



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO
RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
MICROBIOLOGÍA - PARASITOLOGÍA**

TESIS

**Actividad antagónica de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp.,
aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L.**

Para optar el Título Profesional de Licenciado (a) en Ciencias Biológicas-
Microbiología - Parasitología

Autores

Pajares Llempen Raphael Antonio
Santa Cruz Santos Melany Stefany

Asesor

Dr. Villanueva Aguilar Carlos Eduardo

Lambayeque – Perú

2026



**Actividad antagónica de *Trichoderma* spp. frente a
Fusarium spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L.**



Bach. Raphael Antonio Pajares Llempen

Autor

Bach. Melany Stefany Santa Cruz Santos

Autor

Para optar el Título Profesional de Licenciado (a) en Ciencias Biológicas-
Microbiología - Parasitología

Aprobado por:

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán

Presidenta

MSc. Juan Miguel Velásquez Caro

Secretario

Lic. Julio César Silva Estela

Vocal

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 45-2026 / FCCBB-UI

Siendo las 11:30 horas del día 22 de julio de 2026, en la Sala de Sesiones - Sustentaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas se reunieron los miembros del Jurado designado mediante **Resolución N° 431-2025-FCCBB/D de fecha 05 de setiembre de 2025 y aprobado mediante Resolución N° 527-2025-FCCBB/D de fecha 29 de octubre de 2025**, conformado por:

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán-Presidententa

Mg. Juan Miguel Velásquez Caro- Secretario

Lic. Julio César Silva Estela- Vocal

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar- Asesor

con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: **Actividad antagónica de *Trichoderma spp.* frente a *Fusarium spp.*, aisladas de la rizosfera de *Zea mays L.***, a cargo de los Bachilleres **RAPHAEL ANTONIO PAJARES LLEMPEN y MELANY STEFANY SANTA CRUZ SANTOS**.

Sustentación autorizada mediante **RESOLUCIÓN N° 235-2026-FCCBB-D Lambayeque, 13 de julio de 2026** la misma que tuvo una duración de 30 minutos y luego de absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, obteniendo 19 puntos que equivale al calificativo de MUY BUENO.

Por lo que los sustentantes quedan **APTOS** para obtener el Título Profesional de **Licenciado(a) en Ciencias Biológicas-Microbiología-Parasitología** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:05 pm horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
Presidententa

Mg. Juan Miguel Velásquez Caro
Secretario

Lic. Julio César Silva Estela
Vocal

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Dr. Villanueva Aguilar Carlos Eduardo; usuario revisor del informe de tesis titulado: Actividad antagónica de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L.

Cuyos autores son, Bach. Pajares Llemphen Raphael Antonio con DNI: 72205170 y Bach. Santa cruz Santos Melany Stefany con DNI: 72637785; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 9 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecida en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 04 de junio del 2025



Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
19206132

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automatizado de similitudes (Informe de originalidad)

*Recibo Digital

Actividad antagónica de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	5%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	doczz.es Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Trabajo del estudiante	1%
3	aprenderly.com Fuente de Internet	<1%
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
5	rmf.smf.org.mx Fuente de Internet	<1%
6	Blanca López-Valenzuela, Olivia Tzintzun-Camacho, Adolfo Armenta-Bojórquez, Fernando Valenzuela-Escoboza et al. "Microorganismos del género <i>Trichoderma</i> productores de fitohormonas y antagonistas de fitopatógenos", Bioagro, 2022 Publicación	<1%
7	sired.udenar.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Agraria del Ecuador Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1%
10	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1%



Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
19206132

11	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Biotechnology, 2024 Publicación	<1 %
13	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unesp.br Fuente de Internet	<1 %
15	revistas.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to University of La Guajira Trabajo del estudiante	<1 %
18	inba.info Fuente de Internet	<1 %
19	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
20	www.revista.ccba.uady.mx Fuente de Internet	<1 %
21	bibliotecadigital.exactas.uba.ar Fuente de Internet	<1 %
22	www.dgt.es Fuente de Internet	<1 %
23	María Delfina Sánchez Miranda. "Evaluación del potencial de aislados de Trichoderma spp como inhibidor a nivel in vitro del crecimiento de tres aislados del género Fusarium spp", Nexo Revista Científica, 2022 Publicación	<1 %



Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
19206132

24	Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar, Gabriel Rincón-Enríquez, Luis López-Pérez. "Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2020 Publicación	<1 %
25	Revista Temas Agrarios. "Proceedings - 2nd International and 3rd National Symposium in Agronomic Sciences", Temas Agrarios, 2022 Publicación	<1 %
26	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
27	Ebeling M. Morales T., Mirko D. Lino N., Eddy Ortega R., Pedro L. Castellanos S.. "Evaluación de la capacidad antagónica in vitro de cepas de <i>Trichoderma</i> spp frente a <i>Phytophthora cinnamomi</i> , fitopatógeno de <i>Persea americana</i> (Palta)", Ciencia e Investigación, 2020 Publicación	<1 %
28	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
29	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
30	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	www.sociedadmexicanadefitopatologia.com.mx Fuente de Internet	<1 %
32	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
33	revistadelsur.org.uy Fuente de Internet	<1 %



Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
19206132

34

Whitney Rodríguez. "Memorias del II
Congreso de Control Biológico Aplicado",
Archivos Académicos USFQ, 2021

Publicación

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
19206132



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Santa Cruz Santos Melany Stefany Pajares Llampen Raphael A...
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Actividad antagónica de Trichoderma spp. frente a Fusarium s...
Nombre del archivo: Actividad.docx
Tamaño del archivo: 40.12M
Total páginas: 66
Total de palabras: 11,872
Total de caracteres: 64,993
Fecha de entrega: 01-jun-2026 08:36p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2974580776



Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
19206132

DEDICATORIA

A mi madre, quien con su amor, esfuerzo y ejemplo me enseñó el valor de la perseverancia y el trabajo honesto. Este logro también es suyo, porque cada meta alcanzada lleva una parte de todo lo que ha hecho por mí.

A mi familia, por creer en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba.

Y a mí mismo, por no rendirme, por afrontar cada obstáculo y por mantener viva la convicción de que los sueños se alcanzan con esfuerzo, constancia y dedicación.

Raphael Antonio Pajares Llempen

A mis padres por jamás dudar de mí, por su amor, apoyo incondicional y por estar conmigo durante cada etapa de este camino.

Y a mí, porque detrás de cada página, cada desvelo y cada momento difícil estuve yo.

Porque fui fuerte, valiente y perseverante incluso cuando todo parecía pesado. Por confiar en mí, por seguir adelante y por demostrarme cada día lo increíble que puedo llegar a ser.

Melany Santa cruz Santos

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a Dios por brindarme la fortaleza y perseverancia necesarias para culminar satisfactoriamente esta investigación.

A mi asesor de tesis, por su orientación, dedicación y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo de investigación. A mi universidad y a los docentes que formaron parte de mi preparación profesional, por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación académica.

Asimismo, agradezco a todas las personas que colaboraron directa o indirectamente en la ejecución de este estudio, haciendo posible la culminación del mismo. Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante esta etapa de mi vida.

Raphael Antonio Pajares Llempen

Gracias a Dios, a la vida y al universo, por poner en mi camino cada experiencia, incluso aquellas que parecían difíciles de entender, pero que terminaron enseñándome, por darme fortaleza, paciencia y enseñarme que todo llega en el momento correcto, con amor y dedicación.

Al Dr. Carlos Villanueva, por la paciencia, orientación y apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación, y a los docentes que formaron parte de mi formación profesional, por todos los conocimientos y experiencias compartidas.

A mi familia, por ser mi apoyo constante, por creer en mí incluso cuando yo dudaba de lograrlo y por acompañarme durante todo este proceso. A mis amigos por su apoyo incondicional.

Melany Santa cruz Santos

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN	¡Error!
Marcador no definido.	
CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD	iv
DEDICATORIA	x
AGRADECIMIENTO	xi
ÍNDICE GENERAL	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. DISEÑO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Actividad antagónica	5
1.2.2. Mecanismos de acción de <i>Trichoderma</i>	6
1.2.3. Control de <i>Fusarium</i> spp.....	7
1.3. Bases conceptuales	9
CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	10
2.1. Diseño de contrastación de hipótesis	10
2.2 Población y muestra	10
2.3 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	10
2.3.1. Método:	10
2.3.2. Instrumento:	11
2.3.3. Aislamiento e identificación de <i>Trichoderma</i> spp. y <i>Fusarium</i> spp. de la rizosfera de Zea Mays L. Illimo, Lambayeque. 2025	11
2.3.4. Evaluación de la patogenicidad de <i>Fusarium</i> spp. en maíz bajo condiciones controladas de invernadero	16

2.3.5. Actividad antagónica de cepas de <i>Trichoderma</i> spp. en el control <i>in vitro</i> del crecimiento de <i>Fusarium</i> spp. fitopatógeno	18
2.3.6. Análisis de Datos.....	19
CAPÍTULO III. RESULTADOS	20
3.1. Aislamiento e Identificación de <i>Trichoderma</i> spp. y <i>Fusarium</i> spp. de la rizósfera de <i>Zea mays</i> L. Illimo, Lambayeque 2025.....	20
3.1.2. Identificación de <i>Fusarium</i> spp. en hongos filamentosos aislados del suelo rizosférico de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque, 2025	28
3.2. Evaluación de la patogenicidad de <i>Fusarium</i> spp. en <i>Zea mays</i> L. maíz bajo condiciones controladas de invernadero	32
3.3. Actividad antagónica de cepas de <i>Trichoderma</i> spp. en el control <i>in vitro</i> del crecimiento de <i>Fusarium</i> spp. fitopatógeno	42
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN	59
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala de la evaluación de la Actividad antagónica de <i>Trichoderma</i> spp., sobre <i>Fusarium</i> spp., según la escala de Bell et al. (1982).	18
Tabla 2 Frecuencia de los morfotipos de colonias de hongos filamentosos aislados de la rizósfera de <i>Zea mays</i> L. Lambayeque, 2025.....	20
Tabla 3 Géneros identificados en los morfotipos de las colonias de hongos filamentosos aislados de la rizósfera de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque, 2025.	21
Tabla 4 Frecuencia de los géneros identificados en hongos filamentosos aislados de la rizósfera de <i>Zea mays</i> L. Illimo 2025.	22
Tabla 5 Características macroscópicas de las cepas de <i>Trichoderma</i> spp. aisladas del suelo rizosférico de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2025.....	26
Tabla 6 Frecuencia de los morfotipos de colonias de <i>Trichoderma</i> spp., aisladas en <i>Zea mays</i> L. Lambayeque, 2025	28
Tabla 7 Características macroscópicas de la colonia de los morfotipos de <i>Fusarium</i> spp., identificados en <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2025	31
Tabla 8 Porcentaje de emergencia de plántulas en semillas de <i>Zea mays</i> L. inoculadas con morfotipos de <i>Fusarium</i> spp.	34
Tabla 9 Prueba de comparación múltiple de las medianas de los parámetros de crecimiento de las plantas de <i>Zea mays</i> L. inoculadas con morfotipos de <i>Fusarium</i> spp.	38
Tabla 10 Porcentaje de plantas de <i>Zea mays</i> L. con síntomas observados en la parte aérea y radicular después de 45 días de la inoculación con morfotipos de <i>Fusarium</i> spp.	40
Tabla 11 Porcentaje de reducción de los parámetros métricos de las plantas de <i>Zea mays</i> L. inoculadas con morfotipos de <i>Fusarium</i> spp.....	41
Tabla 12 Área de la colonia y área de inhibición del crecimiento de <i>Fusarium</i> spp. M3 por efecto de siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp. tras de 7 días de incubación	47
Tabla 13 Prueba de comparación múltiple de Tukey de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. M3 frente a siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp.....	47
Tabla 14 Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. M3 frente a siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp., según la escala de Bell, Lambayeque 2025.....	48
Tabla 15 Área de la colonia y porcentaje de inhibición del crecimiento de <i>Fusarium</i> spp. M13 por efecto de siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp. tras de 7 días de incubación.....	52
Tabla 16 Prueba de comparación múltiple de Tukey de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. frente a siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp.....	52
Tabla 17 Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. M13 frente a siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp., según la escala de Bell, Lambayeque 2025.....	53

Tabla 18 Área de la colonia y porcentaje de inhibición del crecimiento de <i>Fusarium</i> spp. M14 por efecto de siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp. tras 7 días de incubación.....	57
Tabla 19 Prueba de comparación múltiple de Tukey de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. M14 frente a siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp.	58
Tabla 20 Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. M13 frente a siete morfotipos de <i>Trichoderma</i> spp., según la escala de Bell, Lambayeque 2025.....	58
Tabla 21 Identificación de hongos filamentosos aislados de <i>Zea mays</i> L.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño completamente aleatorio para determinar el efecto antagónico de <i>Trichoderma</i> spp. frente al crecimiento de la colonia de <i>Fusarium</i> spp. fitopatógeno.....	13
Figura 2 Distrito de Illimo en la provincia de Lambayeque, 2025.....	14
Figura 3 Ubicación del área de estudio en la zona agrícola de Illimo, Lambayeque, 2025.....	14
Figura 4 Campo agrícola comercial con <i>Zea mays</i> L., Illimo 2025.....	15
Figura 5 Plantas de <i>Zea mays</i> L. en fructificación, Illimo 2025.	15
Figura 6 Diseño completamente aleatorio para determinar la patogenicidad de <i>Fusarium</i> spp. en plántulas de <i>Zea mays</i> L.....	17
Figura 7 Colonias de <i>Trichoderma</i> spp., desarrolladas en agar papa dextrosa durante 7 días, Lambayeque, 2025	23
Figura 8 Cultivos puros de <i>Trichoderma</i> spp. aislados de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2025.....	25
Figura 9 Observación microscópica (400x) de fíalides y conidias de <i>Trichoderma</i> spp.	25
Figura 10 Colonias de <i>Fusarium</i> spp. desarrolladas en agar papa dextrosa durante 10 días, Lambayeque 2025	29
Figura 11 Cultivos puros de <i>Fusarium</i> spp. aislados de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2025	29
Figura 12 Observación microscópica (400x) de macroconidias agrupadas de <i>Fusarium</i> spp. ..	30
Figura 13 Clamidosporas de <i>Fusarium</i> spp.....	30
Figura 14 Morfotipos de <i>Fusarium</i> spp., cultivado con granos de <i>Zea mays</i> L. durante 12 días, Lambayeque 2025	33
Figura 15 Plantas de <i>Zea mays</i> L. 45 días después de la inoculación de <i>Fusarium</i> spp.	34
Figura 16 Plantas de <i>Zea mays</i> L. 45 días después de la inoculación de <i>Fusarium</i> sp. M1, M2, M3, M4, M5 y M6.....	35
Figura 17 Plantas de <i>Zea mays</i> L. 45 días después de la inoculación de <i>Fusarium</i> sp., M7, M8, M9, M10, M11 y M12.....	36
Figura 18 Plantas de <i>Zea mays</i> L. 45 días después de la inoculación de <i>Fusarium</i> sp., M13, M14	37
Figura 19 Gráfico de cajas y bigotes de parámetros de crecimiento de las plantas de <i>Zea mays</i> L. inoculadas con morfotipos de <i>Fusarium</i> spp.	39
Figura 20 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M1 transcurridos 7 días de incubación.....	43
Figura 21 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M2 transcurridos 7 días de incubación.....	44
Figura 22 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M3 transcurridos 7 días de incubación.....	44

Figura 23 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M4 transcurridos 7 días de incubación.....	45
Figura 24 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M5 transcurridos 7 días de incubación.....	45
Figura 25 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M6 transcurridos 7 días de incubación.....	46
Figura 26 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M3 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M7 transcurridos 7 días de incubación.....	46
Figura 27 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M1 transcurridos 7 días de incubación.	48
Figura 28 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M2 transcurridos 7 días de incubación.	49
Figura 29 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M3 transcurridos 7 días de incubación	49
Figura 30 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M4 transcurridos 7 días de incubación	50
Figura 31 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M5 transcurridos 7 días de incubación	50
Figura 32 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M6 transcurridos 7 días de incubación	51
Figura 33 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M13 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M7 transcurridos 7 días de incubación	51
Figura 34 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M1 transcurridos 7 días de incubación	54
Figura 35 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M2 transcurridos 7 días de incubación	54
Figura 36 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M3 transcurridos 7 días de incubación	55
Figura 37 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M4 transcurridos 7 días de incubación	55
Figura 38 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M5 transcurridos 7 días de incubación	56
Figura 39 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M6 transcurridos 7 días de incubación	56
Figura 40 Inhibición del desarrollo micelial de <i>Fusarium</i> sp. M14 por acción de <i>Trichoderma</i> sp. M7 transcurridos 7 días de incubación	57

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la actividad antagónica de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L. en el distrito de Illimo, Lambayeque. El estudio fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado y nivel explicativo. Para la fase descriptiva, se recolectaron 45 muestras de suelo rizosférico mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. En la fase experimental, se empleó un Diseño Completamente Aleatorio (DCA) con ocho tratamientos y tres repeticiones para contrastar la hipótesis. Como resultados, se aislaron 598 hongos, identificándose una dominancia de *Fusarium* (55.69 %) y *Trichoderma* (39.46 %), de los cuales se seleccionaron 14 morfotipos del patógeno y 35 cepas del antagonista. Las pruebas de patogenicidad *in vivo* revelaron que los morfotipos M3, M13 y M14 poseen la máxima virulencia, suprimiendo al 100 % la emergencia de plántulas. En los ensayos *in vitro*, el 100 % de las cepas de *Trichoderma* spp. superaron el umbral de selección (>50 %), alcanzando porcentajes de inhibición del crecimiento micelial (PICM) entre 92.67 % y 97.82 %. Se concluye que las cepas nativas de *Trichoderma* spp. presentan un antagonismo severo (Grado 3 de la escala de Bell) frente a *Fusarium* spp., validando su potencial como agentes de control biológico en el cultivo de maíz.

Palabras clave: *Zea mays*, *Trichoderma* spp., *Fusarium* spp., Antagonismo, Biocontrol, Rizósfera.

ABSTRACT

The general objective of this research was to evaluate the antagonistic activity of *Trichoderma* spp. against *Fusarium* spp., isolated from the rhizosphere of *Zea mays* L. in the district of Illimo, Lambayeque. The study had a quantitative approach, was applied in type, and reached an explanatory level. For the descriptive phase, 45 samples of rhizospheric soil were collected through non-probabilistic convenience sampling. In the experimental phase, a Completely Randomized Design (CRD) with eight treatments and three replicates was used to test the hypothesis. As results, 598 fungi were isolated, identifying a dominance of *Fusarium* (55.69%) and *Trichoderma* (39.46%), from which 14 morphotypes of the pathogen and 35 strains of the antagonist were selected. *In vivo* pathogenicity tests revealed that morphotypes M3, M13, and M14 possess maximum virulence, suppressing seedling emergence by 100%. In *in vitro* assays, 100% of the *Trichoderma* spp. strains exceeded the selection threshold (>50%), reaching mycelial growth inhibition percentages (MGIP) between 92.67% and 97.82%. It is concluded that the native strains of *Trichoderma* spp. exhibit severe antagonism (Grade 3 on the Bell scale) against *Fusarium* spp., validating their potential as biological control agents in corn crops.

Keywords: *Zea mays*, *Trichoderma* spp., *Fusarium* spp., Antagonism, Biocontrol, Rhizosphere.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Zea mays* L. “maíz” constituye uno de los principales cultivos agrícolas a nivel global debido a su valor estratégico en la alimentación humana, animal y en la agroindustria. En la región Lambayeque, este cultivo representa una actividad productiva estratégica, con más de 10 900 hectáreas sembradas y una producción superior a 71 500 toneladas, alcanzando un rendimiento promedio regional de 6,53 t/ha, valor superior al promedio nacional. El cultivo de maíz constituye una actividad agrícola de gran importancia para el desarrollo económico regional, contribuyendo al abastecimiento del mercado interno y generación de empleo en zonas rurales (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2021), sin embargo, el cultivo es susceptible al ataque de diversos patógenos, entre los que destacan los hongos fitopatógenos que ocasionan enfermedades que afectan el desarrollo de la planta y reducen la productividad y las propiedades organolépticas del grano.

Entre los patógenos más importantes se encuentran los hongos filamentosos del género *Fusarium*, responsables de enfermedades como la pudrición de mazorca, pudrición vascular y la contaminación con micotoxinas en el grano. Estas infecciones afectan significativamente la calidad de las semillas y disminuyen el volumen de producción, lo que representa un riesgo para la agricultura, la salud animal y humana (Estrada et al., 2024; Solórzano et al., 2024). Las especies de *Fusarium* asociadas a estas enfermedades poseen un elevado potencial para ajustarse a contextos climáticos variables y pueden persistir en el suelo o en residuos vegetales, facilitando su dispersión y permanencia en los sistemas agrícolas.

A nivel mundial, la pudrición de la mazorca causada por especies de *Fusarium* constituye una de las mayores limitantes de carácter sanitario que afectan la producción de maíz. Se estima que esta enfermedad puede provocar pérdidas económicas aproximadas del 26,7 %, pudiendo incrementarse hasta un 48 % bajo condiciones ambientales favorables como alta humedad, temperaturas cálidas o presencia de daños mecánicos causados por insectos (Singh et al., 2025). Estas condiciones favorecen la colonización del patógeno, incrementando la severidad de la enfermedad y reduciendo tanto el rendimiento como la calidad del grano, lo que repercute directamente en la rentabilidad de quienes cultivan la tierra, así como en la estabilidad de los sistemas alimentarios.

En el Perú, diversos estudios reportan la presencia frecuente de especies de *Fusarium* asociadas al cultivo de maíz. Investigaciones nacionales indican que aproximadamente una de cada seis muestras de maíz presenta contaminación con fumonisinas en niveles superiores a los límites establecidos, siendo *Fusarium verticillioides* el principal productor de estas toxinas y detectado en el 46 % de los casos analizados (Ducos et al., 2021). Asimismo, la incidencia de pudrición de mazorca en el país fluctúa entre 20 % y 30 %, con niveles de severidad de hasta 25 % (Marín, 2024). En Lambayeque, estudios realizados con aislados locales de *F. verticillioides* en la variedad INIA 627 – Pátapo demostraron que este patógeno puede reducir la germinación hasta en un 67 % y causar ahogamiento de plántulas, afectando significativamente la emergencia y establecimiento del cultivo (Estrada et al., 2024).

El manejo del control de fitopatógenos se fundamenta, de manera predominante, en el empleo de agroquímicos y tratamientos de semilla que buscan reducir la incidencia del patógeno en las primeras etapas del cultivo. Entre los productos más utilizados se encuentran compuestos como Captan, Quintozeno, Fludioxonil + Metalaxil-M, Difenconazole y Carboxin + Thiram, los cuales actúan inhibiendo el desarrollo de los hongos patógenos en el suelo y en la semilla (Morán, 2022; Mark Jeschke, 2020), sin embargo, el uso intensivo de estos productos incrementa los costos de producción y puede generar efectos adversos como acumulación de residuos tóxicos en el ambiente, aparición de cepas resistentes y riesgos para la salud humana y animal (Morán, 2022). Además, las prácticas agronómicas complementarias como rotación de cultivos, eliminación de residuos vegetales y desinfección de semillas contribuyen a reducir la incidencia del patógeno, pero no logran eliminarlo completamente del sistema productivo (Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú [SENASA], 2020).

Ante esta problemática, el control biológico se presenta como una alternativa sostenible para el manejo de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos. Entre los microorganismos utilizados con mayor frecuencia destacan las especies del género *Trichoderma*, hongos saprófitos ampliamente distribuidos en el suelo y reconocidos por su capacidad antagonista frente a diversos patógenos. La actividad antagonista se manifiesta mediante mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo y la producción de metabolitos antifúngicos capaces de inhibir el crecimiento y desarrollo de hongos patógenos (Yao et al., 2023; Vidal et al., 2021).

Diversas investigaciones han demostrado el potencial de *Trichoderma* spp. como agente de control biológico. En estudios realizados en Lambayeque, la aplicación de

cepas nativas permitió reducir hasta en 88 % la incidencia de enfermedades causadas por *Fusarium* (Llontop, 2009). De manera similar, investigaciones internacionales reportan porcentajes de inhibición superiores al 70 % frente a especies de *Fusarium* mediante ensayos de cultivo dual *in vitro* (Taha et al., 2021). Asimismo, algunas cepas de *Trichoderma harzianum* han mostrado niveles de antagonismo de hasta 96,3 % y una reducción significativa de enfermedades en condiciones experimentales (Saravanakumar et al., 2017). No obstante, la eficacia del control biológico puede variar según las condiciones ambientales, las características del suelo y las interacciones microbianas presentes en la rizósfera.

En este contexto, el aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp. presentes en la rizósfera del cultivo de maíz en la región Lambayeque resulta de gran importancia, ya que estos microorganismos pueden estar mejor adaptados a las condiciones ambientales locales y presentar mayor eficiencia en el control de fitopatógenos como *Fusarium* spp. El estudio de estas interacciones microbianas permite generar alternativas sostenibles para el manejo fitosanitario del cultivo y contribuir al desarrollo de estrategias de control biológico que reduzcan la dependencia de agroquímicos en los sistemas agrícolas.

Por lo expuesto, se ejecutó la presente investigación cuyo problema fue: ¿Cuál es la actividad antagónica de *Trichoderma* spp, frente a *Fusarium* spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L.? La hipótesis fue: Las cepas aisladas de *Trichoderma* spp. presentan una actividad antagónica mayor a 50 % en el control de *Fusarium* spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L. El objetivo principal fue: Evaluar la actividad antagónica de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp., aisladas de la rizósfera de *Zea mays* L. Los objetivos específicos fueron: Identificar *Trichoderma* spp. y *Fusarium* spp. provenientes de la rizósfera de *Zea mays* L. en el distrito de Illimo en Lambayeque durante 2025; establecer la patogenicidad de *Fusarium* spp. en *Zea mays* L. en condiciones de invernadero y comparar las cepas de *Trichoderma* spp. con una actividad antagónica mayor a 50 % en el control *in vitro* de *Fusarium* spp.

CAPÍTULO I. DISEÑO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Llanos-Olivera et al. (2026) evaluaron la capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium verticillioides* productor de fumonisinas en maíz. Mediante ensayos de confrontación dual en PDA y co-cultivo en granos, determinaron la inhibición del crecimiento micelial y la reducción de la toxina total por ELISA. Los resultados mostraron que *Trichoderma atroviride* cepa 3 fue la más eficiente, logrando una inhibición del crecimiento del 84.94 % y una reducción de la producción de fumonisinas del 99.77 %. El estudio concluye que *T. atroviride* nativo posee un efecto dual altamente eficaz, limitando tanto el desarrollo del patógeno como su toxicidad, posicionándose como una alternativa sostenible para el control biológico en maíz.

Taha et al. (2021) evaluaron en el laboratorio la capacidad antagónica de cepas de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* frente a patógenos del género *Fusarium* causantes de la pudrición del tallo en maíz. El estudio utilizó ensayos de confrontación directa en placas para medir la inhibición micelial de los hongos patógenos. Los resultados indicaron que *Trichoderma viride* logró inhibiciones del 80.17 % sobre *Fusarium proliferatum* y del 70.46 % sobre *Fusarium verticillioides*, evidenciando un efecto fungistático significativo. El estudio determina que dichos aislamientos de *Trichoderma* poseen una notable aptitud como biocontroladores frente a las patologías fúngicas que afectan al maíz.

Pacchioni (2020) investigó el impacto de tres concentraciones de *Trichoderma harzianum* sobre *Fusarium verticillioides* en maíz (variedad PMC 561) en Marcará, Ancash. Durante la campaña 2017-2018, se aplicó un diseño de bloques al azar con dosis de 0.3, 0.4 y 0.5 g/l del formulado Tricho D (10^8 esporas/mL). El tratamiento de 0.5 g/l destacó por su mayor eficacia, logrando disminuir la pudrición de mazorca en 14.48 % y la radicular en 5 %. Asimismo, esta dosis optimizó el crecimiento, alcanzando una altura de 2.425 m, un peso de mazorca de 423.75 g y un peso seco radicular de 80.05 g frente al grupo control. Estos resultados evidencian que la aplicación adecuada de *T. harzianum* controla eficazmente *F. verticillioides* y mejora parámetros agronómicos del maíz.

Díaz (2019) analizó en laboratorio el potencial antagónico de diez cepas locales de *Bacillus* spp. y nueve de *Trichoderma* spp. recolectadas en rizósfera de cafeto contra *Fusarium oxysporum* en el valle de Monzón, Huánuco. Empleando la técnica de cultivo dual, se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC). Entre los

aislamientos de *Trichoderma* spp., la cepa M3PI.I registró la mayor eficiencia con un PIC de 80.00 %, seguida por M1PI.D con 70.00 %. Respecto a *Bacillus* spp., el mayor control lo ejerció la cepa M2PI.H con un promedio de 60.00 %. El trabajo resaltó a *Trichoderma asperellum* como un recurso biológico prometedor para el manejo de la pudrición vascular en café.

Rodríguez y Flores (2018) analizaron en laboratorio la respuesta antagónica de 16 cepas de *Trichoderma* spp. ante *Fusarium verticillioides* y *Rhizoctonia solani*, patógenos claves en maíz. Mediante la técnica de cultivo dual en agar papa dextrosa por 14 días, determinaron el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PGI) y de esporulación. Los resultados indicaron variaciones significativas, con un PGI máximo de 43.33 % para *F. verticillioides* y un freno en la esporulación del 92.74 %. Estos datos resaltan el valor de los aislamientos locales de *Trichoderma* como biocontroladores, sugiriendo su validación en ensayos de campo.

Rodríguez (2018) comparó la capacidad antagónica *in vitro* de 17 aislamientos de *Trichoderma* (13 nativos y 4 comerciales) frente a *Fusarium verticillioides* y *Aspergillus flavus*, patógenos aislados de granos de maíz. Mediante la técnica de cultivo dual en agar PDA, se midió el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC) y el porcentaje de inhibición de esporulación (PIE). En las pruebas contra *F. verticillioides*, los aislamientos nativos Tva (*T. aureoviride*) y Tvc (*T. viride*) destacaron con un PIE de 92.74 % y 90.82 %, respectivamente. Para el caso de *A. flavus*, los aislamientos nativos T9.1 (*T. harzianum*) y T4.3 (*T. atroviride*) fueron los más efectivos con un PIC de 55.1 % y 53.1 %. El estudio concluyó que estos aislamientos nativos poseen un potencial significativo como organismos para el biocontrol, superando las cepas comerciales.

1.2.Bases teóricas

1.2.1. Actividad antagónica

La actividad antagónica se define como la capacidad inherente de ciertos microorganismos para inhibir o reducir el crecimiento y desarrollo de otros organismos considerados patógenos que afectan la salud de las plantas (Vidal et al., 2021). Dicha interacción microbiana resulta clave en la agricultura, sobre todo para el manejo biológico de afecciones por hongos fitopatógenos. Un ejemplo es el género *Fusarium*, que constituye un riesgo considerable para la productividad de cultivos estratégicos como *Zea mays* L. “maíz” (Rodríguez y Arredondo, 2007).

Aproximadamente el 10 % de los microorganismos aislados en la naturaleza poseen esta capacidad antagonista, caracterizándose por su agresividad, persistencia, rápido crecimiento y habilidad para colonizar el ambiente donde se encuentra el patógeno. Dentro de los controladores biológicos resalta el género *Trichoderma*, valorado por su efectividad y los múltiples procesos defensivos que utiliza frente a diversos fitopatógenos. Dichas estrategias comprenden la rivalidad por recursos y sitio, la síntesis de compuestos inhibidores como enzimas y metabolitos secundarios, además del micoparasitismo, donde el antagonista invade de forma directa las estructuras fúngicas del patógeno (Vidal et al., 2021).

1.2.2. Mecanismos de acción de *Trichoderma*

Los hongos del género *Trichoderma* son organismos saprobios ampliamente distribuidos en el suelo, reconocidos por su capacidad para ejercer control biológico efectivo contra hongos fitopatógenos mediante diversos mecanismos de acción complementarios. Un proceso clave es la rivalidad por espacio y alimento, sustentada en la veloz ocupación de la rizósfera y el aprovechamiento óptimo de los recursos del entorno. *Trichoderma* posee un acelerado ritmo de desarrollo y una notable versatilidad para ajustarse a diversas características del suelo, lo que le permite ocupar el nicho ecológico y consumir nutrientes esenciales como carbono, nitrógeno y microelementos antes que los patógenos, limitando así su establecimiento y proliferación (Infante et al., 2009).

Asimismo, la capacidad de *Trichoderma* para formar estructuras de resistencia, como las clamidosporas, le permite sobrevivir en condiciones ambientales adversas, facilitando su persistencia y eficacia en el ambiente radicular (Vidal et al., 2021). La competencia no solo implica el consumo de nutrientes, sino también la ocupación física del espacio, lo cual reduce la posibilidad de colonización por parte de hongos patógenos y constituye una primera línea de defensa biológica.

El micoparasitismo es un proceso activo mediante el cual *Trichoderma* ataca directamente a los hongos fitopatógenos. Este mecanismo se caracteriza por la capacidad del antagonista para reconocer, adherirse y enrollarse alrededor de las hifas del patógeno, seguido de la penetración y degradación de su pared celular. Para llevar a cabo este proceso, *Trichoderma* secreta diversas enzimas hidrolíticas, entre las que destacan quitinasas, glucanasas y proteasas, encargadas de degradar los elementos que conforman

la pared celular del hongo invadido, debilitándolo y causando finalmente su muerte (Infante et al., 2009; Yao et al., 2023).

Este proceso implica una interacción molecular compleja que incluye señales químicas entre ambos hongos, activación de genes específicos relacionados con la producción enzimática y la formación de estructuras especializadas que facilitan la penetración en el patógeno (Yao et al., 2023). El micoparasitismo es considerado uno de los mecanismos más eficaces y específicos de control biológico, ya que permite un ataque directo sobre el patógeno sin afectar negativamente a otros microorganismos beneficiosos (Mónaco y Larrán, 2024).

Sumado a lo anterior, el género *Trichoderma* sintetiza diversos metabolitos secundarios y sustancias de carácter antibiótico que resultan determinantes para frenar el desarrollo de hongos fitopatógenos. Entre estos metabolitos se encuentran peptaiboles, ácido harziánico, alameticina, tricolina, massoilactona, viridina, glisopreninas, polipéptidos y toxinas específicas que pueden ser volátiles o solubles (Castro del Ángel, 2013). Dichos compuestos interfieren en procesos vitales del patógeno, tales como el desarrollo del micelio, la viabilidad de las esporas y la estabilidad de la estructura celular (Vidal et al., 2021; Yao et al., 2023).

Finalmente, *Trichoderma* puede inducir en la planta hospedera una resistencia sistémica inducida (ISR), un mecanismo indirecto que fortalece las defensas naturales de la planta frente a futuras infecciones. Durante la interacción con *Trichoderma*, la planta activa diversas respuestas fisiológicas y bioquímicas, como la producción de fitoalexinas, enzimas antioxidantes y la acumulación de compuestos fenólicos, que incrementan su capacidad de defensa frente a patógenos (Infante et al., 2009; Yao et al., 2023). Este mecanismo resulta especialmente valioso, ya que puede conferir resistencia frente a diversos agentes causantes de enfermedades, además de contribuir al mejoramiento del crecimiento y desarrollo vegetal.

1.2.3. Control de *Fusarium* spp.

El tratamiento de las infecciones por el género *Fusarium* en la producción maicera tradicionalmente ha incluido el uso de fungicidas químicos como una estrategia principal para controlar la incidencia y severidad de estas patologías. Entre los fungicidas más utilizados se encuentran Captan, Quintozeno, Fludioxonil + Metalaxil-M, Difenconazole y Carboxin + Thiram, siendo la mezcla de Fludioxonil + Metalaxil-M una de las más eficaces para la protección de semillas y plántulas contra *Fusarium*

verticillioides (Morán, 2022). Estos productos actúan inhibiendo el desarrollo de hongos patógenos alojados en el suelo o vinculados a la semilla, reduciendo la incidencia de pudrición de raíz, tallo y mazorca, lo que favorece el rendimiento y la calidad del cultivo (Mark Jeschke, 2020).

El empleo recurrente de agroquímicos puede acarrear repercusiones negativas, tales como la persistencia de desechos nocivos en el entorno, el surgimiento de variantes con resistencia y peligros potenciales para la sanidad humana o veterinaria, sumado a la fuerte carga financiera que supone para los productores (Morán, 2022). En este contexto, la utilización de agentes biológicos como *Trichoderma* spp. se presenta como una alternativa sostenible y complementaria al control químico tradicional. *Trichoderma* despliega diversos procesos antagónicos, destacando la rivalidad por sitio y recursos, el micoparasitismo, así como la síntesis de compuestos con actividad antifúngica, que le permiten inhibir el desarrollo de *Fusarium* de manera natural y sin generar impactos negativos en el medio ambiente (Yao et al., 2023; Vidal et al., 2021).

La integración de *Trichoderma* en programas de manejo integrado de enfermedades puede contribuir a reducir la presión del patógeno y disminuir la frecuencia de aplicación de fungicidas químicos, promoviendo un sistema de producción agrícola más sostenible. Además, este microorganismo mejora la salud del suelo, estimula las defensas innatas del cultivo y favorece el crecimiento vegetal, incrementando la productividad del cultivo en zonas agrícolas como el distrito de Illimo, en Lambayeque.

1.2.4. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial

El porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) constituye un parámetro numérico empleado para determinar la eficacia antagónica de agentes como *Trichoderma* spp. ante diversos hongos fitopatógenos, destacando el género *Fusarium* spp. Dicho índice se determina al contrastar el desarrollo radial del fitopatógeno en cultivos con y sin el organismo antagonista, mediante la siguiente fórmula:

$$PICR = (R1 - R2) / R1 \times 100$$

donde R1 corresponde al radio del hongo patógeno en el tratamiento control (sin antagonista) y R2 representa el radio del hongo patógeno en presencia del agente biocontrolador (Castro del Ángel, 2013; Yao et al., 2023).

A través de esta metodología se logra medir la capacidad de las variantes de *Trichoderma* para frenar el avance de *Fusarium* en pruebas de laboratorio. Se estima que aquellos registros por encima del 50 % señalan una aptitud sobresaliente como agente de control biológico (Castro del Ángel, 2013). Generalmente, esta evaluación se realiza

mediante el método de cultivo dual en cajas de Petri, donde ambos hongos se desarrollan simultáneamente y se mide periódicamente el crecimiento radial del patógeno.

Además del PICR, es posible evaluar otros parámetros complementarios, como la reducción en la esporulación y la formación de estructuras reproductivas del patógeno, lo que permite realizar una evaluación más completa de la actividad antagonista de *Trichoderma* (Yao et al., 2023).

1.3. Bases conceptuales

Variables	Definición conceptual	Indicadores	Técnica
Dependiente Actividad antagonica	La actividad antagonica es la capacidad inherente de ciertos microorganismos para inhibir o reducir el crecimiento y desarrollo de otros organismos considerados patógenos que afectan la salud de las plantas (Vidal et al., 2021)	Área de inhibición la colonia del hongo fitopatógeno (cm ²). Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia: $PICR = (R1 - R2) / R1 \times 100$	Microbiológica (Medición de crecimiento en placa)
Independiente Cepas de <i>Trichoderma</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp. es un género de hongos filamentosos del suelo, posee la capacidad de actuar como un biocontrolador frente a fitopatógenos por competencia, antibiosis y micoparasitismo (Harman et al., 2004)	Crecimiento radial Morfología colonial	Aislamiento Medición de crecimiento Observación macroscópica y microscópica

CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Diseño de contrastación de hipótesis

En la investigación explicativa, la hipótesis se contrastó con el diseño experimental completamente aleatorio (DCA) con ocho tratamientos correspondientes a T0: Control (Sin *Trichodema*) y T1-T7: *Trichoderma* spp. (Siete cepas seleccionadas), enfrentadas a *Fusarium* spp. (Figura 1). Los ensayos se realizaron en tres oportunidades y en cada una, los tratamientos contaron con tres repeticiones y 24 unidades experimentales (Hernández et al., 2014).

2.2 Población y muestra

En la investigación descriptiva, la fuente de aislamiento estuvo constituida por el suelo de la rizósfera del maíz, del distrito de Illimo y se trabajó con 45 muestras probabilísticas, colectadas en 2025. La población estuvo conformada por 35 cepas de *Trichoderma* spp., se determinó mediante la fórmula para poblaciones finitas, aplicando la siguiente fórmula:

$$N = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

N: Población

Z: Nivel de confianza

p: Probabilidad de éxito

q: Probabilidad de fracaso

e: Margen de error

De acuerdo con el procedimiento estadístico, se seleccionaron siete muestras más representativas de las 35 cepas de *Trichoderma* spp., las cuales fueron sometidas a los ensayos de actividad antagónica *in vitro* frente a los tres morfotipos más virulentos de *Fusarium* spp.

En la investigación explicativa, se utilizaron 24 unidades experimentales por ensayo, correspondientes a los tratamientos y repeticiones considerados en el diseño experimental.

2.3 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Método:

Cuantitativa experimental *in vitro* (cuantificación del crecimiento micelial).

2.3.2. Instrumento:

Ficha de registro de datos.

2.3.3. Aislamiento e identificación de *Trichoderma* spp. y *Fusarium* spp. de la rizosfera de *Zea Mays* L. Illimo, Lambayeque. 2025

2.3.3.1. Muestreo y recolección de suelo rizosférico de *Zea mays* L. Illimo, Lambayeque 2025

En el campo de cultivo de maíz del distrito de Illimo, provincia de Lambayeque (Figura 2 y 3), se seleccionaron plantas no sintomáticas en floración y se recolectaron 45 muestras de suelo rizosférico, no probabilística por conveniencia. (Figura 4 y 5), para aislar e identificar el género *Trichoderma* y *Fusarium*, y establecer la patogenicidad de *Fusarium* spp. en maíz y determinar la actividad antagónica de *Trichoderma* en el control *in vitro* de *Fusarium*.

Para la recolección de las muestras de la rizósfera de maíz se tomaron plantas entre sintomáticas y no sintomáticas, de cada planta seleccionada, se recogió aproximadamente 100 gramos de suelo rizosférico, utilizando guantes de látex estériles y materiales previamente desinfectados, depositando el suelo en bolsas de polietileno rotuladas con código, fecha y hora de muestreo (Tian et al., 2019). Las muestras fueron transportadas al laboratorio el mismo día de su recolección y se dispusieron en un recipiente aislante con packs de hielo seco para evitar el incremento de temperatura, evitando la exposición al calor o luz solar directa (Velásquez et al., 2018).

2.3.3.2. Procesamiento de muestras de suelo rizosférico de *Zea mays* L., y aislamiento de hongos filamentosos, Lambayeque 2025

El procesamiento de las muestras se realizó homogeneizando el suelo y tomando una submuestra de 1 g, colocándola en 9 mL de agua destilada estéril y agitando durante 1 a 3 minutos para facilitar la liberación de los microorganismos del suelo a la fase líquida (Barillot et al., 2012). Posteriormente se realizaron diluciones 10^{-1} y 10^{-2} y se procedió a la siembra por extensión de 0,1 mL de cada nivel de dilución en cajas Petri conteniendo Agar Papa Dextrosa (PDA) con Cloranfenicol (1 mg L^{-1}) para inhibir bacterias y fueron incubadas por 5-8 días a $22 \pm 4^{\circ}\text{C}$ (López y Gonzales, 2004).

2.3.3.3. Identificación de los géneros *Trichoderma* y *Fusarium* obtenidos del suelo rizosférico de *Zea mays* L., Lambayeque, 2025

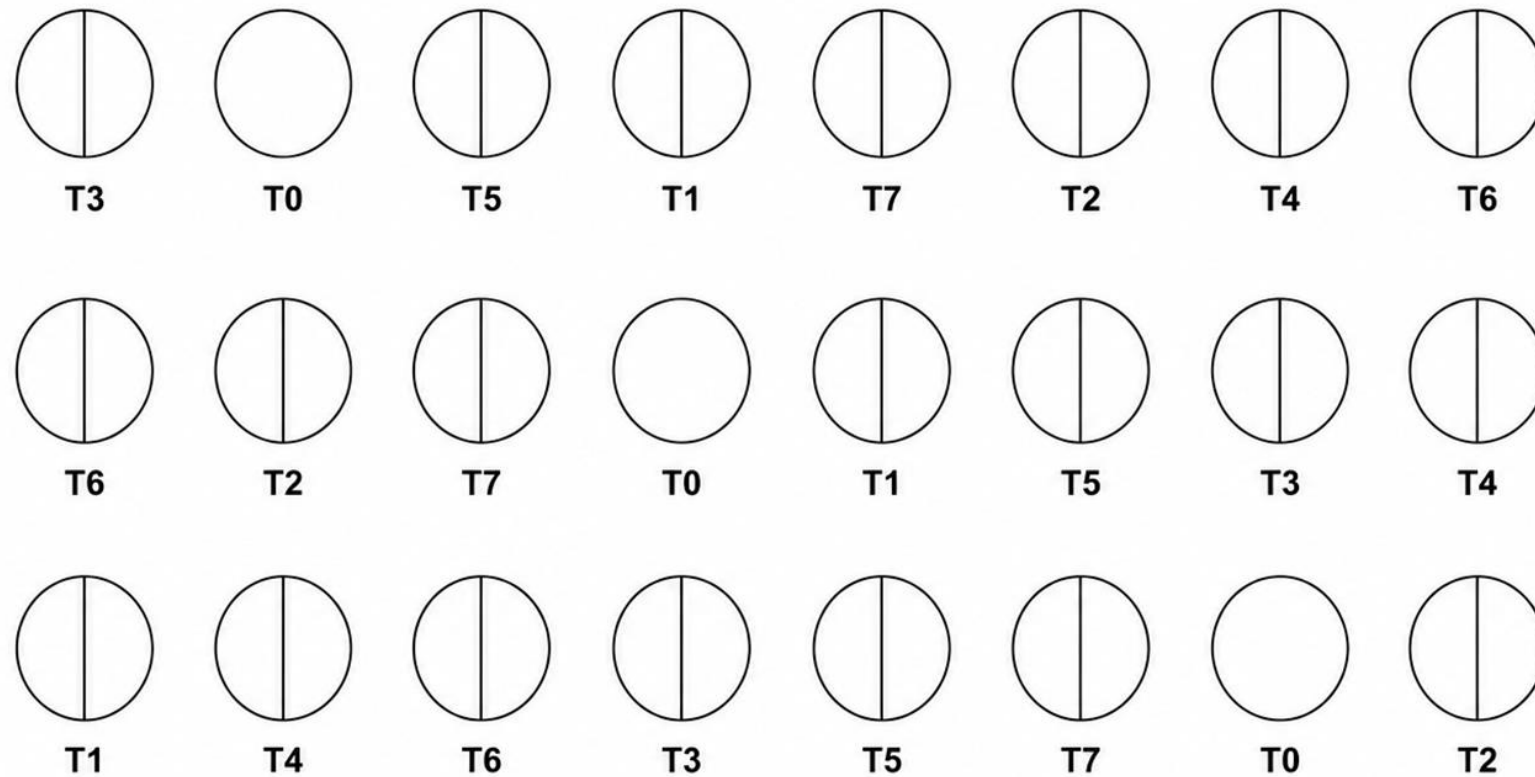
Las colonias fúngicas obtenidas del aislamiento en medio Agar Papa Dextrosa (PDA) fueron subcultivadas en nuevas placas con el mismo medio para su caracterización morfológica. La identificación se basó en criterios macroscópicos y microscópicos.

A nivel macroscópico, se observaron características de la colonia, textura, tipo de crecimiento, color del micelio, reverso de la colonia, margen y presencia de estructuras de esporulación, evaluadas después de 5 a 7 días de incubación a 25–28 °C.

Se emplearon las claves de Samuels et al. (2007) con el fin de identificar los diversos aislamientos (Anexo 1). En las características microscópicas de *Trichoderma* spp., se evaluó la disposición de los conidióforos, forma de fiálides, tamaño y ornamentación de conidios (Samuels et al., 2007). Para *Fusarium* spp., se observó la presencia de macroconidias, microconidias, fiálides monofialídicas o polifialídicas, y clamidosporas, siguiendo claves taxonómicas especializadas de Leslie & Summerell (2006) y Seifert (1996) utilizadas por Arispe et al. (2023)

Figura 1

Diseño completamente aleatorio para determinar el efecto antagónico de Trichoderma spp. frente al crecimiento de la colonia de Fusarium spp. fitopatógeno



T0= Control (*Fusarium* spp.), T1-T2= *Trichoderma* spp., enfrentadas a *Fusarium* spp.

Figura 2

Distrito de Illimo, provincia de Lambayeque, 2025

(<https://maps.app.goo.gl/iVigWkjp3gWV48HA9>)

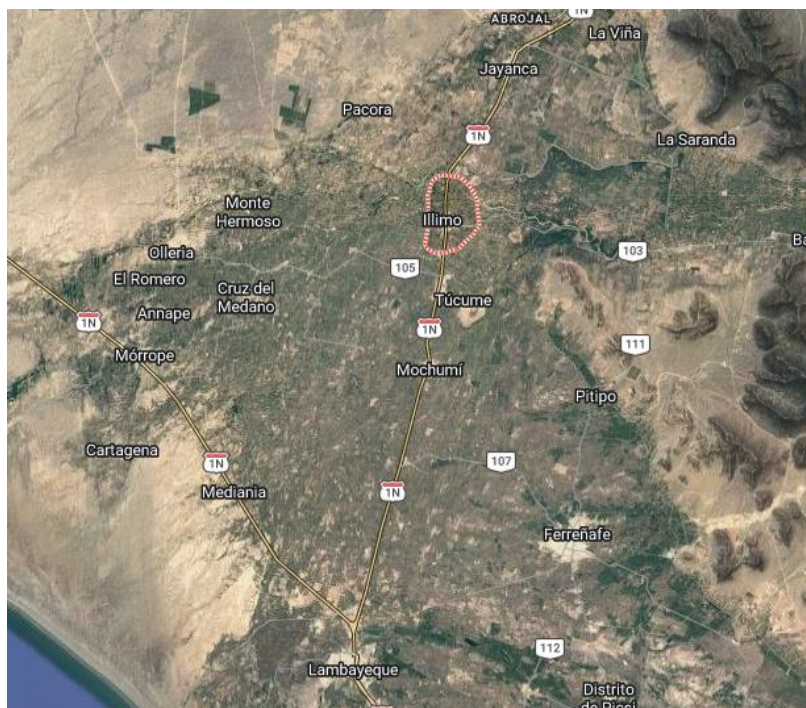


Figura 3

Ubicación del área de estudio en la zona agrícola de Illimo, Lambayeque, 2025

(<https://maps.app.goo.gl/7LXyDdfhc9g5R6TPAd7>)

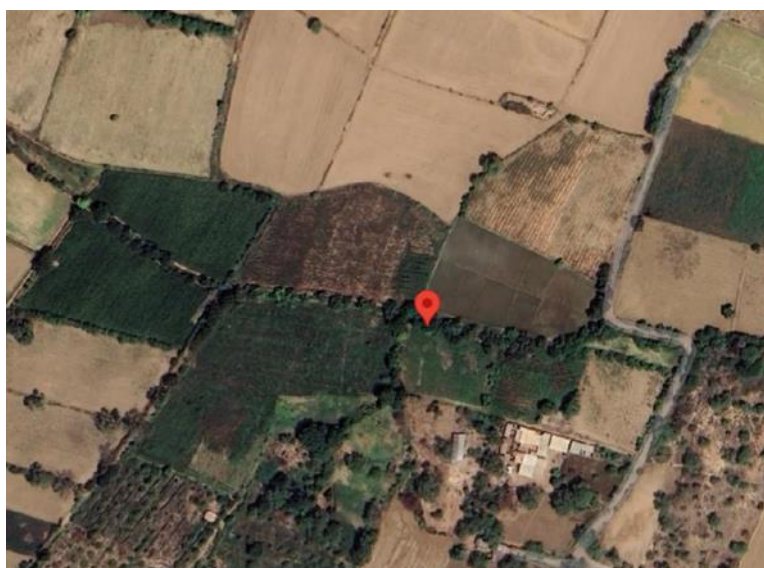


Figura 4

Campo agrícola comercial con Zea mays L. de Illimo, Lambayeque, 2025



Figura 5

Plantas de Zea mays L. en fructificación en Illimo, Lambayeque, 2025.



2.3.4. Evaluación de la patogenicidad de *Fusarium* spp. en maíz bajo condiciones controladas de invernadero

El ensayo se realizó con un diseño completamente aleatorizado (DCA), compuesto por 15 tratamientos, de los cuales 14 (T1–T14) correspondió a diferentes aislamientos de *Fusarium* spp., y un testigo sin inoculación (T0). Cada tratamiento contó con tres repeticiones, con un total de 45 unidades experimentales (Figura 6)

Para la preparación del material vegetal, las semillas de maíz fueron desinfectadas superficialmente con una solución de NaClO al 0,4 % durante 60 segundos. Tras realizar dos aclarados con agua destilada estéril, el material biológico se colocó sobre papel absorbente estéril para eliminar el exceso de humedad (Ilic et al., 2012)

La producción del inóculo se llevó a cabo cultivando cada aislamiento fúngico en medio PDA durante 7 días. A partir de estos cultivos, se extrajeron discos de 7 mm de diámetro, los cuales fueron transferidos a envases que contendrán 100 g de maíz molido, previamente hidratado con 40 mL de agua destilada estéril y esterilizado (Ilic et al., 2012). Estos envases se incubaron durante 14 días a 25 ± 2 °C en oscuridad, según una metodología adaptada de Figueroa et al. (2016)

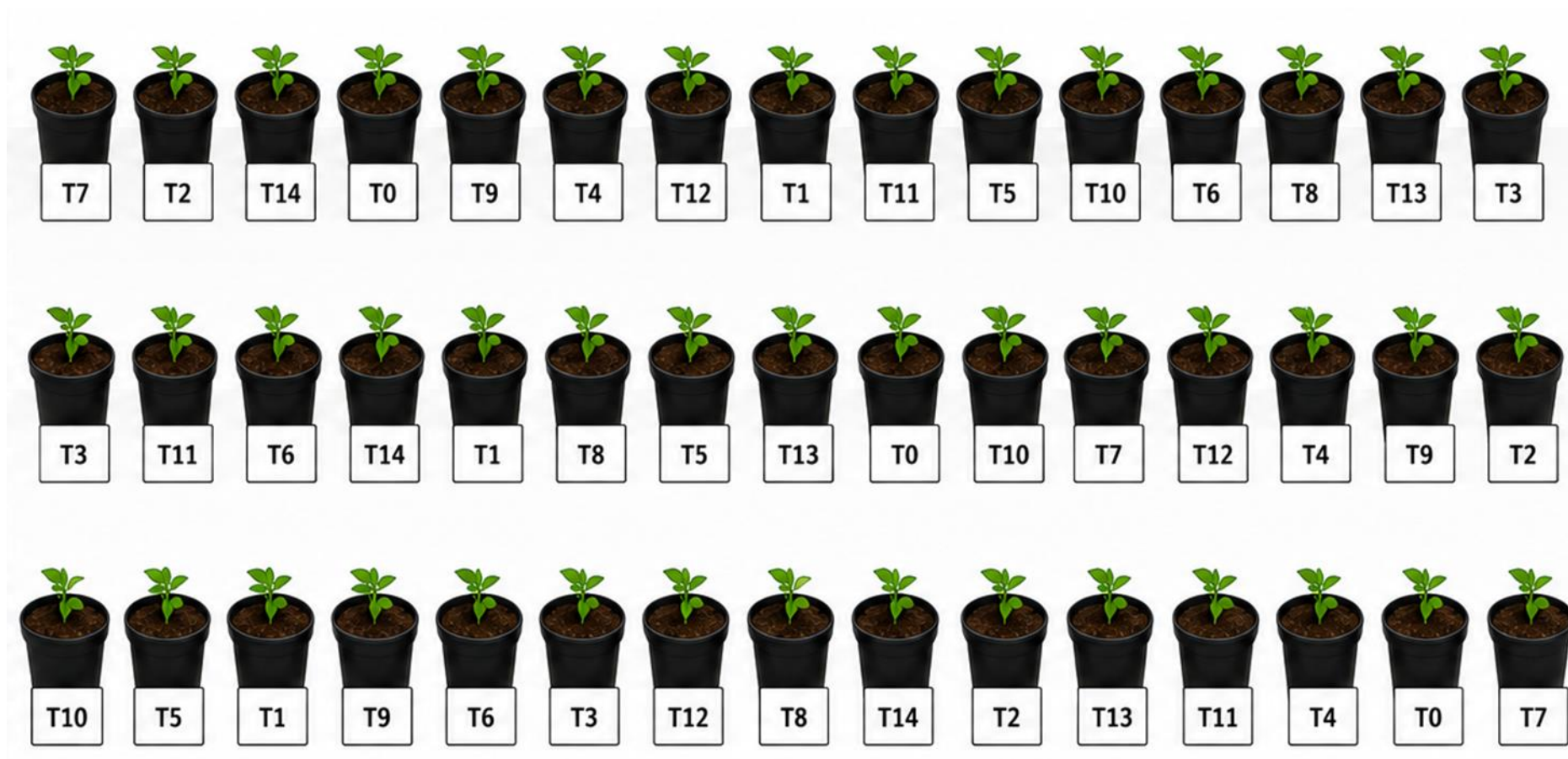
El inóculo obtenido, con una concentración estimada de 1×10^5 conidios por gramo, se mezcló de manera homogénea con 3 kg de suelo previamente esterilizado en autoclave, siguiendo tres ciclos de esterilización (a 121 °C durante 1 hora, con intervalos de 24 horas entre cada ciclo), según el tratamiento correspondiente. Para el tratamiento testigo (T1), se empleó el mismo suelo mezclado con 100 g de maíz molido, esterilizado y sin inocular (García et al., 2023)

El sustrato inoculado y no inoculado fue distribuido en macetas de polipropileno (PP) con capacidad para 1,5 kg, colocando 1 kg de suelo por maceta. Cada maceta fue regada con 200 mL de agua, cubierta con una bolsa de plástico LDPE negra, durante 3 días a 28 °C en condiciones de invernadero, con el fin de permitir la adaptación del hongo al sustrato. Finalizado este periodo, se sembró cuatro semillas por maceta.

La emergencia de las plántulas fue registrada a los 10 días posteriores a la siembra. A los 45 días, se evaluó los síntomas visibles en la parte aérea de las plantas, incluyendo tallos y hojas. Asimismo, se midieron variables de crecimiento, la altura de la planta, el diámetro del tallo, y se determinó la biomasa seca de las raíces. Estas raíces fueron secadas en estufa a 70 °C durante 72 horas antes de realizar el pesaje, conforme a los lineamientos propuestos por Asran y Buchenauer (2023)

Figura 6

Diseño completamente aleatorio para determinar la patogenicidad de Fusarium spp. en plántulas de Zea mays L.



T0: Control (Plantas no inoculadas), T1-T14: Plantas inoculadas con *Fusarium* spp.

2.3.5. Actividad antagónica de cepas de *Trichoderma* spp. en el control *in vitro* del crecimiento de *Fusarium* spp. fitopatógeno

La actividad antagónica de cepas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp. Se determinó empleando la técnica de confrontación dual en placas con medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA). El procedimiento implicó la disposición de discos de micelio (5 mm) de ambos microorganismos en puntos opuestos de la placa, manteniendo una separación aproximada de 5 cm (Howell, 2003). La incubación se realizó a 30 °C y a los 2,3,4,5,6 y 7 días, se obtuvieron las dimensiones de los radios transversales (R1 y R2) para realizar el procesamiento de los datos (Jaibangyang et al., 2020).

$$\text{Área (cm}^2\text{) por día, } A = \pi \times R1 \times R2$$

La evaluación se realizó mediante la observación de la actividad de competencia, el micoparasitismo y la antibiosis, de acuerdo a la escala planteada por Bell et al. (1982) (Tabla 1), se midió los radios de crecimiento del patógeno (RCP) y de los antagonistas (RCA). Para determinar el porcentaje de inhibición, se calculó el área de inhibición de la colonia (cm²) según la metodología descrita por Jaibangyang et al. (2020):

$$\text{Área de inhibición (\%)} = \frac{\text{Área de la colonia del hongo control} - \text{Área de la colonia del hongo tratado}}{\text{Área de la colonia del hongo control}} \times 100$$

Tabla 1

Escala de la evaluación de la Actividad antagónica de Trichoderma spp., sobre Fusarium spp., según la escala de Bell et al. (1982)

Grado	Actividad antagónica
0	Ninguna invasión del antagonista sobre la colonia de <i>Fusarium</i> spp.
1	Invasión del 25 % a la colonia del hongo <i>Fusarium</i> spp.
2	Invasión del 50 % a la colonia hongo <i>Fusarium</i> spp.
3	Invasión de 90-100 % a la colonia del hongo <i>Fusarium</i> spp.
4	Invasión de 100 % a la colonia del hongo <i>Fusarium</i> spp., esporulando sobre ella.

El ensayo se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), estableciéndose tres ensayos independientes, correspondientes a cada uno de los tres morfotipos de *Fusarium* spp. En cada ensayo, se evaluaron ocho tratamientos, donde el tratamiento T0 correspondió al control, constituido por el crecimiento individual del aislamiento de *Fusarium* spp. sin confrontación con *Trichoderma* spp., mientras que los

tratamientos T1–T7 correspondieron al enfrentamiento dual de los tres morfotipos de *Fusarium* spp. con cada uno de los siete morfotipos de *Trichoderma* spp. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, obteniéndose 24 unidades experimentales por ensayo y un total de 72 unidades experimentales.

2.3.6. Análisis de Datos

Los datos obtenidos del crecimiento radial de *Fusarium* spp. en confrontación con *Trichoderma* spp., organizados por tratamientos, se analizaron en R y SPSS versión 22.0.

Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bartlett. Cuando estos no se cumplieron, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, seguida del post hoc de Dunn con corrección de Benjamini-Hochberg; los resultados se expresaron como mediana e IQR y se representaron mediante letras (CLD). Para los datos que sí cumplieron los supuestos, se realizó un ANOVA y la prueba de Tukey ($p < 0.05$), expresándose los resultados como media $\pm$ desviación estándar.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Aislamiento e Identificación de *Trichoderma* spp. y *Fusarium* spp. de la rizósfera de *Zea mays* L. Illimo, Lambayeque 2025

Del suelo rizosférico de maíz se obtuvieron 598 aislamientos de hongos filamentosos, los cuales fueron clasificados en 18 morfotipos con base en sus características morfológicas (Tabla 2). Los criterios considerados para la diferenciación e identificación de los morfotipos se presentan en el Anexo 01. La identificación morfológica permitió reconocer cinco géneros de hongos filamentosos: *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Cladosporium* (Tabla 3). La composición y frecuencia de los géneros identificados evidenciaron una mayor representatividad de *Fusarium* y *Trichoderma* dentro de los aislamientos obtenidos, mientras que los demás géneros se registraron en menor proporción (Tabla 4)

Tabla 2

Frecuencia de los morfotipos de colonias de hongos filamentosos aislados de la rizósfera de Zea mays L. Lambayeque, 2025

Morfotipo de colonia de hongos filamentosos	Frecuencia	
	Nº	%
1	126	21,07
2	115	19,23
4	76	12,71
3	62	10,37
11	44	7,36
5	39	6,52
10	30	5,02
16	26	4,35
12	20	3,34
13	16	2,68
14	15	2,51
7	10	1,67

6	4	0,67
8	4	0,67
18	4	0,67
9	3	0,50
15	2	0,33
17	2	0,33
Total	598	100,0

Tabla 3

Géneros identificados en los morfotipos de las colonias de hongos filamentosos aislados de la rizósfera de Zea mays L., Lambayeque, 2025

Morfotipo	Género
1	Fusarium
2	Fusarium
3	Fusarium
4	Trichoderma
5	Trichoderma
6	Aspergillus
7	Penicillium
8	Cladosporium
9	Aspergillus
10	Fusarium
11	Trichoderma
12	Trichoderma
13	Trichoderma
14	Trichoderma
15	Penicillium
16	Trichoderma
17	Cladosporium
18	Aspergillus

Tabla 4

Frecuencia de los géneros identificados en hongos filamentosos aislados de la rizósfera de Zea mays L., Lambayeque, 2025

Género	Frecuencia	
	N°	%
<i>Fusarium</i>	333	55,69
<i>Trichoderma</i>	236	39,46
<i>Penicillium</i>	12	2,01
<i>Aspergillus</i>	11	1,84
<i>Cladosporium</i>	6	1,00
Total	598	100,00

3.1.1. Identificación de *Trichoderma* spp. en hongos filamentosos aislados del suelo rizosférico de *Zea mays* L., Lambayeque, 2025

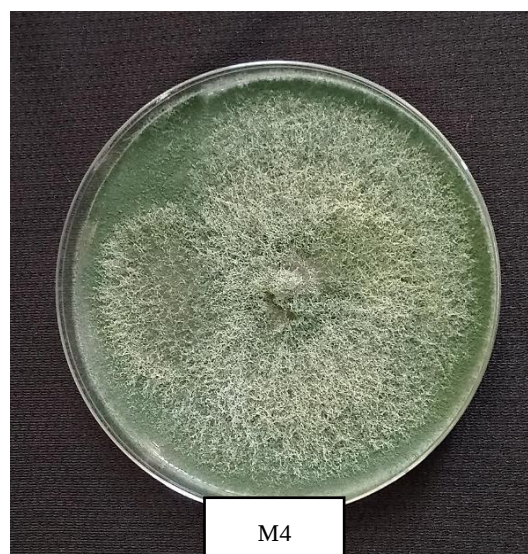
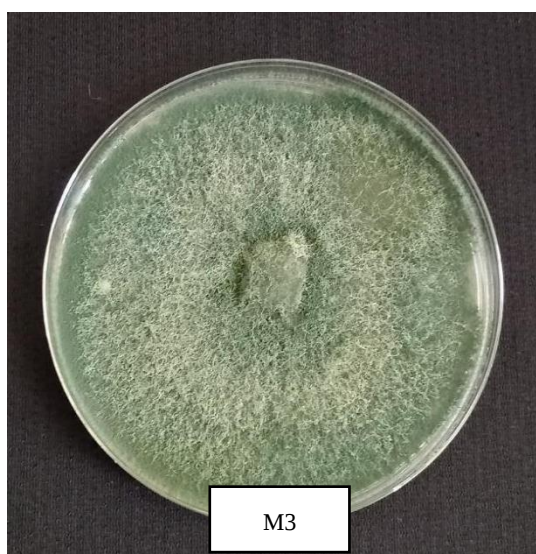
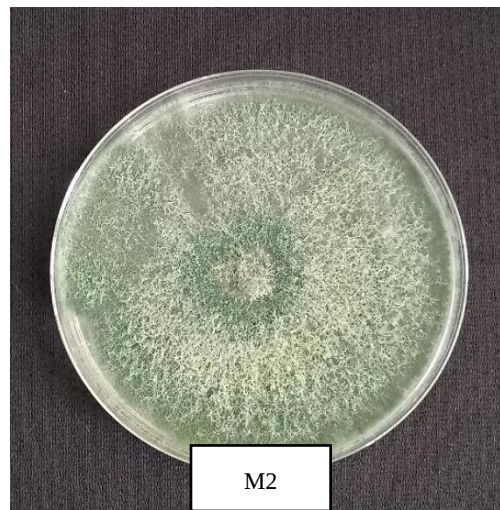
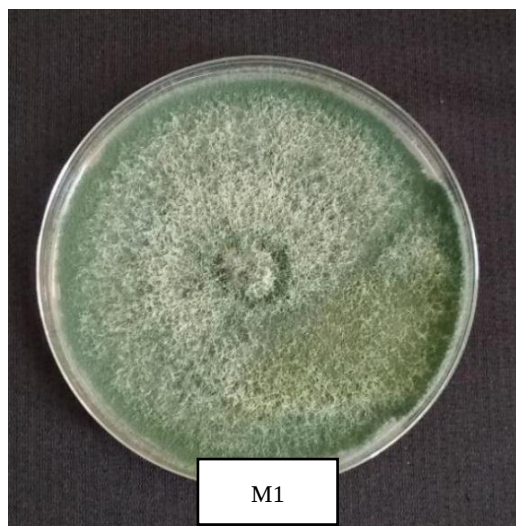
El género *Trichoderma* spp. fue identificado en un 39,46 % entre los hongos filamentosos aislados del suelo rizosférico de *Zea mays* L. (Tabla 4). Las colonias presentaron un desarrollo raudo en medio de cultivo, con micelio inicialmente blanco que posteriormente adquirió tonalidades verdes claro a verde oscuro debido a la abundante producción de conidias, (Figura 7), de acuerdo a estas características macroscópicas y el procedimiento estadístico, se identificaron 35 cepas de *Trichoderma* (Figura 8; tabla 5).

Microscópicamente, se observaron conidióforos hialinos, altamente ramificados, con disposición piramidal característica. Las fiálides se presentaron en verticilos, con forma ampuliforme a lageniforme, ligeramente ensanchadas en la base y estrechadas hacia el ápice. En el extremo de estas estructuras se formaron conidias unicelulares, lisas, verdosas, de forma subglobosa a elipsoidal, agrupadas en cabezas pegajosas en los extremos de las fiálides. Asimismo, se observaron hifas septadas, hialinas y ramificadas, rasgos morfológicos característicos de este género (Figura 9).

Las 35 cepas fueron agrupadas en siete morfotipos en función de sus semejanzas macroscópicas y microscópicas (Tabla 6). El morfotipo 7 presentó la mayor frecuencia (25,71 %), seguido del morfotipo 1 (17,14 %). Los morfotipos 2 y 5 registraron (14,29 %), mientras que el morfotipo 3 presentó (11,43 %). Por su parte, los morfotipos 4 y 6 mostraron las menores frecuencias (8,57 %).

Figura 7

Colonias de Trichoderma spp., desarrolladas en agar papa dextrosa durante 7 días, Lambayeque, 2025



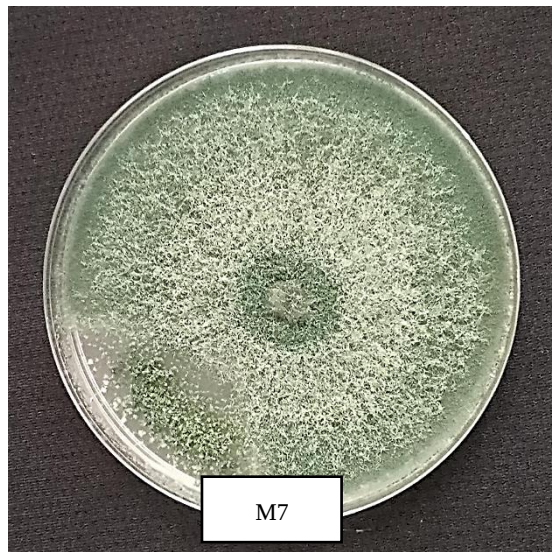
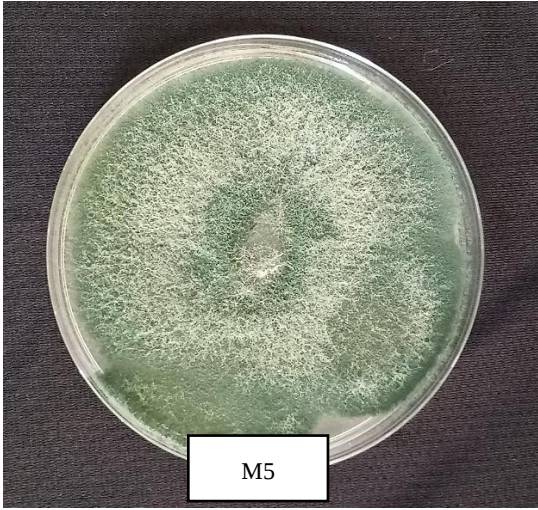


Figura 8

Cultivos puros de Trichoderma spp. aislados de Zea mays L., Lambayeque, 2025



Figura 9

Observación microscópica (400x) de fiálides y conidias de Trichoderma spp.

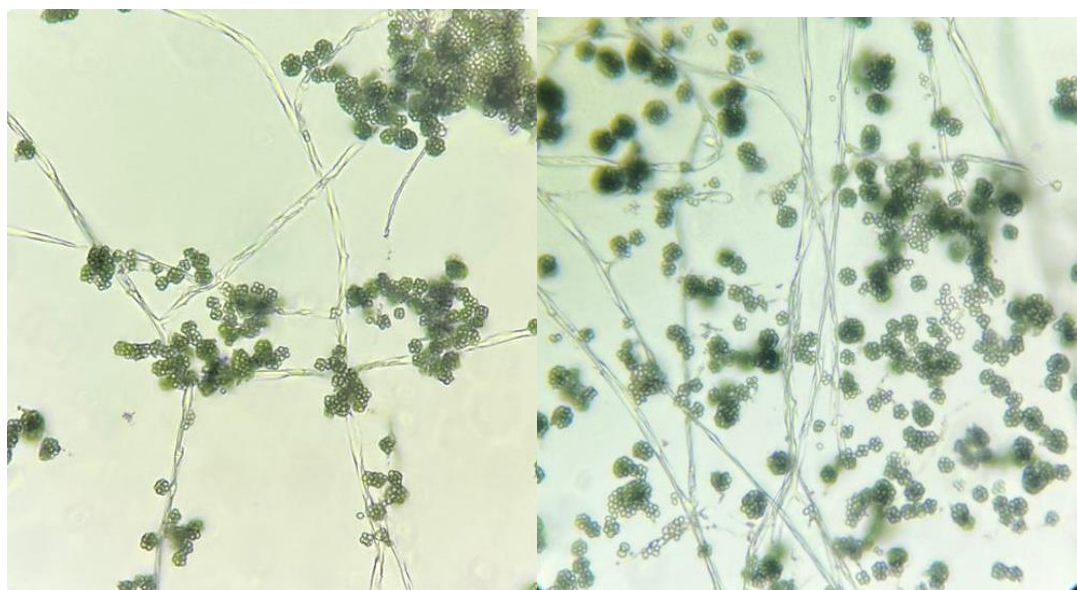


Tabla 5

Características macroscópicas de las cepas de Trichoderma spp. aisladas del suelo rizosférico de Zea mays L., Lambayeque, 2025

Cepa	Anverso	Reverso	Aspecto
C1	Blanco al inicio, verde claro al esporular	Incoloro a verde pálido	Algodonoso
C2	Verde oscuro con zonas blancas periféricas	Verde oliva	Aterciopelado
C3	Verde esmeralda uniforme	Amarillo pálido	Polvoso
C4	Verde oliva con anillos concéntricos blancos	Verde oliva oscuro	Plano - pulverulento
C5	Blanco verdoso con halo algodonoso	Incoloro	Compacto
C6	Verde grisáceo con micelio aéreo abundante	Verde oscuro	Algodonoso - aterciopelado
C7	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C8	Blanco al inicio, verde claro al esporular	Incoloro a verde pálido	Algodonoso
C9	Verde oscuro con zonas blancas periféricas	Verde oliva	Aterciopelado
C10	Verde esmeralda uniforme	Amarillo pálido	Polvoso
C11	Verde oliva con anillos concéntricos blancos	Verde oliva oscuro	Plano - pulverulento
C12	Blanco verdoso con halo algodonoso	Incoloro	Compacto
C13	Verde grisáceo con micelio aéreo abundante	Verde oscuro	Algodonoso - aterciopelado
C14	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C15	Blanco al inicio, verde claro al esporular	Incoloro a verde pálido	Algodonoso
C16	Verde oscuro con zonas blancas periféricas	Verde oliva	Aterciopelado

C17	Verde esmeralda uniforme	Amarillo pálido	Polvoso
C18	Verde oliva con anillos concéntricos blancos	Verde oliva oscuro	Plano - pulverulento
C19	Blanco verdoso con halo algodonoso	Incoloro	Compacto
C20	Verde grisáceo con micelio aéreo abundante	Verde oscuro	Algodonoso - aterciopelado
C21	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C22	Blanco al inicio, verde claro al esporular	Incoloro a verde pálido	Algodonoso
C23	Verde oscuro con zonas blancas periféricas	Verde oliva	Aterciopelado
C24	Verde esmeralda uniforme	Amarillo pálido	Polvoso
C25	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C26	Blanco verdoso con halo algodonoso	Incoloro	Compacto
C27	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C28	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C29	Blanco al inicio, verde claro al esporular	Incoloro a verde pálido	Algodonoso
C30	Verde oscuro con zonas blancas periféricas	Verde oliva	Aterciopelado
C31	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C32	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso
C33	Blanco verdoso con halo algodonoso	Incoloro	Compacto
C34	Blanco al inicio, verde claro al esporular	Incoloro a verde pálido	Algodonoso
C35	Verde brillante con borde blanco irregular	Verde amarillento	Granular - polvoso

Tabla 6

Frecuencia de los morfotipos de colonias de Trichoderma spp., aisladas en Zea mays L. Lambayeque, 2025

Morfotipo	N.º de cepas	Cepas	%
1	6	C1, C8, C15, C22, C29, C34	17.14
2	5	C2, C9, C16, C23, C30	14.29
3	4	C3, C10, C17, C24	11.43
4	3	C4, C11, C18	8.57
5	5	C5, C12, C19, C26, C33	14.29
6	3	C6, C13, C20	8.57
7	9	C7, C14, C21, C25, C27, C28, C31, C32, C35	25.71
Total	35		100

3.1.2. Identificación de *Fusarium* spp. en hongos filamentosos aislados del suelo rizosférico de *Zea mays* L., Lambayeque, 2025

Fusarium spp., se identificó en el 55,69 % de los hongos filamentosos aislados de maíz (Tabla 5). En las colonias de *Fusarium* spp., se observaron principalmente tonalidades púrpuras, blanquecinas y rosadas en el anverso, mientras que en el reverso predominaron colores púrpura, amarillo y rosado (Figura 10; Tabla 7). En cuanto al aspecto macroscópico, todas las cepas presentaron crecimiento algodonoso, evidenciando uniformidad en la textura colonial a pesar de la variabilidad en la pigmentación. Se diferenciaron 14 morfotipos de *Fusarium* (Figura 11), los 14 morfotipos mostraron variación en la coloración de las colonias, tanto en el anverso como en el reverso.

Las cepas de *Fusarium* spp., se caracterizaron por una abundante producción de microconidias, de forma oval a elipsoidal, con base ligeramente truncada, dispuestas predominantemente en cadenas largas. Las macroconidias fueron abundantes, presentando morfología corta y gruesa, con tres a cuatro septos, y diferenciación de una célula apical ligeramente curvada y una célula basal con forma escotada (Figura 12). Se observó la formación de clamidosporas intercaladas, redondeadas, con una pared ligeramente gruesa; algunas hifas mostraron engrosamientos celulares (Figura 13).

Figura 10

Colonias de Fusarium spp. desarrolladas en agar papa dextrosa durante 10 días, Lambayeque, 2025

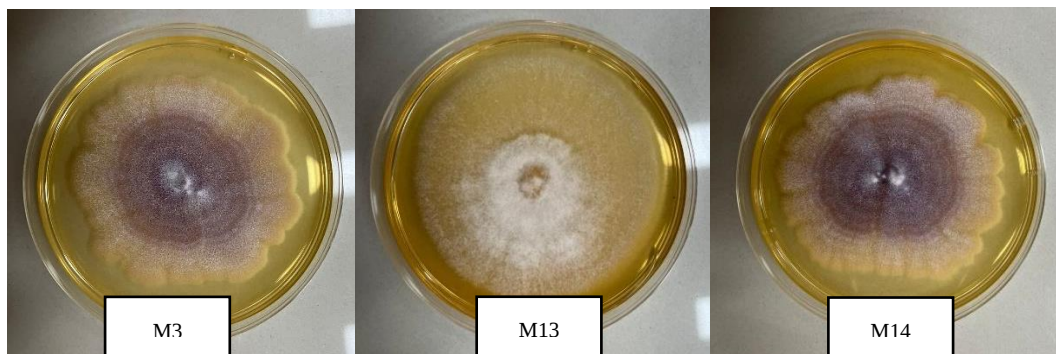


Figura 11

Cultivos puros de Fusarium spp. aislados de Zea mays L., Lambayeque, 2025

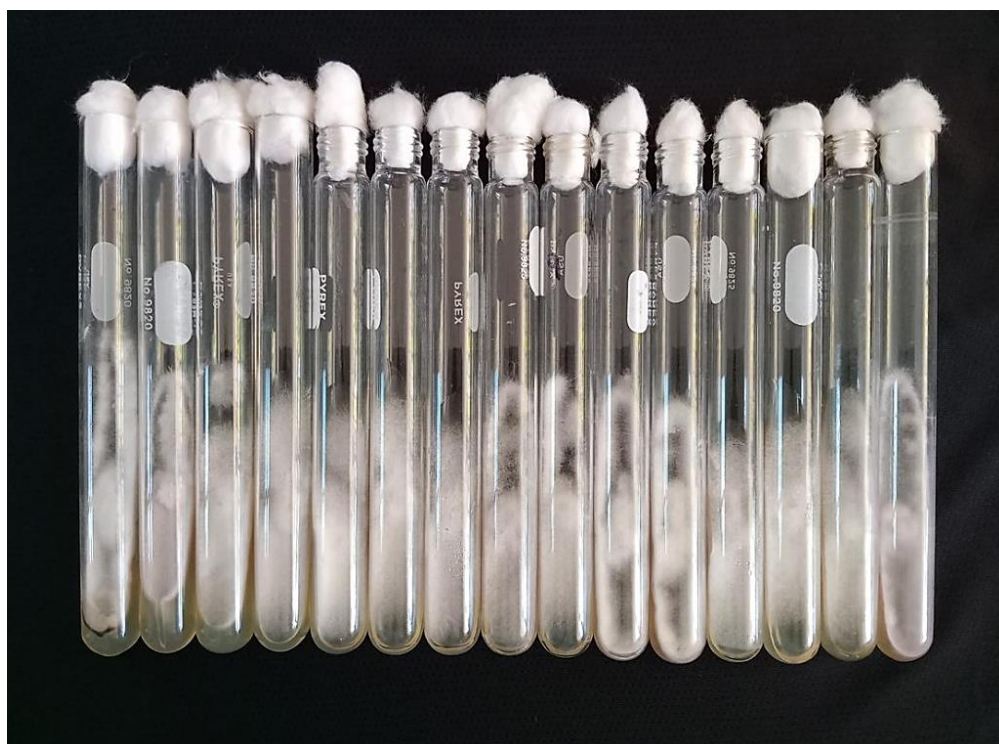


Figura 12

Observación microscópica (400x) de macroconidias agrupadas de Fusarium spp.

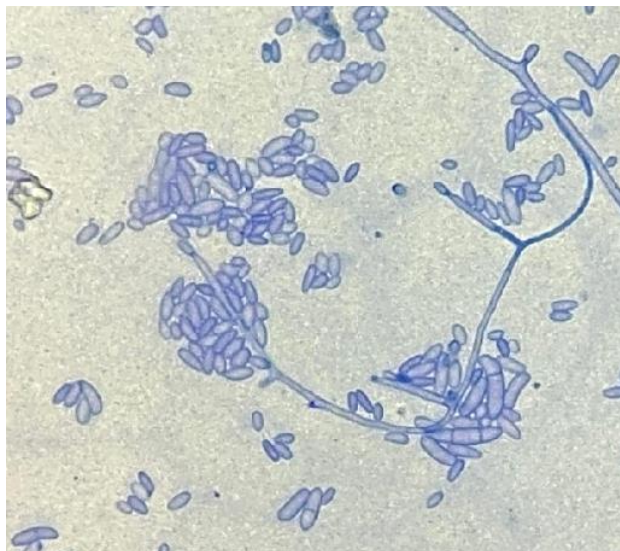


Figura 13

Clamidosporas de Fusarium spp.

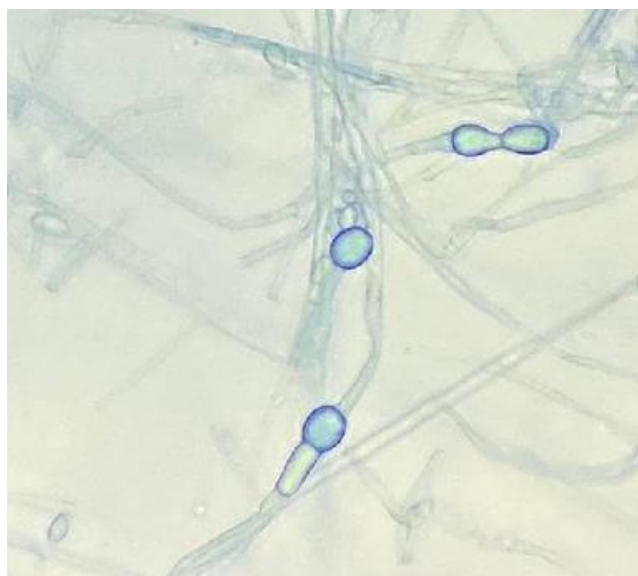


Tabla 7 Características macroscópicas de la colonia de los morfotipos de *Fusarium* spp., identificados en *Zea mays* L., Lambayeque, 2025

Cepas	Color anverso	Color reverso	Aspecto
1	Blanco algodonoso con centro rosado	Rosado pálido	Algodonoso
2	Blanco crema con tonalidad violeta	Violeta claro	Aterciopelado
3	Rosado salmón uniforme	Púrpura	Pulverulento
4	Blanco con pigmentación púrpura central	Púrpura oscuro	Algodonoso–compacto
5	Blanco grisáceo con borde rosado	Rosado intenso	Plano–algodonoso
6	Crema amarillento con zonas lilas	Amarillo anaranjado	Polvoso
7	Blanco abundante al inicio, rosado intenso al final	Magenta pálido	Algodonoso
8	Blanco con manchas rosadas dispersas	Rosado amarillento	Algodonoso
9	Blanco crema con centro violeta oscuro	Violeta púrpura	Compacto
10	Rosado pálido con halo blanco	Púrpura	Aterciopelado
11	Blanco con pigmentación amarilla difusa	Amarillo intenso	Plano–polvoso
12	Rosado intenso uniforme	Marrón claro	Pulverulento
13	Violeta intenso con zonas concéntricas lila	Amarillo dorado	Aterciopelado
14	Blanco crema uniforme con centro algodonoso	Púrpura	Algodonoso

3.2. Evaluación de la patogenicidad de *Fusarium* spp. en *Zea mays* L. maíz bajo condiciones controladas de invernadero

Los 14 morfotipos de *Fusarium* spp., cultivados en forma independiente en granos de maíz triturados (Figura 14), se inocularon en semillas de maíz amarillo duro INIA 619 megahibrido. El tratamiento testigo presentó una emergencia del 100 %, evidenciando la germinación de todas las semillas sembradas. Entre los tratamientos inoculados, los morfotipos 9 y 5 registraron los mayores porcentajes de emergencia, con 91,7 % y 75,0 %, respectivamente, los morfotipos 1, 2, 6, 8, 10, 11 y 12 presentaron valores intermedios de emergencia, con porcentajes entre 33,3 % y 58,3 %. Por otro lado, los morfotipos 4 y 7 mostraron porcentajes bajos de emergencia 16,7 % y 25,0 %, respectivamente, y en los morfotipos 3, 13 y 14 no se registró emergencia de plantas (Tabla 8).

Transcurridos 45 días después de la inoculación de los 14 morfotipos de *Fusarium* spp., con los cuales se registró emergencia de plántulas, se observó clorosis foliar, así como reducción en la altura de la planta, diámetro del tallo, longitud de la raíz y biomasa radicular en fresco y seco (Figura 15, 16, 17 y 18).

Dado que los parámetros evaluados carecían de una distribución normal, se procedió con un análisis mediante pruebas no paramétricas. A través del test de Kruskal-Wallis, se detectaron discrepancias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Según la prueba post hoc de Dunn, el tratamiento testigo presentó los mayores valores en todas las variables evaluadas. En relación con la altura de planta, los menores valores se registraron en los morfotipos 5, 10 y 11, sin diferencias significativas entre ellos, pero sí respecto a los tratamientos con mayores valores. Para el diámetro de tallo, los morfotipos 4, 7, 9, 10, 11 y 12 mostraron los valores más bajos, agrupándolos estadísticamente. En cuanto a la longitud de raíz, los menores valores correspondieron a los morfotipos 6, 7, 8, 9 y 12. Respecto a la biomasa de raíz en fresco, los valores más bajos se observaron en los morfotipos 7 y 11, mientras que, en la biomasa de raíz en seco, la mayoría de los tratamientos no presentó diferencias significativas entre sí, excepto el testigo que mostró el valor más alto. Finalmente, los morfotipos 3, 13 y 14 presentaron valores nulos en las variables evaluadas, evidenciándose ausencia de crecimiento durante el periodo experimental, mostrados en el diagrama de cajas y bigotes (Tabla 9, Figura 19). Transcurridos 45 días de la inoculación con morfotipos de *Fusarium* spp., se observó enanismo en un rango de 9,09 a 100 %, clorosis entre 0,00 y 20,0 %, secado foliar de 0,00 a 33,33 % y pudrición radicular de 0,00 a 9,09 % de las plantas evaluadas. Los morfotipos 1, 2, 4, 5, 10 y 12 registraron 100 % de

enanismo, mientras que la clorosis se presentó de forma limitada, destacando en los morfotipos 8, 9, 11 y 12. El secado foliar se evidenció principalmente en los morfotipos 5 y 7, mientras que la pudrición radicular solo se registró en el morfotipo 9. Mientras en los morfotipos 3, 13 y 14, no se observaron plántulas emergidas (Tabla 10).

La reducción de los parámetros de crecimiento en plantas de *Zea mays* osciló entre 11,75 % y 100 % en altura, 22,49 % y 100 % en diámetro de tallo, 22,01 % y 100 % en longitud de raíz, 22,54 % y 100 % en biomasa radicular fresca y 52,65 % y 100 % en biomasa seca. Los morfotipos 3, 13 y 14 presentaron 100 % de reducción en todas las variables, mientras que los menores valores se registraron en el morfotipo 6 para altura (11,75 %) y en el morfotipo 5 para diámetro de tallo (22,49 %) (Tabla 11).

Figura 14

Morfotipos de Fusarium spp., cultivado con granos de Zea mays L. durante 12 días, Lambayeque, 2025



Tabla 8

Porcentaje de emergencia de plántulas en semillas de Zea mays L. inoculadas con morfotipos de Fusarium spp.

Tratamientos	Plantas emergidas			Emergencia (%)
	r1	r2	r3	
Testigo	4/4	4/4	4/4	100,0
Morfotipo 1	4/4	3/4	0/4	58,3
Morfotipo 2	3/4	1/4	0/4	33,3
Morfotipo 3	0/4	0/4	0/4	0,00
Morfotipo 4	1/4	0/4	1/4	16,7
Morfotipo 5	4/4	4/4	1/4	75,0
Morfotipo 6	1/4	2/4	1/4	33,3
Morfotipo 7	0/4	3/4	0/4	25,0
Morfotipo 8	0/4	2/4	4/4	50,0
Morfotipo 9	4/4	4/4	3/4	91,7
Morfotipo 10	4/4	0/4	0/4	33,3
Morfotipo 11	4/4	0/4	1/4	41,7
Morfotipo 12	4/4	1/4	1/4	50,0
Morfotipo 13	0/4	0/4	0/4	00,0
Morfotipo 14	0/4	0/4	0/4	00,0

Figura 15

Plantas de Zea mays L. 45 días después de la inoculación de Fusarium spp.



Figura 16

Plantas de Zea mays L. 45 días después de la inoculación de Fusarium spp. M1, M2, M3, M4, M5 y M6

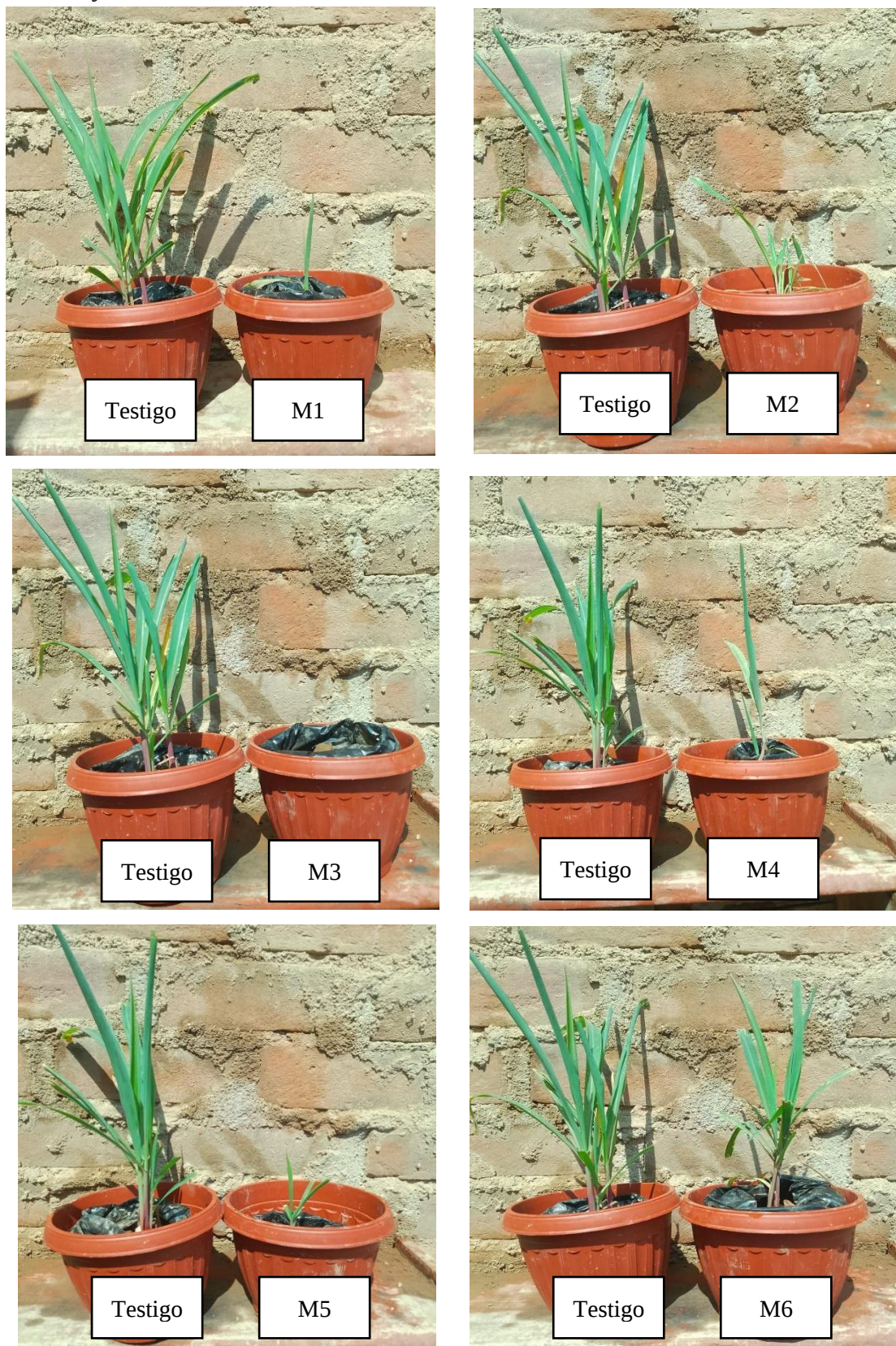


Figura 17

Plantas de Zea mays L. 45 días después de la inoculación de Fusarium spp., M7, M8, M9, M10, M11 y M12

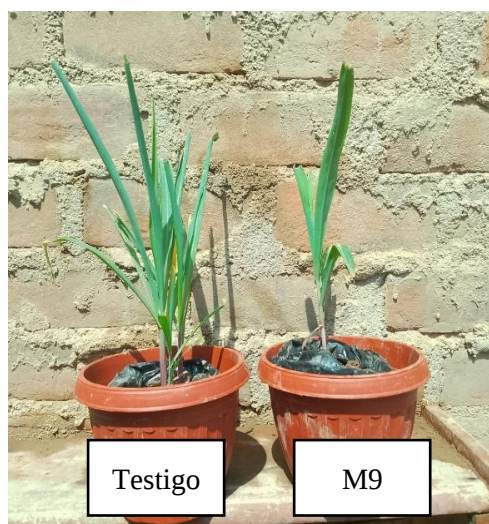
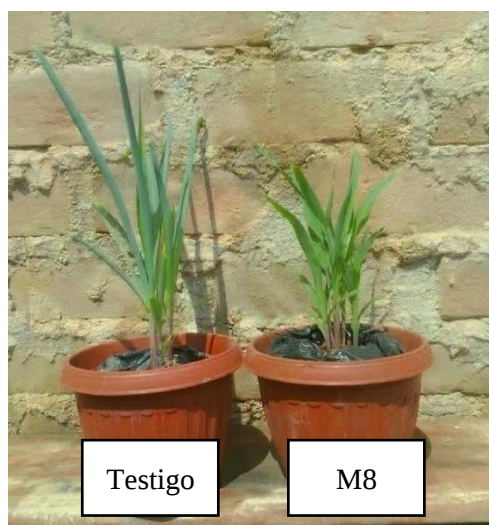


Figura 18

Plantas de Zea mays L. 45 días después de la inoculación de Fusarium spp., M13, M14

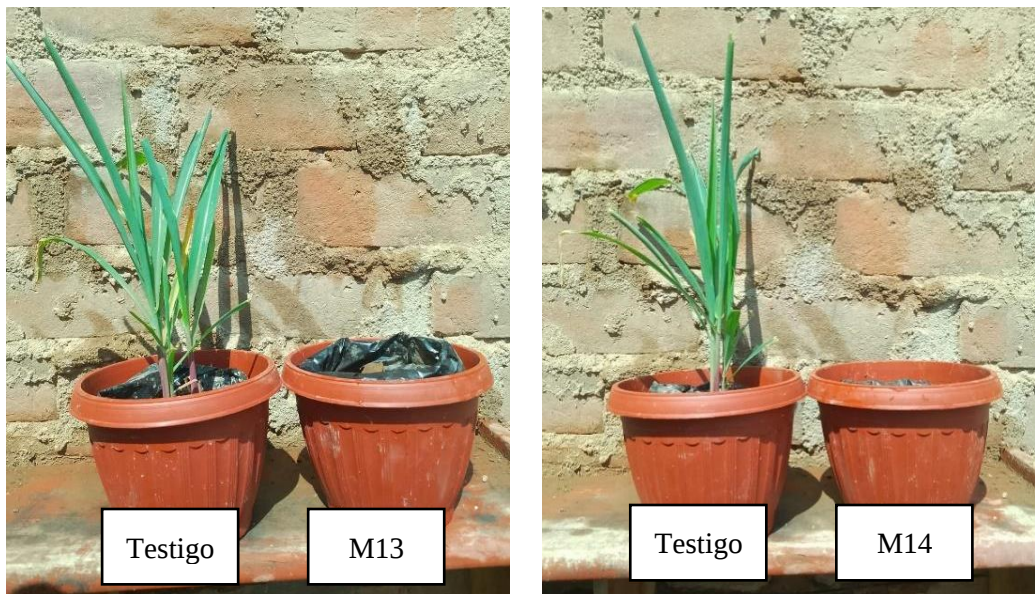


Tabla 9 Prueba de comparación múltiple de las medianas de los parámetros de crecimiento de las plantas de *Zea mays* L. inoculadas con morfotipos de *Fusarium* spp.

Tratamientos	Mediana del crecimiento*									
	Altura		Diámetro de tallo		Longitud de raíz		Biomasa de raíz en fresco		Biomasa de raíz en seco	
	cm	sign (p<0,05)	cm	sign (p<0,05)	cm	sign (p<0,05)	g	sign (p<0,05)	G	sign (p<0,05)
Testigo	35,7 [33,7-37,5]	D	5,9 [5,89-6,11]	d	19,41 [17,45-19,76]	d	7,31 [6,7-8,15]	d	2,64 [2,55-2,73]	d
Morfotipo 1	17,8 [8,9-18,3]	Abc	4,1 [2,05-4,3]	abcd	13,8 [6,9-14,3]	abcd	2,24 [1,12-2,46]	abc	1 [0,5-1,06]	abcd
Morfotipo 2	19,8 [9,9-20,1]	Abc	4,48 [2,24-4,52]	abcd	9,5 [4,75-11,8]	abcd	2,98 [1,49-3,8]	abcd	1 [0,5-1,25]	abcd
Morfotipo 3	0 [0-0]	A	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a
Morfotipo 4	22,1 [11,05-23,8]	Abcd	3,22 [1,61-3,29]	ab	9,8 [4,9-10,1]	abc	3,5 [1,75-3,85]	abcd	0,5 [0,25-0,53]	abc
Morfotipo 5	12,1 [11,75-12,25]	Abc	4,68 [4,62-4,73]	cd	12,9 [11,65-14,2]	bd	5,72 [5,7-5,84]	cd	0,58 [0,36-0,95]	bcd
Morfotipo 6	31 [30,7-32,1]	Cd	4,72 [3,89-4,78]	bcd	8,15 [7,98-9,1]	abc	2,64 [1,96-3,03]	abcd	0,12 [0,12-0,3]	abc
Morfotipo 7	0 [0-15,2]	Ab	0 [0-1,7]	ab	0 [0-4,24]	ac	0 [0-0,59]	ab	0 [0-0,09]	ab
Morfotipo 8	20,5 [10,25-22,5]	Abcd	4,47 [2,23-4,48]	abcd	9,04 [4,52-9,4]	abc	1,87 [0,94-2,55]	abc	0,36 [0,18-0,44]	abc
Morfotipo 9	30,5 [30,2-30,95]	Bcd	3,95 [3,52-4,28]	abcd	10,62 [9,98-10,99]	bcd	2,8 [2,67-2,9]	bcd	0,81 [0,78-0,95]	cd
Morfotipo 10	0 [0-5,05]	A	0 [0-1,52]	a	0 [0-6,83]	abc	0 [0-2,5]	ab	0 [0-0,56]	abc
Morfotipo 11	15,9 [7,95-16,85]	Ab	3,5 [1,75-3,75]	abcd	13,5 [6,75-14,25]	abcd	1,12 [0,56-1,55]	ab	0,45 [0,22-0,69]	abc
Morfotipo 12	19,8 [19,25-19,9]	Abcd	3,66 [3,53-3,72]	abcd	8,5 [6,55-9,37]	abcd	1,52 [1,39-2,18]	abcd	0,52 [0,35-0,69]	abcd
Morfotipo 13	0 [0-0]	A	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a
Morfotipo 14	0 [0-0]	A	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a	0 [0-0]	a

*Promedio de 12 plantas

Figura 19

Gráfico de cajas y bigotes de parámetros de crecimiento de las plantas de Zea mays L. inoculadas con morfotipos de Fusarium spp.

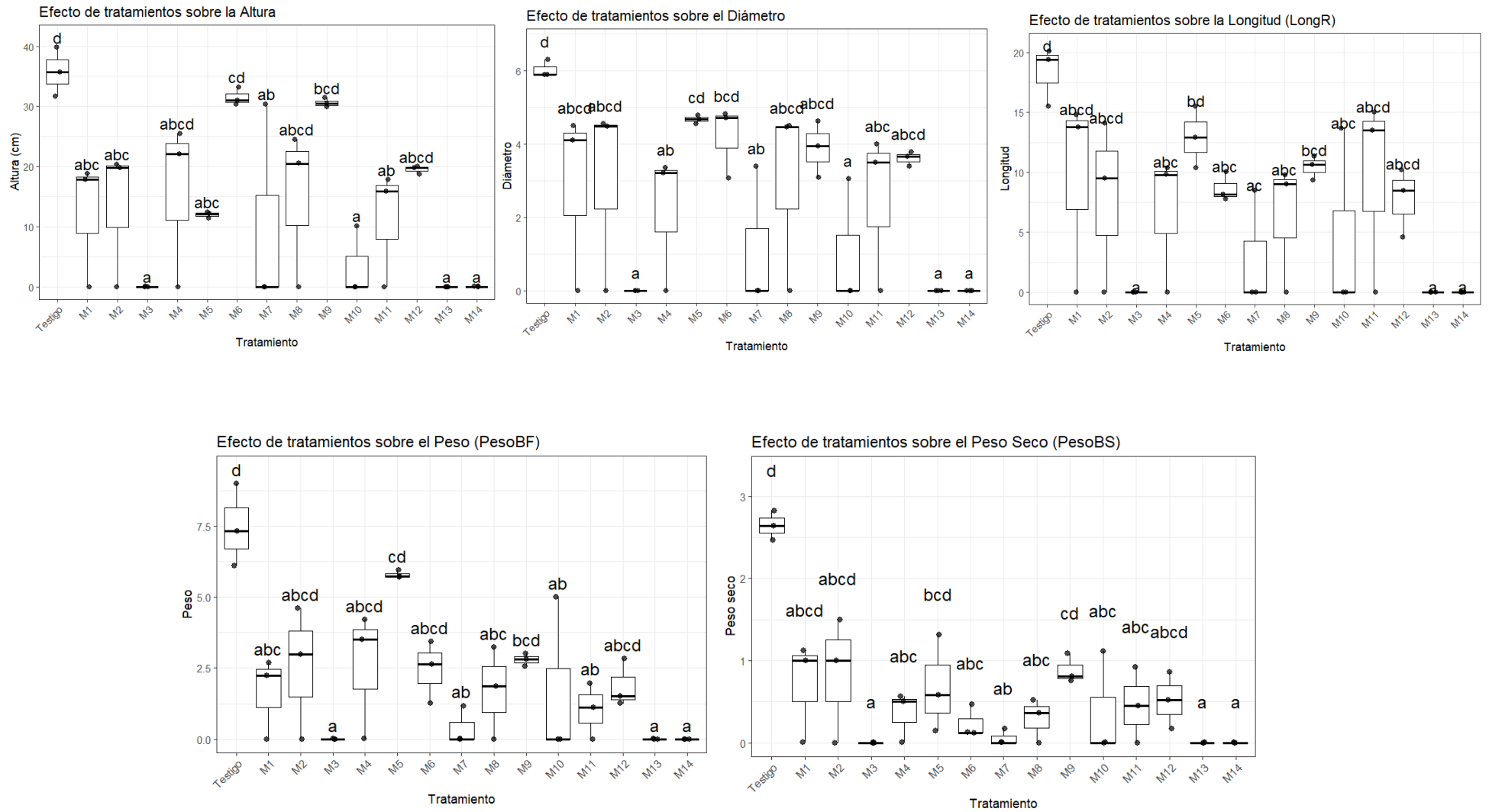


Tabla 10

Porcentaje de plantas de Zea mays L. con síntomas observados en la parte aérea y radicular después de 45 días de la inoculación con morfotipos de Fusarium spp.

Tratamientos	Parte aérea %			Parte radicular %
	Enanismo	Clorosis	Secado foliar	Pudrición
Testigo	0,00	0,00	0,00	0,00
Morfotipo 1	100,0	0,00	28,57	0,00
Morfotipo 2	100,0	0,00	25,00	0,00
Morfotipo 3	0,00	0,00	0,00	0,00
Morfotipo 4	100,0	0,00	0,00	0,00
Morfotipo 5	100,0	0,00	33,33	0,00
Morfotipo 6	25,0	0,00	25,00	0,00
Morfotipo 7	0,00	0,00	33,33	0,00
Morfotipo 8	33,33	16,67	0,00	0,00
Morfotipo 9	9,09	18,18	18,18	9,09
Morfotipo 10	100,0	0,00	0,00	0,00
Morfotipo 11	80,0	20,0	0,00	0,00
Morfotipo 12	100,0	16,67	0,00	0,00
Morfotipo 13	0,00	0,00	0,00	0,00
Morfotipo 14	0,00	0,00	0,00	0,00

*Promedio de 12 plantas

(0) Plantas no emergidas

Tabla 11 Porcentaje de reducción de los parámetros métricos de las plantas de *Zea mays* L. inoculadas con morfotipos de *Fusarium* spp.

Reducción	Altura de la planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Longitud de raíz (cm)	Biomasa de raíz en fresco (gr)	Biomasa de raíz en seco (gr)
Morfotipo 1	48,79	28,73	22,01	66,99	59,85
Morfotipo 2	43,75	25,17	35,65	49,17	52,65
Morfotipo 3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Morfotipo 4	33,40	45,55	44,92	48,44	79,92
Morfotipo 5	66,51	22,49	29,47	22,54	74,37
Morfotipo 6	11,75	30,28	52,72	67,28	91,04
Morfotipo 7	14,93	43,81	53,75	84,20	93,56
Morfotipo 8	37,03	25,66	48,74	65,85	83,33
Morfotipo 9	14,37	35,64	43,06	62,68	66,67
Morfotipo 10	71,74	49,45	25,50	33,17	57,95
Morfotipo 11	52,85	37,85	22,29	79,24	74,05
Morfotipo 12	45,43	40,17	57,57	74,96	80,43
Morfotipo 13	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Morfotipo 14	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

*Promedio de 12 plantas

3.3. Actividad antagónica de cepas de *Trichoderma* spp. en el control *in vitro* del crecimiento de *Fusarium* spp. fitopatógeno

Después de 7 días de incubación, los siete aislamientos de *Trichoderma* spp. redujeron considerablemente el crecimiento de las colonias de *Fusarium* spp. M3, M13 y M14 en comparación con sus respectivos controles. Los tratamientos control presentaron las mayores áreas promedio de crecimiento, con valores de 50,18 cm² para M3, 47,58 cm² para M13 y 49,82 cm² para M14. En el enfrentamiento con *Fusarium* sp. M3, las áreas promedio de crecimiento variaron entre 1,14 y 1,20 cm², alcanzándose porcentajes de inhibición superiores al 97 % en todos los tratamientos (Tabla 12, Figura 20 a 26). El mayor porcentaje de inhibición se registró en *Trichoderma* sp. M4 (97,72 %), mientras que el menor correspondió a *Trichoderma* sp. M7 (97,60 %). Asimismo, todos los tratamientos fueron clasificados dentro del grado 3 de la escala de Bell, correspondiente a una actividad antagónica alta (Tabla 14).

Para *Fusarium* sp. M13, el área promedio de crecimiento osciló entre 1,04 y 1,64 cm², observándose porcentajes de inhibición entre 96,55 y 97,82 %. El mayor porcentaje de inhibición fue obtenido por *Trichoderma* sp. M1 (97,82 %), seguido por M3 (97,79 %), mientras que el menor valor se presentó en *Trichoderma* sp. M6 (96,55 %) (Tabla 15, Figura 27 a 33). De acuerdo con la escala de Bell, todos los tratamientos mostraron igualmente una actividad antagónica alta (grado 3) (Tabla 17). En *Fusarium* sp. M14, las áreas promedio de crecimiento estuvieron comprendidas entre 1,50 y 1,60 cm², con porcentajes de inhibición entre 96,76 y 96,96 %. El mayor efecto inhibitorio se observó en *Trichoderma* sp. M2 (96,96 %), seguido por *Trichoderma* sp. M5 (96,92 %) y *Trichoderma* sp. M1 (96,91 %); mientras que los menores porcentajes correspondieron a *Trichoderma* sp. M6 y M7 (96,76 %) (Tabla 18, Figura 34 a 40). Todos los tratamientos fueron clasificados en grado 3 de la escala de Bell (Tabla 20).

La prueba de comparación múltiple de Tukey evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos control y aquellos inoculados con *Trichoderma* spp. para los tres morfotipos de *Fusarium* evaluados; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas entre los siete aislamientos de *Trichoderma*, los cuales conformaron un mismo grupo estadístico (a), mientras que el control constituyó un grupo independiente (b). En conjunto, los resultados evidenciaron que todos los aislamientos de *Trichoderma* presentaron una elevada capacidad inhibitoria sobre el crecimiento de *Fusarium* spp. M3, M13 y M14 (Tabla 13,16,19)

El 100 % de los tratamientos de *Trichoderma* spp. evaluados mostró inhibición del crecimiento de *Fusarium* spp. en los tres morfotipos analizados (M3, M13 y M14), evidenciando una actividad antagonista constante a lo largo del tiempo de incubación.

3.3.1. Confrontación dual *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. M3

Figura 20

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M1 transcurridos 7 días de incubación.

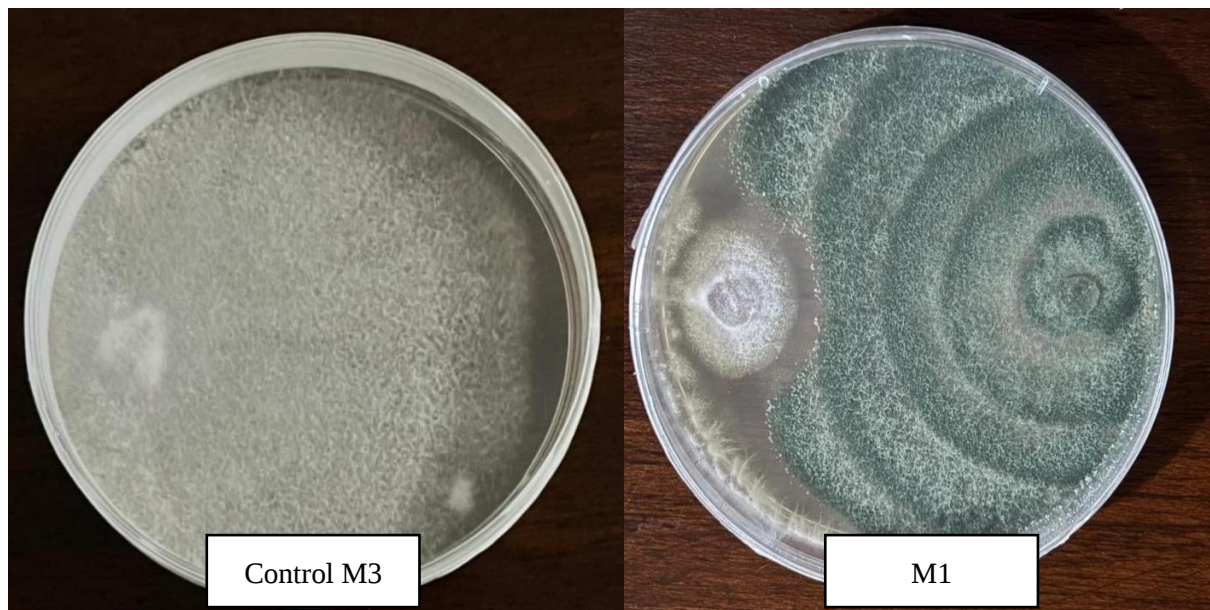


Figura 21

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M2 transcurridos 7 días de incubación.

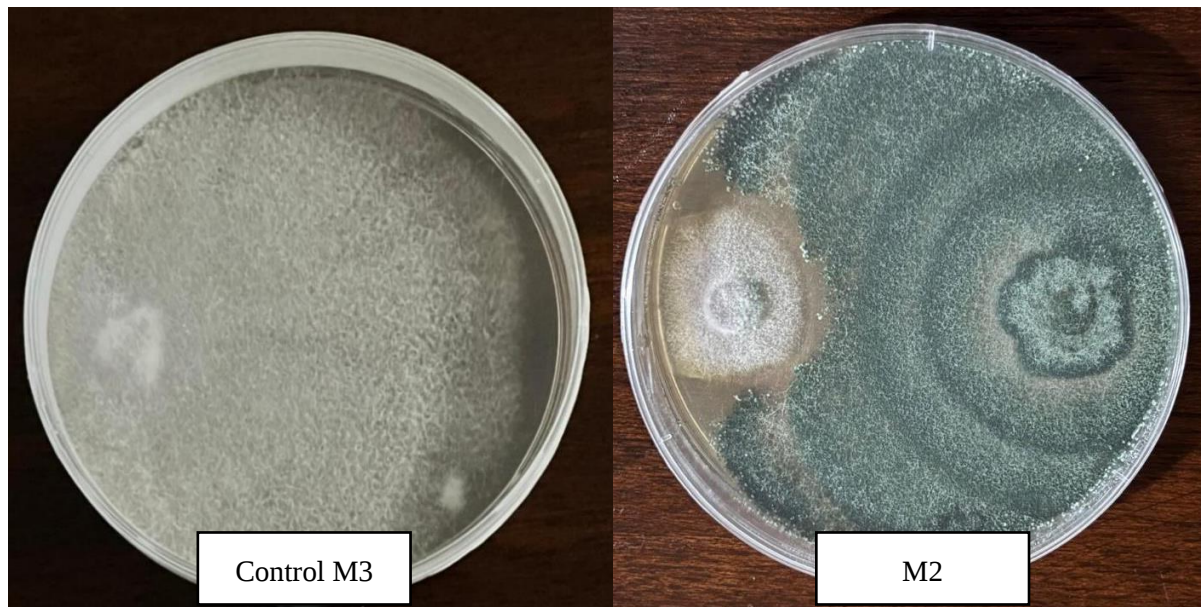


Figura 22

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M3 transcurridos 7 días de incubación.

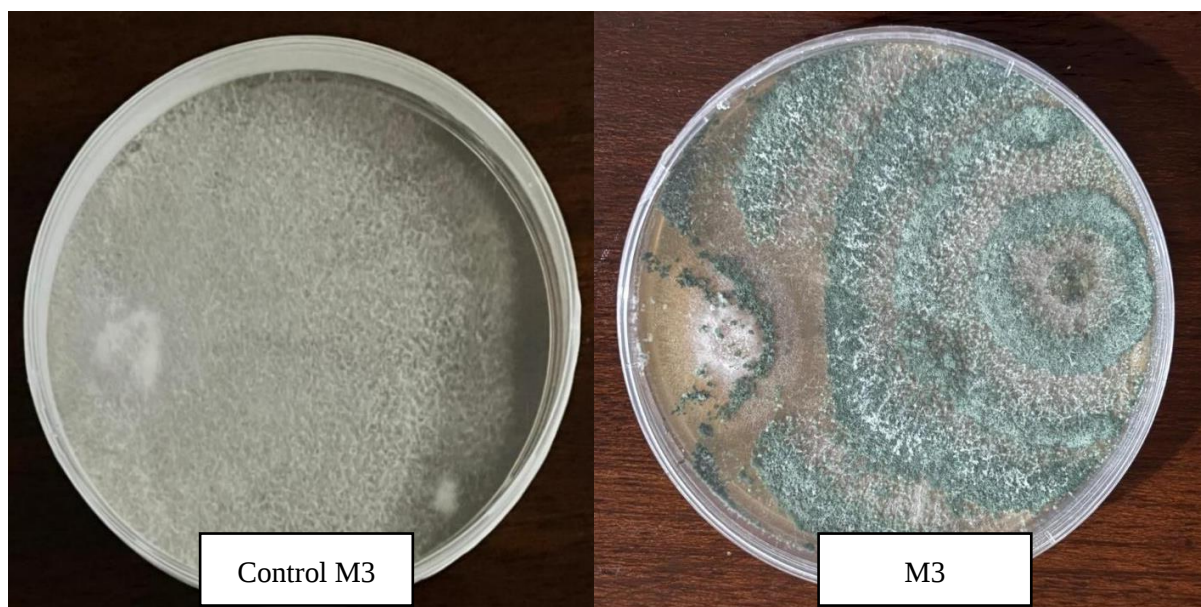


Figura 23

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M4 transcurridos 7 días de incubación.

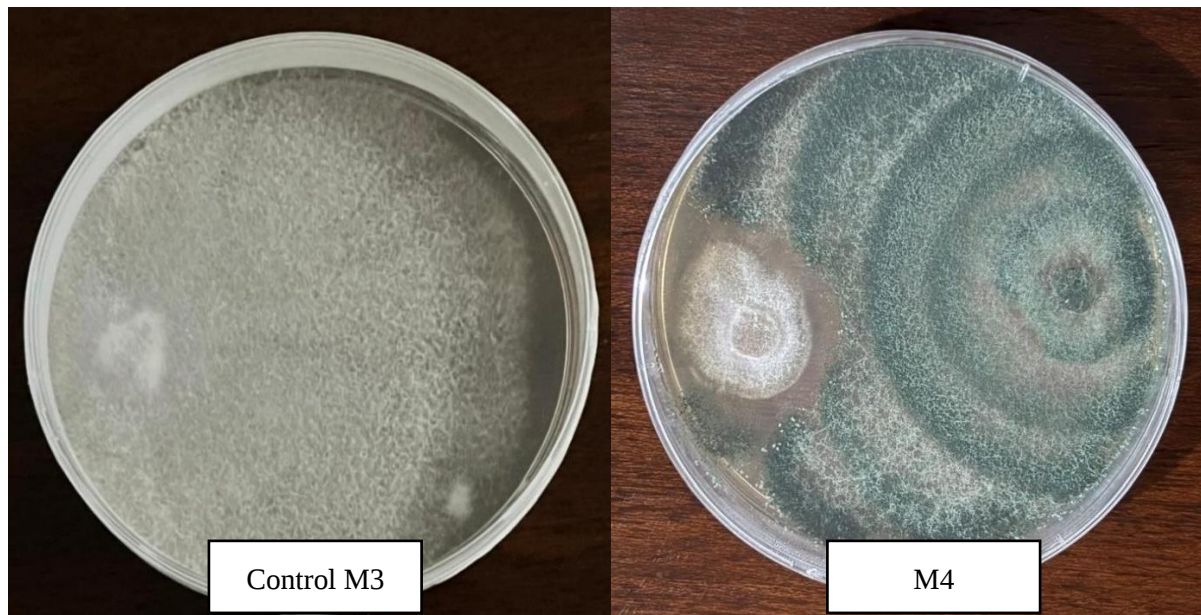


Figura 24

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M5 transcurridos 7 días de incubación.

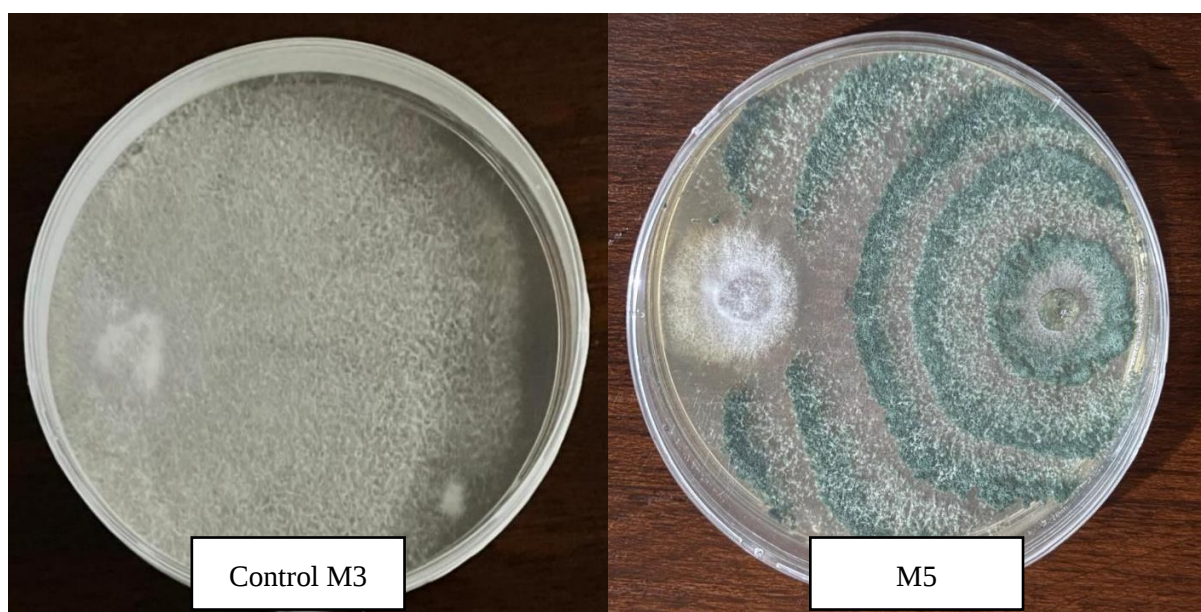


Figura 25

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M6 transcurridos 7 días de incubación.

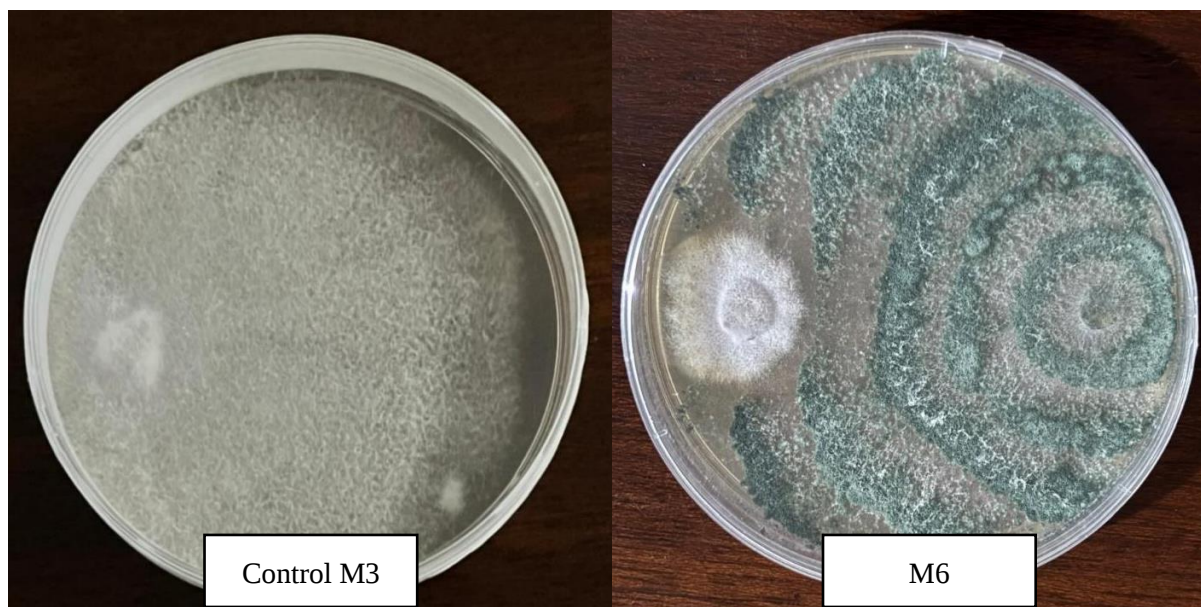


Figura 26

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M3 por acción de Trichoderma sp. M7 transcurridos 7 días de incubación.

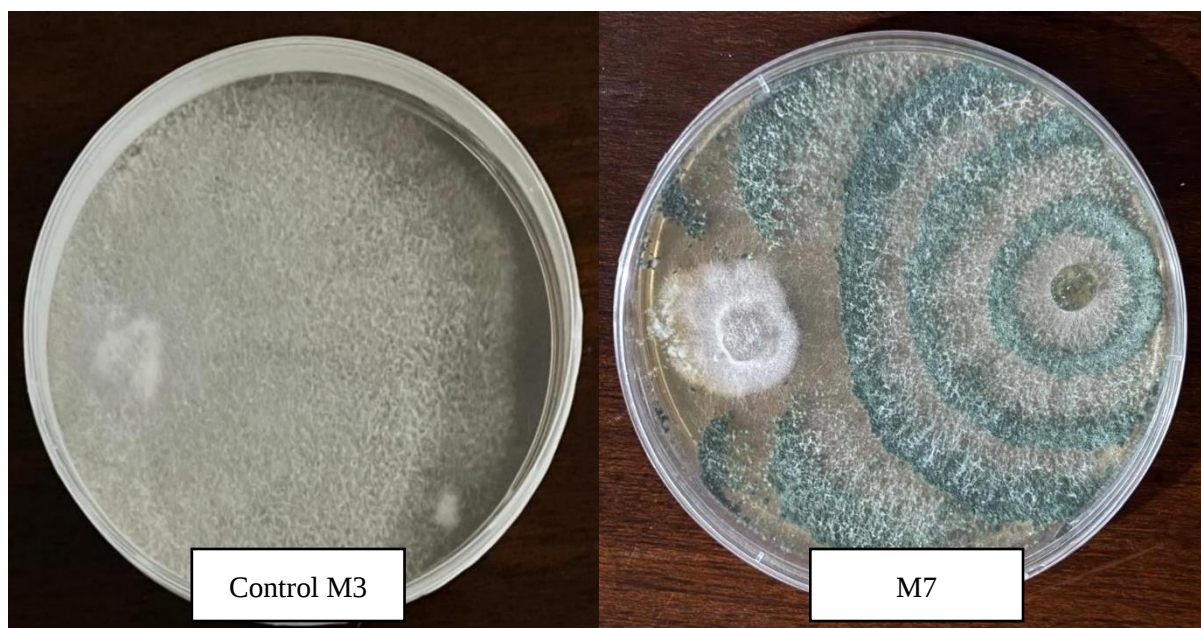


Tabla 12

Área de la colonia y área de inhibición del crecimiento de Fusarium sp. M3 por efecto de siete morfotipos de Trichoderma spp. tras de 7 días de incubación

Tratamientos	Área de la colonia (cm ²)				Área de inhibición (%)			
	r1	r2	r3	$\bar{x}$	r1	r2	r3	$\bar{x}$
Control	50,28	49,59	50,69	50,18	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trichoderma</i> sp. M1	1,23	1,17	1,12	1,17	97,54	97,68	97,77	97,66
<i>Trichoderma</i> sp. M2	1,60	0,93	1,04	1,19	96,81	98,14	97,92	97,62
<i>Trichoderma</i> sp. M3	1,21	1,19	1,12	1,18	97,59	97,62	97,76	97,66
<i>Trichoderma</i> sp. M4	1,03	1,13	1,27	1,14	97,94	97,75	97,47	97,72
<i>Trichoderma</i> sp. M5	1,13	1,37	1,05	1,18	97,75	97,28	97,92	97,65
<i>Trichoderma</i> sp. M6	0,98	1,37	1,19	1,18	98,05	97,26	97,62	97,65
<i>Trichoderma</i> sp. M7	0,98	1,51	1,12	1,20	98,04	96,99	97,78	97,60

Tabla 13

Prueba de comparación múltiple de Tukey de la colonia de Fusarium sp. M3 frente a siete morfotipos de Trichoderma spp.

Tratamiento	7 días		
	Área (cm ²)	sd (+-)	Significancia (p<0,05)
Control	50,18	0,55	b
<i>Trichoderma</i> sp. M1	1,17	0,05	a
<i>Trichoderma</i> sp. M2	1,19	0,35	a
<i>Trichoderma</i> sp. M3	1,18	0,04	a
<i>Trichoderma</i> sp. M4	1,14	0,11	a
<i>Trichoderma</i> sp. M5	1,18	0,16	a
<i>Trichoderma</i> sp. M6	1,18	0,19	a
<i>Trichoderma</i> sp. M7	1,20	0,27	a

Tabla 14

Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia de Fusarium sp. M3 frente a siete morfotipos de Trichoderma spp., según la escala de Bell, Lambayeque, 2025

Tratamiento	PICR (%)	Escala de Bell (grado)	Interpretación
<i>Trichoderma</i> sp. M1	97,66	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M2	97,62	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M3	97,66	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M4	97,72	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M5	97,65	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M6	97,65	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M7	97,60	3	Alta

3.3.2. Confrontación dual *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. M13

Figura 27

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M13 por acción de Trichoderma sp. M1 transcurridos 7 días de incubación.

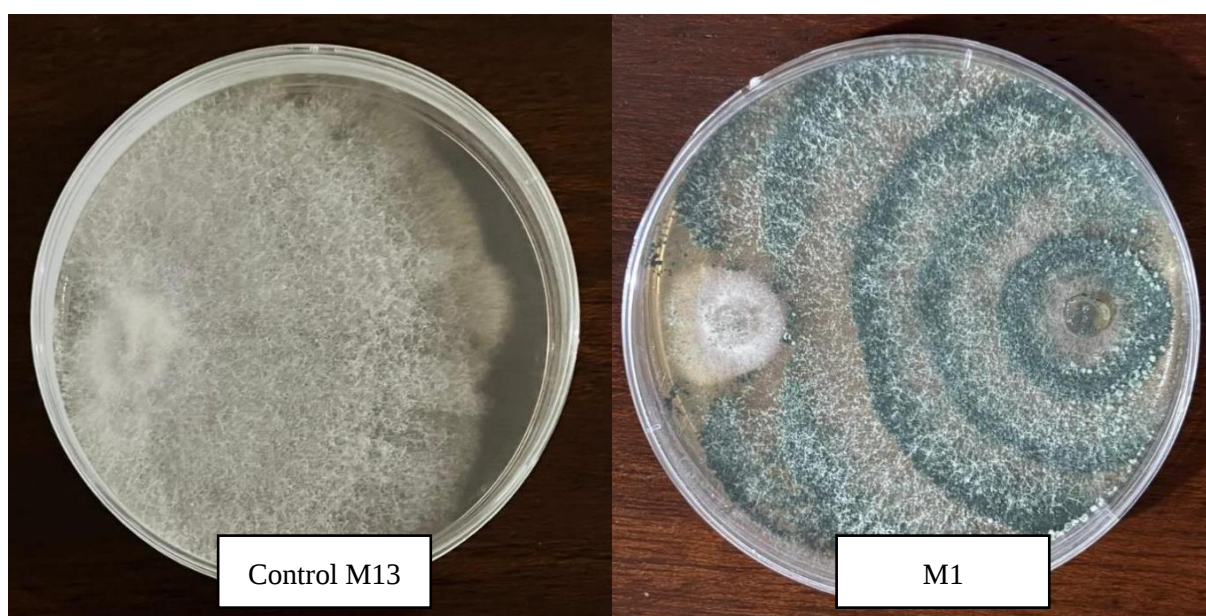


Figura 28

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M13 por acción de Trichoderma sp. M2 transcurridos 7 días de incubación.

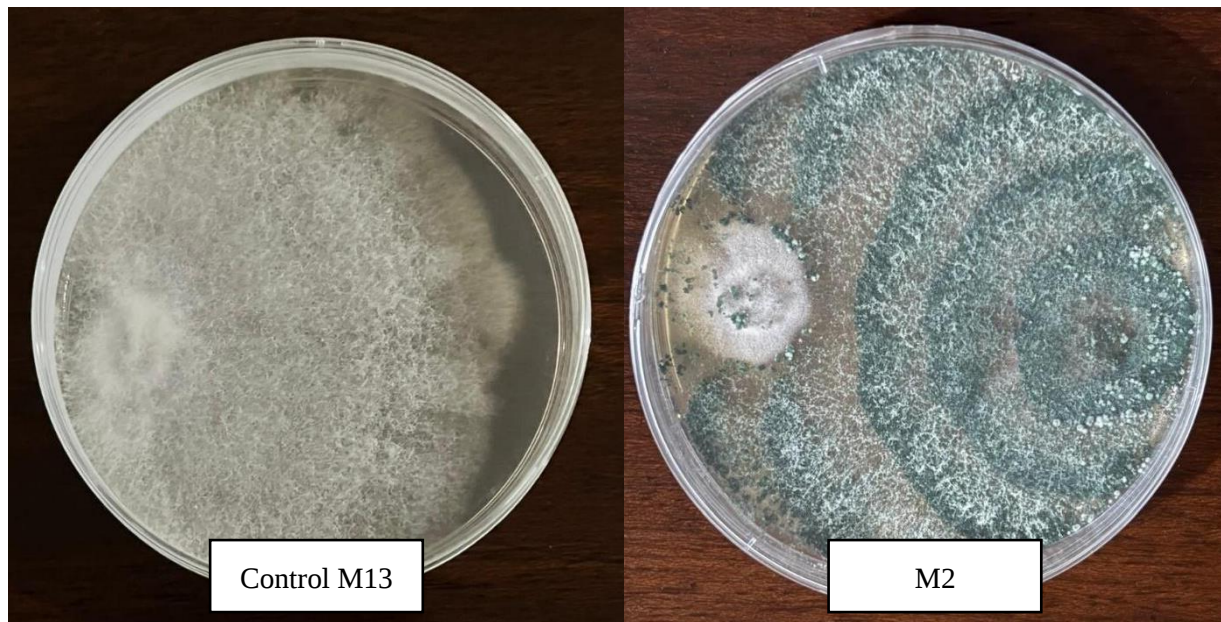


Figura 29 *Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M13 por acción de Trichoderma sp. M3 transcurridos 7 días de incubación.*

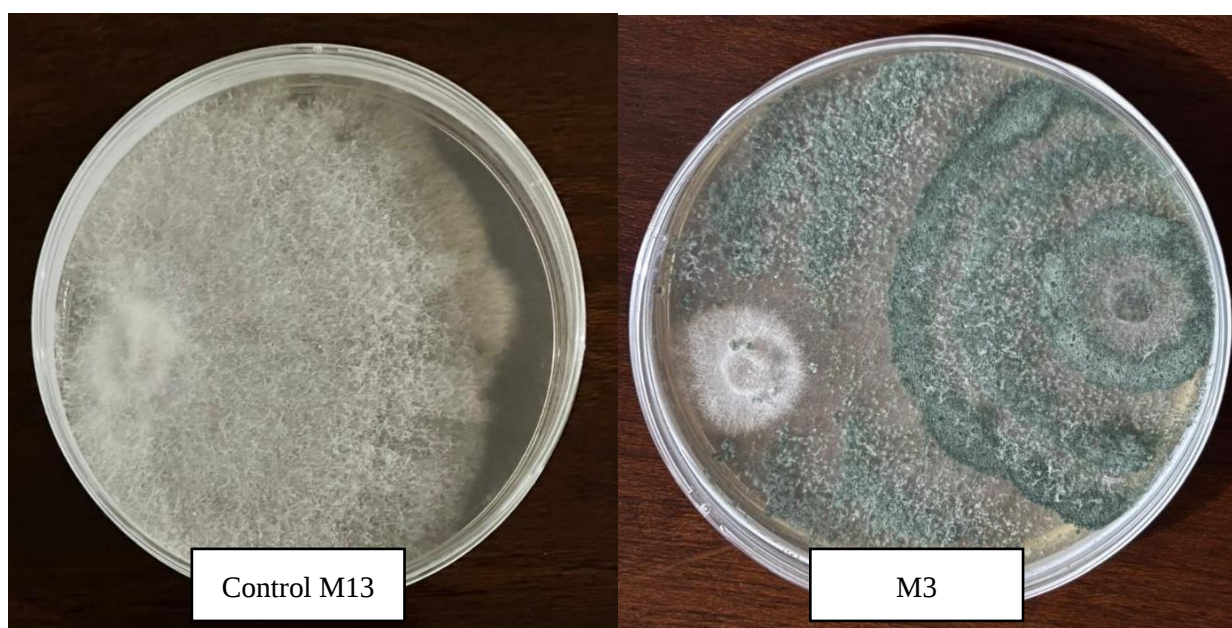


Figura 30 Inhibición del desarrollo micelial de *Fusarium* sp. M13 por acción de *Trichoderma* sp. M4 transcurridos 7 días de incubación.

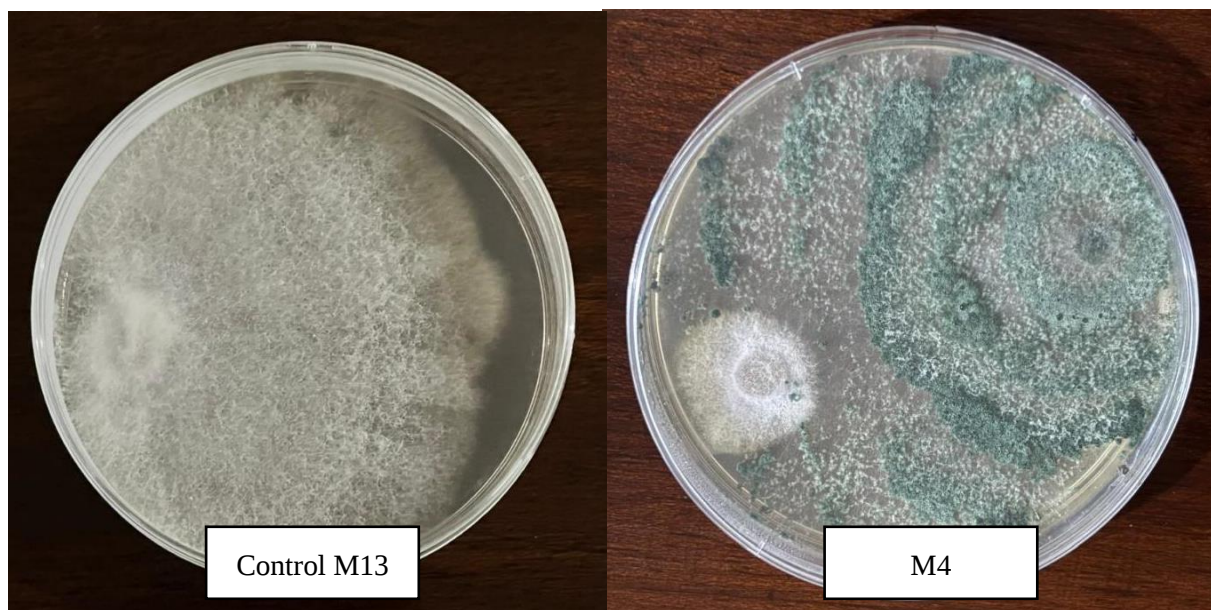


Figura 31 Inhibición del desarrollo micelial de *Fusarium* sp. M13 por acción de *Trichoderma* sp. M5 transcurridos 7 días de incubación.

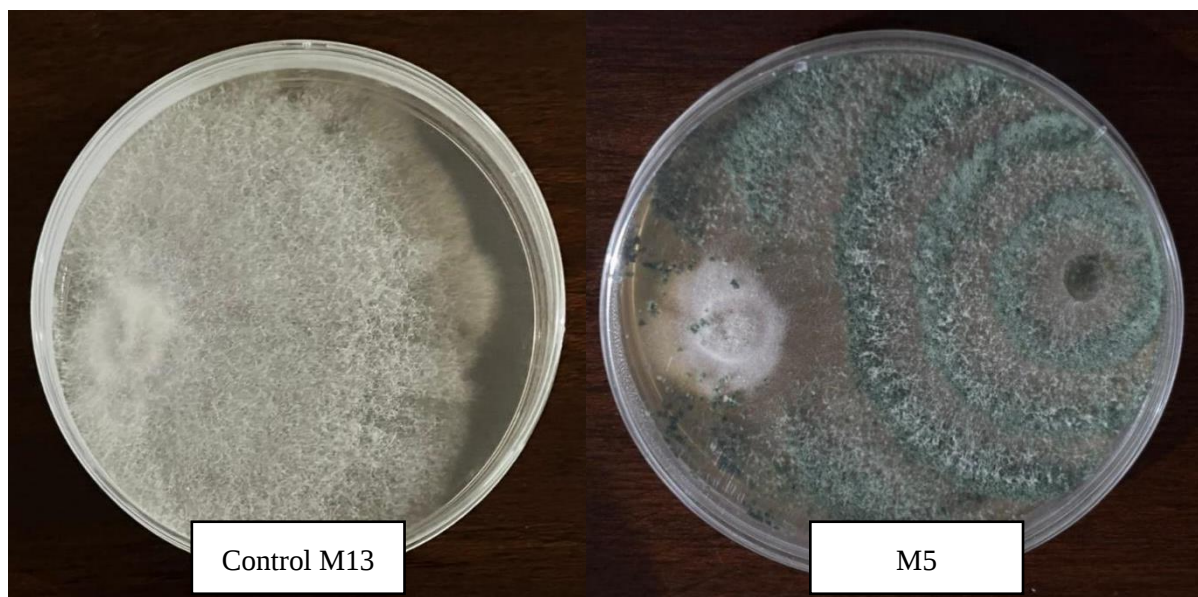


Figura 32 Inhibición del desarrollo micelial de *Fusarium* sp. M13 por acción de *Trichoderma* sp. M6 transcurridos 7 días de incubación.

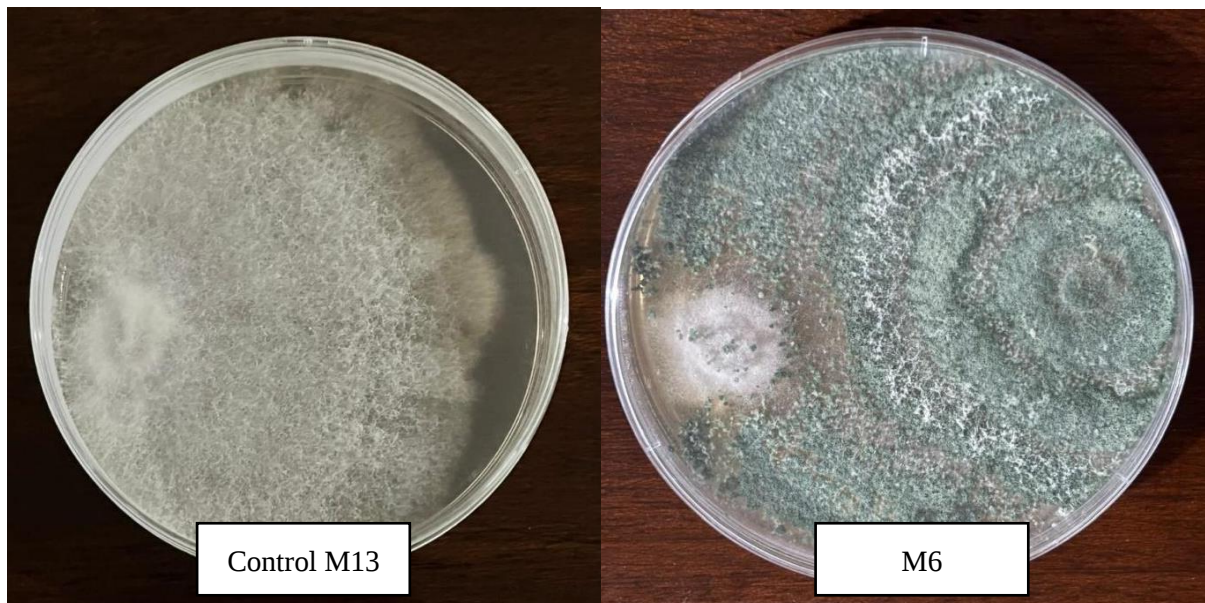


Figura 33

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M13 por acción de Trichoderma sp. M7 transcurridos 7 días de incubación.

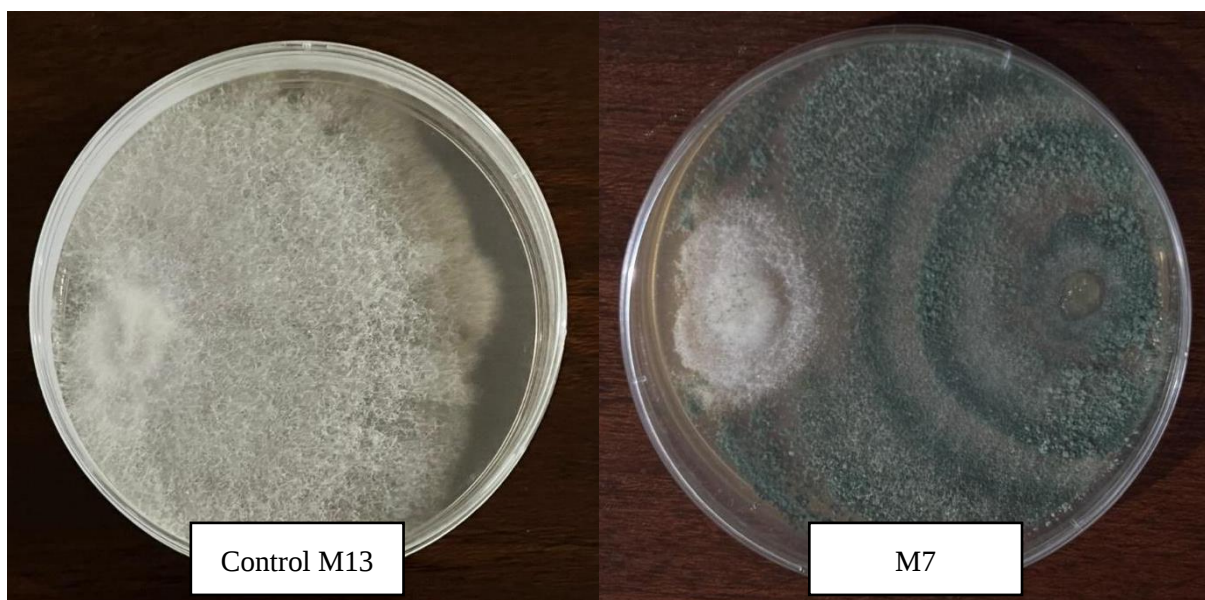


Tabla 15

Área de la colonia y porcentaje de inhibición del crecimiento de Fusarium sp. M13 por efecto de siete morfotipos de Trichoderma spp. tras de 7 días de incubación

Tratamientos	Área de la colonia (cm ²)				Área de inhibición (%)			
	r1	r2	r3	$\bar{x}$	r1	r2	r3	$\bar{x}$
Control	46,58	47,46	48,72	47,58	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trichoderma</i> sp. M1	0,86	1,20	1,06	1,04	98,20	97,49	97,78	97,82
<i>Trichoderma</i> sp. M2	1,41	0,87	1,09	1,12	97,05	98,18	97,71	97,65
<i>Trichoderma</i> sp. M3	1,21	0,90	1,04	1,05	97,46	98,12	97,81	97,79
<i>Trichoderma</i> sp. M4	1,47	0,93	1,10	1,17	96,91	98,05	97,68	97,55
<i>Trichoderma</i> sp. M5	1,25	1,09	2,18	1,51	97,36	97,70	95,42	96,83
<i>Trichoderma</i> sp. M6	1,86	1,44	1,63	1,64	96,10	96,97	96,56	96,55
<i>Trichoderma</i> sp. M7	1,44	1,59	1,47	1,50	96,98	96,65	96,91	96,85

Tabla 16 *Prueba de comparación múltiple de Tukey de la colonia de Fusarium spp. frente a siete morfotipos de Trichoderma spp.*

Tratamiento	7 días		
	Área (cm ²)	sd ($\pm$)	Significancia (p<0,05)
Control	47,58	1,07	b
<i>Trichoderma</i> sp. M1	1,04	0,17	a
<i>Trichoderma</i> sp. M2	1,12	0,27	a
<i>Trichoderma</i> sp. M3	1,05	0,15	a
<i>Trichoderma</i> sp. M4	1,17	0,27	a
<i>Trichoderma</i> sp. M5	1,51	0,58	a
<i>Trichoderma</i> sp. M6	1,64	0,2	a
<i>Trichoderma</i> sp. M7	1,5	0,08	a

Tabla 17

Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia de Fusarium sp. M13 frente a siete morfotipos de Trichoderma spp., según la escala de Bell, Lambayeque, 2025

Tratamiento	PICR (%)	Escala de Bell (grado)	Interpretación
<i>Trichoderma</i> sp. M1	95,64	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M2	95,34	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M3	95,71	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M4	95,00	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M5	93,48	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M6	92,67	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M7	93,22	3	Alta

3.3.3. Confrontación dual *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. M14

Figura 34

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M1 transcurridos 7 días de incubación.

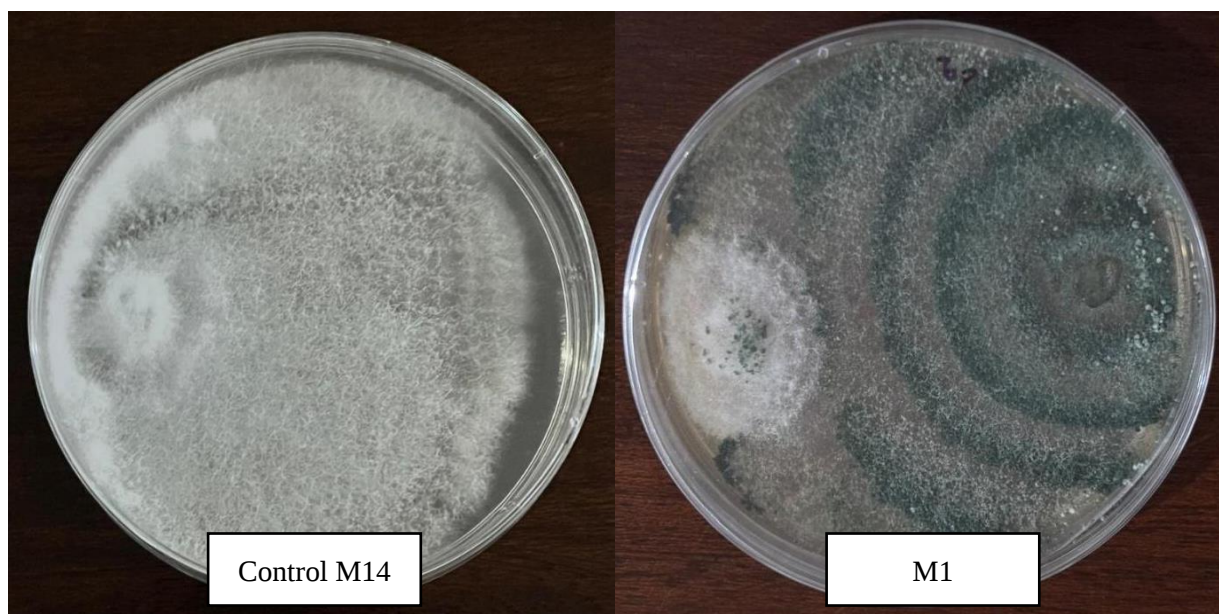


Figura 35

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M2 transcurridos 7 días de incubación.

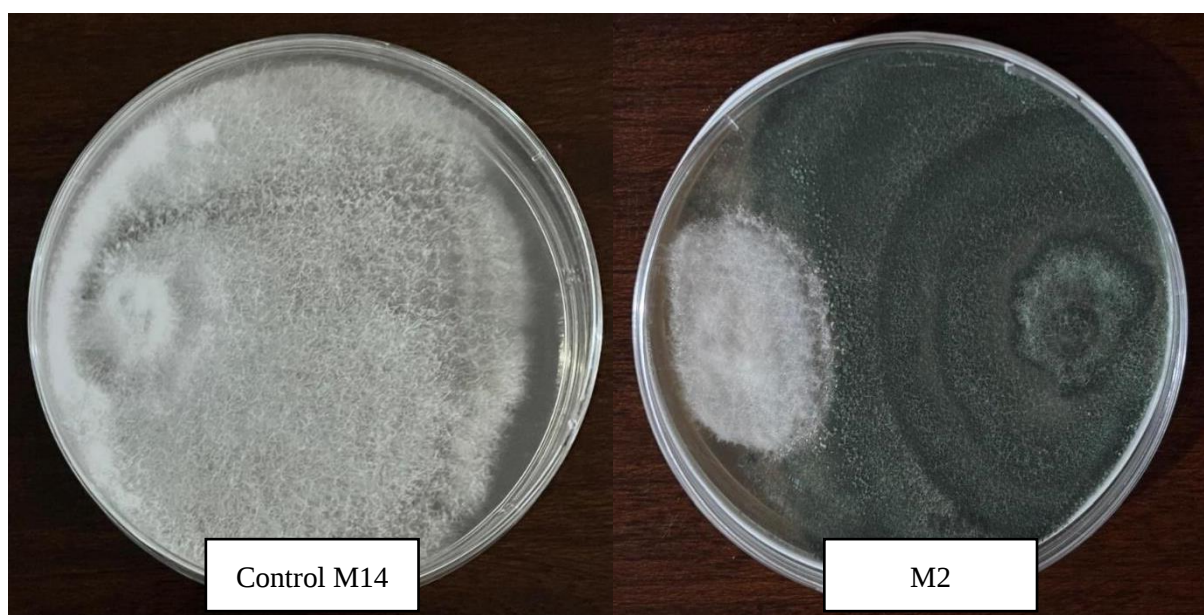


Figura 36

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M3 transcurridos 7 días de incubación.

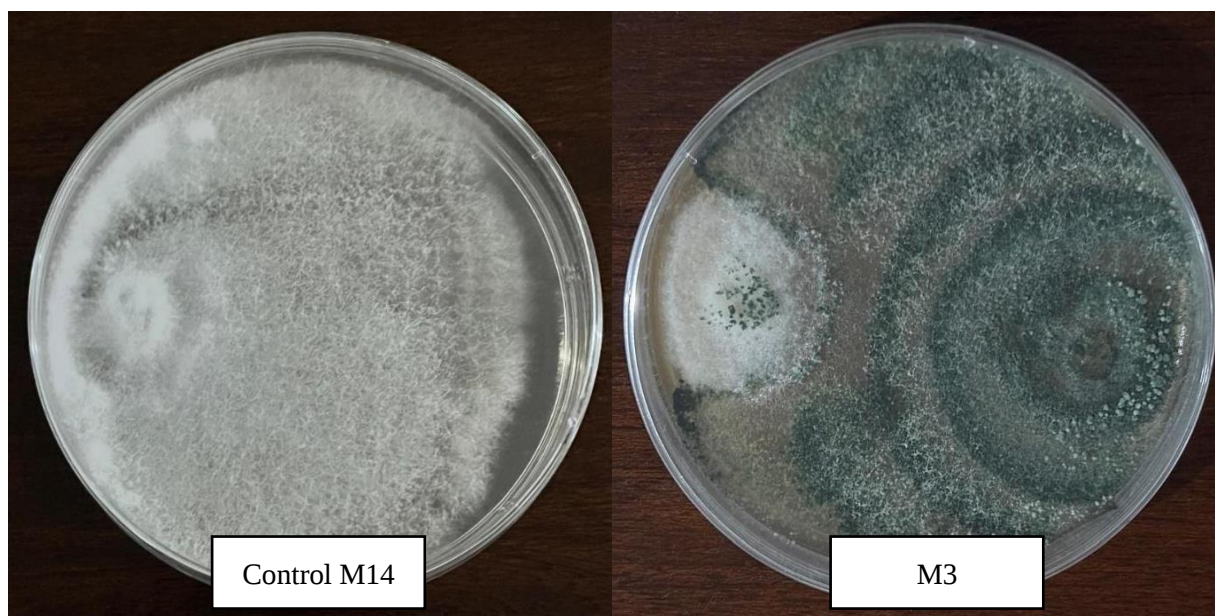


Figura 37

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M4 transcurridos 7 días de incubación.

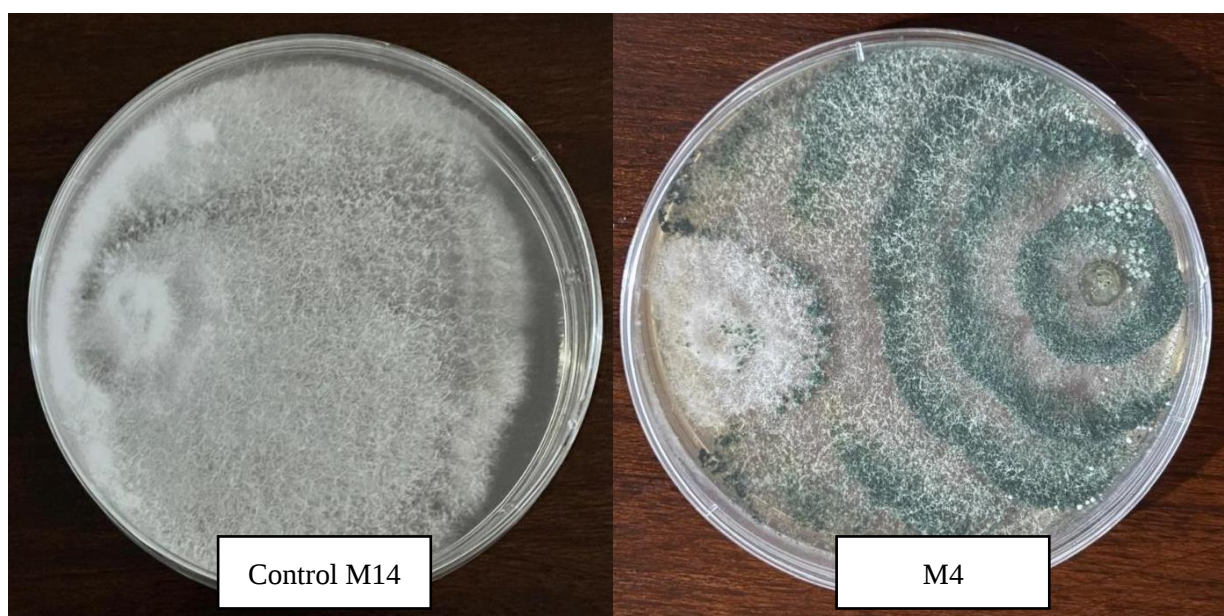


Figura 38

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M5 transcurridos 7 días de incubación.

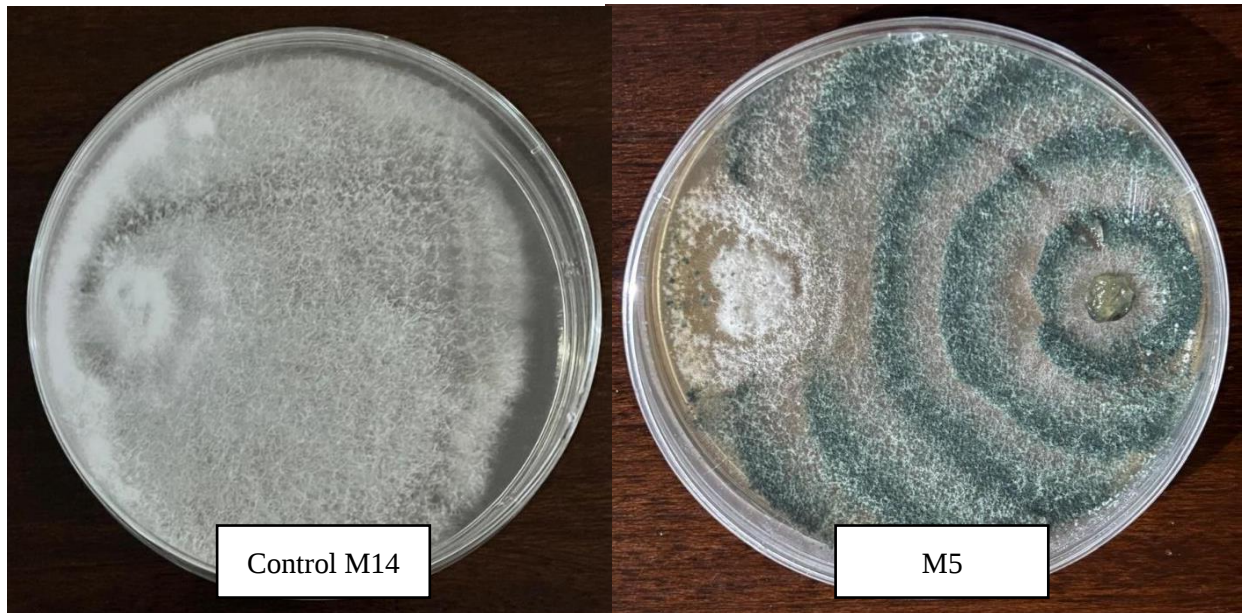


Figura 39

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M6 transcurridos 7 días de incubación.

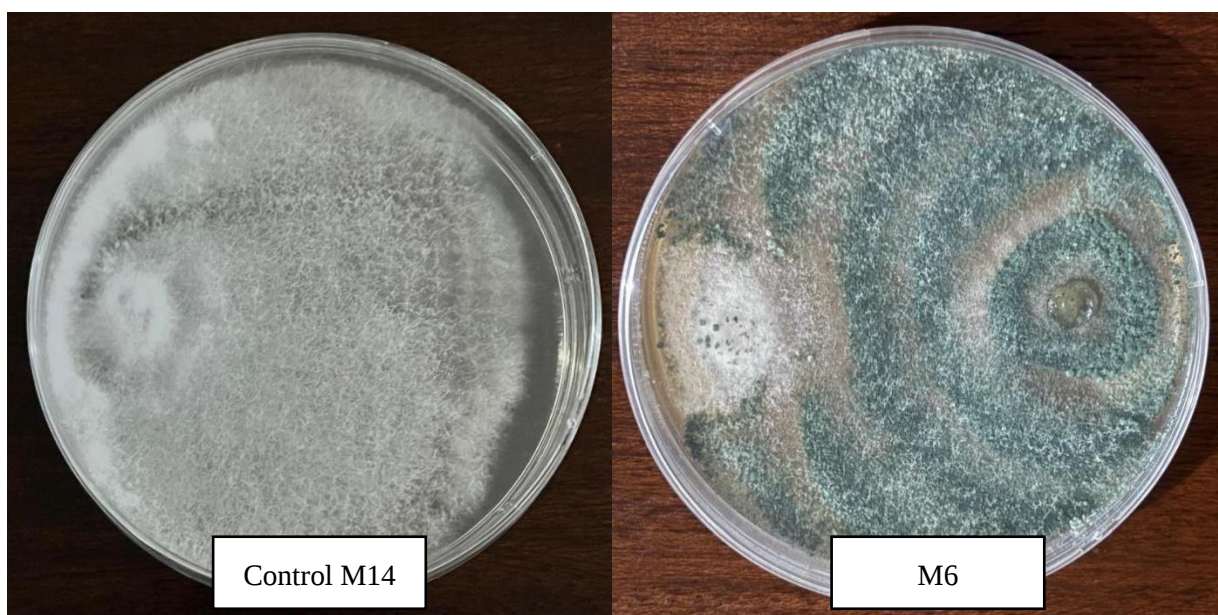


Figura 40

Inhibición del desarrollo micelial de Fusarium sp. M14 por acción de Trichoderma sp. M7 transcurridos 7 días de incubación.

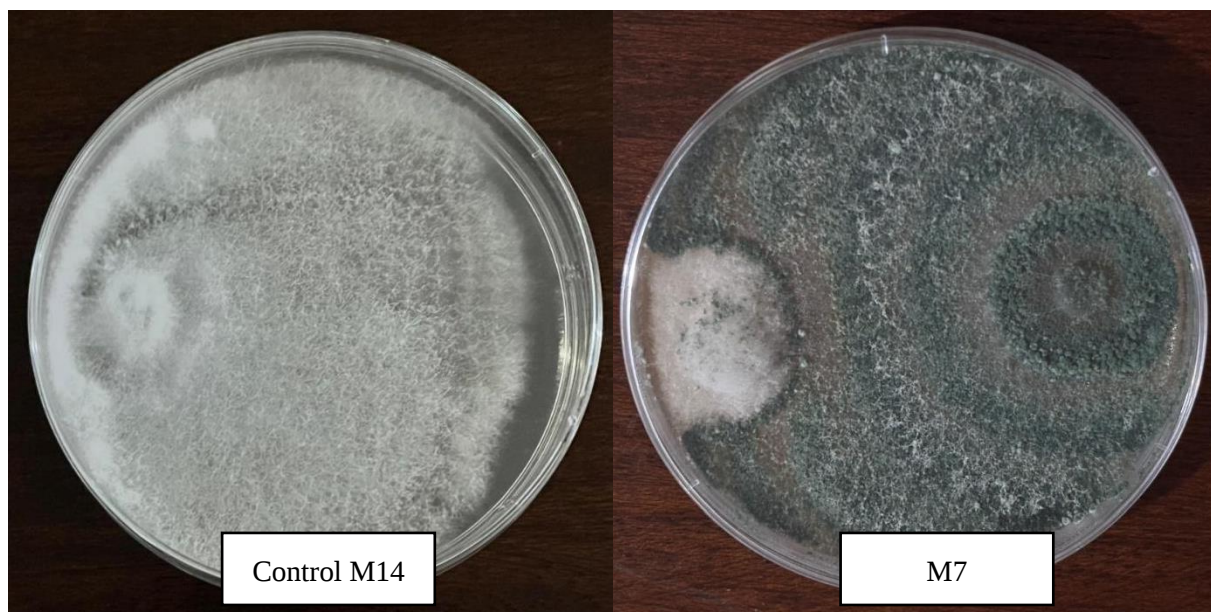


Tabla 18

Área de la colonia y porcentaje de inhibición del crecimiento de Fusarium sp. M14 por efecto de siete morfotipos de Trichoderma sp. tras 7 días de incubación

Tratamientos	Área de la colonia (cm ²)				Área de inhibición (%)			
	r1	r2	r3	$\bar{x}$	r1	r2	r3	$\bar{x}$
Control	48,11	51,12	50,22	49,82	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trichoderma</i> sp. M1	1,66	1,40	1,52	1,53	96,64	97,15	96,93	96,91
<i>Trichoderma</i> sp. M2	1,33	1,68	1,49	1,50	97,31	96,59	96,98	96,96
<i>Trichoderma</i> sp. M3	1,32	1,78	1,53	1,54	97,32	96,40	96,90	96,87
<i>Trichoderma</i> sp. M4	1,41	1,85	1,50	1,59	97,15	96,25	96,95	96,78
<i>Trichoderma</i> sp. M5	1,39	1,62	1,55	1,50	97,19	96,71	96,86	96,92
<i>Trichoderma</i> sp. M6	1,28	1,97	1,54	1,60	97,40	96,01	96,88	96,76
<i>Trichoderma</i> sp. M7	1,43	1,83	1,53	1,60	97,11	96,28	96,89	96,76

Tabla 19

Prueba de comparación múltiple de Tukey de la colonia de Fusarium sp. M14 frente a siete morfotipos de Trichoderma spp.

Tratamiento	7 días		
	Área (cm ²)	sd (±)	Significancia (p<0,05)
Control	49,32	0,59	b
<i>Trichoderma</i> sp. M1	1,52	0,12	a
<i>Trichoderma</i> sp. M2	1,49	0,17	a
<i>Trichoderma</i> sp. M3	1,54	0,22	a
<i>Trichoderma</i> sp. M4	1,58	0,23	a
<i>Trichoderma</i> sp. M5	1,51	0,12	a
<i>Trichoderma</i> sp. M6	1,59	0,34	a
<i>Trichoderma</i> sp. M7	1,59	0,21	a

Tabla 20

Porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia de Fusarium sp. M13 frente a siete morfotipos de Trichoderma spp., según la escala de Bell, Lambayeque, 2025

Tratamiento	PICR (%)	Escala de Bell (grado)	Interpretación
<i>Trichoderma</i> sp. M1	96,91	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M2	96,96	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M3	96,87	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M4	96,78	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M5	96,92	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M6	96,76	3	Alta
<i>Trichoderma</i> sp. M7	96,76	3	Alta

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

Los resultados microbiológicos obtenidos en la rizósfera del maíz guardan estrecha relación con los estudios realizados por Llanos-Olivera et al. (2026) y Rodríguez (2018), quienes también reportaron la coexistencia de *Trichoderma* spp., actuando como agente protector, y *Fusarium* spp., como hongo fitopatógeno. Estos autores abordaron la interacción con el objetivo de analizar la capacidad inhibitoria de *Trichoderma* frente a patologías que afectan la integridad del tallo, el sistema radicular y las mazorcas del cultivo. En el presente estudio, la recuperación simultánea de ambos géneros en la rizósfera de maíz en Illimo confirma ese patrón de coexistencia y sitúa la interacción biológica en el centro del mantenimiento de la sanidad vegetal. La observación de que *Trichoderma* y *Fusarium* ocupan simultáneamente el nicho rizosférico refuerza la idea de que la estabilidad fitosanitaria depende de la dinámica competitiva y de los mecanismos de exclusión que se establecen en la interfase raíz-suelo, tal como lo sostiene Llanos-Olivera et al. (2026). Desde la perspectiva de esta investigación, la coexistencia documentada no es un hecho neutral, sino el sustrato sobre el cual se expresa el potencial de biocontrol de cepas nativas de *Trichoderma* frente a aislamientos locales de *Fusarium*.

Taha et al. (2021) describe que la diversidad microbiana que coloniza el entorno de las raíces se categoriza habitualmente en grupos favorables y patógenos, dependiendo de su impacto sobre la sanidad vegetal. Tal como se muestra en los hallazgos del presente trabajo, la rizósfera muestreada en Illimo presenta esa dualidad funcional: por un lado, hongos saprófitos y antagonistas con efectos positivos sobre la planta; por otro, fitopatógenos que comprometen procesos críticos del desarrollo del maíz. La diversidad de hongos filamentosos identificada en la rizósfera de maíz muestra una predominancia de géneros saprófitos y fitopatógenos, lo cual guarda relación con lo descrito por Rodríguez (2018) y Pérez et al. (2021). Entre los taxones reportados en el cultivo de maíz, se identificaron géneros con potencial patogénico como *Fusarium* spp., coincidiendo con los hallazgos de Morán Barreiro (2022).

La presencia de hongos antagonistas resulta determinante, ya que no solo limitan la colonización de patógenos persistentes como *Fusarium* spp., sino que intervienen activamente en la fisiología de la planta al optimizar la germinación y fortalecer el anclaje radicular, lo que deriva en una mayor captación de recursos y un incremento neto de la biomasa (Vidal et al., 2021). Estos resultados apoyan esta interpretación: la alta frecuencia de *Trichoderma* en la rizósfera y su capacidad de inhibir el crecimiento de *Fusarium in vitro* sugieren que este antagonista no solo limita la expansión del patógeno, sino que podría estar contribuyendo

indirectamente a una mejor condición fisiológica de las plantas, ya que los organismos utilizados para el control biológico se localizan principalmente en el suelo rizosférico (Infante et al., 2009; Vidal et al., 2021). *Fusarium* spp. posee una plasticidad ecológica, este género se recupera tanto de muestras de suelo como de diversos tejidos vegetales afectados (Rodríguez, 2018; Morán Barreiro, 2022). Nuestros hallazgos confirman esa plasticidad: *Fusarium* se recuperó del suelo rizosférico y su comportamiento descrito en la literatura coincide con la amenaza planteada para el cultivo de maíz.

El control de *Fusarium* spp. por *Trichoderma* spp. se manifiesta mediante la supresión del crecimiento micelial y una reducción drástica en la producción de estructuras reproductivas del patógeno (Rodríguez, 2018), limitando así su capacidad de diseminación en el agroecosistema. Este antagonismo es atribuido a la alta agresividad competitiva de las cepas nativas por espacio y nutrientes, logrando una colonización eficiente del nicho rizosférico que desplaza al fitopatógeno (Rodríguez y Flores, 2018). Asimismo, la persistencia de este efecto protector se sustenta en la formación de clamidosporas, las cuales garantizan la supervivencia del biocontrolador frente a condiciones ambientales adversas (Vidal et al., 2021). Los resultados de esta investigación muestran que las cepas nativas de *Trichoderma* logran suprimir significativamente el crecimiento de *Fusarium*, *in vitro*, lo que sugiere que esos mecanismos competitivos y de persistencia están operando en los aislamientos evaluados.

La actividad antagónica de las cepas de *Trichoderma* spp. frente a los aislamientos M3, M13 y M14 de *Fusarium* spp. evidencia una alta capacidad de supresión del patógeno, lo que sugiere un marcado potencial biocontrolador. Este nivel de antagonismo se sitúa dentro de los rangos superiores documentados en estudios previos, siendo comparable con lo señalado por Llanos-Olivera et al. (2026), quienes registraron una inhibición de 84,94 %. La cercanía entre ambos resultados permite inferir que las cepas evaluadas presentan un desempeño competitivo similar al de cepas altamente eficientes de *Trichoderma harzianum*. Asimismo, estudios como los de Díaz (2019) y Taha et al. (2021) reportan niveles de inhibición menores, cercanos al 80%, mientras que Rodríguez (2018) evidenció valores considerablemente más bajos. Estas diferencias reflejan la variabilidad en la eficacia antagonista de *Trichoderma*, sujeta a variables tales como el tipo de cepa, el agente patógeno y el entorno experimental. En este sentido, la respuesta observada en el presente estudio sugiere que los aislamientos evaluados poseen características que favorecen una interacción más eficiente frente a *Fusarium* spp. La comparabilidad de nuestros resultados con Saravanakumar et al. (2017) refuerza la validez de las cepas nativas como candidatas para biocontrol y sugiere que la eficacia observada no es un fenómeno aislado, sino que corresponde a un potencial real que puede ser aprovechado

agronómicamente. La variabilidad reportada entre estudios también indica que la selección de cepas debe considerar el origen geográfico y la adaptación local, ya que las cepas de Illimo muestran ventajas frente a *Fusarium* local.

Por otro lado, el morfotipo *Fusarium* sp. M13 presentó una ligera reducción en la eficacia antagonista, particularmente en la fase inicial de evaluación, sin embargo, al avanzar el tiempo de incubación, la inhibición se incrementó, lo que evidencia que *Trichoderma* requiere un periodo de establecimiento para expresar plenamente sus mecanismos de acción, tal conducta concuerda con Infante et al. (2009), quienes indican que la disputa por recursos y la secreción de enzimas degradativas aumentan con la colonización del antagonista. Este hallazgo es significativo porque sugiere que la eficacia del biocontrol en campo dependerá de la aplicación temprana y de la posibilidad de que *Trichoderma* colonice la rizósfera antes de que el patógeno establezca colonización extensiva.

Un aspecto relevante es que, a pesar de la alta inhibición del crecimiento micelial, la totalidad de cepas se ubicaron en el grado 3 de la escala de Bell, lo que indica una limitación del crecimiento del patógeno sin llegar a su sobrecrecimiento total. Este comportamiento sugiere que la interacción estuvo dominada por mecanismos indirectos, el entorno y el alimento, sumada a la secreción de sustancias metabólicas, más que por un micoparasitismo activo. Esta interpretación se sustenta en lo descrito por Infante et al. (2009), Vidal et al. (2021) y Yao et al. (2023), quienes señalan que *Trichoderma* puede ejercer un efecto fungistático significativo mediante la rápida colonización del medio y la secreción de compuestos inhibidores que afectan el desarrollo del patógeno.

La elevada inhibición observada en los tres aislamientos de *Fusarium* respalda la acción combinada de múltiples mecanismos antagonistas. El control del patógeno inicia con la restricción de nutrientes y área, seguida de una reducción continua mediante micoparasitismo y producción de compuestos fungicidas. Dichos hallazgos coinciden con lo descrito por Vidal et al. (2021), quienes destacan que *Trichoderma* actúa mediante estrategias complementarias que incrementan su capacidad de control biológico, demostrando el uso de cepas de *Trichoderma* para reemplazar los fungicidas sintéticos en el manejo de *Fusarium*, en concordancia con lo planteado por Morán (2022), quien destaca la necesidad de reducir el uso de fungicidas debido a sus efectos negativos.

En síntesis, los hallazgos de esta investigación confirman que la rizósfera de maíz en Illimo alberga cepas nativas de *Trichoderma* con alta capacidad de inhibición de aislamientos locales de *Fusarium* (M3, M13, M14), y que esa capacidad se manifiesta mediante mecanismos competitivos y fungistáticos que coinciden con los descritos por autores previos. La

consistencia de los resultados con estudios como Llanos-Olivera et al. (2026) y Vidal et al. (2021) refuerza la validez de las cepas nativas como candidatas para biocontrol, mientras que la dinámica temporal observada en M13 y la ubicación en grado 3 de la escala de Bell resaltan la necesidad de considerar el tiempo de establecimiento y la combinación de mecanismos para lograr control efectivo en campo.

CONCLUSIONES

En la rizósfera de maíz (*Zea mays* L.) obtenida de Illimo, se aislaron e identificaron *Trichoderma* spp. (39,46 %) y *Fusarium* spp. (55,69 %)

Los morfotipos M3, M13 y M14 de *Fusarium* spp. fueron los más patogénicos en invernadero, causando inhibición total de la emergencia de plántulas.

Todas las cepas de *Trichoderma* spp. superaron el criterio de selección (>50 %), con porcentajes de inhibición entre 92,67 % y 97,82 % frente a *Fusarium* spp., sin diferencias significativas entre ellas.

Las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron alta actividad antagónica in vitro contra *Fusarium* spp., con porcentajes de inhibición superiores al 92 % sobre los morfotipos más virulentos.

RECOMENDACIONES

- Identificar molecularmente las tres cepas de *Fusarium* spp. y siete cepas de *Trichoderma* spp.
- Realizar ensayos *in vivo* para validar la eficacia de las cepas antagonistas bajo condiciones más cercanas a la realidad agrícola.
- Evaluar la secreción de metabolitos con capacidad inhibitoria frente a hongos por parte de especies de *Trichoderma*.
- Evaluar diferentes concentraciones de esporas de *Fusarium* en presencia o no de diferentes concentraciones del antagonista, para determinar el efecto de las mismas sobre el patógeno.

REFERENCIAS

- Arispe, J., Hernández, A., Castro, E., Aguirre, L., Cerna, E. y Ochoa, Y. (2023). Fusarium species in maize grains and stems (*Zea mays* L.) from subsistence and commercial systems. *Nova Scientia*, 15(30), 1-23. <https://doi.org/10.21640/ns.v15i30.3166>
- Barillot, C., Sarde, C. O., Bert, V., Tarnaud, E. y Cochet, N. (2012). A standardized method for the sampling of rhizosphere and rhizoplane soil fractions at different soil depths. *Annals of Microbiology*, 62(3), 711–720. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0491-y>
- Bell, D. K., Wells, H. D. y Markham, C. R. (1982). In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*, 72(4), 379–382. <https://doi.org/10.1094/Phyto-72-379>
- Castro del Ángel, E. (2013). *Control de Fusarium verticillioides en genotipos de maíz con especies de Trichoderma bajo condiciones de campo* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7086/Castro%20Del%20Angel,%20Epifanio.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Cortés-Hernández, F. C., Alvarado-Castillo, G. y Sánchez-Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 73-87. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- Díaz, Y. (2019). *Aislamiento y caracterización de cepas nativas de Bacillus spp y Trichoderma spp de la rizósfera de café con potencial antagonista frente a Fusarium oxysporum*

del valle de Monzón – Huánuco-Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10188>

Ducos, C., Pinson, L., Chereau, S., Richard, F., Vásquez, P., Cerapio, J. P., Casavilca, S., Ruiz, E., Pineau, P., Bertani, S. y Ponts, N. (2021). Natural occurrence of mycotoxin-producing *Fusaria* in market-bought Peruvian cereals: A food safety threat for Andean populations. *Toxins*, 13(2), Article 172. <https://doi.org/10.3390/toxins13020172>

Estrada, R., Aragón, L. y Pérez, W. E. (2024). Draft genome sequence data of *Fusarium verticillioides* strain isolated from maize (INIA 627) in Lambayeque, Peru. *Data in Brief*, 57, Article 110951. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110951>

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. y Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ada%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87, 4–10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>

Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista Protección Vegetal*, 24(1), 16–26. <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/download/542/670/27>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Producción de maíz amarillo duro en Lambayeque*.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022). *Cladosporium spp*. Ministerio de Trabajo y Economía Social. <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/cladosporium-spp>
- Jaibangyang, S., Nasanit, R. y Limtong, S. (2020). Biological control of aflatoxin-producing *Aspergillus flavus* by volatile organic compound-producing antagonistic yeasts. *Biocontrol*, 65, 377–386. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-09996-9>
- Leslie, J. F. y Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Llanos-Olivera C, Sánchez-Purihuamán M, Barturen-Quispe A, Vásquez-Llanos S, Caro-Castro J, Paiva DWL, Carreño-Farfán C. Biocontrol potential of bacteria and fungi isolated from Zea mays L. (Maize) grains against fumonisins produced by Fusarium verticillioides. J Appl Biol Biotech 2026. Article in Press. <http://doi.org/10.7324/JABB.2026.313156>
- Llontop Barandiarán, G. (2009). *Efecto de la inoculación de cultivos nativos de Trichoderma spp. como biocontroladores en el desarrollo y rendimiento de tres cultivos agrícolas en Mochumí, Lambayeque, Perú* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3973>
- López, C. y González, P. A. (2004). Selección de cepas nativas de *Trichoderma* spp. con actividad antagónica sobre *Phytophthora capsici* Leonian y promotoras de crecimiento en el cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(1), 117–124. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61222115.pdf>

- Marín Gil, D. S. (2024). *Intensidad y distribución espacial de la marchitez por Fusarium en maíz en Perú* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6629>
- Mónaco, C. I. y Larrán, S. (2024). Antagonistas microbianos como agentes de biocontrol. En P. A. Balatti y C. I. Mónaco (Eds.), *Introducción a la Fitopatología Vegetal* (pp. 191–208). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/181262>
- Morán Barreiro, J. J. (2022). *Principales fungicidas químicos para el control del hongo Fusarium verticillioides, que afectan en el cultivo de maíz (Zea mays L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional UTB. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/43000/6817>
- Pacchioni Carranza, S. C. (2020). *Efecto de la aplicación de tres dosis de Trichoderma harzianum en el control de Fusarium verticillioides en maíz variedad PMC 561, en la localidad de Marcará – Callejón de Huaylas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_5528d454c49a9614d2a3e23364cdc485
- Pérez-Reyes, M. C. J., Sánchez-Hernández, G., Martínez-Flores, R., Espinosa-Rodríguez, J. y Garza-Rivera, J. L. (2021). *Mohos productores de micotoxinas*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. https://masam.cuautitlan.unam.mx/mohos_toxigenos_unigras/index.html
- Rodríguez Martínez, I. C. (2018). Capacidad antagónica de aislamientos nativos y comerciales de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium verticillioides* y *Aspergillus flavus* aislados de

- maíz. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)*, 44(1), 19–27. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/21187
- Rodríguez, I. C. y Flores, J. (2018). Capacidad antagónica in vitro de *Trichoderma* spp. frente a *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Fusarium verticillioides* Nirenberg. *Bioagro*, 30(1), 49–58. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100005&lng=es&tlng=es
- Rodríguez del Bosque, L. A. y Arredondo Bernal, H. C. (2007). *Teoría y aplicación del control biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico.
- Samuels, G. J., Chaverri, P. y Farr, D. F. (2007). *Trichoderma Online*. Systematic Botany & Mycology Laboratory, ARS, USDA. <http://nt.ars-grin.gov/taxadescriptions/keys/TrichodermaIndex.cfm>
- Saravanakumar, K., Li, Y., Yu, C., Wang, Q.-q., Wang, M., Sun, J., Gao, J.-x. y Chen, J. (2017). Effect of *Trichoderma harzianum* on maize rhizosphere microbiome and biocontrol of *Fusarium* stalk rot. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1771. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5431858/>
- Seifert, K. A. (1996). *FusKey: Fusarium interactive key*. Agriculture and Agri-Food Canada. <http://sis.agr.gc.ca/brd/fusarium/home1.html>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2020). *Guía para la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz amarillo duro*. <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2020/07/Guia-BPA-MAIZ-AMARILLO-DURO.pdf>

- Singh, H., Kaur, H., Hunjan, M. S. y Sharma, S. (2025). Unveiling toxigenic *Fusarium* species causing maize ear rot: Insights into fumonisin production potential. *Frontiers in Plant Science*, 16, Article 1516644. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1516644>
- Solórzano, J. A., Vélez, S. M. y Vélez, J. B. (2024). *Fusarium* spp. in corn crops: Identification, geographic distribution, symptoms, mycotoxins, disease cycle, control, and current and future challenges. *Scientia Agropecuaria*, 15(4), 537-556. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.040>
- Taha, Y. M., Abdel-Fattah, M. A., Al-Askar, A. A., Sayed, R. M. y Mostafa, R. A. (2021). Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro. *Journal of King Saud University - Science*, 33(4), Article 101363. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101363>
- Tapia, C. y Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista Chilena de Infectología*, 31(1), 85-86. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-10182014000100012&script=sci_arttext
- Tian, H., Drijber, R. A. y Li, X. (2019). Rhizospheric soil sampling techniques for microbial community analysis. *Soil Biology & Biochemistry*, 134, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.0085>
- Velásquez, E., Chávez, W. y Paredes, D. (2018). *Manual de métodos para el estudio de la biodiversidad microbiana del suelo*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/436>
- Vidal-Martínez, N. A., Argumedo-Delira, R., Sánchez-Pale, J. R., Chiquito-Contreras, R. G., González-Mendoza, D. y Sánchez-Viveros, G. (2021). Microorganismos antagonistas: una alternativa para el control biológico de enfermedades fúngicas presentes en el

cultivo de café (*Coffea arabica* L.). *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 117(3), 214-226. <https://doi.org/10.12706/ITEA.2020.042>

Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J. y Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, Article 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>

ANEXOS

ANEXO 01

Tabla 21 *Identificación de hongos filamentosos aislados de Zea mays L.*

Género	Características macroscópicas	Características microscópicas
--------	-------------------------------	-------------------------------

<i>Fusarium</i> spp.	Colonias de diversidad cromática, variando entre blanco, gris, marrón, violáceo, anaranjado o rojizo; algodonosas, lanosas o vellosas. (Tapia y Amaro, 2014)	Presenta órganos reproductores en forma de botella, que pueden ser sencillos o ramificados y contar con una o múltiples zonas de salida. Sus esporas mayores destacan por su curvatura tipo medialuna, su apariencia cristalina y su segmentación por tabiques (Leslie & Summerell, 2006) y (Seifert, 1996)
<i>Trichoderma</i> spp.	Colonias de verde oscuro a claro, a veces amarillento; algodonosas al principio, granulares o pulverulentas al final. Reverso incoloro o verde amarillento. (Cortes, Alvarado y Sánchez; 2024)	Hifas hialinas, septadas y ramificadas; conidióforo ramificado en forma de pirámides. Fiálides generalmente cortas, solas o en grupos. Conidios globosos o elipsoidal (Samuels et al., 2007)
<i>Penicillium</i> spp.	Colonias filamentosas de crecimiento rápido, inicialmente blancas y luego verde-azuladas, grises o rosadas, textura aterciopelada, pulverulenta o algodonosa. (Pérez et al., 2021)	Hifas septadas hialinas y conidióforos erectos que se ramifican en fiálides, formando un característico penacho o pincel con cadenas de conidios. (Pérez et al., 2021)
<i>Aspergillus</i> spp.	Diferentes tonalidades, blanco, amarillo, corea, canela; textura flocosa, lanosa o granular. Reverso de tonalidades de amarillo, naranja, café. (Pérez et al., 2021)	Conidios blásticos y catenulados basípetos; vesícula esferoidal, piriforme, espatuliforme o claviforme; Conidios globosos o elipsoidales. (Pérez et al., 2021)

<i>Cladosporium</i> spp.	Colonias pulverulentas, vellosas o aterciopeladas, presenta surcos que se extienden desde el centro, con una coloración inicial blanca o amarillenta que evoluciona hacia tonalidades oliva, grisáceas o pardas. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 2022).	Hifas finas y septadas, conidióforos erectos y conidias elipsoides o cilíndricos, en cadenas ramificadas, con estructuras conidiógenas nodulosas y conidias elipsoidales, verrugosas, de color pardo pálido. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 2022).
--------------------------	---	---