



**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
PROTECCIÓN VEGETAL
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL**

**EVALUACIÓN DEL USO DE *Trichoderma* sp. EN EL MANEJO DE
HONGOS DE POSTCOSECHA EN PAPAYA (*Carica papaya* L.)**

**MARY FRANCIS HIGUERA SALINAS
CIP: 8-841-1177**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
PROTECCIÓN VEGETAL**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
2025**

APROBACIÓN

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
PROTECCIÓN VEGETAL**

**MARY FRANCIS HIGUERA SALINAS
CIP: 8-841-1177**

**EVALUACIÓN DEL USO DE *Trichoderma* spp. EN EL MANEJO DE
HONGOS DE POSTCOSECHA EN PAPAYA (*Carica papaya* L.)**

COMITÉ EVALUADOR:

PROF. EDDY E. BARRAZA Ph. D

DIRECTOR

PROF. ARQUIMEDES BARAHONA M. Sc.

ASESOR

PROF. GABRIEL HERNÁNDEZ M. Sc.

ASESOR

PROF. EDDY E. BARRAZA Ph. D

COORDINADOR DE LA MAESTRÍA

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
2025**

DEDICATORIA

"A Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi vida, gracias por iluminar mi camino y darme la sabiduría para superar los desafíos".

"A mis queridos padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificios han sido la base de mis sueños y logros. Gracias por enseñarme la importancia de la perseverancia, el esfuerzo y la humildad. Este trabajo es un reflejo de todo lo que me han dado y del camino que me han ayudado a construir. Los amo profundamente."

Mary F.

AGRADECIMIENTOS

"A **Dios**, fuente de vida y fortaleza, gracias por concederme el don de existir y la oportunidad de alcanzar cada una de las metas trazadas. Sin tu guía y amor infinito, este logro no habría sido posible.

Al Dr. Eddy E. Barraza, mi asesor, tutor y mentor excepcional, mi gratitud profunda por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria. Sus consejos, enseñanzas y el tiempo dedicado a mi formación han sido fundamentales en este proceso de aprendizaje e investigación.

A la Universidad de Panamá y a los profesores del programa de maestría, por compartir su conocimiento y por ser pilares en mi crecimiento académico.

Al Ing. Jean Solís y la Ing. Oris Barrera, por su apoyo constante y sus valiosos consejos durante mis estudios de postgrado. Su orientación ha sido clave en mi desarrollo profesional y personal.

A Jorge Emilio Rodríguez Ferrán, por su invaluable apoyo a lo largo de mi maestría y durante la investigación. Su acompañamiento ha sido fundamental en este proceso y por ello le expreso mi más sincera gratitud.

A todos los que han contribuido, de una u otra manera, a la realización de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

Mary F.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	3
.....	4
.....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Importancia del cultivo de la papaya	6
2.2. Aspectos importantes de la producción de papaya en Panamá	7
2.3. Clasificación taxonómica del cultivo de papaya	8
2.4. Pérdidas postcosecha en papaya ocasionada por fitopatógenos	8
.....	10
2.5. Capacidad antifúngica de <i>Trichoderma</i> spp. en el control de enfermedades postcosecha	11
.....	12
2.6. Aspectos generales de <i>Trichoderma</i> spp.....	14
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	15
3.1.Recolección de frutos	15
3.2.Preparación de las muestras y tratamientos	15
3.3.Unidad de observación	17
3.4.Diseño experimental y Análisis estadístico	18
3.5.Análisis de las muestras e identificación de hongos	19
3.6.Evaluación de incidencia y severidad en frutos de papaya	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1. Síntomas causados por hongos patógenos en frutos: Ensayos A y B.....	21
.....	24
4.2. Caracterización microscópica de hongos en los frutos de papaya (Ensayo A).	25
4.3. Caracterización microscópica de hongos en los frutos de papaya (Ensayo B).	26
.....	27
4.4. Estimación del índice de infección	28
4.5. Grados de severidad en frutos por tratamiento.....	29
4.6. Análisis de varianza	31

.....	32
5. CONCLUSIONES	33
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del sitio de muestreo.	15
Figura 2. Secuencia de pasos para la preparación de las muestras y tratamientos	16
Figura 3. Bio-funguicidas a base de <i>Trichoderma</i> spp., utilizados en ambos ensayos. .	17
Figura 4. Esquema de unidades experimentales con tratamientos	18
Figura 5. Observación de frutos con lesiones.	19
Figura 6. Escala diagramática utilizada para evaluar la severidad	20
Figura 7. Síntomas manifestados en frutos en el ensayo A	21
Figura 8. Manchas circulares hundidas observadas en los frutos de papaya en el ensayo A.	22
Figura 9. Síntomas manifestados en frutos en el ensayo B	23
Figura 10. Lesiones circulares e irregulares observadas en los frutos de papaya durante el ensayo B.....	24
Figura 11. Hongos patógenos identificados en el ensayo A	25
Figura 12. <i>Alternaria</i> sp. <i>Fusarium</i> sp. <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Lasiodiplodia</i> sp., conidio inmaduro hialino de <i>Lasiodiplodia</i> sp. <i>Aspergillus</i> sp.	26
Figura 13. Telomorfo de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (<i>Glomerella cingulata</i>), <i>Aspergillus</i> sp. <i>Colletotrichum dematium</i> , <i>Thielaviopsis</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp. <i>Cladosporium</i> sp. Con parasitismo por <i>Trichoderma</i> spp. <i>Colletotrichum acutatum</i>	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadística general del cultivo de papaya años agrícolas 2021-22 al 2023-24.	7
Cuadro 2. Control de pudriciones en frutas durante postcosecha, mediante el uso de distintas especies de <i>Trichoderma</i> spp.	11
Cuadro 3. Tratamientos en estudio.	18
Cuadro 4. Frecuencia de los grados de la escala en frutos de papaya durante el ensayo A	28
Cuadro 5. Frecuencia de los grados de la escala en frutos de papaya durante el ensayo B.	29
Cuadro 6. Temperatura controlada (Ensayo A)	30
Cuadro 7. Temperatura ambiente (Ensayo B)	31
Cuadro 8. Análisis de Varianza de frutos evaluados durante la etapa A (temperatura controlada).	31
Cuadro 9. Análisis de Varianza de frutos evaluados durante el ensayo B (temperatura ambiente).	32

EVALUACIÓN DEL USO DE *Trichoderma* spp. EN EL MANEJO DE HONGOS DE POSTCOSECHA EN PAPAYA (*Carica papaya* L.)

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto in vivo de cepas comerciales de *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento micelial de hongos patógenos que afectan a frutos de papaya (*Carica papaya*) en postcosecha, como una estrategia potencial para reducir la severidad de las enfermedades postcosecha. El estudio fue dividido en dos ensayos: (A) bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas y (B) bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa, en ambos ensayos se utilizaron frutos de la variedad Tainung F1 híbrido.

Se implementó un diseño de tratamientos completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones: tres cepas comerciales de *Trichoderma* spp. (T2, T3, T4) aplicadas como biofungicidas según las dosis recomendadas, mediante inmersión de los frutos en una suspensión de esporas, y un tratamiento testigo (T1). Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza al 5% de significancia.

Los resultados no revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere la necesidad de estudios adicionales para explorar las condiciones específicas en las que el uso de *Trichoderma* spp., podría ser más eficaz como método de biocontrol de hongos fitopatógenos en frutos de papaya en postcosecha.

Palabras claves: Tainung, patógenos, biocontrol, dosis, cepas.

"EVALUATION OF THE USE OF *Trichoderma* spp, IN THE POSTHARVEST MANAGEMENT OF FUNGAL INFECTIONS IN PAPAYA (*Carica papaya* L.)"

SUMMARY

This study aimed to evaluate the *in vivo* effect of commercial strains of *Trichoderma* spp. on the mycelial growth of pathogenic fungi affecting postharvest papaya (*Carica papaya*) fruits as a potential strategy to reduce disease severity after harvest. The study was divided into two trials: (A) under controlled temperature and relative humidity conditions and (B) under ambient temperature and relative humidity conditions. In both trials, fruits of the Tainung F1 hybrid variety were used.

A completely randomized treatment design was implemented, consisting of four treatments with four replications: three commercial strains of *Trichoderma* spp. (T2, T3, T4) applied as biofungicides according to recommended doses by immersing the fruits in a spore suspension, and one control treatment (T1). The data obtained were analyzed using an analysis of variance (ANOVA) at a 5% significance level.

The results did not reveal statistically significant differences between treatments, suggesting the need for additional studies to explore the specific conditions under which *Trichoderma* spp. could be more effective as a biocontrol method for fungal pathogens in postharvest papaya fruits.

Keywords: Tainung, pathogens, biocontrol, dosage, strains

1. INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya*) es una de las frutas tropicales más comunes en Panamá, pertenece a la familia de las Caricaceas. Por ser un producto vegetal demandado generalmente sin transformación alguna, es necesario que el mismo cuente con características de calidad entre los que podemos mencionar tamaño, sabor y textura. Algunos países de Asia, África y Oceanía destinan los residuos de los frutos a la obtención de látex y la proteína de la papaya o papaína para múltiples usos industriales. En Panamá, según el MIDA para el año agrícola 2023-2024, se sembraron 1,391.82 has de papaya, de las cuales el 93% del área se ubica en la provincia de Chiriquí, en donde sobresalen las variedades Maradol y Tainung (MIDA,2024).

Los frutos de papaya en postcosecha son altamente perecederos debido a su condición climática; sin embargo, bajo condiciones adecuadas de almacenamiento (10° C/90-95% HR) pueden conservar su calidad durante tres semanas (Kader, 2002).

Contrariamente, las pudriciones debidas a diferentes patógenos son factores que pueden afectar la calidad postcosecha, tales como: *Phoma caricae-papayae*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata*, *Fusarium spp.*, *Colletotrichum spp.*, agente causal de la antracnosis, la principal enfermedad postcosecha de la papaya (Macedo, 2004).

El desarrollo de la antracnosis en anaquel es favorecido por el mal manejo que se le da a la fruta antes, durante y después de la cosecha. En la mayoría de los países productores de papaya la incidencia de las enfermedades postcosecha presenta

valores altos cuando se aplican medidas de combate deficientes o nulas. Con las constantes regulaciones y restricciones en el uso de funguicidas sintéticos y demanda de los productos cada vez más inocuos, crece el interés por el uso de alternativas al manejo de estas enfermedades, particularmente el del uso de microorganismos benéficos con amplio espectro de control biológico como *Trichoderma* spp. El método más empleado para el control de esta enfermedad es la aplicación de funguicidas sintéticos; sin embargo, el uso de químicos en la fruticultura ha sido restringido en muchos países (Dayan et al., 2009).

Además, el uso frecuente de pesticidas puede afectar las poblaciones de diversos organismos benéficos y sus formas tóxicas pueden persistir en el suelo. Asimismo, se puede incrementar la resistencia de patógenos hacia los químicos sintéticos (Ramezani, et al., 2002).

Es por ello que se requiere desarrollar nuevas tecnologías de preservación de papaya, las cuales deben ser amigables con el ambiente y seguras para el humano. Una alternativa de control amigable con el ambiente es el uso de hongos antagonistas, debido a que su acción puede ser aprovechada como una forma de control biológico de patógenos (Fernández & Larrea, 2001).

Trichoderma spp., es el antagonista más utilizado para el control de enfermedades producidos por hongos fitopatógenos como: *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Alternaria. alternata*, *Fusarium* spp., etc. *Trichoderma* desplaza al hongo fitopatógeno, por competencia directa, espacio o nutrientes, parasitismo directo con metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas a los que se atribuyen cambios estructurales a nivel celular, tales como la desintegración del

citoplasma y lisis celular (Ezziyyani et al., 2005).

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se propone evaluar el efecto que tienen diferentes cepas comerciales de *Trichoderma* spp. sobre hongos patógenos en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) en postcosecha, con el propósito de generar información relevante sobre este problema fitosanitario en nuestro país y ofrecer de alguna manera una respuesta a productores dedicados a este rubro.

Se diseñó este trabajo de investigación bajo la modalidad de Tesis, como parte de los requisitos para optar por el título de Maestro en Ciencias Agrícolas con Énfasis en Protección Vegetal, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Importancia del cultivo de papaya

La papaya es uno de los frutales más cultivados en los países tropicales debido a que es una planta de producción rápida y corto período de reembolso. Otro aspecto que ha contribuido a la expansión de este cultivo en los últimos años ha sido el incremento de la demanda, motivada por su valor alimenticio (Ramos, 2002). Su producción se ha extendido en diversos países tropicales y subtropicales del mundo, como son India, Brasil, Nigeria, Indonesia, México, Filipinas, Tailandia, China y Congo. En 2020 India fue el principal productor de papaya en el mundo con 6,011,000 toneladas (43.3%), seguido por República Dominicana con 1,271,303 toneladas (9.1%) y Brasil con 1,235,003 toneladas (8.9%), por lo que estas 3 naciones representaron el 61.3% de la producción mundial.

Además, India (142,000 hectáreas), Nigeria (92,338 hectáreas) y Bangladesh (36,440 hectáreas) fueron los países con mayor superficie cosechada, con el 30.3%, 19.7% y 7.8% del total mundial, respectivamente, teniendo en conjunto el 57.8% de la superficie mundial de este cultivo (Kosma, et. al, 2020).

Mientras tanto, República Dominicana, Indonesia y Costa Rica fueron los países con el mayor rendimiento promedio, con 102.6, 89.1 y 62.0 toneladas por hectárea, respectivamente, por lo que superaron en 246.0%, 200.7% y 109.0% el rendimiento promedio mundial, que fue de 29.6 toneladas por hectárea. El fruto es muy susceptible a diversas enfermedades ocasionadas por hongos, entre ellos *C. gloeosporioides*, que provoca antracnosis en hojas y frutos, ocasionando elevadas pérdidas económicas. A nivel internacional las pérdidas postcosecha han sido reportadas desde un 1% hasta un 93%, dependiendo del manejo que se le dé a los frutos y a los procedimientos de empaque y

comercialización (Mbarga, et. al, 2012).

2.2. Aspectos importantes de la producción de papaya en Panamá

En Panamá la siembra de papaya en su gran mayoría no está dirigida hacia la exportación, la misma generalmente es un cultivo que está en manos de pequeños productores que se dedican a comercializar el 90% de la producción en el mercado nacional. Los mismos tienen problemas en sus cultivos por plagas y problemas de mercado, lo que conlleva en ocasiones a que pierdan las cosechas por falta de comercialización. Según el cuadro 1, la producción de papaya ha aumentado considerablemente, pasando de 5,319 toneladas en 2021-2022 a 8,585 toneladas en 2023-2024, lo que representa un incremento del 61.5% en tres años. A pesar de la reducción de la superficie sembrada en 2022-2023, cuando cayó a 258.4 hectáreas, en 2023-2024 se observó una recuperación, alcanzando 284.89 hectáreas. Además, se registró un importante aumento en el rendimiento, que pasó de 40.77 toneladas por hectárea en 2021-2022 a 51.14 toneladas por hectárea en 2023-2024, lo que sugiere avances en las técnicas de cultivo.

Cuadro 1. Estadística general del cultivo de papaya años agrícolas 2021-22 al 2023-24.

INDICADORES	2021-2022	2022-2023	2023-2024
Producción (t)	5,319	6,550	8,585
Superficie Sembrada (ha)	370.0	258.4	284.89
Superficie Cosechada (ha)	330.33	223.06	279.89
Rendimiento (t/ha)	40.77	40.61	51.14
Número de Productores	174	118	133

Fuente: Dirección Nacional de Agricultura, MIDA (2024).

A pesar de las fluctuaciones en la superficie cultivada y en el número de productores, el rendimiento ha mejorado, lo que indica avances en tecnología agrícola y mejores prácticas

de cultivo. No obstante, el número de productores ha disminuido de 174 en 2021-2022 a 133 en 2023-2024, posiblemente debido a la consolidación del mercado o a factores económicos. Si la tendencia de mejora en el rendimiento continúa, podría haber oportunidades para incrementar la superficie cultivada y la producción total. No obstante, la reducción en el número de productores y en la superficie sembrada podría deberse a múltiples factores, como la contracción del mercado, la variabilidad en los precios, la deserción de productores, dificultades en la comercialización y problemas fitosanitarios.

2.3. Clasificación taxonómica del cultivo de papaya

Carica es un género de plantas de flores de la familia Caricaceae. Anteriormente tratada con 20-25 especies de arbustos o pequeños árboles perennes que alcanzan 5-10 m de altura, nativo de las regiones tropicales de Centroamérica y Sudamérica. Recientes estudios genéticos lo han restringido a una sola especie *Carica papaya*. Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Violales

Género: *Carica*

Especie: *papaya* L., 1753

2.4. Pérdidas postcosecha en papaya ocasionada por fitopatógenos

El manejo de frutas en postcosecha es una actividad que enfrenta diversos problemas y nuevos retos; durante la fase de empaque y transporte desde el campo, como durante su almacenamiento y manejo en los centros de procesamiento y expendio. La fruta de papaya

es una fruta susceptible al manejo postcosecha por lo que requiere cuidados para evitar pérdidas y mermas de un alto costo económico. Las enfermedades postcosecha pueden iniciarse durante la ontogenia del fruto o después de la cosecha con la maduración fisiológica. Después de cosechados los frutos pasan por una serie de transformaciones endógenas resultantes del metabolismo celular. El aumento de los azúcares solubles de agua libre y de las pectinas es acompañado por la reducción de alguno de los componentes fenólicos y protopectínicos que tornan los frutos más sensibles al daño mecánico y al ataque de diversos microorganismos principalmente de hongos causantes de pudrición (Silva et al., 2002). Las enfermedades fúngicas constituyen la principal causa de pérdidas de frutos de papaya durante la comercialización debido a la falta de controles fitosanitarios, durante el cultivo y a un manejo inadecuado de almacenamiento (Flórez et al., 2009).

La naturaleza y frecuencia de estas enfermedades depende de un completo conocimiento del agente patógeno, la planta hospedante, el ambiente y sus interacciones. Aspectos como la resistencia a las enfermedades de postcosecha y extensión de la vida útil han sido dejados de lado (Ventura et al., 2004).

Dentro de las principales pérdidas postcosecha de frutos de papaya sobresalen las ocasionadas por enfermedades, que se manifiestan en mayor grado durante el transporte y comercialización de los frutos. La antracnosis causada por hongos del género *Colletotrichum* spp., destaca entre las enfermedades fúngicas de mayor frecuencia reportadas en este fruto. Este género es considerado como uno de los más importantes en la agricultura debido a la diversidad de especies vegetales que pueden ser afectadas y la magnitud de los daños ocasionados sobre las plantas (Vásquez et al., 2012).

Entre otras enfermedades fúngicas que se presentan en frutos de papaya en postcosecha

están: las pudriciones pedunculares causadas por *Lasiodyplodia theobromae* y *Phoma caricae-papayae*, pudrición acuosa causada por *Rhizopus stolonifer*, hongos del género *Cladosporium* spp., *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp., los cuales pueden penetrar a través de los estrechos canales que llevan hasta el interior del fruto donde destruyen las semillas, así como el tejido alrededor. Aunque la infección por hongos se puede producir en el estado inmaduro, permanece latente y se desarrolla hasta que la fruta madura (Bolkan et al., 1976). En Panamá, tradicionalmente, esta fruta se cosecha cuando está madura (evidenciado por el desarrollo de color en la cáscara) o cerca de la maduración. Luego, la fruta es transportada en camiones a los mercados públicos, donde es comercializada al por mayor y/o al detal. La vida útil de la papaya es generalmente alrededor de una semana, pero cuando es magullada durante el transporte y manejo, su vida útil se reduce a unos cuantos días. En nuestro país no se sabe con exactitud, cuanto es el porcentaje de pérdidas o mermas de frutos de papaya; sin embargo, se ha estimado que la pérdida de frutas y hortalizas en el mercado de abastos ronda las 900 toneladas mensuales. Entre las frutas susceptibles a las pérdidas se encuentra la papaya, la cual debido a su rápida maduración natural conduce a un corto periodo para la comercialización (Tejera, 2017).

2.5. Capacidad antifúngica de *Trichoderma* spp., en el control de enfermedades postcosecha.

El uso de microbios antagonistas en enfermedades postcosecha es ventajoso sobre los fungicidas sintéticos, porque estos microorganismos no producen residuos tóxicos, son amigables con el medio ambiente, tienen un método de aplicación más seguro, son fáciles de administrar y son económicos de producir (Köhl et al., 2019). Bajo estas circunstancias, el uso de varios agentes de biocontrol, entre los que destaca *Trichoderma* spp, se enfatiza

cada vez más como un componente importante del manejo de enfermedades de las plantas. Además, se ha investigado que el potencial de los microorganismos antagónicos para controlar la descomposición de frutas y hortalizas depende de su capacidad para colonizar las superficies de las frutas y adaptarse a diversas condiciones ambientales (Sharma et al, 2014). Diversos estudios reportan la aplicación de especies de *Trichoderma* con elevada capacidad antagónica, como *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. viride*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis*, para el control de enfermedades postcosecha en diferentes frutas, como fresa (Merchan-Gaitan et al., 2015), manzana, pera (Batta, 2015), papaya (Valenzuela et al. 2015), tomate (Dal Bello et al., 2015), chile (Ruangwong et al., 2021), entre otros (cuadro 2).

Cuadro 2. Control de pudriciones en frutas durante postcosecha, mediante el uso de distintas especies de *Trichoderma*.

Fruta	Especie de <i>Trichoderma</i>	Patógeno	Inhibición del deterioro (%)
Aguacate	<i>T.atroviridae</i>	<i>Neofusicoccum parvum</i>	55.0
	<i>T.harzianum</i>	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	54.6
Arándano	<i>T.atroviridae</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	83.0
Chile	<i>T.harzianum</i>	<i>Alternaria tenuis</i>	72.3
	<i>T.Koningiopsis</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	100
Fresa	<i>T.harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	66.2
Mango	<i>T.harzianum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	87.9
	<i>T.asperellum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	80.0
Manzana	<i>T.harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	50.5
Melón cantaloupe	<i>T.asperellum</i>	<i>Fusarium incarnatum</i>	81.0
Papa	<i>T.atroviridae</i>	<i>Phytophthora infestans</i>	94.1
Papaya	<i>T.longibrachiatum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	65.0

	<i>T.asperellum</i>	<i>Phytophthora palmivora</i>	61.8
	<i>T.harzianum</i>	<i>Phytophthora palmivora</i>	54.2
	<i>T.longibrachiatum</i>	<i>Phytophthora palmivora</i>	88.6
Pera	<i>T.harzianum</i>	<i>Peniciullium expansum</i>	47.6
Plátano	<i>T.asperellum</i>	<i>Colletotrichum musae</i>	85.5
		<i>Fusarium oxysporum</i>	100
Tomate	<i>T.harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	96.9

Fuente: Díaz García et al, (2022). Metabolitos bioactivos de *Trichoderma* para el control de hongos postcosecha en frutas y hortalizas.

Mendes et al. 2020, señalan en “Control alternativo de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en frutos de papaya Sunrise Solo”, donde se evaluaron agentes de control biológico como *Trichoderma harzianum* (Trichobio) y *Trichoderma longibrachiatum* (Trichonemato), ambos con una concentración mínima de 2×10^8 conidios/mL, demostrando una inhibición micelial de *C. gloeosporioides* in vivo del 33.92% y 35.66%, respectivamente.

En otro estudio realizado por Ribeiro, J. G. et al. (2015) titulado: Uso de productos naturales en el control de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya, se evaluó la eficacia del producto comercial Trichodermil a través de ensayos realizados tanto *in vivo* como *in vitro*. Los resultados evidenciaron una disminución en la agresividad de *C. gloeosporioides* y otros hongos asociados a infecciones quiescentes.

Los hongos del género *Trichoderma* tienen especial ventaja frente a otros agentes de control biológico (ACB) debido a que tienen gran capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Tseng et al., 2020).

Actualmente, existen 375 especies conocidas del género *Trichoderma*. Dentro de las especies más estudiadas se encuentran *T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. lignorum*, *T.*

longibrachiatum, *T. reesei*, *T. virens*, *T. viride*, y *T. asperellum* (Kubicek et al., 2019).

Teniendo en cuenta el amplio espectro de propiedades antagonistas que exhiben los hongos *Trichoderma* contra diversos patógenos, su uso ha sido de gran importancia en la agricultura.

2.6. Aspectos generales de *Trichoderma*

Las especies del género *Trichoderma* son hongos saprófitos con gran plasticidad ecológica, capaces de sobrevivir en suelos con diversa materia orgánica e incluso adaptarse a condiciones anaerobias facultativas. Su distribución abarca desde regiones polares hasta ecuatoriales, gracias a su capacidad enzimática para degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos (Villegas, 2005).

Aunque se reconoce su potencial como controlador biológico de fitopatógenos y su facilidad de cultivo, existen pocos estudios sobre su sobrevivencia y proliferación en la rizosfera de la planta.

El género *Trichoderma* es un excelente modelo para ser estudiado debido a su fácil aislamiento y cultivo, rápido desarrollo en varios sustratos y por su condición de controlador biológico de una amplia gama de fitopatógenos. *Trichoderma* se ubica taxonómicamente en:

Reino: Fungi.

División: Ascomycota

Subdivisión: Pezizomycotina

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Hypocreaceae

Género: *Trichoderma*.

La mayoría de las colonias de *Trichoderma* en su inicio tienen color blanco, que se tornan a verde oscuro o amarillento, con esporulación densa. El micelio es ralo en su mayoría, y visto al microscopio es fino, los conidióforos son ramificados, parecen un árbol pequeño. Los mismos se presentan como penachos compactados que forman anillos con un sistema de ramas irregular de manera piramidal. La mayoría de las especies de *Trichoderma* producen clamidosporas, las cuales pueden ser intercalares y en ocasiones terminales. Las clamidosporas toleran condiciones ambientales adversas, son estructuras de sobrevivencia y permiten que el hongo pueda perdurar a través del tiempo. No obstante, las clamidosporas recién formadas presentan más de 75% de germinación, bajo condiciones óptimas de humedad (> 75%) y temperatura (28-30°C). Debido a esto se dice, que las especies de *Trichoderma* produce tres tipos de propágulos: hifas, clamidosporas y conidios. (Stefanova et al., 1999).

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS.

La investigación se realizó en dos ensayos (A y B); siendo el ensayo (A), bajo condiciones de temperatura y humedad relativa similares a las de los supermercados (controlada) y el ensayo (B) bajo condiciones de temperatura y humedad relativa similares al mercado nacional (ambiente).

3.1. Recolección de frutas

Frutos de papaya (*Carica papaya*) cv. Tainung F1 híbrido; cosechados en punto de cosecha comercial, uniformes en variedad, apariencia y tamaño, fueron obtenidos de una finca ubicada en la comunidad de las Yayas, corregimiento de Sanguenga, distrito de la Chorrera, provincia de Panamá Oeste. Se seleccionarán frutos sanos sin daños físicos, ni signos y síntomas aparentes de enfermedad. Para este estudio se utilizaron alrededor de 64 frutos en total, (32) para cada ensayo.

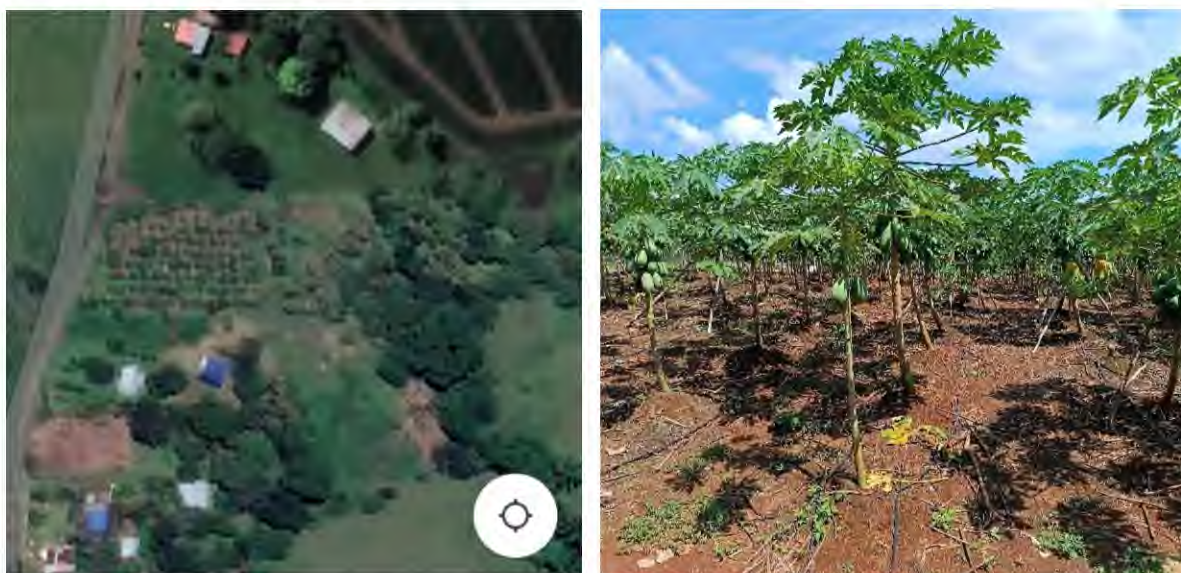


Figura. 1. Izquierda. Ubicación del sitio de muestreo. Vista satelital. Fuente: Google maps.
Derecha. Vista panorámica de la finca donde se obtuvieron los frutos.

3.2. Preparación de las muestras y tratamientos

Durante el ensayo A, los frutos fueron procesados en el laboratorio de Fitopatología, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, Campus Central. Durante el ensayo B, los frutos fueron procesados en la comunidad de Santa Cruz, corregimiento de Pedregal, provincia de Panamá.



Figura 2. Secuencia de pasos para la preparación de las muestras y tratamientos, **A.** Recolección de frutos sanos variedad Tainung, **B.** Lavado y desinfestación de frutos, **C.D.E.** Preparación de los productos a base de *Trichoderma* spp. en las concentraciones requeridas, **F.** Inmersión de frutos de papaya en cada uno de los tratamientos, **G.** Conformación de los diferentes tratamientos bajo condiciones de temperatura y humedad controlada, **H.** Conformación de los diferentes tratamientos bajo condiciones de temperatura y humedad ambiente.

Cada uno de los frutos fueron sometidos a un tratamiento de lavado, con jabón y agua para eliminar polvo y residuos de campo, y posteriormente se dejaron secar al aire. Los tratamientos estuvieron constituidos por tres cepas comerciales de *Trichoderma* spp, comercializadas como bio- funguicidas (ver fig.3) y un tratamiento testigo, aplicados en los frutos de papaya por la inmersión en una suspensión de esporas, utilizando las dosis recomendadas en el etiquetado respectivo (ver fig.2).



Figura 3. Bio-funguicidas a base de *Trichoderma* spp utilizados en ambos ensayos.

3.3. Unidad de observación

A lo largo del ensayo A, los frutos se mantuvieron a una temperatura controlada de aproximadamente 22 °C y una humedad relativa cercana al 36 % HR, simulando las condiciones de un supermercado. La evaluación se realizó a los doce (12) días. En el ensayo B, los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente (aproximadamente 28 °C) y una humedad relativa del 60 % HR, replicando las condiciones de un mercado nacional. De igual manera, la evaluación se llevó a cabo a los doce (12) días. En ambos ensayos se verificó la incidencia de hongos de postcosecha en los frutos.

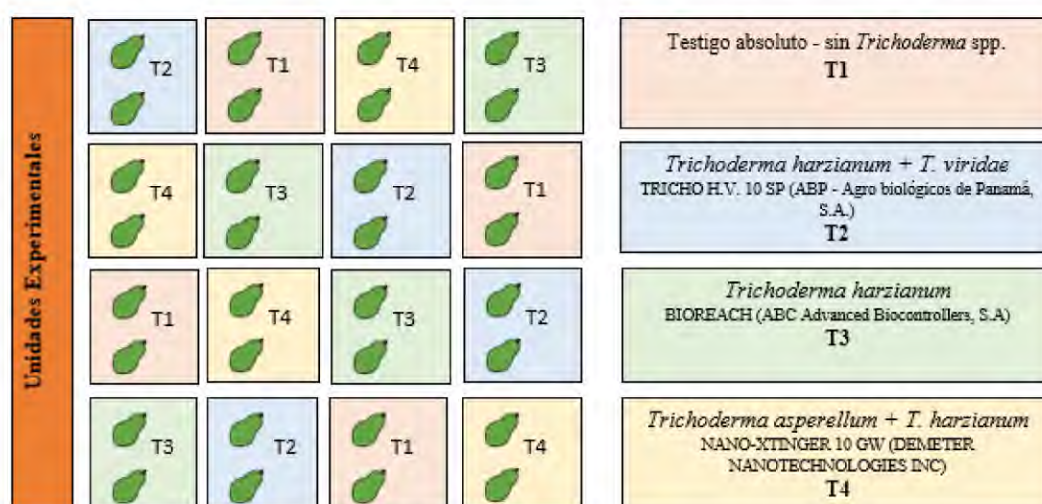
Cuadro 3. Tratamientos en estudio.

Tratamiento	Repeticiones	Descripción
T1	4	Testigo absoluto - sin <i>Trichoderma</i> spp.
T2	4	Bio-funguicida a base de <i>Trichoderma harzianum</i> + <i>T. viridae</i> aplicados a frutos de papaya.
T3	4	Bio-funguicida a base de <i>Trichoderma harzianum</i> , aplicados a frutos de papaya.
T4	4	Bio-funguicida a base de <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>T. harzianum</i> , aplicados a frutos de papaya.

3.4. Diseño experimental y Análisis estadístico

Se empleó un diseño de tratamientos completamente aleatorizado, compuesto por cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Cada repetición incluyó dos frutos de papaya, resultando en un total de dieciséis unidades experimentales (UE), tal como se detalla en la Figura 4 y el Cuadro

3. Los datos recopilados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA).

**Figura 4.** Esquema de unidades experimentales con tratamientos.

3.5. Análisis de las muestras e identificación de hongos

Los resultados de las observaciones realizadas, a medida que fueron madurando los frutos, se documentaron a través de fotografías para posteriormente ser analizadas.

Se identificaron síntomas y signos de hongos en los frutos de papaya y se tomaron en cuenta ciertas características como profundidad y forma de la lesiones, presencia o ausencia de secreciones y color, que afectaban la apariencia y calidad de los frutos.

Para las observaciones de hongos presentes en frutos de papaya se tomaron porciones de frutos con síntomas y daños y se observaron en un Microscopio Estereoscópico modelo S9i, marca Leica Microsystems donde se empleó la técnica de raspado tomando fragmentos o parte del micelio (aéreo y en esporulación) y posteriormente fueron colocados en portaobjetos con una gota de Lactophenol Cotton Blue marca HIMEDIA y se cubrió con cubreobjetos para observar las características morfológicas del micelio y órganos reproductivos en el microscopio marca LEICA, modelo DM500 con aumentos de 10/0.25 y 40/0.65.

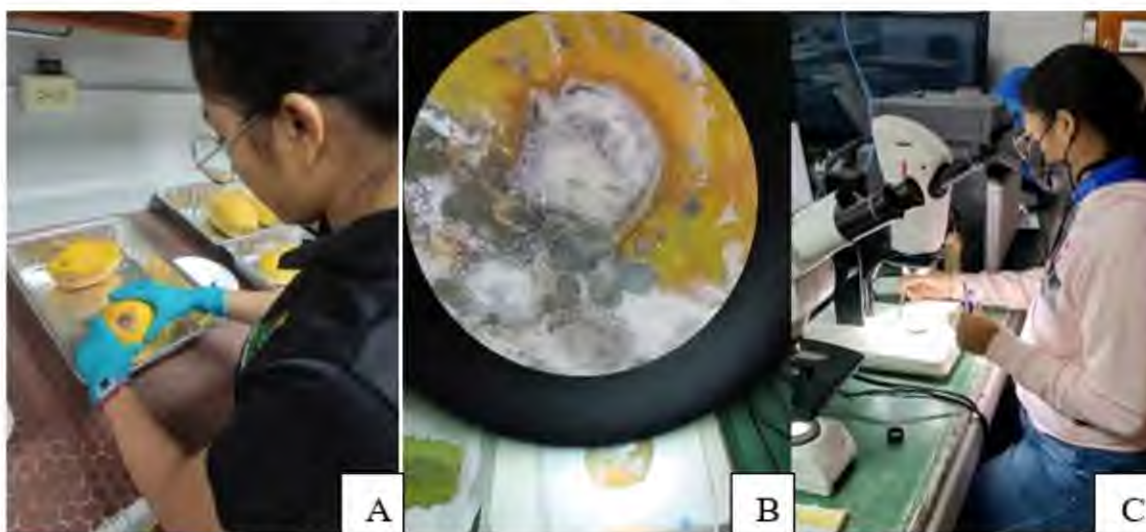


Figura 5. A y B. Observación de frutos con lesiones. C. Preparación de placa microscópica.

3.6. Evaluación de incidencia y severidad en frutos de papaya

Las determinaciones de incidencia y severidad se realizaron cuando los frutos habían alcanzado la maduración. Así, el índice de infección se determinó mediante la fórmula de Mckinney (1923).

$$\text{Índice de Infección} = \frac{\sum (\text{grado de la escala}) (\text{frecuencia}) + \dots}{(\text{número total de unidades evaluadas}) (\text{grado máximo de la escala})} \times 100$$

Para evaluar la severidad, se utilizó una escala diagramática, haciendo una observación visual del porcentaje de área afectada en los frutos maduros. Para dicha evaluación se utilizó la escala diagramática para evaluar la severidad de mancha negra en frutos de papaya (Vivas, et al. 2010).

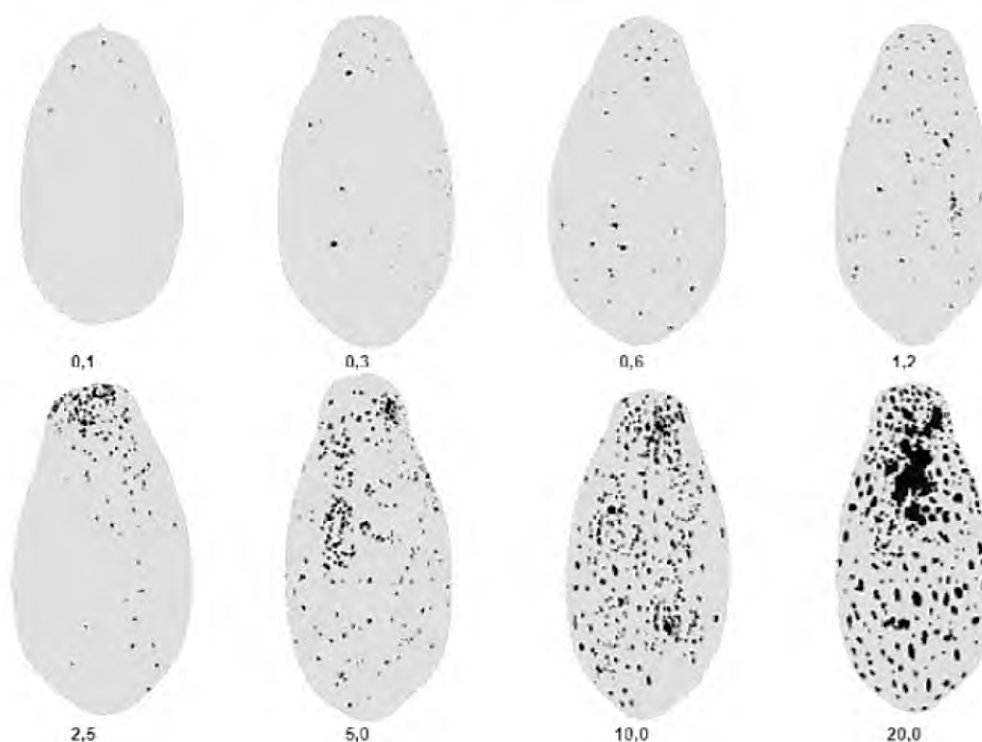


Figura 6. Escala diagramática utilizada para evaluar la severidad de enfermedad en frutos de papaya. Fuente: Vivas, et al, (2010).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Síntomas causados por hongos patógenos en frutos: Ensayos A y B

En el ensayo A, los frutos de papaya afectados por hongos patógenos presentaron síntomas como manchas circulares hundidas, de color oscuro, que se expandieron progresivamente. Estas lesiones, características de la antracnosis causada por *Colletotrichum* spp (fig. 7).

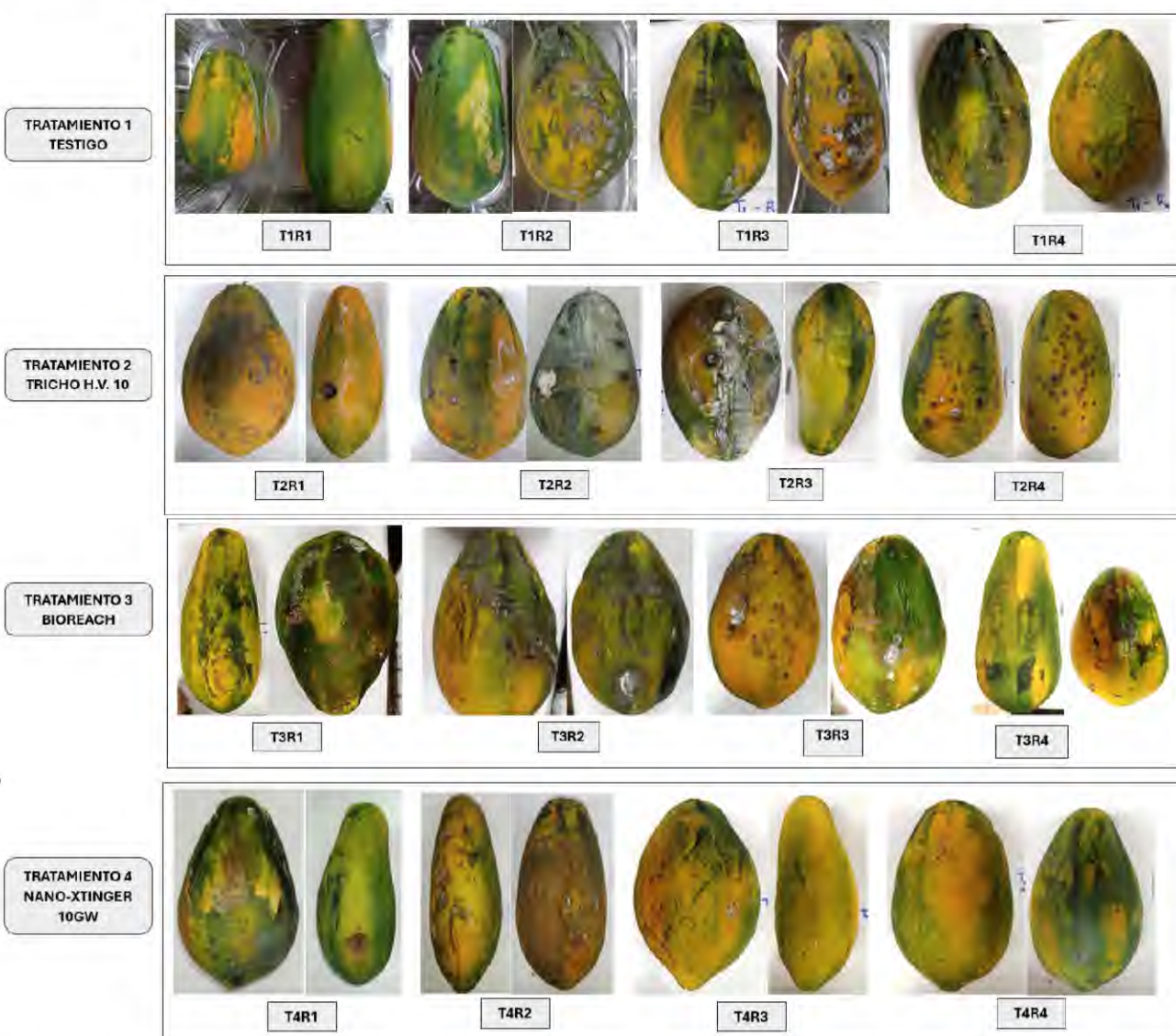


Figura 7. Síntomas manifestados en frutos en el ensayo A.

Se observaron diversas características en las lesiones, como variaciones en su forma, tamaño, bordes. En el ensayo B se observaron síntomas caracterizados por lesiones circulares, de textura

seca y en ocasiones, acompañadas de secreciones mucilaginosas. Estas lesiones, además de ser circulares, presentaban un leve hundimiento (fig.10). Se identificaron tres especies de *Colletotrichum*, vinculadas a los síntomas de antracnosis en los frutos de papaya, lo que sugiere que dichos síntomas están relacionados con distintas especies de este género.



Figura 8. Manchas circulares hundidas observadas en los frutos de papaya en el ensayo A.

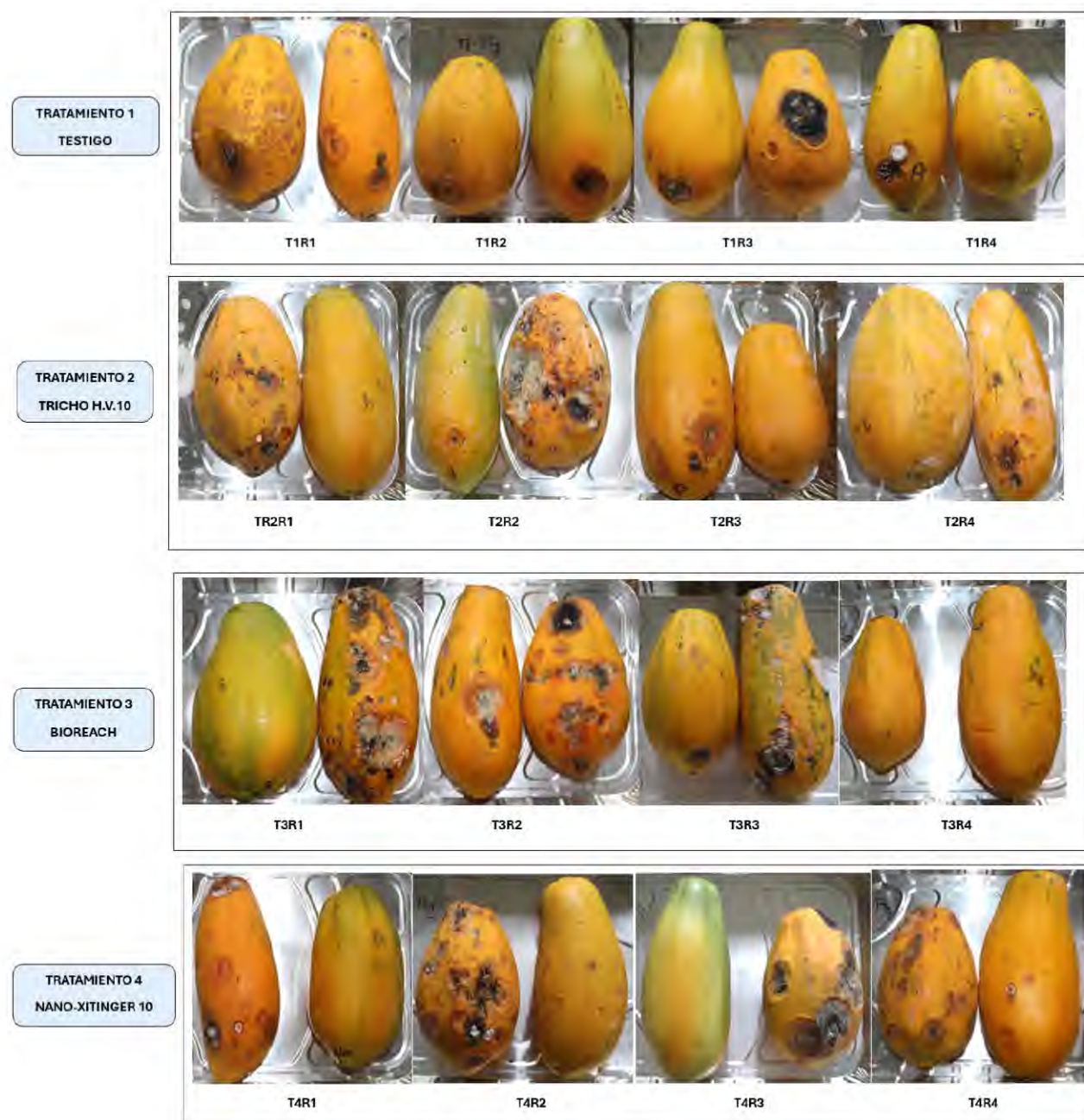


Figura 9. Síntomas manifestados en frutos en el ensayo B.

De manera similar al ensayo A, en el ensayo B se observaron manifestaciones de síntomas, con características que incluyen variaciones en el tamaño de las lesiones, su textura y otros signos asociados (fig. 10).



Figura 10. Lesiones circulares e irregulares observadas en los frutos de papaya durante el ensayo B.

4.2. Caracterización microscópica de hongos en los frutos de papaya (Ensayo A).

Con base en el material vegetal obtenido de diversos frutos de papaya mantenidos a temperatura controlada durante el ensayo A, se lograron identificar dos géneros de hongos patógenos (Fig. 10), siendo *Colletotrichum gloeosporioides* el más predominante en la mayoría de los tratamientos.

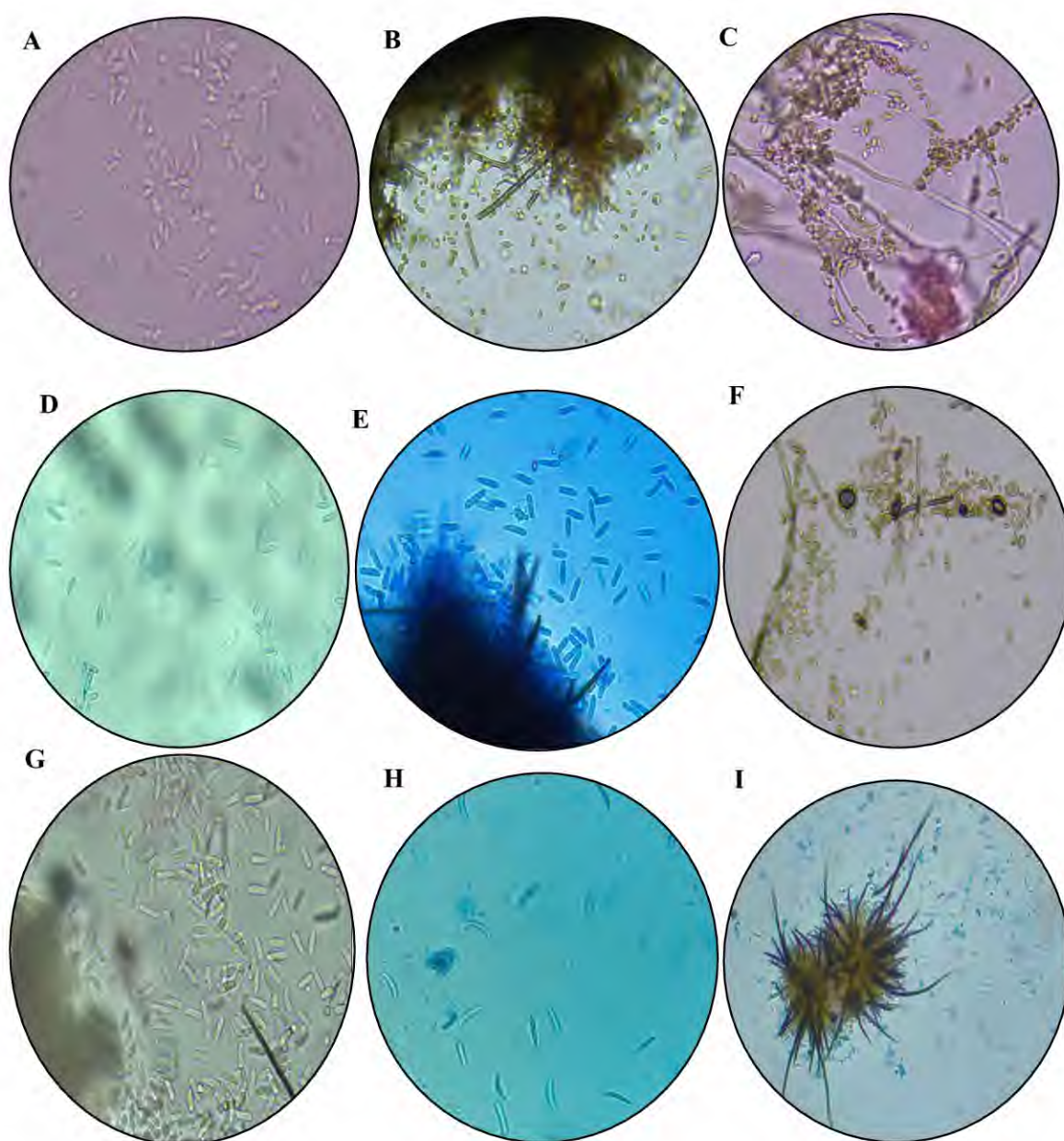


Figura 11. Hongos patógenos identificados durante el ensayo A: A. *Colletotrichum*

gloeosporioides, **B.** *Cladosporium* spp., **C.** *Cladosporium* spp., **D.** *Colletotrichum gloeosporioides* **E.** *Colletotrichum gloeosporioides* **F.** *Cladosporium* spp., **G.** *Colletotrichum gloeosporioides* **H.** *Colletotrichum dematium* **I.** *Colletotrichum dematium*.

4.3. Caracterización microscópica de hongos en los frutos de papaya (Ensayo B).

En el ensayo B se detectaron ocho géneros de hongos patógenos, predominando el género *Colletotrichum*, del cual se identificaron las especies *C. acutatum*, *C. gloeosporioides* y *C. dematium*. Adicionalmente, se observaron otros géneros como: *Trichoderma* sp, *Cladosporium* sp, *Fusarium* sp, *Lasiodiplodia* sp, *Aspergillus* sp, *Alternaria* sp y *Thielaviopsis* sp. También se observó la fase sexual (teleomorfo) de *Colletotrichum gloeosporioides*, conocida como *Glomerella cingulata* (fig. 11 y 12).

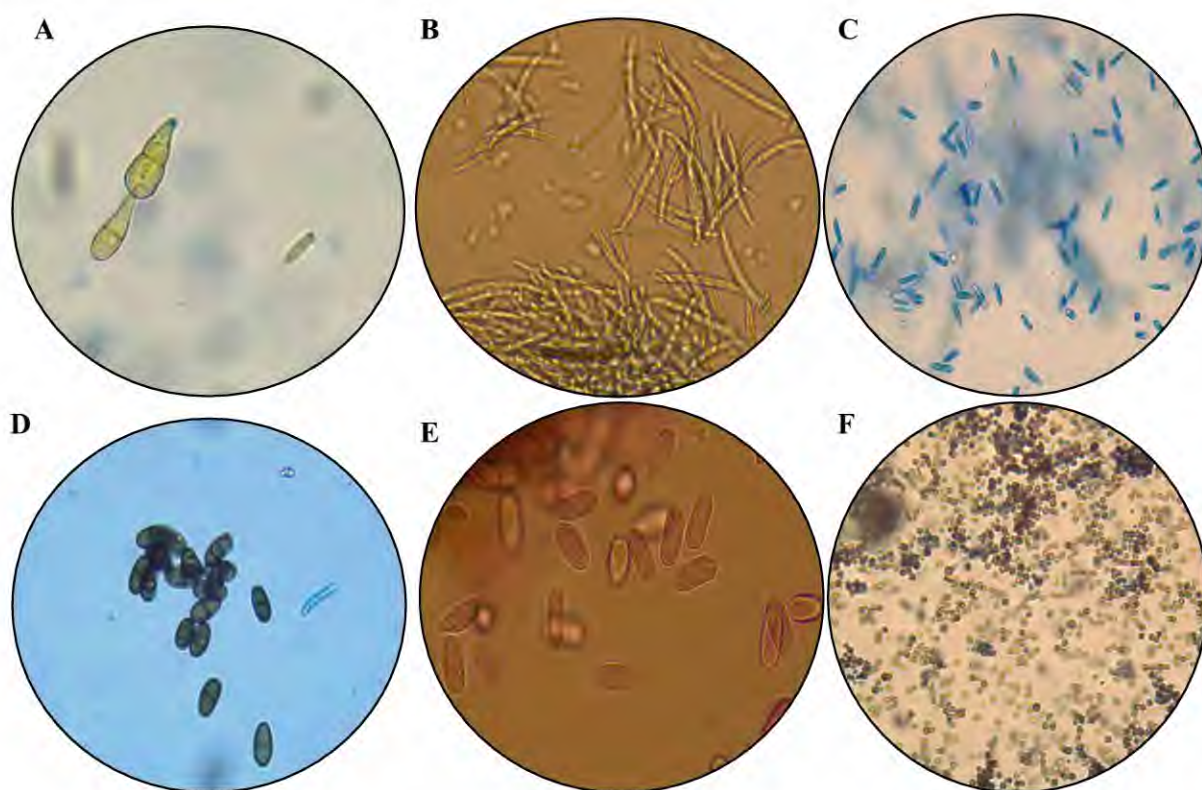


Figura 12. **A.** *Alternaria* sp, **B.** *Fusarium* sp, **C.** *Colletotrichum gloeosporioides* **D.** *Lasiodiplodia* sp **E.** conidio inmaduro hialino de *Lasiodiplodia* sp **F.** *Aspergillus* sp.

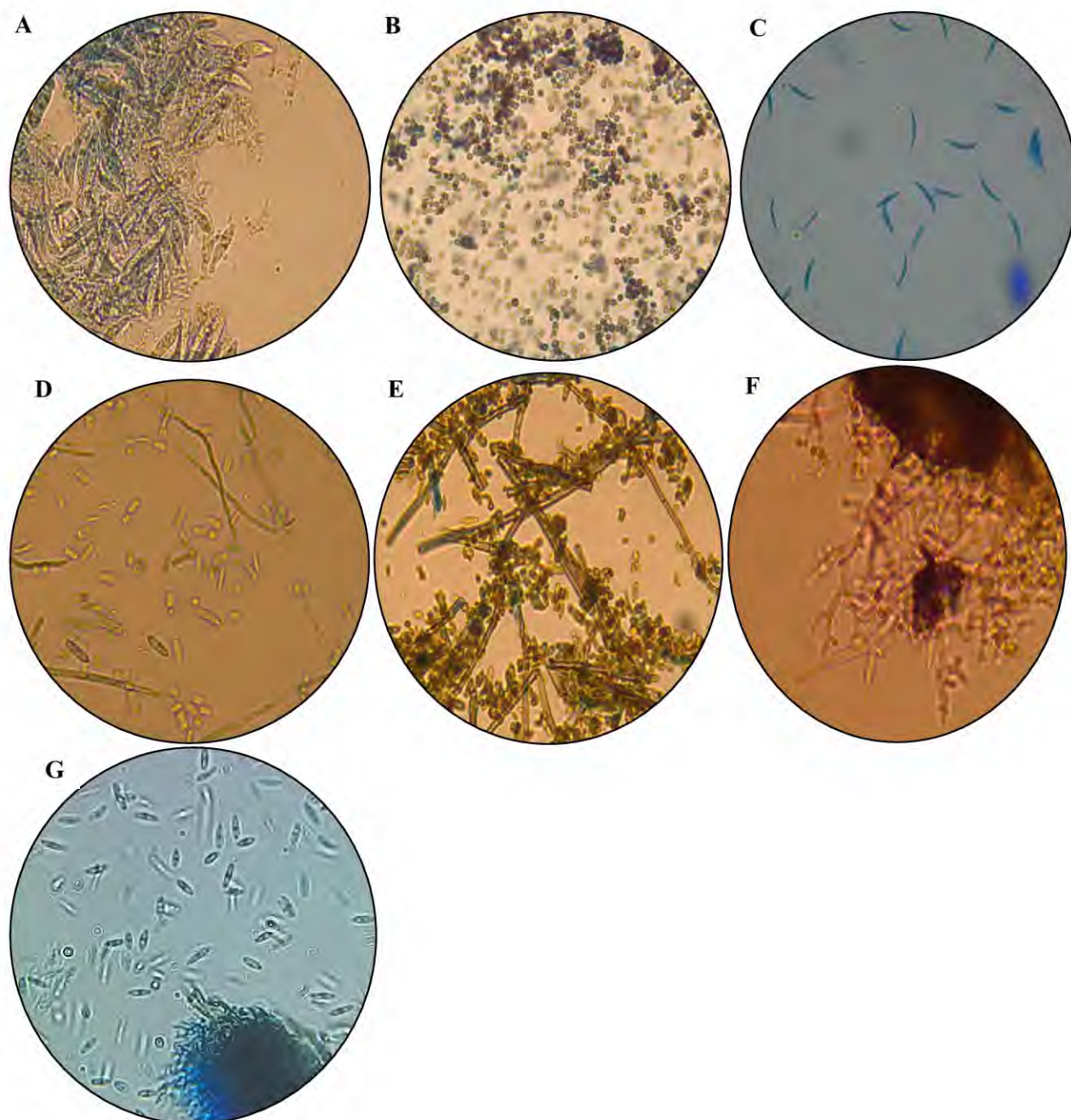


Figura 13. A. Telomorfo de *Colletotrichum gloesporioides* (*Glomerella cingulata*) B. *Aspergillus* sp. C. *Colletotrichum dematium* D. *Thielaviopsis* sp. E. *Cladosporium* sp F. *Cladosporium* sp, con parasitismo por *Trichoderma* sp, G. *Colletotrichum acutatum*.

4.4. Estimación del índice de infección

En función de la escala de severidad utilizada y la evaluación de los distintos grados de severidad observados en los frutos analizados, se determinó el índice de infección para ambos ensayos, lo cual refleja el porcentaje de enfermedad presente en los frutos,

El índice de infección en el ensayo A, bajo condiciones de temperatura controlada, fue del 52.34%. Este valor representa la cantidad total de enfermedad presente en el total de frutos evaluados en esa etapa. Por otro lado, en el ensayo B, evaluada bajo condiciones de temperatura ambiente, el índice de infección alcanzó un 52.73%, lo que refleja la cantidad total de enfermedad presente en los frutos evaluados en este ensayo. (ver cuadro 4 y 5).

La comparación de ambos resultados indica una ligera variación en la cantidad de enfermedad acumulada para las dos condiciones de almacenamiento analizadas en ambos ensayos; lo que indica que las mismas no fueron factores determinantes en la cantidad de enfermedad que se obtuvo al final de los ensayos.

Cuadro 4. Grado de severidad y frecuencia en frutos de papaya en el ensayo A

<i>Grados de la escala</i>	Frecuencia
1	3
2	3
3	6
4	4
5	8
6	6
7	1
8	1
<i>Total de unidades evaluadas</i>	32

$$\text{Índice de Infección} = \frac{\Sigma [(1)(3) + (2)(3) + (3)(6) + (4)(4) + (5)(8) + (6)(6) + (7)(1) + (8)(1)]}{(32)(8)} \times 100$$

$$\Sigma = \frac{3+6+18+16+40+36+7+8}{256} \times 100$$

$$= \frac{134 \times 100}{256} = 52.34 \%$$

Índice de infección = 52.34 %

Cuadro 5. Grado de severidad y frecuencia en frutos de papaya en el ensayo B

<i>Grados de la escala</i>	Frecuencia
1	2
2	7
3	2
4	7
5	3
6	4
7	5
8	2
Total de unidades evaluadas	32

Índice de infección ensayo B (temperatura y humedad ambiental):

$$\text{Índice de Infección} = \frac{\Sigma [(1)(2) + (2)(7) + (3)(2) + (4)(7) + (5)(3) + (6)(4) + (7)(5) + (8)(2)]}{(32)(8)} \times 100$$

$$\Sigma = \frac{2+14+6+28+15+24+30+16}{256} \times 100$$

$$= \frac{135 \times 100}{256} = 52.73 \%$$

Índice de infección = 52.73 %

4.5. Grados de severidad en frutos por tratamiento

Cuadro 6. Severidad en porcentaje en frutos a Temperatura controlada (Ensayo A)

	T1	T2	T3	T4
R1	0.4	3.7	5.0	1.8
R2	5.3	5.6	7.5	12.5
R3	20.6	5.6	7.5	0.9
R4	1.8	7.5	3.7	0.2

Los valores de severidad observados en el ensayo A (ver cuadro) van desde un mínimo de 0.2 (en T4, R4) hasta un máximo de 20.6 % (en T1, R3).

Cuadro 7. Severidad en porcentaje en frutos a Temperatura ambiente (Ensayo B)

	T1	T2	T3	T4
R1	11.2	2.8	20.3	5.3
R2	2.4	20.6	15	11.2
R3	3.7	5.1	6.2	10.1
R4	1.5	3.1	0.6	10.3

4.6. Análisis de varianza

Los datos de severidad obtenidos para cada ensayo fueron sometidos al análisis de varianza al 5 % de probabilidad. Para el ensayo A (temperatura controlada) el análisis de varianza indico que no existen diferencias en la severidad observada entre los tratamientos evaluados (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de Varianza para severidad en el ensayo A (temperatura controlada).

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<i>Entre grupos</i>	20.795	3	6.931666667	0.22035313	0.880401657	3.490294819
<i>Dentro de los grupos</i>	377.485	12	31.45708333			
<i>Total</i>	398.28	15				

En el análisis de varianza realizado en el ensayo B (temperatura ambiente), los resultados fueron muy similares al ensayo A, sin mostrar diferencias entre los valores promedios de severidad entre los diferentes tratamientos (cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de Varianza para severidad en el ensayo B (temperatura ambiente).

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<i>Entre grupos</i>	74.9825	3	24.99416667	0.56486652	0.648496952	3.490294819
<i>Dentro de los grupos</i>	530.975	12	44.24791667			
<i>Total</i>	605.9575	15				

Estos resultados mostraron que los diferentes aislamientos de *Trichoderma* spp, utilizados para el control de hongos en postcosecha en frutos de papaya, no ejercieron ningún tipo de control sobre los diferentes patógenos asociados a los frutos evaluados y responsables de los diferentes grados de severidad obtenidos, al comparar los mismos con los tratamientos testigos.

Estos resultados discrepan de los obtenidos por Mendes et al., (2020), donde señalan la inhibición de productos a base de *Trichoderma* spp., como control alternativo de *Colletotrichum gloeosporioides*, utilizados en frutos de papaya. En contraste, estos resultados son similares a los obtenidos por Bezerra et al. (2019), quienes, en su investigación sobre el biocontrol *in vivo* de *Fusarium guttiforme* en frutos de piña, determinaron que los aislados endófitos de *Trichoderma* spp. no demostraron un efecto significativo como agentes de biocontrol. Sus resultados revelaron que no hubo diferencias significativas en los parámetros de longitud, ancho y área de las lesiones entre los tratamientos y el control.

5. CONCLUSIONES

- No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, en las diferentes condiciones en que se almacenaron los frutos; en el ensayo A simulando el ambiente de un supermercado y en el ensayo B simulando el ambiente de un mercado al aire libre.
- Las cepas de *Trichoderma* spp evaluadas, no ejercieron ningún control sobre la gama de hongos asociados a los frutos de papaya en este estudio.
- Los principales agentes patógenos asociados a los frutos de papaya en este estudio fueron: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum dematium*, *Cladosporium* sp., *Colletotrichum acutatum*, *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Lasiodiplodia* sp, *Aspergillus* sp.
- Los frutos utilizados en esta investigación para ambos ensayos se mostraron afectados en su mayoría por hongos del género *Colletotrichum*, con predominancia de la especie *C. gloeosporioides* y la presencia de otras como *C. acutatum* y *C. dematium*. El 93% de los frutos evaluados en este estudio, presentaron infecciones atribuibles a este género.
- Los resultados indican que el control biológico de agentes fitopatógenos tiene un carácter específico, destacando la necesidad de continuar con investigaciones que permitan identificar cepas capaces de controlar patógenos específicos. Por ello, no se debe descartar la posibilidad de llevar a cabo estudios más detallados sobre el potencial de *Trichoderma* spp, en el manejo de hongos durante la etapa de postcosecha.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Batta, Y. (2015).** Production and testing of biopesticide for control of postharvest mold infections on fresh fruits of apple and pear. *Advances in Microbiology*, 5, 787.
- **Bezerra, G. A., Mussi-Dias, V., Santos, P. H. D., Aredes, F. A. S., & Silveira, S. F. (2019).** Identificação e seleção de espécies de *Trichoderma spp.* endofíticos de bromélias de restingas como agentes de biocontrole da fusariose em fruto de abacaxi. *Summa Phytopathologica*, 45(2), 172-178. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/189165>
- **Bolkan, H. A., Cupertino, F. P., Dianese, J. C., & Takatsu, A. (1976).** Fungi associated with pre- and postharvest fruit rots of papaya and their control in central Brazil. *Plant Disease Reporter*, 60(7), 605–609
- **Dal Bello, G., Lampugnani, G., Abramoff, C., Fusé, C., & Perelló, A. (2015).** Postharvest control of *Botrytis* gray mould in tomatoes by antagonists and biorational compounds. *IOBC-WPRS Bulletin*, 111, 417-425.
- **Dayan, F. E., Cantrell, C. L., & Duke, S. O. (2009).** Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17, 4022-4034.
- **Ezziyyani, M., Requena, M. E., & Candela, M. E. (2005).** Producción de proteínas PR en la inducción de resistencia a *Phytophthora capsici* en plantas de pimienta tratadas con *Trichoderma harzianum*. *Anales de Biología*, 27, 143-153.
- **Fernández-Larrea, V. O. (2001).** Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario: avances en el fomento de productos fitosanitarios no sintéticos. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, 62, 96-100.
- **García, E., Valenzuela, A., Rojas, R., Mendoza, D., & Hernández, M. (2022).** Metabolitos Bioactivos de *Trichoderma* para el Control de Hongos Postcosecha en Frutas y Hortalizas. Primera edición. Editorial LIBERMEX-CIAD.
- **Kader, A. (2002).** *Papaya. Recomendaciones para Mantener la Calidad Poscosecha*. Universidad de California, Davis, Estados Unidos. Recuperado en enero 2011 de <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Papaya.shtml>.
- **Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019).** Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- **Kosma, P., Ambang, Z., Begoude, B. A. D., Ten Hoopen, G. M., Kuate, J., & Akoa, A. (2011).** Assessment of nematicidal properties and phytochemical screening of neem seed formulations using *Radopholus similis*, parasitic nematode of plantain in Cameroon. *Crop Protection*, 30, 733-738.
- **Kubicek, C. P., Steindorff, A. S., Chenthamara, K., Manganiello, G., Henrissat, B., Zhang, J., Cai, F., Kopchinskiy, A. G., Kubicek, E. M., Kuo, A., Baroncelli, R., Sarrocco, S., Noronha, E. F., Vannacci, G., Shen, Q., Grigoriev, I. V., & Druzhinina, I. S. (2019).** Evolution and comparative genomics of the most common *Trichoderma* species. *BMC Genomics*, 20, 485-485.
- **Macedo, T. G. (2004).** Controle químico e hidrotérmico da antracnose em fruto de mamoeiro (*Carica papaya*) na pós-colheita.
- **Mbarga, J. B., Martijn, G. T. H., Kuate, J., Adiobo, A., Ngonkeu, M. E. L., Ambang, Z. D., Ako, A., Tondje, P. R., & Begoude, B. A. D. (2012).** *Trichoderma*

asperellum: A potential biocontrol agent for *Pythium myriotylum* causal agent of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) root rot disease in Cameroon. *Crop Protection*, 36, 18-22.

- **Mendes, H. T. A., São José, A. R., Nogueira dos Anjos, D., Pereira Bomfim, M., & Silva de Novais, Q. (2020).** Controle alternativo da antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) em frutos de mamão ‘Sunrise solo’. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 476. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-476>
- **Merchán-Gaitán, J. B., Ferrucho, R. L., & Álvarez-Herrera, J. G. (2015).** Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad del fruto de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 44-56.
- **Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). (2024).** Unidad de agronegocios: proyección de la oferta exportable para el año 2020-2024. República de Panamá.
- **Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). (2023).** Informe oferta exportable. Recuperado de https://intelcom.gob.pa/doc/otros/informe_oferta_exportable_mida.pdf.
- **Ramos, R. R. (2002).** *Curso Internacional de Papaya*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala, Guatemala.
- **Ramezani, H., Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K., & Dargan, J. S. (2002).** Fungicidal effect of volatile oils *Eucalyptus citriodora* and its major constituent.
- **Ribeiro, J. G., Serra, I. M. R. de S., & Araújo, M. U. P. (2015).** Uso de produtos naturais no controle de antracnose causado por *Colletotrichum gloeosporioides* em mamão. *Summa Phytopathologica*, 42(2), 172-178. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2023>
- **Ruangwong, O. U., Pornsuriya, C., Pitija, K., & Sunpapao, A. (2021).** Biocontrol mechanisms of *Trichoderma koningiopsis* PSU3-2 against postharvest anthracnose of chili pepper. *Journal of Fungi*, 7, 276.
- **Sharma, S., Alfatah, Md., Vinay, K. B., Yashpal, R., Sanjoy, P., & Ganesan, K. (2014).** Sphingolipid biosynthetic pathway genes FEN1 and SUR4 modulate amphotericin B resistance. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(4), 2409-2414.
- **Stefanova, M., Leiva, A., Larrigaga, L., & Coronado, M. F. (1999).** Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma spp.* para el control de hongos fitopatógenos del suelo. *Revista Facultad de Agronomía*, 16, 509-516.
- **Tejera, A. (2017, agosto 20).** Frutas, vegetales y hortalizas terminan tirados en la basura. *La Prensa*. Recuperado el 13 de septiembre de 2018, de https://imprensa.prensa.com/panorama/Frutas-vegetales-hortalizas-terminan-tirados_0_4829517056.htm.
- **Tseng, Y. H., Rouina, H., Groten, K., Rajani, P., Furch, A. C. U., Reichelt, M., Baldwin, I. T., Nataraja, K. N., Uma Shaanker, R., & Oelmüller, R. (2020).** An endophytic *Trichoderma* strain promotes growth of its hosts and defends against pathogen attack. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- **Vásquez-López, A., Hernández-Castro, E., Mora-Aguilera, J. A., Nava Díaz, C., & Sánchez-García, F. (2012).** Etiología y epidemiología de la necrosis de flores y frutos juveniles del papayo (*Carica papaya L.*) en Guerrero, México. *Agrociencia*, 46(8), 757-767.

- **Valenzuela, N., Angel, D., Ortiz, D., Rosas, R., García, C., & Santos, M. (2015).** Biological control of anthracnose by postharvest application of *Trichoderma spp.* on maradol papaya fruit.
- **Villegas, M. A. (2005).** **Trichoderma Pers.: Características generales y su potencial biológico en la agricultura sostenible**. Orius Biotecnología. Recuperado el 28 de diciembre de 2024 de <http://www.oriusbiotecnologia.com/site/index.php?id=20,66,0,0,1,0>.
- **Vivas, M., Terra, C. E. P. S., Silveira, S. F., Fontes, R. V., & Pereira, M. G. (2010).** Escala diagramática para avaliação da severidade da pinta-preta em fruto de mamoeiro. *Summa Phytopathologica*, 36(2), 161-163. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052010000200010>.