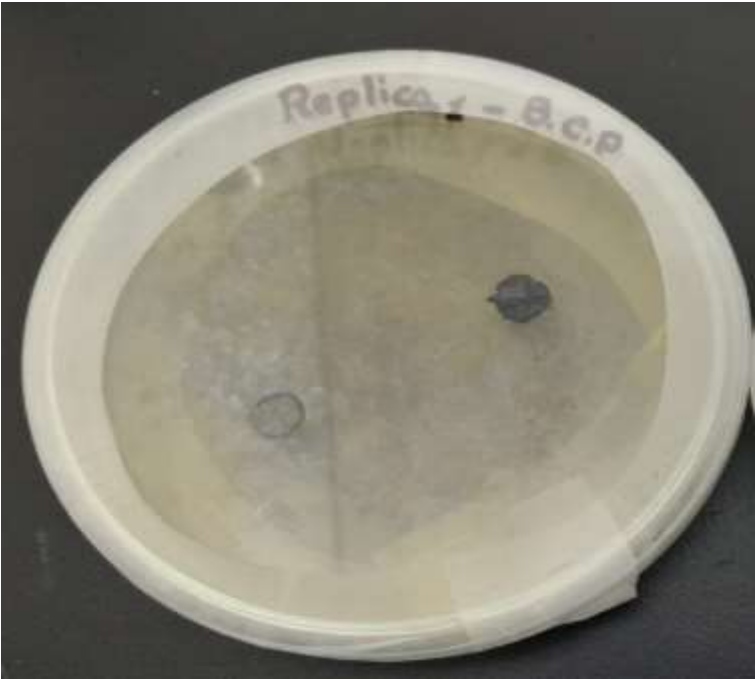


Figura 21. Aislamiento de hongo *B. cinerea* pers en cultivo agar papa dextrosa



Figura 22. B. Visualización del hongo *B. cinerea* a través del microscópio óptico

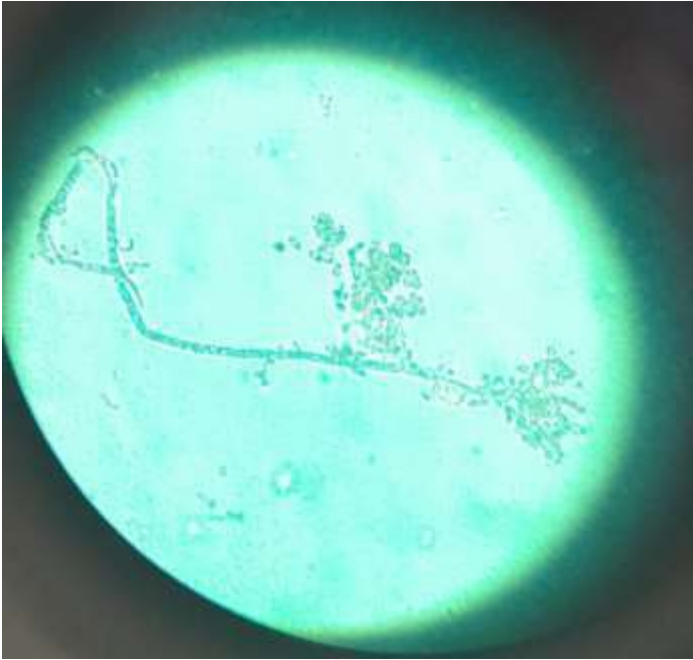


Figura 23. Dispensación del medio de cultivo APD en placas Petri.



Figura 24. Extracción de tapones de micelio de *B. cinerea pers* a partir de aislamientos del hongo.

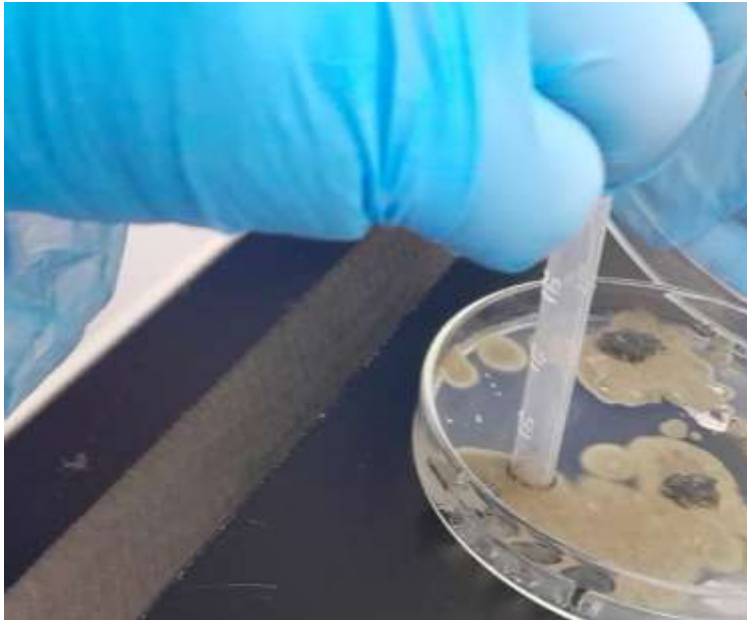


Figura 25. Inoculación *Botrytis cinerea pers* en la placa de tratamiento contenida con el medio envenenado.

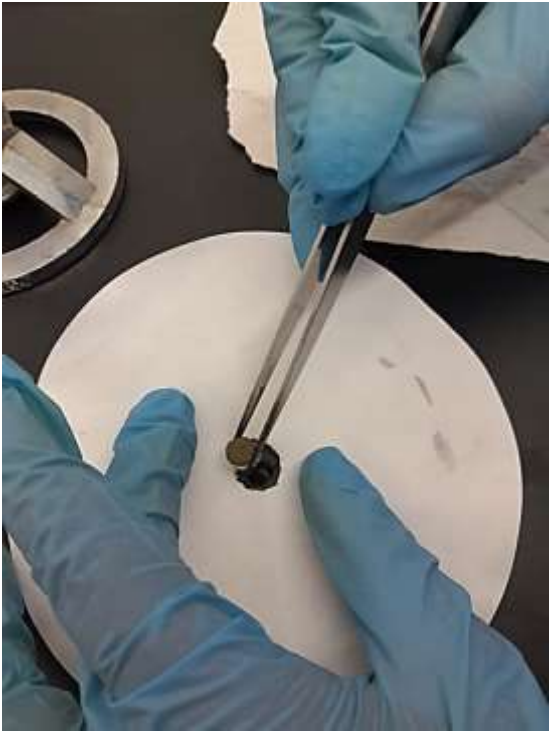


Figura 26. Cultivo de hongos: control y tratamiento con nanopartículas de SiO₂



Figura 27. Incubación de las muestras



Figura 28. Medición del crecimiento radial del hongo al día 2

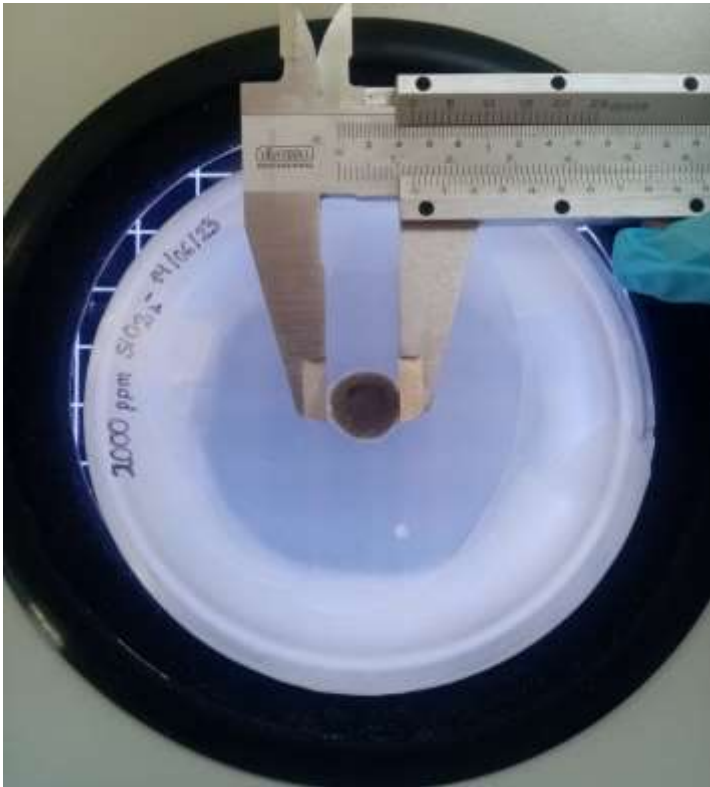


Figura 29. Medición del crecimiento radial del hongo al día 5

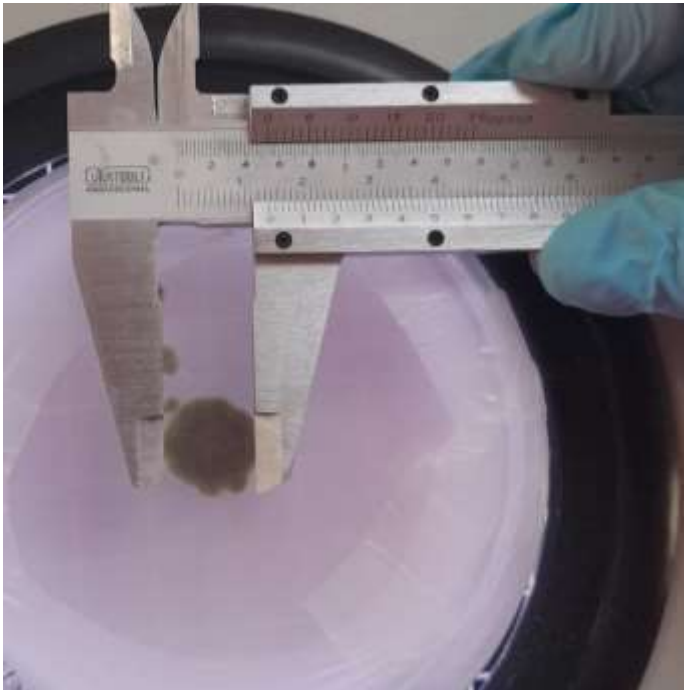


Figura 30. Medición del crecimiento radial del hongo al día 2

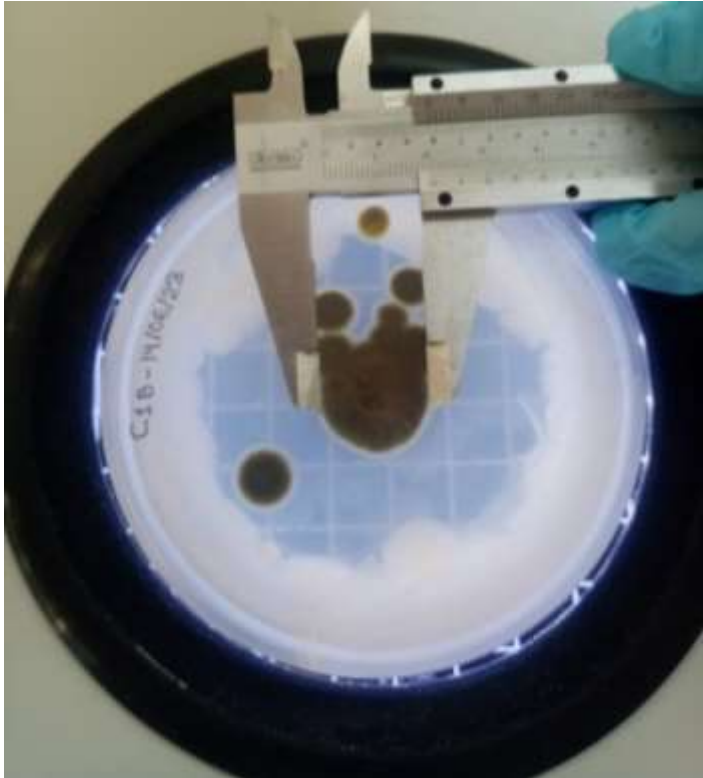


Figura 31. Crecimiento del hongo al día 7 en el cultivo de control y tratamiento con nanopartículas de SiO₂



