

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

Aislamiento, caracterización y capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L., Ayacucho - 2025

Para optar el título profesional de:
INGENIERA AGRÓNOMA

PRESENTADO POR:

Bach. Lubia MAULI CAVEZAS

ASESORA:

M.Sc. Angela Juana REQUIS QUINTANILLA

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios, por su infinita bondad al otorgarme la vida, la salud y las bendiciones que han hecho posible la culminación de mis objetivos.

A mi madre Paulina, por su amor y su influencia positiva que dejó una huella imborrable en mi vida, en mi desarrollo personal y profesional.

A mis abuelos Francisco y Roberta, por su constante apoyo y aliento que fueron fundamentales para poder lograr mis metas.

A mi hermano Yeferson, quien fue una fuente constante de alegría y apoyo

LMC

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi Alma Mater. A la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela Profesional de Agronomía, y a sus docentes, quienes con su conocimiento, experiencia, entusiasmo y enseñanza fueron guías invaluable en mi proceso académico, contribuyendo a mi crecimiento y desarrollo profesional.

A la M.Sc. Ángela Juana Requis Quintanilla, asesora de este trabajo, por su orientación constante, su apoyo generoso y su paciencia en cada etapa de la investigación. Su guía fue esencial para la culminación de este proyecto.

Al proyecto FOCAM, por el apoyo financiero brindado, así como al Laboratorio de Fitopatología y al Laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal, por la disponibilidad inmediata y acceso a sus equipos, lo cual fue esencial para la ejecución de este estudio.

A mi familia, por su amor incondicional y su fe en mí; a mis amigos y compañeros, por su apoyo y compañía en este camino; y a todas las personas que, de una u otra forma, aportaron a la culminación de esta meta.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.1.1. A nivel internacional.....	3
1.1.2. A nivel nacional	6
1.1.3. A nivel local	6
1.2. Generalidades de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	7
1.2.1. Origen.....	7
1.2.2. Taxonomía	8
1.2.3. Importancia.....	8
1.2.4. Algunos fitopatógenos asociados a la papa	9
1.3. Fusarium	9
1.3.1. Taxonomía	10
1.3.2. Características morfológicas de <i>Fusarium sp.</i>	10
1.3.3. Ciclo de vida de <i>Fusarium sp.</i>	11
1.3.4. Especies patógenos del género <i>Fusarium</i>	12
1.4. Alternaria	12
1.4.1. Taxonomía	13
1.4.2. Características morfológicas de <i>Alternaria sp.</i>	13
1.4.3. Ciclo de vida de <i>Alternaria sp.</i>	14
1.4.4. Especies del género <i>Alternaria</i>	14
1.5 Trichoderma	15

1.5.1.	<i>Taxonomía</i>	16
1.5.2.	<i>Características morfológicas de Trichoderma spp.</i>	16
1.5.3.	<i>Mecanismo de acción de Trichoderma</i>	17
1.5.4.	<i>Condiciones de crecimiento de Trichoderma</i>	18
CAPÍTULO II		19
METODOLOGÍA		19
2.1.	Ubicación	19
2.1.1.	<i>Fase de campo</i>	19
2.1.2.	<i>Fase laboratorio</i>	20
2.2.	Materiales y equipos	22
2.2.1.	<i>Material biológico</i>	22
2.2.2.	<i>Materiales de campo</i>	22
2.2.3.	<i>Materiales de laboratorio</i>	22
2.2.4.	<i>Equipos</i>	22
2.3.	Colección de muestras	23
2.3.1.	<i>Colección de muestras de suelo</i>	23
2.3.2.	<i>Colección de muestra vegetal</i>	26
2.4.	Aislamiento	27
2.4.1.	<i>Aislamiento de cepas de Trichoderma spp.</i>	27
2.4.2.	<i>Aislamiento de los hongos fitopatógenos</i>	28
2.5.	Conservación	29
2.6.	Activación de las cepas	30
2.7.	Caracterización morfológica	30
2.7.1.	<i>Caracterización morfológica de Trichoderma spp.</i>	30
2.7.2.	<i>Caracterización morfológica de los hongos fitopatógenos</i>	31
2.8.	Conteo de conidio de Trichoderma	32
2.9.	Selección de Trichoderma para prueba antagónica	32
2.10.	Prueba antagónica	33
2.11.	Prueba molecular de cepas antagónicas	34
2.11.1.	<i>Extracción de ADN</i>	35
2.11.2.	<i>Pre-PCR</i>	36
2.11.3.	<i>PCR</i>	37

2.11.4.	<i>Electroforesis en gel</i>	37
2.11.5.	<i>Secuenciamiento de ADN</i>	37
2.12.	Análisis estadístico	37
2.13.	Tipo de investigación	37
2.14.	Diseño experimental	38
CAPÍTULO III.....		39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
3.1.	Aislamiento	39
3.1.1.	<i>Aislamiento de cepas nativas de Trichoderma spp.</i>	39
3.1.2.	<i>Aislamiento de los hongos fitopatógenos</i>	41
3.2.	Características.....	41
3.2.1.	<i>Características de las cepas nativas de Trichoderma spp.</i>	41
3.2.2.	<i>Características morfológicas de Fusarium sp.</i>	55
3.2.3.	<i>Características morfológicas de Alternaria sp.</i>	57
3.3.	Capacidad antagónica de cepas nativas de <i>Trichoderma spp.</i>	60
3.3.1	<i>Capacidad antagónica de cepas nativas de Trichoderma spp. sobre Fusarium sp.</i>	61
3.3.2.	<i>Capacidad antagónica de cepas nativas de Trichoderma spp. sobre Alternaria sp.</i>	64
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		71
ANEXOS		81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Tantacocha.....	23
Tabla 2.2	Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Unión Minas.....	24
Tabla 2.3	Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Rayanccasa	25
Tabla 2.4	Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Churrulla.....	25
Tabla 2.5	Muestras de suelo obtenidos de la comunidad campesina de Polanco.....	26
Tabla 2.6	Escala de categoría de inhibición de crecimiento PICR.....	34
Tabla 2.7	Preparación de mezcla maestra para amplificación.....	36
Tabla 3.1	Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Unión Minas	39
Tabla 3.2	Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Rayanccasa.....	40
Tabla 3.3	Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Churulla	40
Tabla 3.4	Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Polanco.....	40
Tabla 3.5	Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Tantacocha	40
Tabla 3.6	Hongos fitopatógenos aislados	41
Tabla 3.7	Características morfológicas de las 73 cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp.....	48
Tabla 3.8	Cantidad de conidio, llenado y esporulación de las 73 cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp.	52
Tabla 3.9	Identificación a nivel especie de las 4 cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp.....	54
Tabla 3.10	Cepas seleccionadas para prueba antagonica	60
Tabla 3.11	Categoría de antagonismo de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre <i>Fusarium</i> sp.....	61
Tabla 3.12	ANOVA de PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre F1.....	61
Tabla 3.13	ANOVA de PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre F2.....	63
Tabla 3.14	Categoría de antagonismo de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre <i>Alternaria</i> sp.....	64
Tabla 3.15	ANOVA de PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre A1	65
Tabla 3.16	ANOVA de PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre A2.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Mapa del distrito de Tambo	20
Figura 2.2	Mapa de la ubicación del laboratorio de Fitopatología.....	21
Figura 2.3	Obtención de submuestras de suelo de una parcela agrícola	23
Figura 2.4	Material vegetal colectado de un campo de cultivo de papa.....	27
Figura 2.5	Técnica de cultivo dual	34
Figura 3.1	Cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp	41
Figura 3.2	<i>Trichoderma</i> spp.	45
Figura 3.3	Estructuras microscópica de <i>Trichoderma</i> spp.	46
Figura 3.4	Electroforesis del gen ITS de las 4 cepas seleccionadas.....	54
Figura 3.5	<i>Fusarium</i> sp. (F1).....	55
Figura 3.6	<i>Fusarium</i> sp. (F2).....	55
Figura 3.7	Conidio de <i>Fusarium</i> sp. (F1 y F2).....	56
Figura 3.8	<i>Alternaria</i> sp. (A1).....	57
Figura 3.9	<i>Alternaria</i> sp. (A2).....	58
Figura 3.10	Conidio de <i>Alternaria</i> sp. (A1 y A2).....	59
Figura 3.11	Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre F1	62
Figura 3.12	Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre F2	63
Figura 3.13	Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre A1	65
Figura 3.14	Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. sobre A2	66
Figura 3.15	Prueba antagonica al séptimo día.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico.....	82
Anexo 2. Panel fotográfico de las parcelas con su altitud.....	86
Anexo 3. Panel fotográfico de las zonas de muestreo de suelo.....	88
Anexo 4. Proceso de preparación de medio de cultivo	89
Anexo 5. Proceso del aislamiento y conservación de <i>Trichoderma</i> spp.....	90
Anexo 6. Proceso de aislamiento y conservación de los patógenos <i>Fusarium</i> sp y <i>Alternaria</i> sp.	91
Anexo 7. Proceso del conteo de conidios de las cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp.	92
Anexo 8. Procesos para prueba molecular	93
Anexo 9. Características microscópicas de las 73 cepa nativas de <i>Trichoderma</i> spp.....	94
Anexo 10. Medida del crecimiento diaria de la colonia de las 73 cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp.	102
Anexo 11. Medidas del crecimiento diaria de <i>Fusarium</i> sp. (F1 y F2) y <i>Alternaria</i> sp. (A1 y A2).....	104
Anexo 12. Medidas del tamaño del macroconidio de <i>Alternara</i> sp. y <i>Fusarium</i> sp.....	105
Anexo 13. Medidas del tamaño de fiálide y conidio de las 73 cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp.	105
Anexo 14. Ruta de identificación para <i>Alternaria</i>	106
Anexo 15. Ruta de identificación para <i>Fusarium</i>	107
Anexo 16. Ruta de identificación para <i>Trichoderma</i>	107
Anexo 17. Prueba de Tukey del PICR sobre F1.....	108
Anexo 18. Prueba de Tukey del PICR sobre F2.....	108
Anexo 19. Prueba de Tukey del PICR sobre A1	109
Anexo 20. Prueba de Tukey del PICR sobre A1	109
Anexo 21. Crecimiento diario de la colonia de <i>Alternaria</i> sp. (A1 y A2)	110
Anexo 22. Crecimiento diario de la colonia de <i>Fusarium</i> sp. (F1 y F2).....	111
Anexo 23. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M12 vs A1 y A2.....	112
Anexo 24. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M16 vs A1 y A2.....	113
Anexo 25. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M19 vs A1 y A2.....	114
Anexo 26. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M8.3 vs A1 y A2.....	115
Anexo 27. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M12 vs A1 y A2.....	116
Anexo 28. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M12.2 vs A1 y A2.....	117
Anexo 29. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M1.2 vs A1 y A2.....	118
Anexo 30. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M2.2 vs A1 y A2.....	119

Anexo 31. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M5 vs A1 y A2.....	120
Anexo 32. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa CH-M2 vs A1 y A2	121
Anexo 33. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M12 vs F1 y F2.....	122
Anexo 34. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M16 vs F1 y F2.....	123
Anexo 35. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M19 vs F1 y F2.....	124
Anexo 36. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M8.3 vs F1 y F2	125
Anexo 37. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M11.1 vs F1 y F2	126
Anexo 38. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M12.2 vs F1 y F2	127
Anexo 39. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M1.2 vs F1 y F2.....	128
Anexo 40. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M2.2 vs F1 y F2.....	129
Anexo 41. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M5 vs F1 y F2.....	130
Anexo 42. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa CH-M2 vs F1 y F2.....	131

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo aislar, caracterizar y determinar la capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L. El estudio se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA) con cinco repeticiones. Las cepas de *Trichoderma* spp. fueron aisladas a partir de muestras de suelo obtenidas de parcelas agrícolas de las comunidades campesinas de Unión Minas, Rayanccasa, Churulla, Polanco y Tantacocha, ubicadas en el distrito de Tambo, provincia de La Mar, departamento de Ayacucho. Las cepas aisladas fueron caracterizadas morfológicamente y se seleccionaron diez cepas nativas para la evaluación del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) frente a dos aislamientos de *Fusarium* sp. (F1 y F2) y dos de *Alternaria* sp. (A1 y A2). Finalmente, se realizó la caracterización molecular de las cepas que presentaron la mayor capacidad antagónica frente a cada fitopatógeno. Como resultado se aislaron 73 cepas nativas de *Trichoderma* spp., las cuales mostraron amplia variabilidad morfológica. A nivel macroscópico, las colonias presentaron texturas algodonosas y colores blanco y verde de diferentes tonalidades, con o sin anillos concéntricos. A nivel microscópico, las cepas mostraron fiálides hialinas solitarias o agrupadas (2–5), conidios hialinos o verdes de forma globosa, ovoide o elipsoidal, hifas septadas de color hialina, y conidióforos ramificados o sin ramificación. En las pruebas antagónicas, la inhibición de *Fusarium* sp. varió entre 19.0 y 33.4 % (F1) y 50.2 y 62.8 % (F2). Para *Alternaria* sp., la inhibición varió entre 26.8 % y 40.4 % (A1) y entre 28.0 % y 44.8 % (A2). Mediante análisis molecular se identificaron la cepa T-M1.2 como *Trichoderma yunnanense*, CH-M2 como *Trichoderma rifaii*, UM-M19 como *Trichoderma orientale* y P-M8.3 como *Trichoderma lentiforme*.

Palabras claves: Cepas nativas, *Trichoderma* spp., Antagonismo, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. caracterización molecular.

ABSTRACT

The research aimed to isolate, characterize, and determine the antagonistic capacity of native strains of *Trichoderma* spp. against *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. in *Solanum tuberosum* L. The study was conducted using a completely randomized design (CRD) with five replicates. *Trichoderma* spp. strains were isolated from soil samples obtained from agricultural plots in the rural communities of Unión Minas, Rayanccasa, Churulla, Polanco, and Tantacocha, located in the district of Tambo, province of La Mar, department of Ayacucho. The isolated strains were morphologically characterized, and ten native strains were selected for evaluation of the percentage of radial growth inhibition (RGI) against two isolates of *Fusarium* sp. (F1 and F2) and two of *Alternaria* sp. (A1 and A2). Finally, molecular characterization was performed on the strains that exhibited the greatest antagonistic capacity against each phytopathogen. As a result, 73 native strains of *Trichoderma* spp. were isolated, exhibiting wide morphological variability. Macroscopically, the colonies presented cottony textures and white and green colors of varying shades, with or without concentric rings. Microscopically, the strains showed solitary or grouped (2–5) hyaline phialides, hyaline or green conidia of globose, ovoid, or ellipsoidal shape, hyaline septate hyphae, and branched or unbranched conidiophores. In antagonistic tests, *Fusarium* sp. inhibition ranged from 19.0 to 33.4% (F1) and from 50.2 to 62.8% (F2). For *Alternaria* sp., inhibition ranged from 26.8% to 40.4% (A1) and from 28.0% to 44.8% (A2). Through molecular analysis, strain T-M1.2 was identified as *Trichoderma yunnanense*, CH-M2 as *Trichoderma rifaii*, UM-M19 as *Trichoderma orientale*, and P-M8.3 as *Trichoderma lentiforme*.

Keywords: Native strains, *Trichoderma* spp., Antagonism, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., molecular characterization.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la papa es el tercer cultivo alimenticio más importante después del arroz y el trigo, y es consumida por más de dos tercios de la población gracias a su alto valor nutricional y a su capacidad de adaptarse a condiciones adversas. Su diversidad genética constituye una ventaja estratégica, ya que permite generar variedades más resistentes frente al cambio climático, plagas y enfermedades. De este modo, la papa no solo fortalece la seguridad alimentaria global, sino que también representa un medio de subsistencia esencial para millones de pequeños productores y familias rurales, aportando además un considerable potencial económico en toda su cadena productiva y de valor agregado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024; 2025). Sin embargo, su calidad y rendimiento se ven afectados por diversas enfermedades fúngicas que limitan la producción (Pérez et al., 2020).

En el cultivo de papa, *Fusarium solani* se reconoce como un patógeno responsables de la pudrición seca, enfermedad que ocasiona daños en los tubérculos durante el almacenamiento. Del mismo modo, *Alternaria solani* produce lesiones foliares que afectan la fotosíntesis y repercuten negativamente en el rendimiento y la calidad del producto (Torres, 2002). Debido a estas limitaciones, resulta fundamental implementar estrategias orientadas a mitigar el impacto de los fitopatógenos en cultivos de alto valor económico (Cázar et al., 2014).

El control químico constituye la práctica más común en el manejo de enfermedades (Barboza et al., 2022), su uso genera problemas de toxicidad ambiental y resistencia en los patógenos. Por ende, se promueve la aplicación de métodos alternativos como el control biológico, basado en el uso de organismos antagonistas capaces de reducir el avance de plagas y enfermedades en las plantas. Este enfoque se integra al manejo agrícola sostenible y evita, en lo posible, la dependencia de agroquímicos nocivos para el ambiente (Matas et al., 2023).

Dentro de los agentes de biocontrol, destaca los hongos del género *Trichoderma* por su eficacia y amplio uso en agricultura. Se trata de organismos filamentosos, beneficiosos que actúan como antagonistas frente a múltiples fitopatógenos, protegiendo a las plantas mediante mecanismos como la disputa por el espacio y los nutrientes, la antibiosis, el micoparasitismo y la inducción de resistencia a las plantas (Sánchez, 2015). Estas propiedades posicionan al hongo *Trichoderma* como una alternativa innovadora en el control de enfermedades (Castrillo et al., 2021).

Si bien *Trichoderma* spp. es reconocido por su importancia biológica y actualmente existe un creciente interés en la identificación de nuevas especies en distintos hábitats, en el distrito de Tambo no se han realizado investigaciones con cepas nativas como alternativa biológica para el control de fitopatógenos en papa. En este marco, para el desarrollo del presente estudio se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo general

Aislar, caracterizar y evaluar la capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L.

Objetivos específicos

1. Aislar cepas nativas de *Trichoderma* spp. a partir de muestras de suelo.
2. Realizar caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp.
3. Determinar la capacidad antagónica de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. aislado de *Solanum tuberosum* L.
4. Determinar la capacidad antagónica de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Alternaria* sp. aislado de *Solanum tuberosum* L.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. A nivel internacional

Michel et al. (2019), en México realizaron un estudio orientado a evaluar, en condiciones *in vitro*, la actividad antagonista de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Phytophthora parasitica* y *Fusarium oxysporum* obtenidos de cultivos de Jamaica. Las pruebas de confrontación dual se realizaron en placas de Petri, empleando un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Los autores reportaron que las cepas de *Trichoderma* mostraron altos niveles de inhibición: *T. inhamatum* (Ti14) inhibió un 95 % a *P. parasitica* y un 85 % a *F. oxysporum*; mientras que *T. asperellum* (Ta10) registró porcentajes de 89 % y 85 %, respectivamente. Asimismo, *T. virens* y *T. harzianum* alcanzaron más del 60 % de inhibición sobre *F. oxysporum*.

Torres et al. (2023), en México, llevaron a cabo una investigación destinada a evaluar el antagonismo de *Trichoderma* frente a fitopatógenos asociados a la pudrición radicular en cultivos de chile. El estudio consistió en analizar, bajo condiciones *in vitro*, la acción antagonista de aislamientos nativos de *T. asperellum*, *T. yunnanense*, *T. brevicompactum* y *T. simmonsii* frente a tres agentes causantes de la enfermedad. En el laboratorio se determinó el crecimiento de cada fitopatógeno mediante confrontaciones duales, pruebas con compuestos solubles (CS) usando el método de la película de celofán y ensayos con compuestos orgánicos volátiles (COV). Los análisis estadísticos mostraron que, en interacción directa, las cuatro especies de *Trichoderma* lograron mayores porcentajes de inhibición sobre *Rhizoctonia solani* (52–75 %) y *Phytophthora capsici* (64–69 %), mientras que el efecto sobre *Fusarium* sp. fue más limitado (19–47 %). En relación con los compuestos solubles, *T. brevicompactum* destacó por su control sobre *R. solani* (64 %), y *T. simmonsii* alcanzó un 34 % de inhibición frente a *P. capsici*.

Finalmente, los COV producidos por *T. yunnanense* redujeron el desarrollo de *R. solani* en más del 60 %, mientras que los generados por *T. simmonsii* y *T. brevicompactum* resultaron más eficaces contra *P. capsici* (34–35 %).

Araya (2021), en Costa Rica, desarrolló una investigación enfocada en analizar, bajo condiciones *in vitro*, la actividad antagónica de aislamientos nativos de *Trichoderma* spp. contra *Fusarium solani*, agente causal de la pudrición del tronco en aralia fabian (*Polyscias scutellaria*), utilizando aislamientos procedentes de la zona de La Tigra de San Carlos. En la investigación se evaluaron quince cepas de *Trichoderma* spp. mediante la técnica de competencia dual, determinando su capacidad antagónica a través de la competencia por el sustrato, el crecimiento radial (CR) y el porcentaje de inhibición del crecimiento (PIC) frente a *F. solani*. Los resultados indicaron que los aislamientos B7 y T3 mostraron los mejores niveles de antagonismo, alcanzando porcentajes de inhibición de 55,6 % y 67,1 %, respectivamente, y registrando crecimientos radiales de 8,5 y 9 cm. Ambos aislamientos lograron colonizar y limitar el desarrollo del fitopatógeno, ubicándose en la categoría I de la escala de Bell después de 96 horas de evaluación. En síntesis, los aislamientos de *Trichoderma* spp. analizados evidenciaron un alto potencial para el control biológico de *F. solani*, destacando B7 y T3 por su eficacia tanto en la competencia por el sustrato como en su crecimiento frente al patógeno.

Savín et al. (2021), llevaron a cabo en México un estudio en el que aislaron, identificaron y caracterizaron especies de *Trichoderma* spp. asociadas a plantas de *Pachycereus pringlei* y *Jatropha cinerea*, evaluando además su potencial como agentes de biocontrol frente a hongos fitopatógenos. Las cepas se obtuvieron en seis localidades de Baja California Sur y fueron identificadas mediante características morfológicas; adicionalmente se determinó su abundancia, frecuencia de ocurrencia y actividad antagónica *in vitro* contra *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Alternaria alternata*. En total se aislaron 18 cepas pertenecientes a siete especies: *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. viride*, *T. longibrachiatum* y *Trichoderma* sp. Los análisis estadísticos (prueba de Duncan, $p < 0.05$) revelaron diferencias significativas en la abundancia (UFC/g de suelo) y en la frecuencia de aparición entre las especies. En cuanto al antagonismo, los porcentajes de inhibición fueron variables: *T. asperellum* presentó valores de 56–70 %, *T. harzianum* de 40–63 %, *T. longibrachiatum* de 56–69 %, *T. atroviride* de 55–68 %, *Trichoderma* sp. de 50–68 %, y *T. viride* de 51–69 %. Por comparación, el producto comercial Tricho-Sin® registró inhibiciones entre 54 y 69 %.

Jiménez (2022), realizó en Ecuador una investigación destinada a evaluar el comportamiento de aislados de *Trichoderma* spp. frente al crecimiento de colonias de *Alternaria* sp., con el propósito de reconocer cepas con potencial de biocontrol mediante pruebas de confrontación *in vitro*. Para ello empleó 30 aislados de *Trichoderma* sp. y seis tipos de medios de cultivo, mientras que *Alternaria* sp. fue obtenida a partir de pencas de pitahaya que mostraban síntomas de infección. El experimento se estructuró bajo un diseño completamente al azar, utilizando tres repeticiones para la variable de capacidad antagónica y cinco para la evaluación de los medios de cultivo. Se analizaron variables como el crecimiento de las colonias, el tipo de medio, la cantidad de conidios de *Alternaria* sp., el porcentaje de inhibición y la capacidad antagónica de los aislados de *Trichoderma* spp. Los resultados indicaron que el medio agar más frijol (T1) presentó diferencias significativas, registrando un crecimiento colonial de *Alternaria* sp. de 3,02 cm y 284 conidios en las evaluaciones realizadas a los 5, 7, 10 y 13 días. Respecto a la capacidad antagónica, los aislados T14, T21 y T26 evidenciaron micoparasitismo, logrando colonizar completamente al patógeno al quinto día. Además, los mayores porcentajes de inhibición correspondieron a T26 (32,51 %), T21 (30,25 %) y T14 (29,94 %), mientras que T30, T25 y T20 mostraron valores intermedios (28,94; 28,45 y 28,15 %, respectivamente). Los porcentajes más bajos fueron registrados por T27, T8 y T4 (12,04; 11,41 y 10,87 %). En síntesis, el estudio determinó que al menos tres aislados de *Trichoderma* spp. poseen un notable potencial de biocontrol frente a *Alternaria* sp.

Castrillo et al. (2021), realizaron en Argentina un estudio en el que analizaron la capacidad de aislamientos nativos de *Trichoderma* spp. para controlar al hongo fitopatógeno *Alternaria alternata*, obtenido de plantas de yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hil.). La investigación buscó determinar los agentes responsables de las lesiones foliares en este cultivo y evaluar, bajo condiciones *in vitro*, el potencial antagonista de los aislados de *Trichoderma* spp. Para ello se aplicaron distintas variantes de cultivo dual que permitieron examinar su efecto biocontrolador, utilizando un total de 30 aislamientos. Los resultados evidenciaron que 18 de ellos lograron inhibir más del 50 % del crecimiento de *A. alternata*, mostrando diferencias estadísticamente significativas en comparación con el control positivo. Esto confirma la efectividad del empleo de aislamientos nativos adaptados al suelo y al clima del ambiente en el que se desarrolla el fitopatógeno.

1.1.2. A nivel nacional

Huamán (2021), llevó a cabo en Puno un estudio orientado al control biológico *in vitro* utilizando *Trichoderma* sp. contra hongos fitopatógenos de la quinua, específicamente *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp. y *Phoma* sp. El muestreo se realizó en plantas de quinua con síntomas de enfermedad procedentes del Centro de Investigación y Producción Illpa, el Centro de Investigación y Producción Camacani y del distrito de Ilave, recolectándose tejido de hojas, tallos y raíces. Posteriormente, las muestras fueron sembradas en agar papa dextrosa (PDA) para la multiplicación de los patógenos, efectuándose su identificación macro y microscópica en cultivos puros. Para el análisis se registraron el diámetro de crecimiento del antagonista (DCA) y del patógeno (DCP). En los ensayos de confrontación dual se empleó *Trichoderma* sp. suministrado por el laboratorio de Sanidad Vegetal, evaluándose el crecimiento radial bajo interacción directa con los hongos fitopatógenos. A las 120 horas, los resultados revelaron que frente a *Rhizoctonia* sp. el antagonista alcanzó 29,80 mm y el patógeno 14,60 mm, con una inhibición radial correspondiente al grado 2 (41,60 %). En el caso de *Fusarium* sp., los valores fueron de 30,60 mm y 13,00 mm, obteniéndose un grado 3 de inhibición (58,06 %); mientras que para *Phoma* sp. se registraron 31,20 mm y 11,00 mm, con un grado 2 (47,62 %). Estos hallazgos mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados.

1.1.3. A nivel local

Ayala (2019), desarrolló una investigación orientada a determinar el efecto antagonístico *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* sp. frente a los hongos fitopatógenos *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* sp. El estudio fue de tipo básico experimental y se aplicó un diseño completamente al azar con un solo factor, estableciéndose siete tratamientos para cada patógeno, con tres repeticiones cada uno. El material biológico estuvo conformado por siete cepas nativas de *Trichoderma* spp. aisladas de la rizosfera de arveja y papa, junto con cuatro cepas de *Colletotrichum* spp. y cuatro de *Fusarium* spp. Para la evaluación del antagonismo se empleó la técnica de cultivo dual, mediante la cual se determinó el porcentaje de inhibición radial de crecimiento (PIRC) y el grado de micoparasitismo. Los resultados mostraron que frente a *Colletotrichum* spp., las cepas de *Trichoderma* spp. alcanzaron porcentajes de inhibición entre 26,32 % y 45 % (categoría 2), mientras que frente a *Fusarium* spp. estos valores variaron entre 28,57 % y 61,11 % (categorías 2 y 3). En cuanto al micoparasitismo contra *Colletotrichum* spp., las cepas T-2, T-3 y T-4,2 alcanzaron el grado 4, correspondiente a un

potencial muy bueno, aunque mantuvieron un PIRC en categoría 2; y respecto al micoparasitismo frente a *Fusarium* spp., las cepas T-1, T-2, T-3, T-4,1, T-4,2 y T-5 alcanzaron también el grado 4 frente a las colonias nativas F-1 y F-4, evidenciando un elevado potencial de antagonismo contra este fitopatógeno.

Grados (2024), llevó a cabo un estudio orientado a analizar el antagonismo *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a *Botrytis* sp. y *Fusarium* sp., ambos aislados de frutos de *Fragaria ananassa* (fresa). La investigación fue de tipo básico experimental y se aplicó un diseño completamente al azar con tres repeticiones por unidad experimental. El material utilizado incluyó cuatro cepas nativas de *Trichoderma* spp. provenientes de suelo, junto con dos aislamientos de *Botrytis* sp. y uno de *Fusarium* sp., obtenidos de frutos y tallos de fresa con síntomas de enfermedad. El antagonismo se evaluó mediante la técnica de cultivo dual, determinándose el Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) y el grado de antagonismo según la escala de Bell. Para el análisis estadístico se utilizaron la prueba t de Student ($\alpha = 0,05$), el análisis de varianza del PICR con el mismo nivel de significancia y la prueba de Tukey para la comparación de medias. En relación con *Botrytis* sp. (B-1), *Trichoderma* sp. T-1 registró un PICR de 56,15 %, T-2 alcanzó 49,33 % y T-4 obtuvo 48,17 %, todos en el grado 1; mientras que T-3 presentó 35,16 %, correspondiente al grado 3. Frente a *Botrytis* sp. (B-2), T-1 logró 48,81 %, T-2 un 44,58 % y T-4 un 44,77 %, ubicándose igualmente en el grado 1; en contraste, T-3 alcanzó 40,57 %, clasificándose en el grado 2. En el caso de *Fusarium* sp. (F-1), los valores de PICR fueron 64,35 % para T-1, 62,29 % para T-4, 56,62 % para T-2 y 55,65 % para T-3, todos correspondientes al grado 2 de antagonismo. En conjunto, los resultados mostraron que T-1 fue la cepa más eficaz contra *Botrytis* sp. (B-1 y B-2), mientras que frente a *Fusarium* sp. (F-1) destacó T-2 por su mayor capacidad inhibitoria.

1.2. Generalidades de la papa (*Solanum tuberosum*)

1.2.1. Origen

El centro de mayor concentración de especies y diversidad de variedades de papa se localiza en la región andina, particularmente en el espacio que abarca desde el centro del Perú hasta Bolivia, esta zona ha sido reconocida como un centro primario de domesticación y una fuente fundamental de variabilidad genética tanto de especies silvestres como de variedades cultivadas (Bonavia, 1993).

En el transcurso del siglo XVI, la papa fue trasladada desde su lugar de origen en Sudamérica hacia el continente europeo, donde inició un proceso de difusión progresiva. A partir de su introducción en Europa, este cultivo se expandió con rapidez hacia distintos países y, posteriormente, logró extenderse a otros continentes, lo que permitió su dispersión y establecimiento en diversas regiones del mundo (Rodríguez, 2010).

De acuerdo a FAO (2025), en la actualidad, el Perú es reconocido a nivel mundial como el país con mayor concentración de diversidad genética de papas, al conservar cerca de 3 000 variedades nativas, lo cual reafirma su papel como centro de origen, domesticación y resguardo de este importante recurso agrícola.

1.2.2. Taxonomía

De acuerdo a Cabezas (2024); Spooner et al. (2014), la clasificación taxonómica de *Solanum tuberosum* se establece como se detalla a continuación:

Reino : Plantae
Clase : Magnoliopsida
Subclase : Asteridae
Orden : Solanales
Familia : Solanaceae
Subfamilia : Solanoideae
Género : Solanum
Especie : *Solanum tuberosum* L.

1.2.3. Importancia

La papa constituye el tercer cultivo alimenticio con mayor disponibilidad a nivel global, después del arroz y el trigo, siendo consumida por más de dos tercios de la población mundial debido a su elevado valor nutricional y a su capacidad de desarrollarse en condiciones adversas, lo que lo posiciona como un recurso fundamental para fortalecer la seguridad alimentaria. Además, la gran diversidad genética que presenta esta especie constituye una ventaja significativa, ya que ofrece la posibilidad de desarrollar variedades más resistentes a los efectos del cambio climático, así como de incrementar su tolerancia frente a plagas y enfermedades. Asimismo, el cultivo de la papa representa un medio de vida fundamental para millones de

agricultores, en especial pequeños productores y familias rurales, al tiempo que contribuye con un amplio potencial económico a lo largo de toda su cadena productiva y de valor agregado (FAO, 2024; 2025).

1.2.4. Algunos fitopatógenos asociados a la papa

Méndez & Inostroza (2009); Torres (2002), mencionan que el cultivo de la papa se ve afectado por diversas enfermedades que perjudican tanto los tubérculos y follajes, ocasionando pérdidas importantes en la producción y calidad. A continuación, se describen las distintas enfermedades que afectan al cultivo:

Enfermedades fúngicas. Destacan la rizoctoniasis o costra negra, causada por *Rhizoctonia solani*, que afecta la germinación y desarrollo de la planta y provoca deformidades en los tubérculos; la sarna plateada, causada por *Helminthosporium solani*, altera la apariencia de la superficie; la pudrición seca o fusariosis, atribuida a hongos del género *Fusarium*, provoca daños en los tubérculos sobre todo durante la cosecha y almacenamiento.

Enfermedades en el follaje. Las más graves son el tizón tardío, provocado por *Phytophthora infestans*, capaz de destruir un cultivo en pocos días, y el tizón temprano, causado por *Alternaria solani*, que afecta hojas y tubérculos, ocasionando pérdidas superiores al 50%. También se presentan la pudrición gris (*Botrytis cinerea*) y otras enfermedades menos severas.

Enfermedades virales. Más de veinte virus afectan la papa, siendo los principales el virus del enrollamiento de la hoja (PLRV) y el virus del mosaico rugoso (PVY). Estos virus reducen significativamente el vigor y rendimiento de las plantas, y son transmitidos mayormente por vectores como los áfidos.

1.3. Fusarium

Fusarium es un género que incluye más de 100 especies de hongos filamentosos, de los cuales algunos son considerados entre los patógenos más dañinos para los cultivos y las principales enfermedades que causan en las plantas incluyen el marchitamiento de los vasos conductores, la pudrición de raíces y tallos, el deterioro de los frutos, además de la contaminación por micotoxinas (López et al., 2025). Este hongo tiene una gran variedad de hospederos y su control resulta complicado debido a su capacidad para desarrollar resistencia,

sobrevivir durante largos periodos en el suelo y mantenerse activo en los residuos agrícolas tras la cosecha (Kenneth et al., 2018).

1.3.1. Taxonomía

De acuerdo a Bonelo y Sánchez (2018); Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV, 2020); Montaña et al. (2025); Oficina Europea de Fiscalización Europea (EPPO, 2023), la taxonomía de *Fusarium* sp. se establece como se detalla a continuación:

Reino	: Fungi
División	: Ascomycota
Clase	: Sordariomycetes
Orden	: Hypocreales
Familia	: Nectriaceae
Género	: <i>Fusarium</i>
Especie	: <i>Fusarium</i> sp.

1.3.2. Características morfológicas de *Fusarium* sp.

Característica macroscópica. Las colonias de *Fusarium* sp. se caracterizan por su crecimiento rápido y micelio aéreo de aspecto algodonoso, presentando una amplia variabilidad en la coloración (Salazar et al., 2020), en los primeros estadios suelen ser blanquecinas o rosadas, y a medida que el hongo se desarrolla adquieren tonalidades púrpuras, lilas, violetas, salmón, anaranjadas, cremas o azuladas. En algunos casos, la pigmentación puede deberse tanto al micelio como a la difusión de metabolitos en el medio de cultivo (Duarte et al., 2016).

En cuanto al reverso de las colonias, también se observa diversidad cromática, con tonalidades lila, rosa, rojizo intenso brillante, durazno, naranja, marrón o púrpura, dependiendo de la especie y del medio de cultivo empleado (Kenneth et al., 2018; Rentería et al., 2019; Sierra et al., 2022).

A nivel de especies, *Fusarium oxysporum* presenta colonias con micelio aéreo blanco y pigmentación rosa en el reverso, generalmente con bordes irregulares; *Fusarium proliferatum* muestra micelio blanco algodonoso con pigmentación color durazno en el reverso; mientras que *Fusarium graminearum* forma colonias algodonosas blancas con halos amarillos, y en el reverso se observan tonalidades anaranjadas y marrones con bordes amarillentos (Sierra et al.,

2022); y *Fusarium solani* presentar una variación de colores que va desde blanco hasta crema o azulada (Salazar et al., 2020).

Característica microscópica.

De acuerdo a Carrera et al. (2025), *Fusarium* sp. se distingue por la producción de tres tipos de esporas: microconidias, macroconidias y clamidosporas.

Las microconidias son usualmente unicelulares, hialinas y de forma ovalada, elíptica o reniforme, pudiendo presentar o no septos; se generan en fiálides cortas o conidióforos poco ramificados (Carrera et al., 2025; Lopez, 2022). En *Fusarium oxysporum*, se caracterizan principalmente por ser de forma ovalada, lo cual constituye un rasgo diferenciador (Rentería et al., 2019).

Las macroconidias poseen una estructura más compleja, descritas como fusiformes, delgadas, rectas o levemente curvadas, con 3 a 7 septos, una célula basal en forma de pie o puntiaguda y la célula apical atenuada o con ligera curvatura en forma de hoz (Rentería et al., 2019). En *Fusarium brachygibbosum* son delgadas y rectas con bases en forma de pie, en *F. falciforme* resultan más anchas con ápices redondeados y bases cilíndricas, en *Fusarium oxysporum* se asemejan a los de *Fusarium brachygibbosum*, aunque con bases más puntiagudas, en el caso de *Fusarium solani*, se han reportado macroconidios más abundantes y de mayor grosor, con entre tres y siete septos (Salazar et al., 2020).

Las clamidosporas corresponden a estructuras de resistencia, generadas por condensación del contenido de hifas o conidios, presentan paredes engrosadas y suelen disponerse en pares o cadenas cortas, lo que permite al hongo persistir en condiciones adversas o en ausencia de un hospedante (Carrera et al., 2025; Narváez y Zambrano, 2006).

1.3.3. Ciclo de vida de *Fusarium* sp.

Fusarium sp. sobrevive en el suelo y en restos de cultivo mediante clamidosporas o conidios, que actúan como inóculo primario al inicio del ciclo; la infección comienza en etapas tempranas, aunque los síntomas suelen hacerse evidentes cuando la planta moviliza nutrientes hacia sus órganos reproductivos (Solórzano et al., 2024). Debido a que la mayoría de especies son habitantes del suelo, la enfermedad se considera monocíclica, ya que las pérdidas dependen principalmente de la cantidad de inóculo presente en el momento de la siembra. Una vez que germinan, las estructuras infectivas penetran por las raíces y alcanzan la xilema, bloqueando el

transporte de agua y nutrientes y liberando toxinas que inducen amarillamiento y debilitamiento de la planta (DGSV, 2020).

En general, el patógeno produce estructuras reproductivas que se diseminan por aire o agua hacia nuevos hospedadores, y una vez que logran penetrar en la planta, el micelio coloniza el sistema vascular, propagándose hacia tallos y ápices (López, 2023).

1.3.4. Especies patógenos del género *Fusarium*

El género *Fusarium* comprende numerosas especies que ocasionan enfermedades en una amplia gama de cultivos agrícolas (López et al., 2025). Entre las más importantes destacan:

Fusarium solani. Responsable de la pudrición seca en tubérculos y raíces, con presencia en muchos cultivos y capacidad de sobrevivir en el suelo y restos vegetales, también causante de pudriciones y marchitez en diferentes plantas (Torres, 2002).

Fusarium graminearum. Principal agente de la fusariosis de la espiga en cereales como trigo, cebada y maíz; produce daños en granos, micotoxinas y reduce la calidad del producto (Solórzano et al., 2024).

Fusarium oxysporum. La especie más ampliamente distribuida y causante de marchitez vascular en muchas plantas como papa, tomate, plátano y hortalizas. Infecta el sistema vascular produciendo obstrucción y causando marchitez y muerte de la planta (Renu, 2018).

Fusarium culmorum. Afecta cereales y hortalizas, provocando marchitamientos y pudriciones principalmente en etapas tempranas (Podgórska et al., 2022).

Fusarium verticillioides. Asociados a enfermedades en maíz y otros cultivos, productores de micotoxinas, y responsables de podredumbres y daños significativos (Hernández, 2016).

1.4. Alternaria

Alternaria sp. es un género de hongos muy común, compuestos por especies saprofitas y patógenas que habitan en el suelo y materia orgánica en descomposición (Pavón et al., 2015). Estas especies pueden sobrevivir en forma de micelio durante condiciones adversas y, cuando hay suficiente humedad (alrededor del 70%) y temperaturas entre 22 y 30 °C, producen conidios que se dispersan fácilmente por el viento y otros medios (Jiménez, 2022).

Alternaria infecta hojas, tallos, frutos y semillas, provocando daños que afectan el crecimiento de las plantas y la calidad de los productos, provocando pérdidas económicas importantes, tanto en campo como durante el almacenamiento (Fresneda et al., 2018; Sabate, 2025). Además, este hongo puede ser más agresivo cuando la planta está bajo estrés o carece de nutrientes, y algunas especies producen toxinas que ponen en riesgo la seguridad alimentaria (Jiménez, 2022; Pavón et al., 2015).

1.4.1. Taxonomía

De acuerdo a Fabrega et al. (2002); Rivas y Mühlhauser (2014); Tapuy (2022), la taxonomía de *Alternaria* sp. se establece como se detalla a continuación:

Reino	: Fungi
División	: Ascomycota
Clase	: Dothideomycetes
Orden	: Pleosporales
Familia	: Pleosporaceae
Género	: <i>Alternaria</i>
Especie	: <i>Alternaria</i> sp.

1.4.2. Características morfológicas de *Alternaria* sp.

Característica macroscópica. Las colonias del género *Alternaria* se distinguen por presentar tonalidades que cambian con el tiempo, en las fases iniciales suelen observarse de color blanco a grisáceo, con una textura que puede variar entre algodonosa o aterciopelada (Sabate, 2025). De igual manera, algunos estudios señalan que estas colonias pueden mostrar texturas que oscilan entre pulverulentas a algodonosa (Hernández, 2013).

A medida que avanzan en su desarrollo, las colonias tienden a oscurecerse, mostrando un centro de color negro u oliváceo rodeado por bordes más claros que se mantienen gris blanquecinos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INST], 2022).

En algunas cepas, las colonias exhiben matices marrones, verde oliva o incluso tonalidades semejantes al gris humo, acompañadas por la presencia de hifas aéreas pigmentadas que refuerzan su apariencia oscura (Fabrega et al., 2002). Asimismo, el reverso de las colonias se torna marrón oscuro o negro intenso, producto de la acumulación de melanina en forma de

pigmentos como la dihidroxinaftaleno-melanina, lo que constituye un rasgo típico del género (Rivas y Mühlhauser, 2014).

Característica microscópica. Microscópicamente el género *Alternaria* se caracteriza por hifas de tonalidad oscura y septadas, con conidióforos simples o en pequeños grupos, de color pardo y en ocasiones flexionados, que pueden crecer de forma acroauxica y simpodial (INSST, 2022; Sabate, 2025). En sus extremos se desarrollan conidios pardos, multicelulares y muriformes, con tabiques transversales y longitudinales, dispuestos de manera solitaria o en cadenas acrópetas (Rivas y Mühlhauser, 2014). Estos conidios presentan formas ovoides, obclavadas o elipsoidales, con una base redondeada y un rostro apical de longitud variable, lo que constituye un rasgo diagnóstico del género. En especies como *Alternaria solani*, los conidios pueden alcanzar entre 150 y 300 µm de longitud, con hasta 11 septos transversales y un rostro flexible que a veces se ramifica (Fresneda et al., 2018).

1.4.3. Ciclo de vida de Alternaria sp.

Alternaria sp. sobrevive en restos vegetales infectados o en plantas hospederas, desde donde inicia la infección cuando existen condiciones favorables. Sus conidios germinan e ingresan por el tejido epidérmico en hojas y tallos o por el exocarpo en frutos, generando manchas visibles pocos días después de la siembra; al crecer, estas lesiones producen nuevas esporas que se dispersan por el viento y facilitan la propagación del hongo. En el campo, la enfermedad se intensifica durante la senescencia al unirse las lesiones y formar amplias áreas necróticas que reducen la vitalidad de la planta. Asimismo, en la postcosecha el patógeno puede continuar afectando a los frutos almacenados en frío, ocasionando pérdidas en calidad y valor comercial (Jiménez, 2022; Tapuy, 2022).

1.4.4. Especies del género Alternaria

El género *Alternaria* comprende varias especies de relevancia agrícola, entre las cuales son las siguientes:

Alternaria alternata. reconocida hoy en día como una especie de distribución cosmopolita, caracterizada por su capacidad de infectar un extenso número de hospedadores, lo que la convierte en un patógeno relevante en diversos cultivos de importancia agrícola (Demers, 2022).

Alternaria solani. Agente causal del tizón temprano, considerado una de las enfermedades más relevantes que afectan a las solanáceas (Mugao, 2023).

Alternaria brassicae. Es reconocida como el patógeno más importante asociado a la mancha foliar por *Alternaria*, afectando no solo a la canola, sino también a la mostaza y a diversas especies de la familia Brassicaceae, entre ellas cultivos oleaginosos, hortalizas y malezas silvestres. (Al-lami et al., 2023; Gupta et al., 2020).

Alternaria dauci. Es el hongo responsable de originar la principal enfermedad que afecta al cultivo de la zanahoria (Leyte et al., 2020).

Alternaria citri. Es el hongo responsable de la podredumbre negra en cítricos, enfermedad de gran importancia económica que afecta principalmente hojas y frutos, ocasionando severas pérdidas en distintos cultivos de esta familia (Elshafie et al., 2023).

1.5 Trichoderma

El género *Trichoderma* es un hongo filamentoso (Cortés et al., 2023) presente en los suelos y materias en descomposición (Acurio y España, 2017) y tiene una distribución cosmopolita, además de ser reconocido como endófito que otorga ventajas a sus hospederos (Zin y Badaluddin, 2020). Por su parte, Hernández et al. (2019) resaltan que varias especies producen metabolitos secundarios, enzimas y reguladores de crecimiento como auxinas, giberelinas y ácidos orgánicos, los cuales mejoran la nutrición mineral y el desarrollo vegetal.

De acuerdo con Sánchez et al. (2021), *Trichoderma* presenta una amplia diversidad genética y se encuentra en diferentes sustratos como suelos agrícolas y restos vegetales, lo que evidencia su gran capacidad de adaptación. En complemento Matas et al. (2023), señalan que, gracias a los avances en biotecnología molecular, se han distinguido más de 100 especies dentro del género, aspecto que resalta su relevancia y potencial en la agricultura.

Trichoderma spp. comprende hongos que poseen la capacidad de inhibir el crecimiento de fitopatógenos en diferentes cultivos, por lo que se consideran agentes de gran importancia en la protección vegetal (Junior et al., 2018). Su aplicación se ha convertido en una alternativa sostenible frente al uso de plaguicidas químicos, ya que permite controlar enfermedades y, al mismo tiempo, favorecer el crecimiento y la productividad de las plantas (Cortés et al., 2023).

1.5.1. Taxonomía

Según lo señalado por Martínez et al. (2015); Matas et al. (2023), la taxonomía de *Trichoderma* spp. se establece como se detalla a continuación:

Dominio	: Eukaryota
Reino	: Fungi
División	: Ascomycota
Clase	: Sordariomycetes
Orden	: Hypocreales
Familia	: Hypocreaceae
Género	: <i>Trichoderma</i>
Especie	: <i>Trichoderma</i> spp.

1.5.2. Características morfológicas de *Trichoderma* spp.

En relación con sus estructuras reproductivas, Magalhães y Heinrich (2022) señalan que:

Trichoderma pertenece a la clase Sordariomycetes, del filo Ascomycota y, por tanto, en las especies de las cuales se conoce la fase sexual, se caracteriza por la formación de cuerpos fructíferos del tipo peritecio, formados en estroma verde, amarillento, crema o marrón. producido sobre el sustrato colonizado. En los peritecios, se forman ascos cilíndricos que contienen ocho ascosporas bicelulares, que se fragmentan en 16 esporas verdosas o hialinas. En la fase asexual, los conidióforos se forman a partir del micelio vegetativo con un eje central y ramificaciones laterales, que terminan en espirales divergentes de células conidiogénicas de tipo fiálide, en forma de botella o alargadas. En la punta de las fiálides se producen conidios típicos unicelulares, esféricos, ovalados o alargados, que son verdes en la mayoría de las especies. Los conidióforos se agregan comúnmente en pústulas o “tufts” extendidos por toda la colonia. (p. 165).

Características macroscópicas. Las colonias de *Trichoderma* spp. presentan un rápido crecimiento, con un desarrollo inicial de color blanco algodonoso que evoluciona a tonalidades verdes, que pueden variar entre verde oscuro, claro, amarillento o incluso azulado, según la especie. En medio PDA generalmente no se observa micelio aéreo y, en algunos casos, las

colonias desprenden un aroma característico a coco (Cortés et al., 2023; Martínez et al., 2015; Ynfante et al., 2023).

Entre sus principales rasgos se incluyen la formación de anillos concéntricos de conidios pigmentados en diferentes tonalidades de verde, la textura algodonosa o compacta del micelio y la presencia de un pigmento conidial verde brillante, asociado a su crecimiento rápido y ramificación repetitiva. Estas características permiten diferenciar a las cepas (Matas et al., 2023; Zin y Badaluddin, 2020).

Características microscópicas. Microscópicamente, *Trichoderma* spp. presenta conidióforos hialinos, muy ramificados, con fiálides solitarias o agrupadas en racimos, de formas variables como alargadas, globosas, cilíndricas o en matraz. A partir de estas se forman abundantes conidios asexuales unicelulares, de color verde o hialinos, con morfología subglobosa, globosa, elipsoidal u ovalada, y un tamaño promedio de 3 a 5 μm . Estos conidios suelen disponerse en agregados en las puntas de las fiálides, lo que facilita su identificación (Martínez et al., 2015; Savín et al., 2021; Zin y Badaluddin, 2020).

Además, este género produce clamidosporas globosas, menores de 15 μm , que pueden encontrarse de manera intercalar o terminal en las hifas, y que funcionan como estructuras de resistencia en sustratos naturales. También se observan hifas hialinas septadas y penachos compactos en forma piramidal que sostienen los conidióforos, así como fiálides alargadas con un leve ensanchamiento en el centro. En conjunto, estas estructuras microscópicas permiten diferenciar a *Trichoderma* spp. de otros hongos filamentosos (Cortés et al., 2023; Martínez et al., 2015; Ynfante et al., 2023).

1.5.3. Mecanismo de acción de *Trichoderma*

Hernández et al. (2019), destacan que *Trichoderma* spp. se emplea como un agente de control biológico frente a hongos fitopatógenos debido a la variedad de mecanismos que presenta. Por su parte, Matas et al. (2023) explican que dichas acciones se expresan principalmente a través del micoparasitismo, que implica la liberación de enzimas hidrolíticas capaces de degradar la pared celular del patógeno; la antibiosis, mediante la síntesis de metabolitos secundarios con efecto antimicrobiano; la competencia, tanto por espacio como por nutrientes, limitando el desarrollo de otros microorganismos; y la simbiosis, al promover el crecimiento de las plantas y estimular su resistencia frente a enfermedades y condiciones de estrés abiótico.

1.5.4. Condiciones de crecimiento de Trichoderma

Los hongos del género *Trichoderma* pueden desarrollarse en un rango de temperaturas comprendido entre 4 °C hasta 41 °C de acuerdo a la especie (Martínez et al., 2013), siendo 25 °C la temperatura óptima para el desarrollo del micelio. Respecto a la humedad relativa, estos hongos requieren valores entre 20 y 80 %, alcanzando su máximo desarrollo alrededor del 70 %. El pH ideal para su crecimiento se sitúa entre 6 y 6,5, aprovechando su capacidad para acidificar el entorno a través la secreción de ácidos orgánicos. Su principal fuente de carbono es la celulosa. Además, la exposición a la luz favorece la esporulación, contribuyendo a su reproducción y propagación eficiente (Ayala, 2019; Grados, 2024).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en dos fases. La primera correspondió a la fase de campo, en la cual se efectuó la recolección de muestras de suelo y material vegetal. La segunda fase se llevó a cabo en laboratorio.

2.1.1. Fase de campo

Ubicación política.

Región : Ayacucho

Provincia : La Mar

Distrito : Tambo

Zonas : Unión Minas, Rayanccasa, Churulla, Polanco y Tantacocha

Ubicación geográfica.

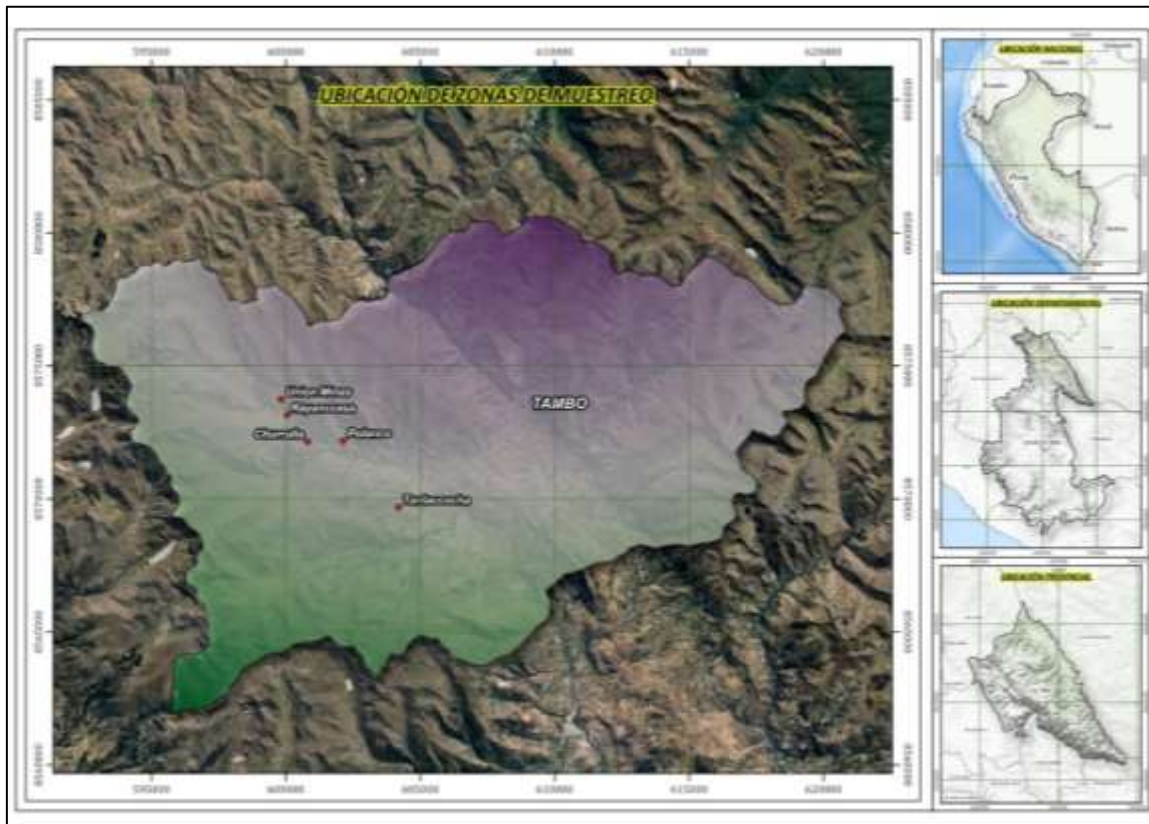
Latitud : 12° 56' 52"

Longitud : 74° 1' 13"

Altitud : 3222 m.s.n.m.

Figura 2.1

Mapa del distrito de Tambo



2.1.2. Fase laboratorio

La investigación se ejecutó en el laboratorio de Fitopatología de la escuela profesional de agronomía, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y la prueba molecular en el laboratorio de la empresa Umbrella Genomics Company, ubicada en el distrito Lince, Lima, Perú.

Ubicación política del laboratorio de Fitopatología.

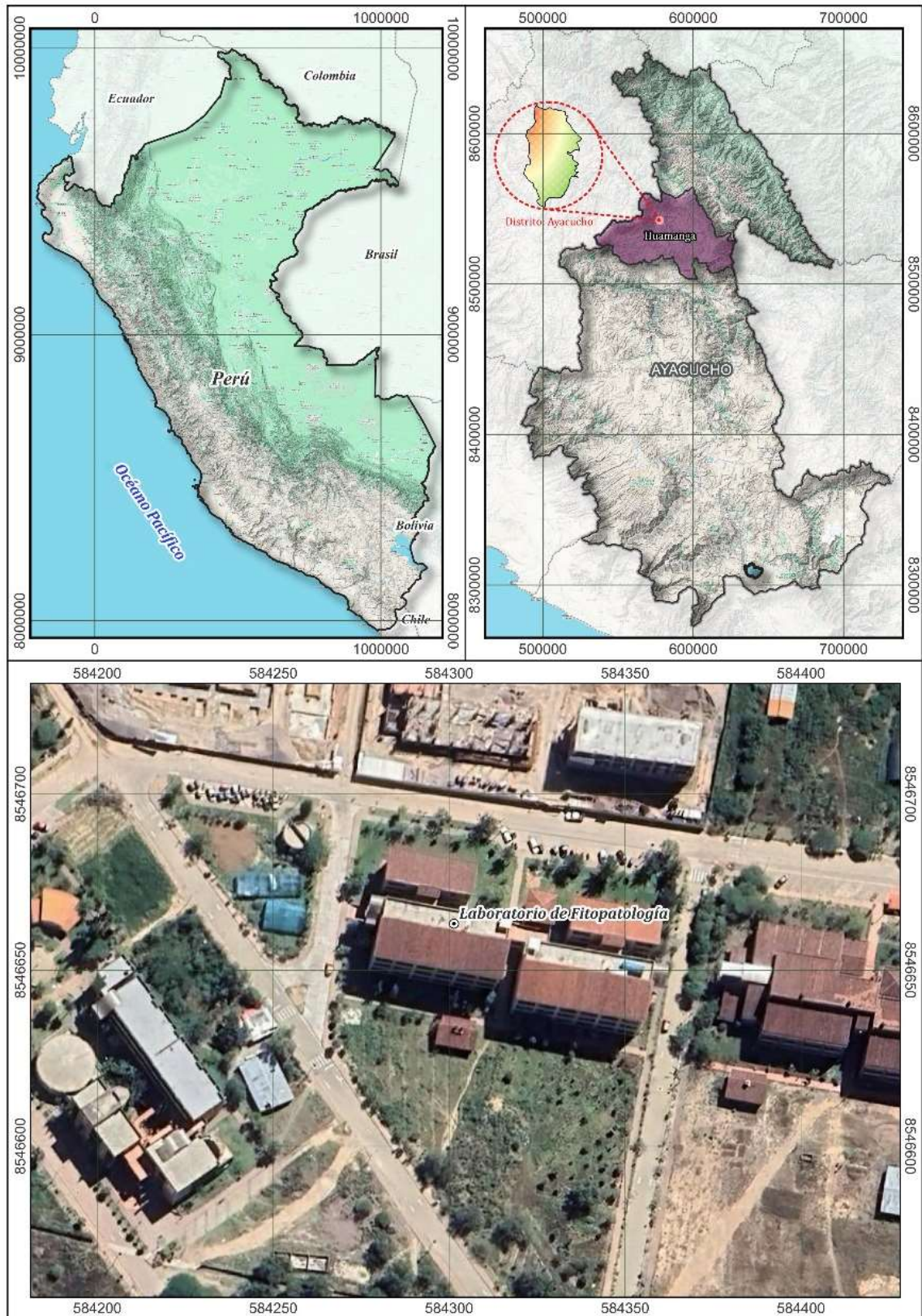
Región : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Ayacucho

Ubicación geográfica del laboratorio de Fitopatología.

Latitud : 13° 08' 43"
Longitud : 74° 13' 20"
Altitud : 2788 msnm

Figura 2.2

Mapa de la ubicación del laboratorio de Fitopatología



2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Material biológico

- 75 cepas nativas de *Trichoderma* spp.
- 2 cepas de *Alternaria* sp.
- 2 cepas de *Fusarium* sp.

2.2.2. Materiales de campo

- Cuaderno de campo
- Pala pequeña
- Hoz
- Bolsas de papel
- Bolsas plásticas
- Engrampadora pequeña y grapas
- Cámara fotográfica con GPS

2.2.3. Materiales de laboratorio

- Placas Petri
- Tubos de ensayo
- Gradillas para tubo de ensayo
- Agar
- Vaso precipitado
- Probeta
- Mechero
- Bolsa polipropileno
- Cinta Parafilm
- Tetraciclina
- Botellas de vidrio
- Estiletes
- Alcohol de 70° y 96°
- Sacabocado
- Tápers
- Puntas para micropipeta
- Micropipetas
- Espátula asa de Drigalski
- Cámara de Neubauer
- Papel toalla
- Cubre objeto
- Porta objeto
- Lactofenol azul

2.2.4. Equipos

- Estufa
- Autoclave
- Refrigerador
- Conservadora
- Microscopio
- Estereoscopio
- Microscopio con pantalla
- Balanza de precisión
- Cámara de flujo laminar
- Cocina eléctrica
- Horno microonda

2.3. Colección de muestras

2.3.1. Colección de muestras de suelo

El muestreo de suelos se llevó a cabo en áreas agrícolas pertenecientes a cinco comunidades campesinas: Unión Minas, Rayanccasa, Churulla, Polanco y Tantacocha. En cada una de las parcelas se tomaron 5 submuestras de manera aleatoria, a una profundidad de 20 cm (suelo rizosfera). De cada submuestra se recolectaron entre 100 a 150 gramos de suelo, los cuales fueron colocados en bolsas de papel limpias. Debidamente selladas y rotuladas con la información correspondiente. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Fitopatología, donde se procedió con su respectivo análisis.

Figura 2.3

Obtención de submuestras de suelo de una parcela agrícola



Tabla 2.1

Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Tantacocha

Muestra	Codificación	Cultivo	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
M1	T-M1	Maíz	-12.932593	-74.033019	3304
M2	T-M2	Maíz	-12.932447	-74.03237	3282
M3	T-M3	Maíz	-12.929861	-74.033514	3289
M4	T-M4	Papa	-12.925408	-74.040165	3275
M5	T-M5	Cebada	-12.927471	-74.037171	3280

Tabla 2.2*Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Unión Minas*

Muestra	Codificación	Cultivo	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
M1	UM-M1	Maíz	-12.915729	-74.915729	3453
M2	UM-M2	Maíz	-12.914523	-74.064665	3464
M3	UM-M3	Maíz	-12.922053	-74.052064	3331
M4	UM-M4	Maíz	-12.921047	-74.051755	3320
M5	UM-M5	Pasto asociado	-12.915903	-74.063805	3426
M6	UM-M6	Orégano	-12.901035	-74.079666	3689
M7	UM-M7	Papa	-12.900842	-74.080025	3729
M8	UM-M8	Olluco	-12.900583	-74.08126	3689
M9	UM-M9	Oca	-12.900459	-74.080312	3755
M10	UM-M10	Mashua	-12.90033	-74.079867	3693
M11	UM-M11	Haba	-12.895712	-74.078295	3717
M12	UM-M12	Papa	-12.895282	-74.078373	3703
M13	UM-M13	Pino	-12.895975	-74.076523	3795
M14	UM-M14	Haba	-12.898917	-74.07549	3744
M15	UM-M15	Arveja	-12.898635	-74.075241	3756
M16	UM-M16	Papa	-12.899578	-74.073498	3776
M17	UM-M17	Maíz	-12.915079	-74.064143	3443
M18	UM-M18	Pasto asociado	-12.91548	-74.064087	3432
M19	UM-M19	Papa	-12.915389	-74.063651	3517
M20	UM-M20	Papa	-12.919447	-74.054758	3358
M21	UM-M21	Pasto asociado	-12.901958	-74.079703	3738
M22	UM-M22	Maíz	-12.918753	-74.056127	3381
M23	UM-M23	Maíz	-12.918824	-74.056109	3382
M24	UM-M24	Maíz	-12.919703	-74.055338	3407
M25	UM-M25	Cebada	-12.919907	-74.055235	3349
M26	UM-M26	Papa	-12.903227	-74.074909	3614

Tabla 2.3*Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Rayanccasa*

Muestra	Codificación	Cultivo	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
M1	R-M1	Papa	-12.910665	-74.073731	3676
M2	R-M2	Papa	-12.908304	-74.076181	3669
M3	R-M3	Papa	-12.907444	-74.07657	3673
M4	R-M4	Papa	-12.90739	-74.076583	3663
M5	R-M5	Papa	-12.90584	-74.077958	3697
M6	R-M6	Haba	-12.904733	-74.07872	3669
M7	R-M7	Papa	-12.904739	-74.079618	3750
M8	R-M8	Oca	-12.904703	-74.079635	3749
M9	R-M9	Haba	-12.904145	-74.078172	3781

Tabla 2.4*Muestras de suelo obtenidas de la comunidad campesina de Churrulla*

Muestra	Codificación	Cultivo	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
M1	CH-M1	Maíz	-12.916302	-74.06711	3489
M2	CH-M2	Papa	-12.916528	-74.06641	3538
M3	CH-M3	Haba	-12.914265	-74.071239	3578
M4	CH-M4	Zanahoria	-12.913915	-74.069782	3546
M5	CH-M5	Haba	-12.916447	-74.068133	3520
M6	CH-M6	Maíz	-12.916235	-74.067158	3511

Tabla 2.5*Muestras de suelo obtenidos de la comunidad campesina de Polanco*

Muestra	Codificación	Cultivo	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
M1	P-M1	Maíz	-12.91655	-74.061234	3445
M2	P-M2	Ortiga	-12.916555	-74.06134	3434
M3	P-M3	Pasto asociado	-12.915028	-74.060054	3487
M4	P-M4	Avena	-12.915447	-74.059982	3477
M5	P-M5	Maíz	-12.915453	-74.06008	3473
M6	P-M6	Quinoa	-12.91562	-74.060308	3475
M7	P-M7	Cebada	-12.915788	-74.060683	3468
M8	P-M8	Maíz	-12.915671	-74.06031	3462
M9	P-M9	Papa	-12.916571	-74.060837	3432
M10	P-M10	Papa silvestre	-12.916412	-74.061555	3483
M11	P-M11	Maíz	-12.917214	-74.060372	3431
M12	P-M12	Maíz	-12.917583	-74.060013	3407

2.3.2. Colección de muestra vegetal

La colección de muestras vegetales para el aislamiento de patógenos se llevó a cabo en la comunidad campesina de Unión Minas, específicamente en una parcela dedicada al cultivo de papa. Se recolectaron tallos, hojas que presentaban síntomas característicos de manchas circulares concéntricas de color café, asociadas a infecciones causadas por *Alternaria* sp., así como tubérculos con el fin de proceder al aislamiento de *Fusarium* sp.

Una vez obtenidas, las muestras fueron cuidadosamente colocadas en papel Kraft. Todo el material recolectado fue trasladado al laboratorio de Fitopatología, donde se efectuaron los análisis correspondientes para la identificación de los patógenos.

Figura 2.4

Material vegetal colectado de un campo de cultivo de papa



Nota. A: Presencia de mancha de forma irregular con anillos concéntrico, B: Tubérculos con síntomas de pudrición.

2.4. Aislamiento

2.4.1. Aislamiento de cepas de *Trichoderma* spp.

El procedimiento de aislamiento se llevó a cabo siguiendo los pasos descritos a continuación:

- **Muestra maestra:** Se tomó 10 gramos de suelo, la cual se introdujo en un recipiente que contenía 90 ml de agua estéril.
- **Mezcla y sedimentación:** La suspensión se agitó manualmente por un tiempo aproximado de 5 minutos para asegurar una mezcla homogénea. Posteriormente, se dejó reposar durante 30 minutos con el fin de permitir la sedimentación de las partículas sólidas.
- **Primera dilución (10^{-1}):** Transcurrido el tiempo de sedimentación, se extrajo 1000 μ l del sobrenadante y se transfirió a un tubo de ensayo con 9 ml de agua estéril. La mezcla fue agitada cuidadosamente para garantizar una dilución uniforme.
- **Segunda dilución (10^{-2}):** A partir de la primera dilución, se tomó nuevamente 1000 μ l y se transfirió a un segundo tubo de ensayo que contenía 9 ml de agua estéril, obteniéndose así la segunda dilución, la cual también fue homogenizada.

- **Siembra en placas Petri:** De cada una de las diluciones (10^{-1} y 10^{-2}), se tomaron 100 μ l que fueron sembrados individualmente en placas Petri previamente preparadas con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar).
- **Dispersión y rotulado:** Las muestras fueron distribuidas uniformemente sobre la superficie del medio de cultivo utilizando un asa de Drigalski previamente esterilizada. Cada placa fue debidamente rotulada con la siguiente información: número de muestra, origen y fecha.
- **Incubación:** Finalmente, las placas fueron incubadas en una estufa a 25 ± 2 °C, con el objetivo de favorecer el crecimiento de los microorganismos presentes en las muestras de suelo.
- **Purificación:** Transcurrido un período de 5 a 7 días desde la siembra inicial, se procedió a realizar la purificación. Para ello, se seleccionaron micelios que presentaban características morfológicas propias del género *Trichoderma*. Los fragmentos de micelio característico fueron cuidadosamente transferidos y sembrados en una placa de Petri con medio de cultivo PDA, con el fin de favorecer su desarrollo. Posteriormente, las placas fueron incubadas en una estufa a una temperatura controlada de 25 ± 2 °C.
- **Reconocimiento de las cepas:** Una vez obtenidas las cepas purificadas, se procedió a su reconocimiento mediante observación de colonias y la elaboración de montajes microscópicos. Este procedimiento permitió observar (40x) con detalle las estructuras reproductivas y vegetativas características, tales como la morfología de las hifas, fiálides y conidios, las cuales son distintivas del género *Trichoderma*. La verificación de estas características morfológicas resultó fundamental para confirmar que los aislados correspondían efectivamente a dicho género, asegurando así la confiabilidad del proceso de aislamiento.

2.4.2. *Aislamiento de los hongos fitopatógenos.*

El aislamiento de *Alternaria* sp y *Fusarium* sp. se realizó siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

- **Preparación de cámara húmeda:** Una vez que las muestras vegetales llegaron al laboratorio, se procedió a la preparación de las cámaras húmedas. Para este proceso se utilizaron recipientes previamente desinfectados, asegurando que estuvieran libres de cualquier agente contaminante. En el fondo de cada recipiente se colocó una capa de

papel toalla estéril y, sobre esta, se pusieron placas Petri igualmente desinfectadas. Posteriormente, el papel toalla fue humedecido con agua estéril hasta alcanzar un nivel adecuado de humedad. Una vez preparado los recipientes, se colocaron cuidadosamente las muestras vegetales sobre las placas Petri, procurando evitar contacto directo con el papel toalla. Finalmente, los recipientes fueron cerrados, rotulados y colocados a temperatura ambiente. Durante los días posteriores, se observó el desarrollo de micelio en las muestras vegetales, lo que permitió proceder con el aislamiento de *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp.

- **Siembra:** El proceso de siembra se realizó a partir de las cámaras húmedas en las que se evidenció la presencia de micelio. Para ello, se tomaron fragmentos de micelio de las muestras vegetales utilizando un estilete estéril, los cuales fueron colocados en dos puntos (opuestas) en la placa de Petri con medio de cultivo PDA. Una vez sembrado el micelio y rotuladas las placas, estas fueron incubadas en una estufa a una temperatura controlada de 25 ± 2 °C, con el fin de favorecer el crecimiento y desarrollo de los hongos aislados.
- **Purificación:** Después de un período de 5 a 7 días desde la siembra inicial, se procedió a la selección de colonias que mostraban características morfológicas distintivas de los patógenos *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp., tales como la coloración y aspecto del micelio. El micelio seleccionado fue cuidadosamente transferido al medio de cultivo PDA, sembrándolos en dos puntos opuestos de la placa. Finalmente, las placas fueron incubadas en una estufa a una temperatura controlada de 25 ± 2 °C, a fin de favorecer el desarrollo de los aislamientos purificados.
- **Reconocimiento de las cepas:** Una vez obtenidas las cepas purificadas, se procedió a su reconocimiento mediante observación microscópica (40x). En este análisis se identificaron conidios con características propias de los patógenos, lo que permitió confirmar la presencia de *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp. Tras dicha verificación, las cepas fueron sometidas al proceso de conservación.

2.5. Conservación

Una vez confirmado que las cepas aisladas correspondían a *Trichoderma* spp., *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp., se procedió a su conservación. Para este propósito, a partir de las placas purificadas se extrajeron discos con micelio de alrededor de 5 mm de diámetro mediante el uso de un sacabocado estéril, estos fragmentos fueron cuidadosamente transferidos

a tubos de ensayo que contenían medio de cultivo PDA (técnica de tubo inclinado), previamente esterilizado y preparado. Posteriormente, los tubos fueron sellados con cinta Parafilm, con el fin de prevenir la contaminación externa y evitar la desecación del medio de cultivo.

Los tubos fueron incubados en una estufa a una temperatura controlada de 25 ± 2 °C durante un período de 2 a 3 días, permitiendo de este modo el crecimiento inicial de las cepas. Finalmente, una vez transcurrido este tiempo, las muestras fueron almacenadas a una temperatura de 5 ± 1 °C. Este procedimiento de conservación aseguró la viabilidad de las cepas a largo plazo y permitió disponer de una colección representativa para posteriores estudios de caracterización.

2.6. Activación de las cepas

Para llevar a cabo la caracterización morfológica, se procedió a la activación de las cepas conservadas, tanto de *Trichoderma* spp. como de los hongos fitopatógenos. Para este fin, se extrajeron fragmentos de micelio de los tubos de conservación utilizando un estilete estéril. Dichos fragmentos fueron transferidos al centro de placas Petri que contenían medio de cultivo PDA. Posteriormente, las placas fueron rotuladas, selladas con cinta Parafilm y finalmente incubadas en una estufa a una temperatura controlada de 25 ± 2 °C.

2.7. Caracterización morfológica

2.7.1. Caracterización morfológica de *Trichoderma* spp.

Una vez obtenidas las cepas de *Trichoderma* spp., se procedió a realizar la caracterización macroscópica siguiendo los lineamientos propuestos por Barnett y Hunter (1972). En este análisis se consideraron diversos rasgos de las colonias cultivadas en medio PDA, tales como la textura de la colonia, así como la formación o no de anillos concéntricos durante su desarrollo. Del mismo modo, se evaluó la coloración de las colonias, que suele comenzar con tonalidades blanquecinas y, conforme avanza el crecimiento, evolucionar hacia verdes más intensos, que varían de claros a oscuros.

La caracterización microscópica de las cepas de *Trichoderma* spp. se realizó conforme a los criterios taxonómicos establecidos por Barnett y Hunter (1972), considerando elementos como el color y la disposición de las fiálides, la coloración de las hifas, así como la forma y tonalidad de los conidios. Para la observación, se prepararon montajes en portaobjetos

utilizando una gota de lactofenol transparente, con el propósito de evaluar adecuadamente los colores de las estructuras.

Sin embargo, debido a que el lactofenol transparente no permitía una correcta definición de los bordes de los conidios y fiálides, se realizaron montajes adicionales empleando lactofenol azul como agente colorante y de contraste. Las estructuras fúngicas fueron observadas y medidas con un microscopio acoplado a una pantalla digital (BioBlue), utilizando un aumento de 40X, lo que permitió obtener una descripción detallada de las características morfológicas propias de cada cepa de *Trichoderma* spp.

2.7.2. Caracterización morfológica de los hongos fitopatógenos.

Caracterización morfológica de *Alternaria* sp.

La caracterización macroscópica y microscópica de *Alternaria* sp. se efectuó conforme a la guía taxonómica descrita por Barnett y Hunter (1972). En la fase macroscópica se registraron parámetros morfológicos de la colonia, tales como el color, textura superficial, margen y forma de crecimiento en el medio de cultivo. Posteriormente, en la fase microscópica, se procedió a la preparación de montajes en portaobjetos. Se evaluaron específicamente la forma y color de los conidios, así como la presencia, disposición y número de septos en los macroconidios, características fundamentales para su identificación taxonómica.

Asimismo, mediante el uso de un microscopio acoplado a una pantalla digital se efectuó la medición de los macroconidios, con el propósito de determinar con precisión las dimensiones correspondientes a cada cepa.

Caracterización morfológica de *Fusarium* sp.

Para la caracterización macroscópica y microscópica de *Fusarium* sp. se siguió la guía de Barnett y Hunter (1972). A nivel macroscópico se evaluaron aspectos como el color, la textura y la morfología de la colonia en medio de cultivo. En cuanto a la caracterización microscópica, se observaron y describieron estructuras propias del género, considerando la forma y el color de los macroconidios,

Para la medición de los macroconidios de las cepas, se prepararon montajes que fueron observados en un microscopio acoplado a una pantalla digital a un aumento de 40X, con el fin de obtener información más precisa y detallada de cada aislamiento.

2.8. Conteo de conidio de *Trichoderma*

Para el conteo de conidios, se sembró previamente un disco de 5 mm de diámetro en el centro de una placa Petri con medio de cultivo PDA. La placa fue rotulada, sellada con Parafilm e incubada en estufa a una temperatura controlada de 25 ± 2 °C durante 15 días.

Transcurrido este período, se procedió al conteo de conidios siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

- **Suspensión conidial:** Se añadieron 25 ml de agua estéril a la placa con el cultivo de *Trichoderma* spp., y posteriormente se raspó suavemente la superficie con un asa de Drigalski, previamente esterilizada, hasta desprender completamente el micelio del medio de cultivo.
- **Dilución seriada:** Para la primera dilución (10^{-1}), se tomó 1000 μ l de la suspensión de la placa y se transfirió a un tubo de ensayo que contenía 9 ml de agua estéril, mezclando adecuadamente. A partir de este primer tubo, se tomó nuevamente 1000 μ l y se transfirió a un segundo tubo con 9 ml de agua estéril, obteniéndose así la dilución 10^{-2} .
- **Montaje en la cámara de Neubauer:** De la segunda dilución, se tomó la suspensión conidial con ayuda de una micropipeta y se depositó cuidadosamente en el carril de la cámara de Neubauer, asegurando que la muestra recorriera todo el canal.
- **Observación:** Una vez preparado el montaje, la cámara se observó en un microscopio con aumento de 40X.
- **Conteo microscópico:** El conteo se realizó en cinco cuadrados secundarios pertenecientes al cuadrado principal 'E'.
- **Cálculo de concentración de conidios:** Se determinó aplicando la fórmula propuesta por French y Hebert (1980) que es lo siguiente:

$$\text{SUMA de 5 C. S.} \times 50\,000 = \text{número/cc}$$

$$\text{SUMA de 5 C. S.} \times 50\,000 = \text{número/ml}$$

2.9. Selección de *Trichoderma* para prueba antagónica

Bonifaz y Rubio (2023), señalan que *Trichoderma* con rápido crecimiento micelial y elevada capacidad de esporulación, colonizan de manera eficiente diversos sustratos y suelos.

Considerando estas propiedades, la selección de las cepas para la prueba antagónica se realizó con base en los siguientes criterios:

1. Cepas capaces de cubrir completamente una placa de 9 cm de diámetro en un período igual o menor a tres días.
2. Cepas que presentaron esporulación en un tiempo igual o menor a tres días.
3. Cepas con una producción de conidios igual o superior a 4 250 000 conidios/ml (15 días).

2.10. Prueba antagónica

Para evaluar el efecto antagónico *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp., se utilizó la técnica de enfrentamiento dual. Esta consistió en colocar, en extremos opuestos de una placa Petri con medio de cultivo PDA, un disco de 5 mm de diámetro con micelio del fitopatógeno y, en el otro extremo, un disco de igual tamaño con micelio de la cepa de *Trichoderma* spp.

Cada prueba antagónica (fitopatógeno enfrentado con *Trichoderma* sp.) tuvo cinco repeticiones y de la misma manera los testigos con cinco repeticiones.

Las mediciones del crecimiento de ambas colonias se realizaron cada 24 horas. El porcentaje de inhibición fue calculado aplicando la fórmula mencionada por Andrade et al. (2019), de la siguiente manera:

$$\text{PICR}\% = \frac{\text{R1} - \text{R2}}{\text{R1}} \times 100$$

Donde:

PICR= porcentaje de inhibición de crecimiento radial

R1= crecimiento radial (mm) del patógeno sin *Trichoderma* spp.

R2= crecimiento radial (mm) del patógeno con *Trichoderma* spp.

El PICR fue clasificado en una escala de 0 a 4, empleando la categoría de inhibición del crecimiento mencionada por Ramírez et al. (2019).

Tabla 2.6

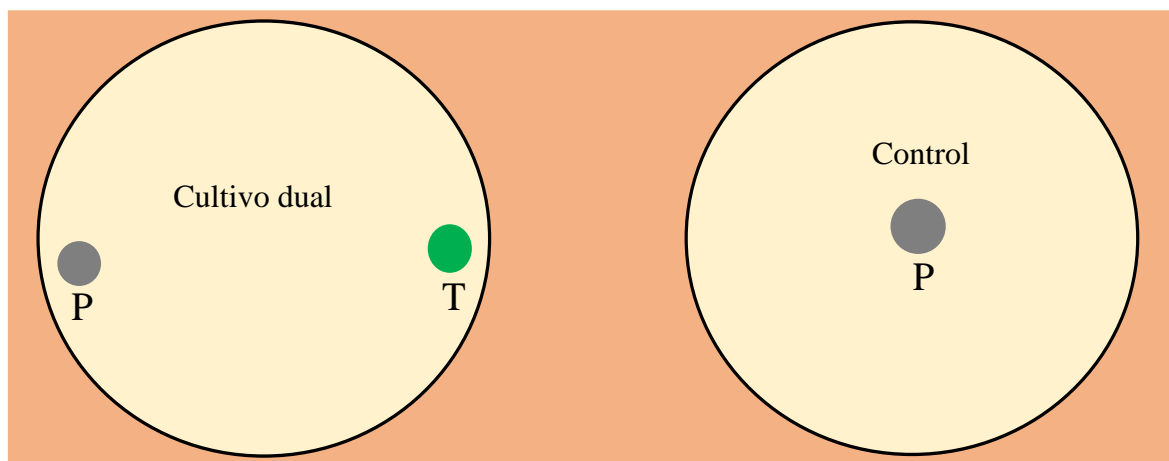
Escala de categoría de inhibición de crecimiento PICR

CATEGORÍA/GRADO	INHIBICIÓN DE CRECIMIENTO
0	Sin crecimiento o inhibición
1	1% - 25% inhibición del crecimiento
2	26% - 50% inhibición del crecimiento
3	51% - 75% inhibición del crecimiento
4	76% - 100% inhibición del crecimiento

Fuente: Ramírez et al. (2019).

Figura 2.5

Técnica de cultivo dual



2.11. Prueba molecular de cepas antagónicas

Para el análisis molecular se seleccionaron las cepas que presentaron el mayor porcentaje de inhibición frente a cada cepa patogénica evaluadas. La identificación de las cepas de *Trichoderma* spp. fue realizada en la empresa Umbrella Genomics Company.

La identificación molecular se realizó mediante la amplificación del gen ITS. Para ello se utilizaron los siguientes iniciadores específicos:

- ITS1 (5'-CTT GGT CAT TTA GAG GAA GTA A-3')
- ITS4 (5'-CAG GAG ACT TGT ACA CGG TCC AG-3').

2.11.1. Extracción de ADN

La obtención de ADN se llevó a cabo con el kit *NucleoSpin® Microbial DNA* (Macherey-Nagel), siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante.

Preparación de muestra.

- Colocar 100 µl de buffer de elución BE en un tubo eppendorf.
- Agregar 40 mg de micelio.

Lisado de muestra.

- Transferir la muestra a tubo MN tipo B.
- Añadir 40 µl de buffer MG.
- Añadir 10 µl de Proteinasa K líquida.
- Vórtex por 10 minutos para asegurar la ruptura mecánica del micelio.
- Centrifugar a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad durante 30 segundos.

Ajuste de condiciones de unión.

- Al tubo con el lisado resultante, se añadió 600 µl de buffer MG (esto permite ajustar las condiciones para que el ADN se una a la membrana de sílice).
- Vórtex 30 segundos para mezclar bien.
- Centrifugar a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad por 30 segundos.

Unión del ADN a la columna.

- Colocar la columna NucleoSpin® en el tubo colector.
- Colocar 500 – 600 µl de muestra en la columna de sílice.
- Centrifugar a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad durante 30 segundos, para que el ADN se adhiera a la membrana de sílice.
- Desechar el filtrado (flow-through).

Lavado de la membrana de sílice.

- Primer lavado: añadir 500 µl del primer buffer de lavado (BW).
- Centrifugar a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad por 30 segundos
- Segundo lavado: añadir 500 µl del segundo buffer de lavado (B5).

- Centrifugar a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad por 30 segundos.
- Desechar el filtrado después de cada lavado.

Secado la membrana de sílice.

- Centrifugación final en vacío para secar la membrana: a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad durante 30 segundos.

Recuperación del ADN.

- Transferir la columna a un tubo limpio para la elución.
- Añadir 50 µl de buffer de elución, para la liberación del ADN de la membrana de sílice de la columna.
- Esperar 1 minuto.
- Centrifugar a una fuerza de 11 000 veces la aceleración de la gravedad durante 30 segundos, para recoger el eluato (este contiene el ADN).

2.11.2. Pre- PCR

La preparación de la mezcla maestra para la amplificación se preparó de acuerdo a la tabla 2.7.

Tabla 2.7

Preparación de mezcla maestra para amplificación

Componentes	Volumen por reacción (µl)
AccuStart II PCR SuperMix	12.5
Primer Forward (10 µM)	0.5
Primer Reverse (10 µM)	0.5
ADN plantilla	2
Agua libre de nucleasas	9.5
Total	25

2.11.3. PCR

La reacción de PCR se llevó a cabo en un termociclador mediante 35 ciclos, cada uno compuesto por las siguientes etapas:

- Desnaturalización a 94 °C por 30 segundos
- Alineamiento a 56 °C por 30 segundos
- Extensión a 70 °C por 60 segundos.

2.11.4. Electroforesis en gel

El revelado del ADN se realizó mediante electroforesis en agarosa al 1.5 % utilizando Buffer TAE.

- Preparación de gel de agarosa al 1.5% (Seegreen).
- Se cargó en el pocillo 5 µl de cada reacción de PCR junto con 5 µl de marcador molecular.
- La corrida se efectuó a 100 V durante 30 minutos, y los fragmentos obtenidos se visualizaron bajo luz azul del Gelato.

2.11.5. Secuenciamiento de ADN

El secuenciamiento de ADN fue realizado por la empresa Umbrella Genomics Company.

2.12. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, donde los datos se sometieron a un análisis de varianza. posteriormente, se aplicó la prueba de Tukey con nivel de significancia $\alpha = 0.05$ con el fin de identificar diferencias significativas entre las cepas evaluadas.

2.13. Tipo de investigación

La investigación es básica-experimental.

2.14. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al azar (DCA), con 5 repeticiones y con el modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación cualquiera del i -ésimo tratamiento y j -ésima repetición

u = Promedio de las unidades experimentales

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_{ij} = Error experimental

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Aislamiento

3.1.1. Aislamiento de cepas nativas de *Trichoderma* spp.

De las 58 muestras de suelo se obtuvo 73 aislamientos pertenecientes al género *Trichoderma*. Este resultado evidencia alta presencia de este hongo en los suelos evaluados. Este resultado se asemeja con lo reportado por Sánchez et al. (2021), quienes aislaron cepas de *Trichoderma* de muestras de suelo agrícola.

Tabla 3.1

Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Unión Minas

N°	Aislamiento	N°	Aislamiento	N°	Aislamiento	N°	Aislamiento
1	UM-M1.1	9	UM-M10	17	UM-M18.5	25	UM-M23.2
2	UM-M1.2	10	UM-M12	18	UM-M18.6	26	UM-M24.1
3	UM-M2	11	UM-M14	19	UM-M19	27	UM-M24.2
4	UM-M3	12	UM-M16	20	UM-M20	28	UM-M25.1
5	UM-M4	13	UM-M18.1	21	UM-M21.1	29	UM-M25.2
6	UM-M5	14	UM-M18.2	22	UM-M21.2	30	UM-M25.3
7	UM-M6	15	UM-M18.3	23	UM-M22	31	UM-M25.4
8	UM-M8	16	UM-M18.4	24	UM-M23.1	32	UM-M26

Tabla 3.2*Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Rayanccasa*

N°	Aislamiento	N°	Aislamiento	N°	Aislamiento
1	R-M1	4	R-M3	7	R-M7
2	R-M2.1	5	R-M4	8	R-M8
3	R-M2.2	6	R-M5	9	R-M9

Tabla 3.3*Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Churulla*

N°	Aislamiento	N°	Aislamiento	N°	Aislamiento
1	CH-M2	4	CH-M5.1	7	CH-M6
2	CH-M3	5	CH-M5.2		
3	CH-M4	6	CH-M5.3		

Tabla 3.4*Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Polanco*

N°	Aislamiento	N°	Aislamiento	N°	Aislamiento
1	P-M2	7	P-M6	13	P-M9.2
2	P-M3.1	8	P-M7	14	P-M10
3	P-M3.2	9	P-M8.1	15	P-M11.1
4	P-M4.1	10	P-M8.2	16	P-M11.2
5	P-M4.2	11	P-M8.3	17	P-M12.1
6	P-M5	12	P-M9.1	18	P-M12.2

Tabla 3.5*Aislamientos obtenidos de la comunidad campesina de Tantacocha*

N°	Aislamiento	N°	Aislamiento	N°	Aislamiento
1	T-M1.1	4	T-M2.2	7	T-M5
2	T-M1.2	5	T-M2.3		
3	T-M2.1	6	T-M3		

3.1.2. Aislamiento de los hongos fitopatógenos

Se aislaron dos cepas pertenecientes al género *Fusarium* una asociada a la parte aérea de la planta (F1) y otra al tubérculo (F2). De igual modo, se lograron obtener dos aislamientos del género *Alternaria*, correspondientes a la parte aérea (A1) y al tubérculo (A2).

Tabla 3.6

Hongos fitopatógenos aislados

Código	Hongo aislado	Origen	Cultivo
F1	<i>Fusarium</i> sp.	Parte aérea	Papa
F2	<i>Fusarium</i> sp.	Tubérculo	Papa
A1	<i>Alternaria</i> sp	Parte aérea	Papa
A2	<i>Alternaria</i> sp	Tubérculo	Papa

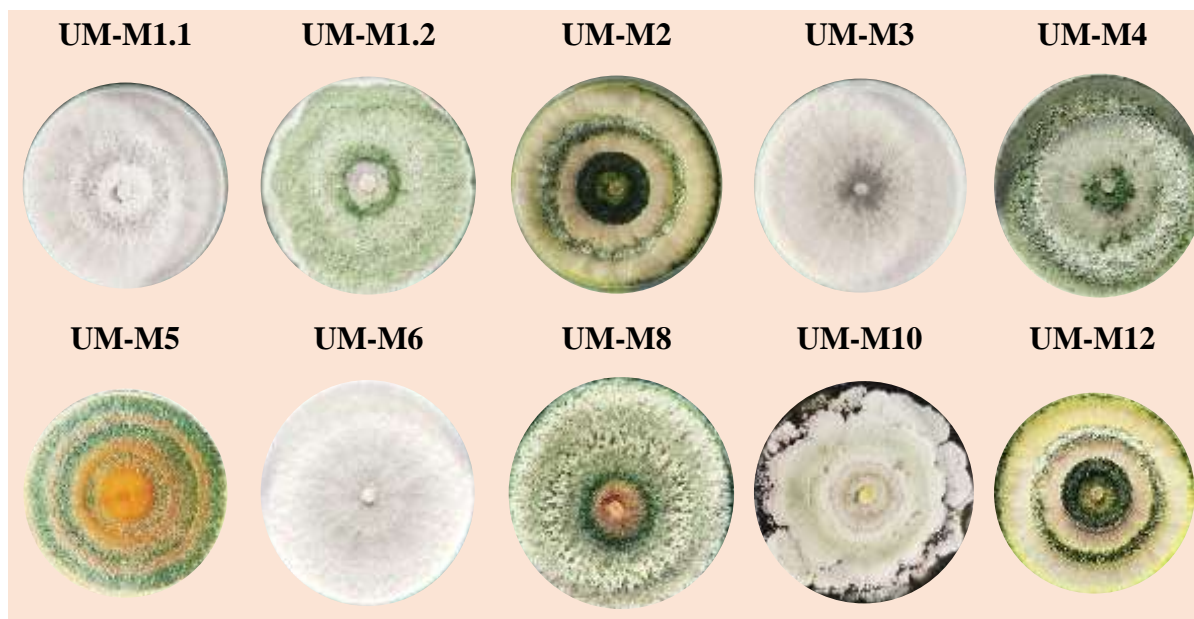
3.2. Características

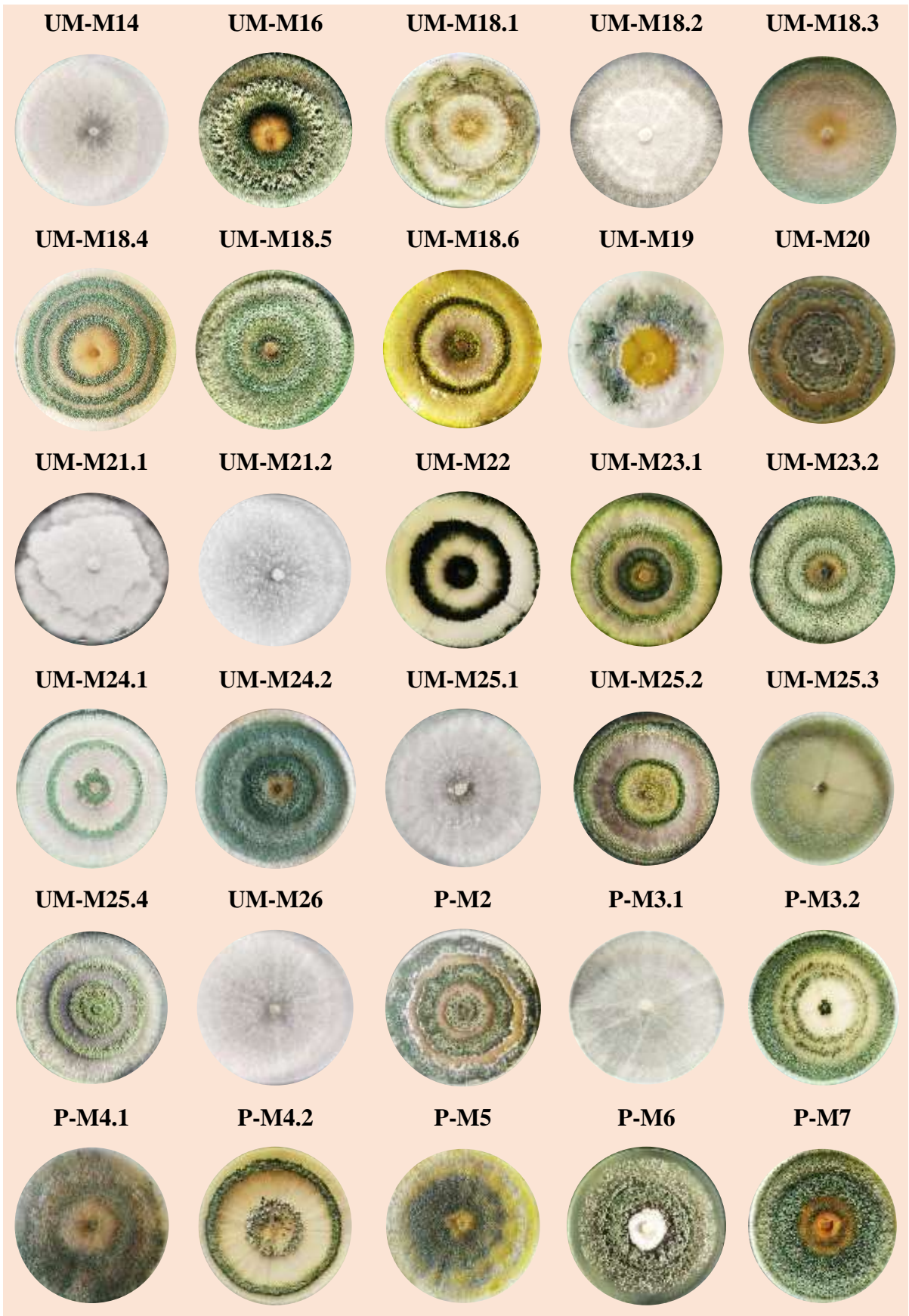
3.2.1. Características de las cepas nativas de *Trichoderma* spp.

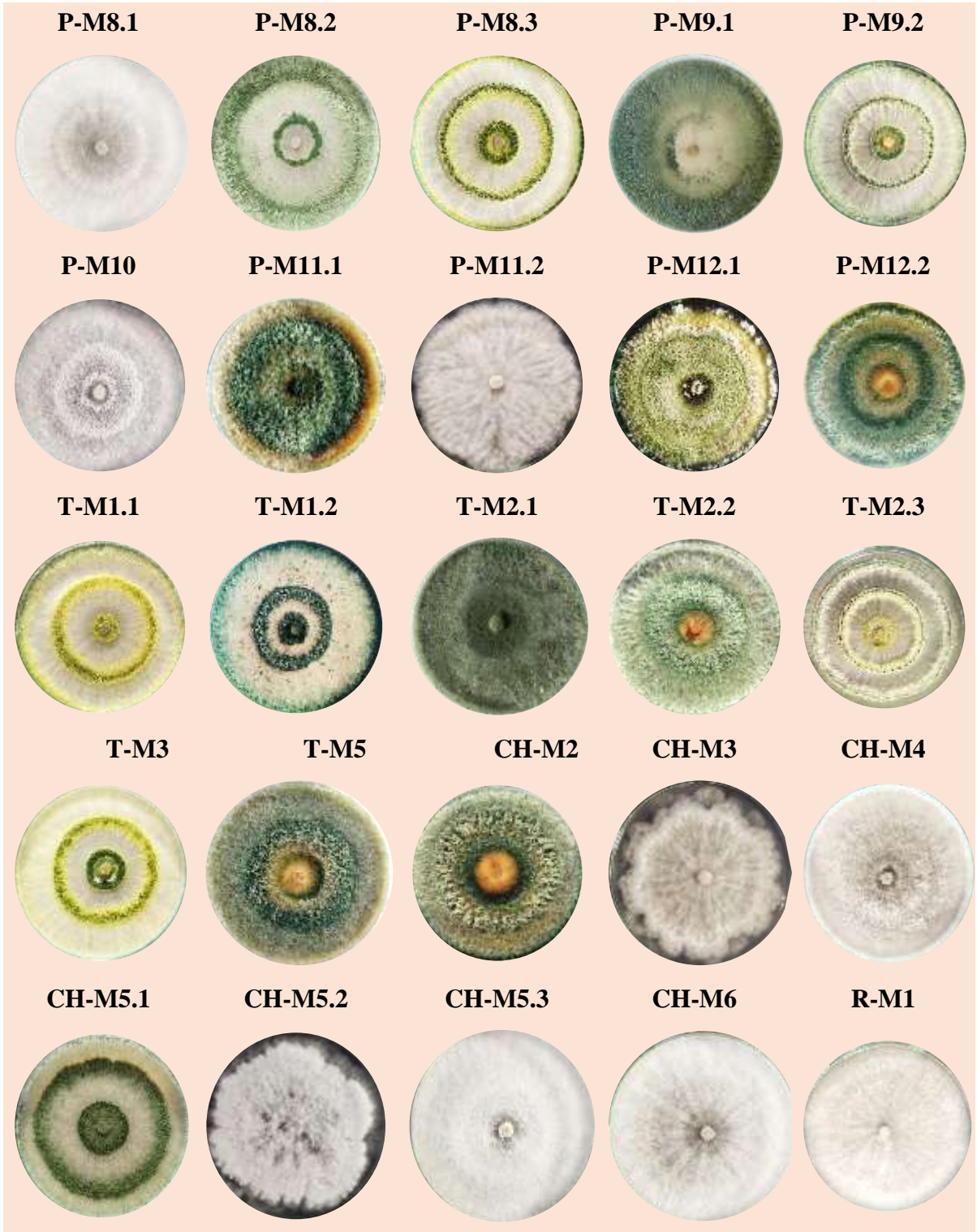
Características macroscópicas.

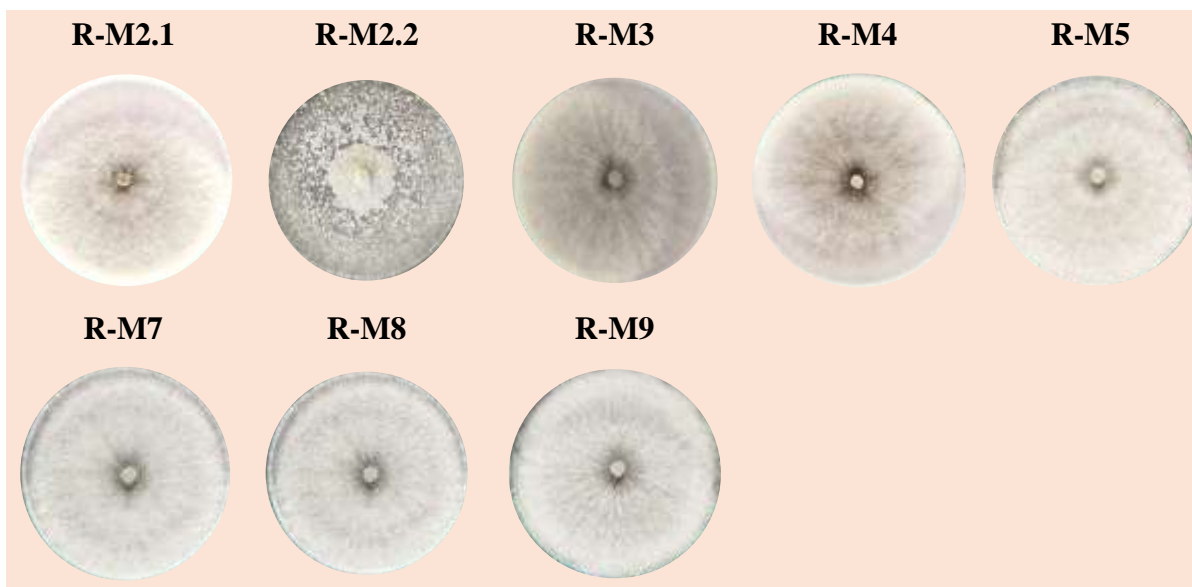
Figura 3.1

Cepas nativas de Trichoderma spp









En todas las cepas evaluadas, el micelio presentó una textura algodonosa. En cuanto a la coloración, inicialmente todas las colonias fueron de color blanco; sin embargo, al séptimo día, el 36.9% mantuvo dicha tonalidad, mientras que el 63,1% cambió a verde y amarillo de diferentes tonalidades. Asimismo, el 28.8% de los aislamientos desarrolló anillos concéntricos bien definidos.

En relación al olor, el 30,1% de las cepas presentó un aroma característico a coco (UM-M1.1, UM-M3, UM-M6, UM-M14, UM-M21.2, UM-M25.1, UM-M26, P-M3.1, P-M8.1, P-M10, CH-M4, CH-M5.3, CH-M6, R-M1, R-M2.1, R-M2.2, R-M3, R-M4, R-M5, R-M7, R-M8 y R-M9). El crecimiento micelial mostró variabilidad entre los aislamientos. En placas Petri de 9 cm de diámetro, una cepa logró llenar la placa en 2 días, 44 aislamientos lo hicieron en 3 días, 18 en 4 días; y el resto entre 5 y 11 días. En cuanto a la esporulación, una cepa esporuló en 2 días, 20 en 3 días, 15 en 4 días, y el resto entre 5 y 32 días, evidenciando una notable variabilidad en la velocidad de crecimiento y esporulación entre los aislamientos analizados.

Las características macroscópicas observadas, como la presencia de anillos concéntricos, así como la textura y el color de la colonia, es propio del género *Trichoderma*, de acuerdo con los criterios de identificación descritos por Barnett y Hunter (1972).

Los resultados obtenidos coinciden con lo descrito por Ynfante et al. (2023), quienes señalan que las colonias de *Trichoderma* presentaron coloración inicialmente blanca que evoluciona hacia tonos verdes o azulados. De igual manera, García et al. (2017) reportaron que

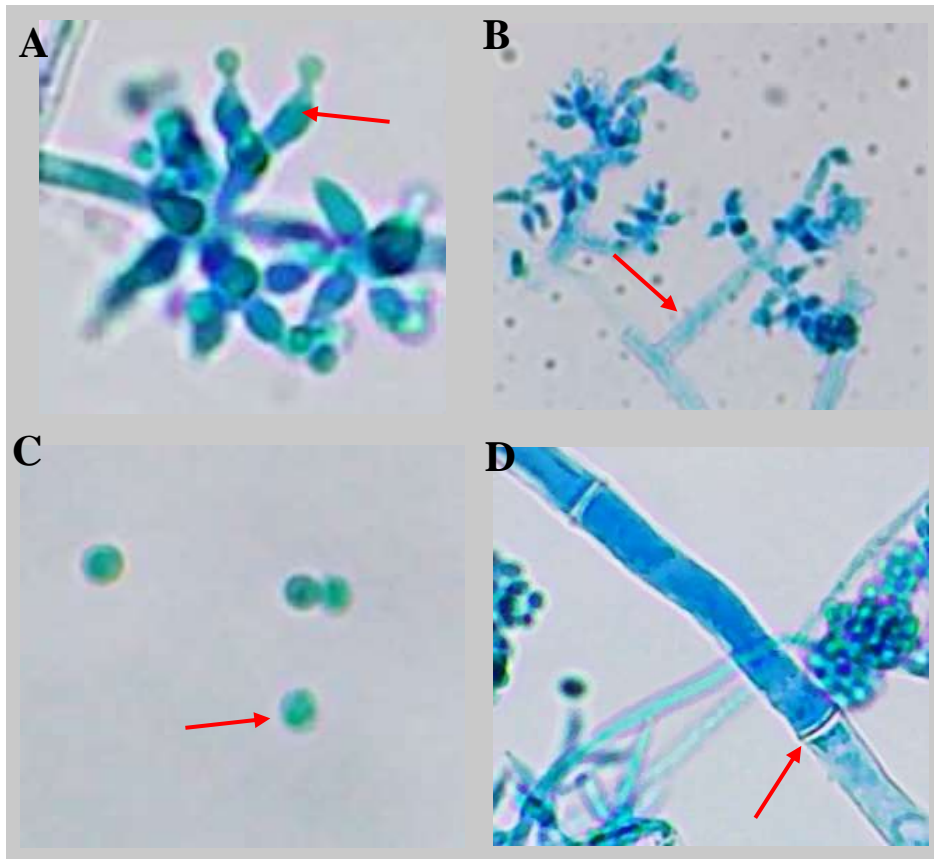
las cepas nativas presentaron dos o tres anillos concéntricos bien definidos, aunque algunos aislamientos carecen de ellos, además de presentar pigmentaciones amarillas o verdes en diversas tonalidades.

Por su parte, Acurio y España (2017) observaron que las colonias de *Trichoderma* mostraron un crecimiento rápido, cubriendo la superficie del medio de cultivo en aproximadamente cinco días. Inicialmente, las colonias presentaron una textura algodonosa blanca que, con el tiempo, se compactó y esporuló, adquiriendo una coloración verde. De forma complementaria, Mesa et al. (2019) indicaron que algunas cepas de *Trichoderma* presentan aromas agradables similares al coco, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación para un grupo de aislamientos.

Características microscópicas

Figura 3.2

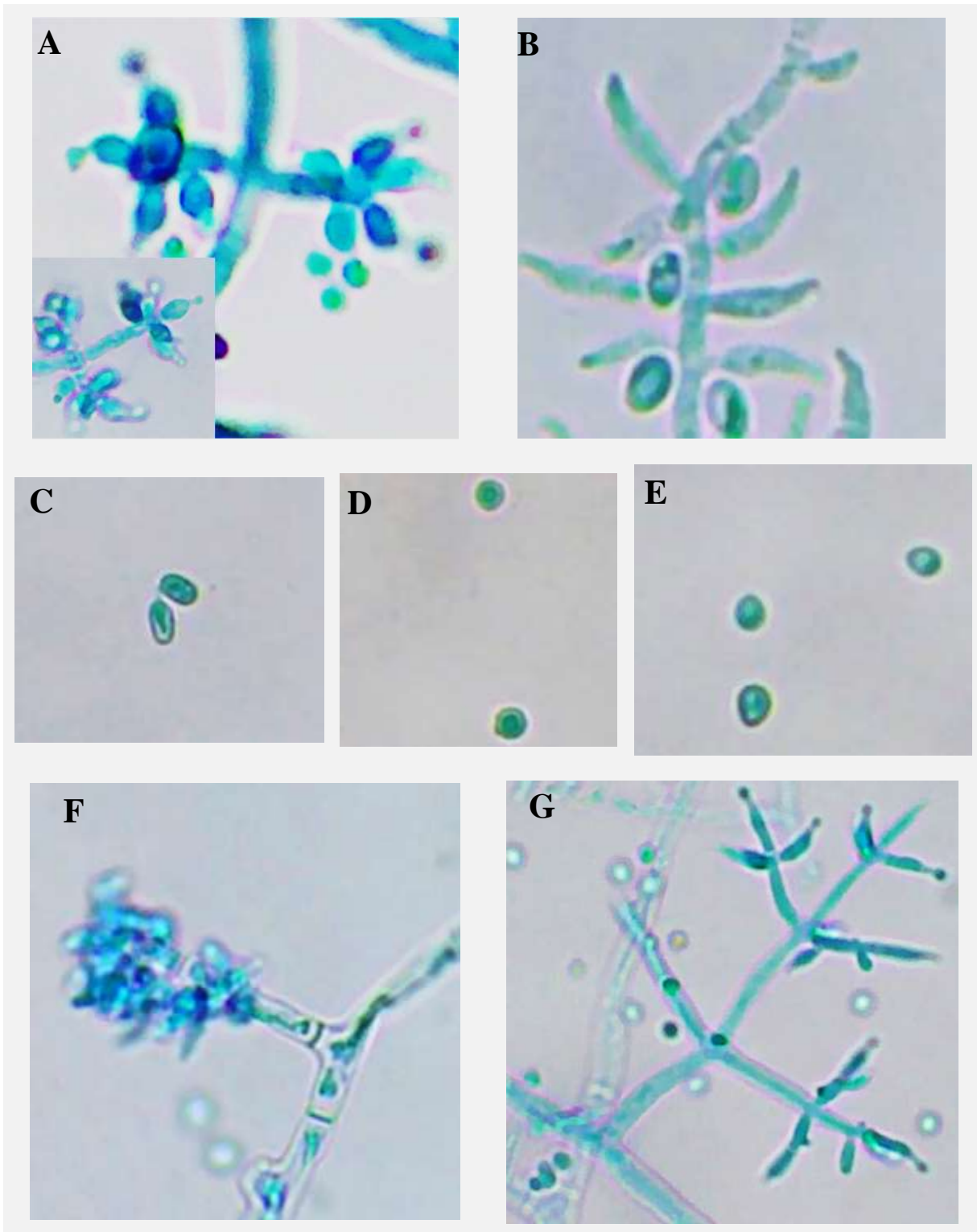
Trichoderma spp.



Nota. A: Fiálide, B: conidióforo, C: conidio, D: micelio septado.

Figura 3.3

Estructuras microscópica de Trichoderma spp.



Nota. A: Fiálides agrupadas en grupo de 5, B: Fiálide solitario, C: Conidios elipsoidales, D: Conidios globosos, E: Conidios ovoides, F: Conidióforo sin ramificación, G: Conidióforo ramificado.

En todos los aislamientos se observaron fiálides hialinas, presentes de manera solitaria o agrupadas en conjuntos (2-5). Las hifas fueron de color hialina y septada. En cuanto a los conidióforos, se observaron ramificados (87.7%) y sin ramificación (12.3%). Los conidios mostraron formas variadas, incluyendo globosas (64.4%), ovoides (6.9%) y elipsoidales (28.8%), con una coloración predominantemente verde. Sin embargo, en las cepas UM-M21.1, CH-M3, CH-M5.2 y P-M11.2, los conidios fueron de color hialino.

El tamaño de las fiálides varió entre 4.36 μm (UM-M25.3) a 7.71 μm (CH-M5.1). En cuanto a los conidios, su tamaño varió entre 1.96 μm (P-M3.2) a 4.11 \times 2.63 μm (P-M5). Respecto a la producción de conidios a los 15 días de incubación, el 13.7% de los aislamientos no presentó producción de conidios, mientras que la mayor concentración fue de 7 600 000 conidios/ml (P-M2), evidenciando diferencia en la capacidad de esporulación entre las cepas nativas de *Trichoderma* aisladas.

Las características microscópicas observadas, como el color de los conidios, las fiálides y las hifas, así como la forma y color de los conidios, es propio del género *Trichoderma*, de acuerdo con los criterios de identificación establecidos por Barnett y Hunter (1972).

Los resultados obtenidos se asemejan con lo descrito por Ynfante et al. (2023), quienes reportaron hifas hialinas septadas, conidióforos hialinos y conidios de forma ovalada. De igual manera, García et al. (2017) describieron conidios ligeramente ovoides y globosas, fiálides agrupados de tres a cuatro, y conidióforos ramificados. Características consistentes con las observaciones en el presente estudio

Asimismo, Acurio y España (2017) mencionaron fiálides hialinas, tanto individuales como agrupadas en conjuntos de dos a tres, con conidios de forma ovoidal o globosa y color verde claro. Finalmente, Sánchez et al. (2017) reportaron conidios unicelulares y ovoides de color hialino o verde amarillento, lo cual refuerza la correspondencia de las estructuras observadas del género *Trichoderma*.

Tabla 3.7*Características morfológicas de las 73 cepas nativas de Trichoderma spp.*

Código	Fiálides	Conidios		Conidióforo	Micelio	Colonia		
		Forma	Color			Textura	color	N° anillo
UM-M1.1	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M1.2	Agrupadas en 3	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
UM-M3	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M4	Agrupadas en 4-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	verde	0
UM-M5	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	3
UM-M6	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M8	Agrupadas en 4-5	Ovoide	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M10	Agrupadas en 1-4	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde-blanco	0
UM-M12	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde amarillo	2
UM-M14	Agrupadas en 3-5	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M16	Agrupadas en 3-6	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M18.1	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M18.2	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M18.3	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0

UM-M18.4	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	3
UM-M18.5	Agrupadas en 2-5	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M18.6	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde amarillo	2
UM-M19	Solitario o entre 3	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde-blanco	0
UM-M20	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
UM-M21.1	Agrupadas en 2-3	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M21.2	Agrupadas en 3-4	Globosa	Hialino	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M22	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
UM-M23.1	Agrupadas en 4-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
UM-M23.2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M24.1	Agrupadas en 2-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
UM-M24.2	Agrupadas en 3-5	Ovoide	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M25.1	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
UM-M25.2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
UM-M25.3	Agrupadas en 2-3	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
UM-M25.4	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	3
UM-M26	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M1	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M2.1	Agrupadas en 2-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M2.2	Agrupadas en 2-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0

R-M3	Agrupadas en 1-3	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M4	Agrupadas en 1-3	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M5	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M7	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M8	Agrupadas en 2-3	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
R-M9	Agrupadas en 2-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
CH-M2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
CH-M3	Agrupadas en 2-3	Elipsoidal	Hialino	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
CH-M4	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
CH-M5.1	Solitario	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
CH-M5.2	Agrupadas en 3-5	Elipsoidal	Hialino	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
CH-M5.3	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
CH-M6	Agrupadas en 1-3	Globosa	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
P-M2	Agrupadas en 2-3	Elipsoidal	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	3
P-M3.1	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
P-M3.2	Agrupadas en 2-3	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M4.1	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M4.2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
P-M5	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M6	Agrupadas en 2-4	Elipsoidal	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0

P-M7	Agrupadas en 3-4	Ovoide	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M8.1	Agrupadas en 3	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
P-M8.2	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	1
P-M8.3	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde amarillo	2
P-M9.1	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M9.2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	2
P-M10	Agrupadas en 2-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
P-M11.1	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M11.2	Agrupadas en 3-4	Elipsoidal	Hialino	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Blanco	0
P-M12.1	Agrupadas en 3-5	Ovoide	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
P-M12.2	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
T-M1.1	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde amarillo	2
T-M1.2	Agrupadas en 3-4	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	3
T-M2.1	Agrupadas en 3-5	Ovoide	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
T-M2.2	Agrupadas en 3-6	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0
T-M2.3	1-Agrupadas en 3	Globosa	Verde	Sin ramificación	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde amarillo	3
T-M3	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde amarillo	2
T-M5	Agrupadas en 3-5	Globosa	Verde	Ramificado	Septado-Hialino	Algodonosa	Verde	0

Tabla 3.8*Cantidad de conidio, llenado y esporulación de las 73 cepas nativas de Trichoderma spp.*

Código	Nº conidio/ml	Llenado placa (día)	Esporulación (día)	Código	Nº conidio/ml	Llenado placa (día)	Esporulación (día)	Código	Nº conidio/ml	Llenado placa (día)	Esporulación (día)
UM-M1.1	400 000	3	9	UM-M24.1	800 000	3	3	T-M1.1	4 950 000	3	4
UM-M1.2	6 600 000	5	4	UM-M24.2	4 850 000	4	4	T-M1.2	4 250 000	3	3
UM-M2	2 800 000	3	3	UM-M25.1	500 000	4	12	T-M2.1	3 300 000	3	3
UM-M3	650 000	3	5	UM-M25.2	5 350 000	3	4	T-M2.2	4 750 000	3	3
UM-M4	6 750 000	3	4	UM-M25.3	3 650 000	3	6	T-M2.3	2 250 000	4	3
UM-M5	2 200 000	4	6	UM-M25.4	3 300 000	3	3	T-M3	2 700 000	3	3
UM-M6	0	3	21	UM-M26	0	3	27	T-M5	4 650 000	3	3
UM-M8	3 750 000	3	3	P-M2	7 600 000	4	3	CH-M2	5 100 000	3	3
UM-M10	250 000	9	9	P-M3.1	750 000	4	13	CH-M3	50 000	11	11
UM-M12	4 300 000	3	3	P-M3.2	3 100 000	3	4	CH-M4	2 050 000	4	10
UM-M14	200 000	3	6	P-M4.1	450 000	3	6	CH-M5.1	2 300 000	3	2
UM-M16	7 100 000	3	3	P-M4.2	4 450 000	3	4	CH-M5.2	150 000	11	10
UM-M18.1	550 000	9	6	P-M5	1 100 000	4	5	CH-M5.3	950 000	4	9

UM-M18.2	1 450 000	5	10	P-M6	450 000	4	6	CH-M6	0	4	17
UM-M18.3	1 150 000	4	6	P-M7	2 700 000	3	4	R-M1	1 200 000	5	12
UM-M18.4	3 150 000	5	4	P-M8.1	250 000	3	14	R-M2.1	0	3	29
UM-M18.5	4 000 000	3	4	P-M8.2	3 400 000	3	5	R-M2.2	100 000	3	7
UM-M18.6	4 000 000	3	4	P-M8.3	5 100 000	3	3	R-M3	0	3	31
UM-M19	3 800 000	2	3	P-M9.1	1 950 000	3	5	R-M4	0	3	32
UM-M20	5 100 000	4	4	P-M9.2	3 950 000	3	4	R-M5	150 000	4	15
UM-M21.1	350 000	8	11	P-M10	250 000	4	8	R-M7	0	3	25
UM-M21.2	0	3	24	P-M11.1	4 250 000	3	3	R-M8	0	4	18
UM-M22	4 100 000	3	3	P-M11.2	1 850 000	7	9	R-M9	0	4	17
UM-M23.1	1 300 000	3	3	P-M12.1	2 250 000	4	4				
UM-M23.2	4 100 000	3	4	P-M12.2	6 000 000	3	3				

Características moleculares.

Figura 3.4

Electroforesis del gen ITS de las 4 cepas seleccionadas

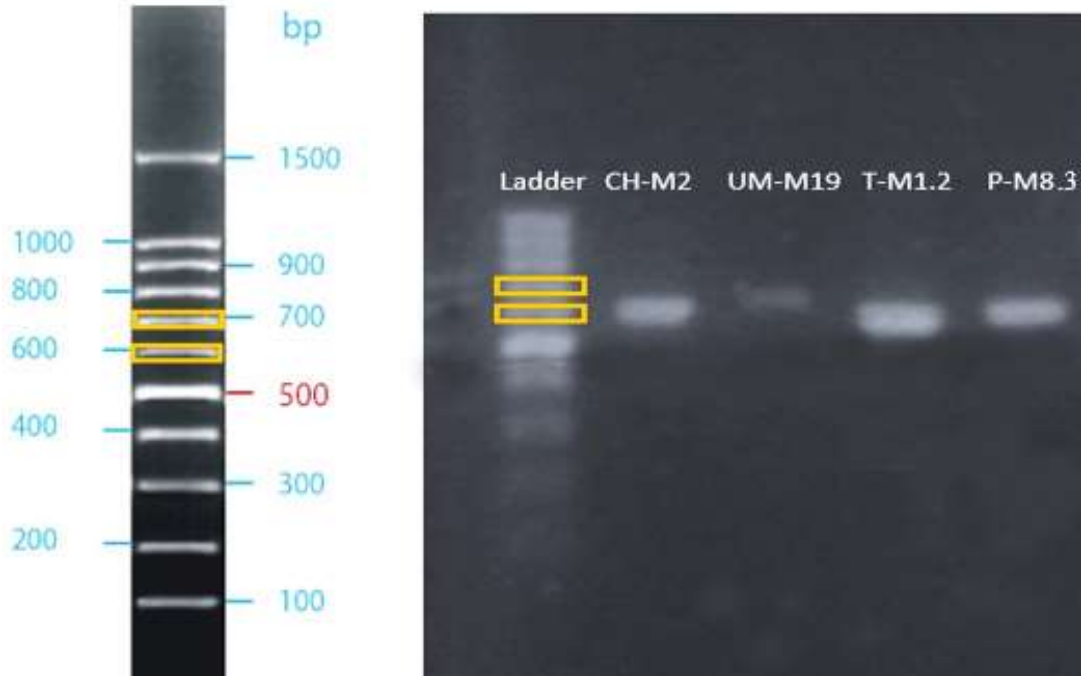


Tabla 3.9

Identificación a nivel especie de las 4 cepas nativas de Trichoderma spp

Código	Nombre científico	Total Score	E value	% identidad	Número de accesoión
T-M1.2	<i>Trichoderma yunnanense</i>	1055	0.0	100.00%	NR_781940.1
CH-M2	<i>Trichoderma rifaii</i>	1057	0.0	99.83%	NR_137305.1
UM-M19	<i>Trichoderma orientale</i>	996	0.0	99.63 %	NR_111317.1
P-M8.3	<i>Trichoderma lentiforme</i>	1027	0.0	99.30%	NR_144868.1

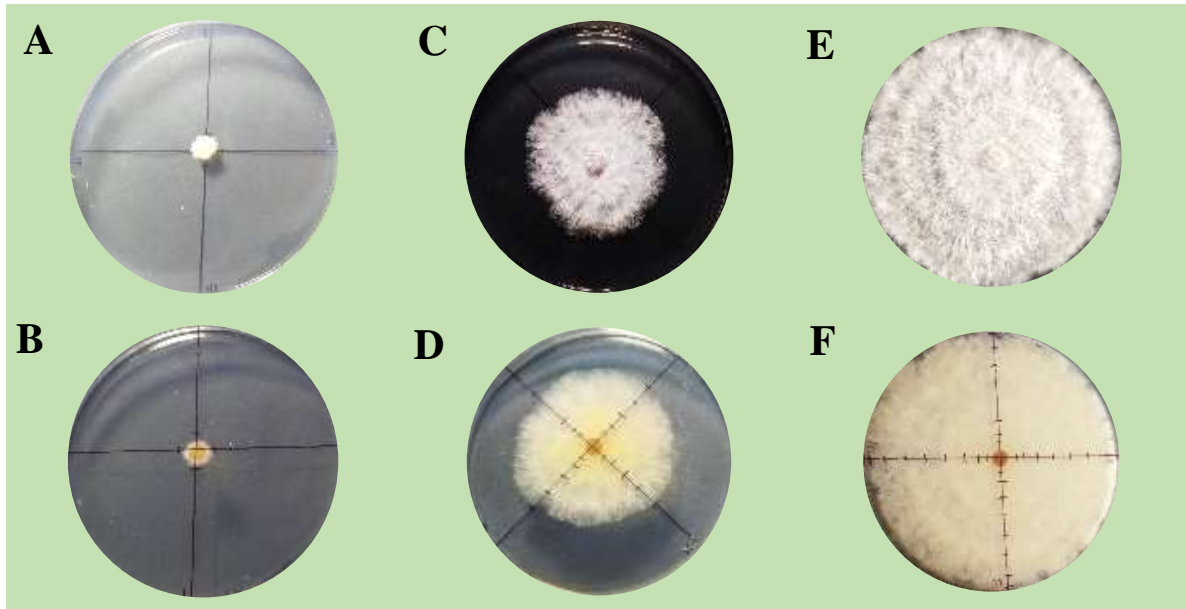
Mediante la caracterización molecular se logró la identificación a nivel género y especie de las cuatro cepas seleccionadas. La cepa T-M1.2 fue identificada como *Trichoderma yunnanense* con un 100% de similitud. La cepa CH-M2 fue identificada como *Trichoderma rifaii*, con un 99.83% de similitud. Por su parte la cepa UM-M19 fue identificada como *Trichoderma orientale* con un 99.63% de similitud, mientras que la cepa P-M8.3 se identificó como *Trichoderma lentiforme* con un 99.03% de similitud.

3.2.2. Características morfológicas de *Fusarium sp.*

Características macroscópicas

Figura 3.5

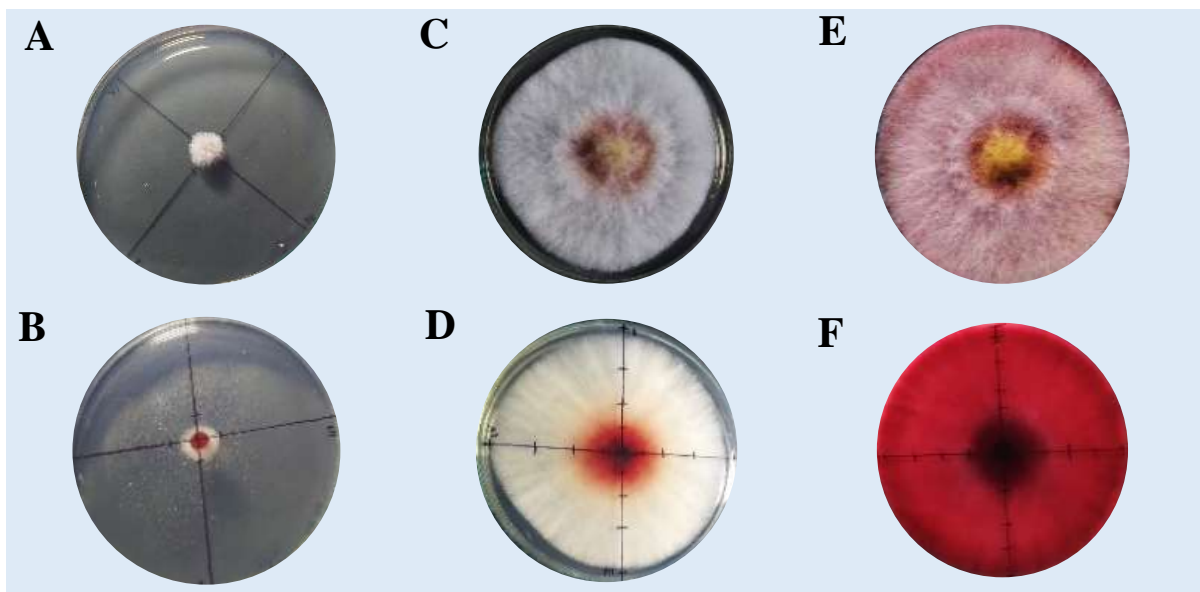
Fusarium sp. (F1)



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 5 días, E-F: Colonia de 9 días.

Figura 3.6

Fusarium sp. (F2)



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 4 días, E-F: Colonia de 7 días.

El aislamiento F1 desarrolló una colonia de textura algodonosa, con tonalidad blanco y en el reverso se observó un color crema café. Por su parte, F2 presentó una colonia también de aspecto algodonoso, que inicialmente mostró color blanco y posteriormente adquirió una tonalidad rosada, presentando en la zona central un matiz amarillo anaranjado; en el reverso destacó un color rojo intenso brillante. La F1 alcanzó el llenado de la placa en 9 días, mientras que la F2 lo hizo en solo 5 días. Las texturas y la pigmentaciones de las colonias observadas corresponden con las características propias del género *Fusarium*, según los criterios de identificación propuesta por Barnett y Hunter (1972).

Estos resultado se asemeja con lo reportado por Salazar et al. (2020), quienes describieron micelio aéreo de aspecto algodonoso y una amplia variabilidad en la coloración de las colonias de *Fusarium*. Asimismo, Duarte et al. (2016) señalaron que, en los primeros estadios de desarrollo, las colonias presentan tonalidades blanquecinas y rosadas, lo cual coincide con las observaciones obtenidas en las cepas del presente estudio.

Características microscópicas

Figura 3.7

Conidio de Fusarium sp. (F1 y F2)



Nota. A: Macroconidio de F1, B: Macroconidio de F2, C: Microconidio de F2.

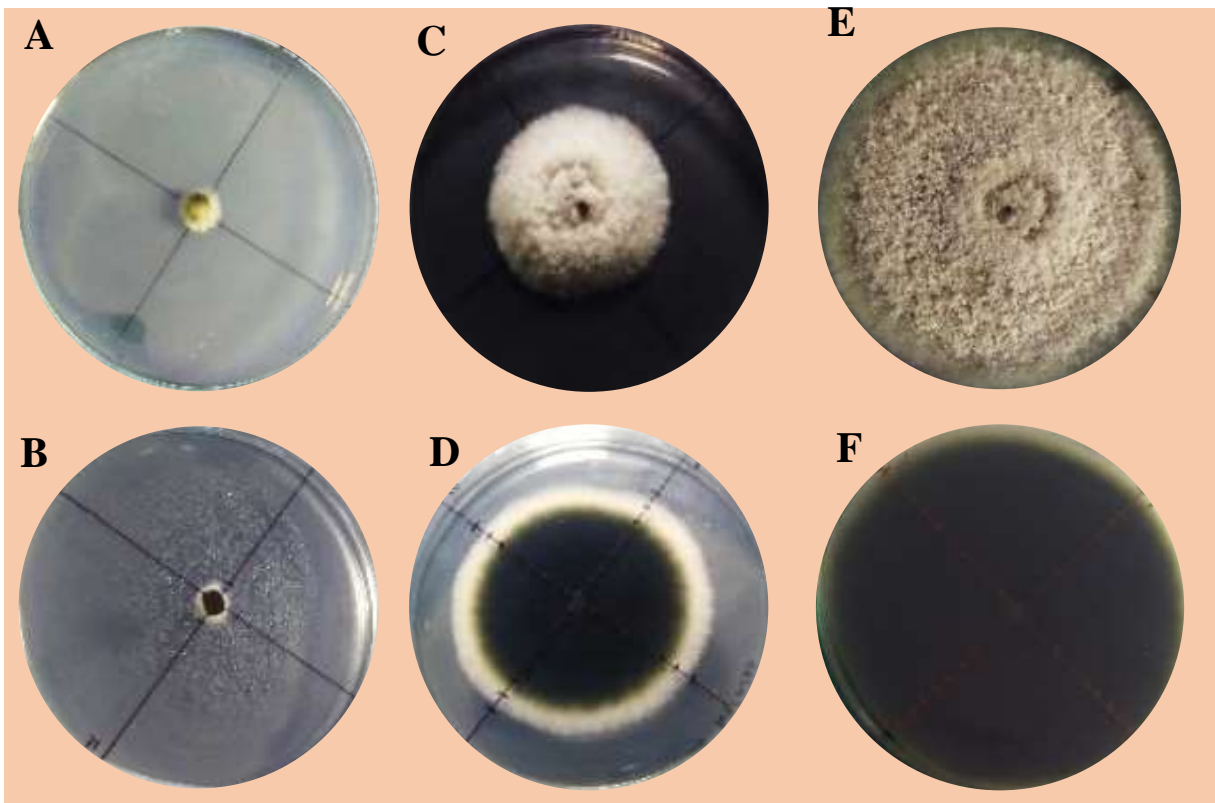
El aislamiento F1 se observó un macroconidio hialino con forma de canoa, compuesto de 3 a 4 células, y microconidios hialinos unicelulares de forma oblonga. El aislamiento F2, también presentó un macroconidio hialino con forma de canoa, conformado de 6 a 8 células. Los conidios de F1 presentaron un tamaño promedio de $19.5 \times 4.1 \mu\text{m}$, mientras que los de F2 alcanzaron un promedio de $31.5 \times 3.1 \mu\text{m}$. Las estructuras conidiales corresponden a características propias del género *Fusarium*, de acuerdo con los criterios de identificación propuestos por Barnett y Hunter (1972).

Estos resultados son coherentes con lo descrito por López et al. (2020), quienes reportaron macroconidios de forma recta a ligeramente curvada o falcada, compuestos por tres a seis células, con una longitud variable entre 17.12 y 57.62 μm . Las similitudes en la morfología y el número de septos confirman la correspondencia de las estructuras observadas en los aislamientos F1 y F2 con las características diagnósticas del género *Fusarium*.

3.2.3. Características morfológicas de *Alternaria sp.*

Figura 3.8

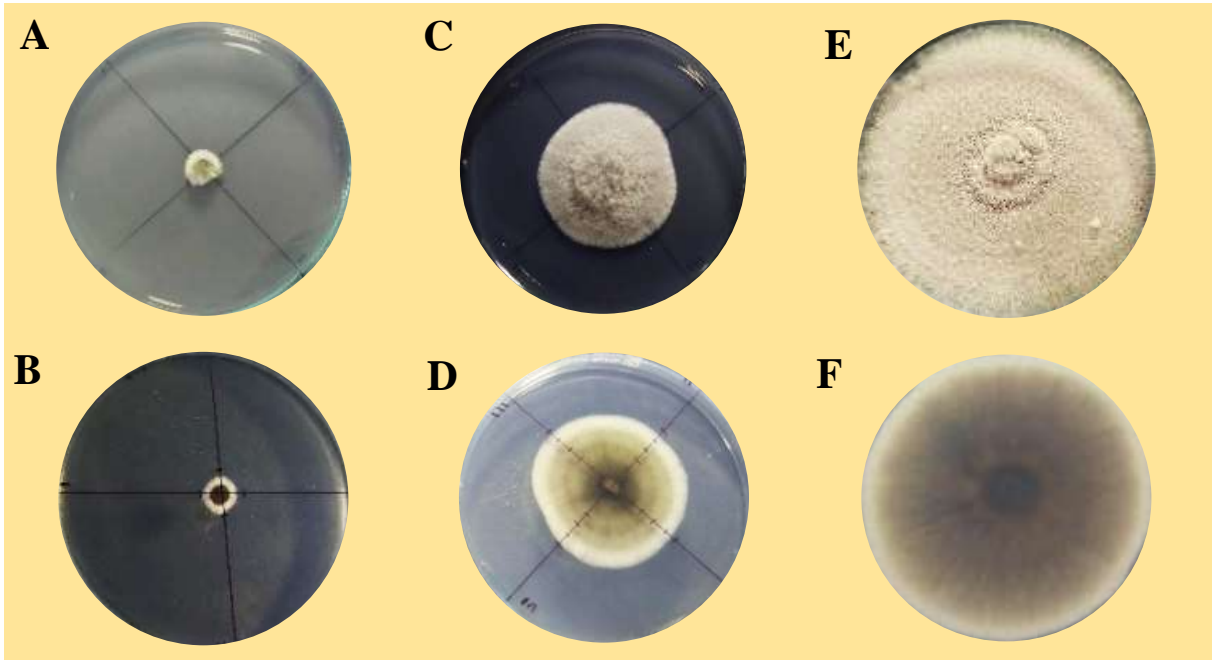
Alternaria sp. (A1)



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 5 días, E-F: Colonia de 11 días.

Figura 3.9

Alternaria sp. (A2).



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 5 días, E-F: Colonia de 11 días.

El aislamiento A1 presentó una colonia algodonosa, inicialmente de color blanco que posteriormente se tornó grisáceo, con reverso de tonalidad negra. En el caso del aislamineto A2, la colonia también mostró una textura algodonosa, con colores que variaron de gris blanquecino a pardo olivácea, mientras que en el reverso se observó un tono marrón oscuro. En ambos aislamientos, las colonias lograron llenar la placa de 9 cm de diámetro en 11 días. Las texturas y pigmentaciones registradas en las colonias coinciden con las características del género *Alternaria*, de acuerdo a los criterios de identificación propuesta por Barnett y Hunter (1972).

Estos resultados se asemeja con lo reportado por Guarniz y Valdez (2019), quienes describieron colonias de aspecto ligeramente algodonoso, con coloraciones que variaron de gris claro a gris verdoso o pardo olivácea, y un reverso de tonalidad negra o negro parduzca, presentando además un borde y un anillo interno de color blanco. Dichas similitudes refuerzan la identificación morfológica de los aislamientos A1 y A2 como pertenecientes al género *Alternaria*.

Características microscópicas

Figura 3.10

Conidio de Alternaria sp. (A1 y A2)



Nota. A: Conidio de A1, B: Conidio de A2.

En ambos aislamientos, A1 y A2, se observaron conidios solitarios de color pardo claro, con forma obclavada, superficie lisa y presencia de septos tanto transversales como longitudinales. En relación con el número de septos transversales, el aislamiento A1 presentó entre 4 y 5 septos transversales, con conidios de tamaño $20.1 \times 7.8 \mu\text{m}$. Por su parte, A2 mostró entre 5 y 6 septos transversales, con conidios de tamaño $24.5 \times 7.4 \mu\text{m}$. Estas estructuras conidiales son características propias del género *Alternaria*, según los criterios de identificación establecidos por Barnett y Hunter (1972).

Estos resultados son semejantes con lo reportado por Guarniz y Valdez (2019), quienes describieron conidios con forma característica de granada, provistos de septos transversales, longitudinales y oblicuos. De igual modo, Fraire et al. (2010) señalaron que los conidios presentaron formas obclavados, muriformes y con septo transversal variable de 4 a 6, con dimensiones que variaron entre $11 \text{ y } 42 \mu\text{m} \times 7.7 \text{ a } 11 \mu\text{m}$, valores que se encuentran dentro del rango observado en el presente estudio.

3.3. Capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp.

Tabla 3.10

Cepas seleccionadas para prueba antagónica

Cepas de <i>Trichoderma</i> spp. con mejores características para prueba antagónica				
N°	Código	Llenado (Días)	Esporulación (Días)	Cantidad de conidio/ml
1	UM-M12	3	3	4 300 000
2	UM-M16	3	3	7 100 000
3	UM-M19	2	3	3 800 000
4	P-M8.3	3	3	5 100 000
5	P-M11.1	3	3	4 250 000
6	P-M12.2	3	3	6 000 000
7	T-M1.2	3	3	4 250 000
8	T-M2.2	3	3	4 750 000
9	T-M5	3	3	4 650 000
10	CH-M2	3	3	5 100 000

Para la prueba antagónica se logró seleccionar 10 cepas nativas de *Trichoderma* spp. conforme a los criterios establecidos en la metodología. La cepa UM-M19 fue la única seleccionada con una producción de conidio inferior a lo establecido en dichos criterios, debido a que logró cubrir completamente una placa de Petri de 9 cm de diámetro en un periodo de dos días.

3.3.1 Capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma spp.* sobre *Fusarium sp.*

Tabla 3.11

Categoría de antagonismo de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre Fusarium sp.

Código	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR)			
	<i>Fusarium sp.</i>			
	F1 (%)	Categoría/ Grado	F2 (%)	Categoría/ Grado
UM-M12	29.7	2	56.2	3
UM-M16	27.3	2	60.4	3
UM-M19	29.5	2	61.4	3
P-M8.3	31.3	2	50.9	3
P-M11.1	19.0	1	55.6	3
P-M12.2	31.4	2	56.3	3
T-M1.2	33.4	2	56.0	3
T-M2.2	27.2	2	55.5	3
T-M5	24.1	1	50.2	3
CH-M2	28.8	2	62.8	3

Tabla 3.12

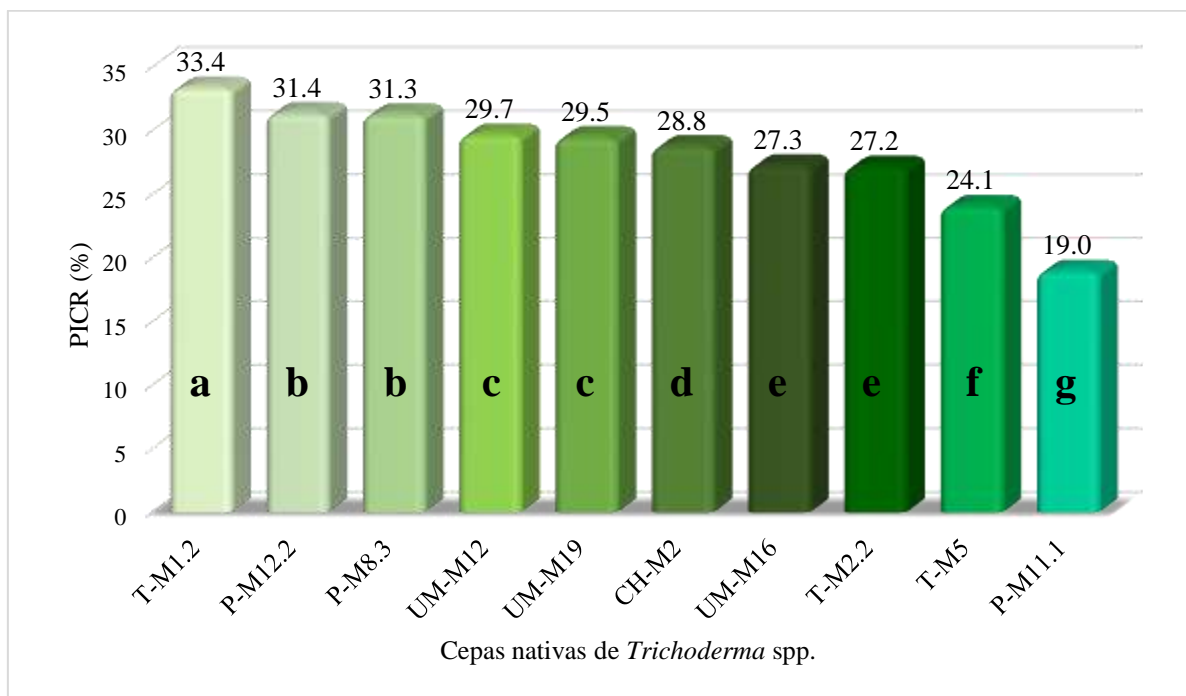
ANOVA de PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre F1

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	774.15	86.02	760.54	<0.0001**
Error	40	4.52	0.11		
Total	49	778			

CV= 1.19%

Figura 3.11

Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre F1



Según la tabla 3.12, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. (F1) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 1.19%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.11), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente a F1. El aislamiento T-M1.2 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 33.4%, correspondiente a un grado 2 de antagonismo, mientras que el aislamiento P-M11.1 presentó el menor porcentaje, con 19.0% y un grado 1 de antagonismo. Se observó además que algunas cepas evidenciaron diferencias significativas tanto en el análisis estadístico como en los valores numéricos, mientras que en otros casos dichas diferencias fueron únicamente de carácter numérico.

Los resultados de la prueba antagonica son consistentes con los reportados por Torres et al. (2023), quien informó porcentajes de inhibición de *Fusarium* sp. en un rango de 19% a 47%, así como con lo señalado por Ayala (2019), quien obtuvo valores entre 28.57% y 61.11%.

Tabla 3.13

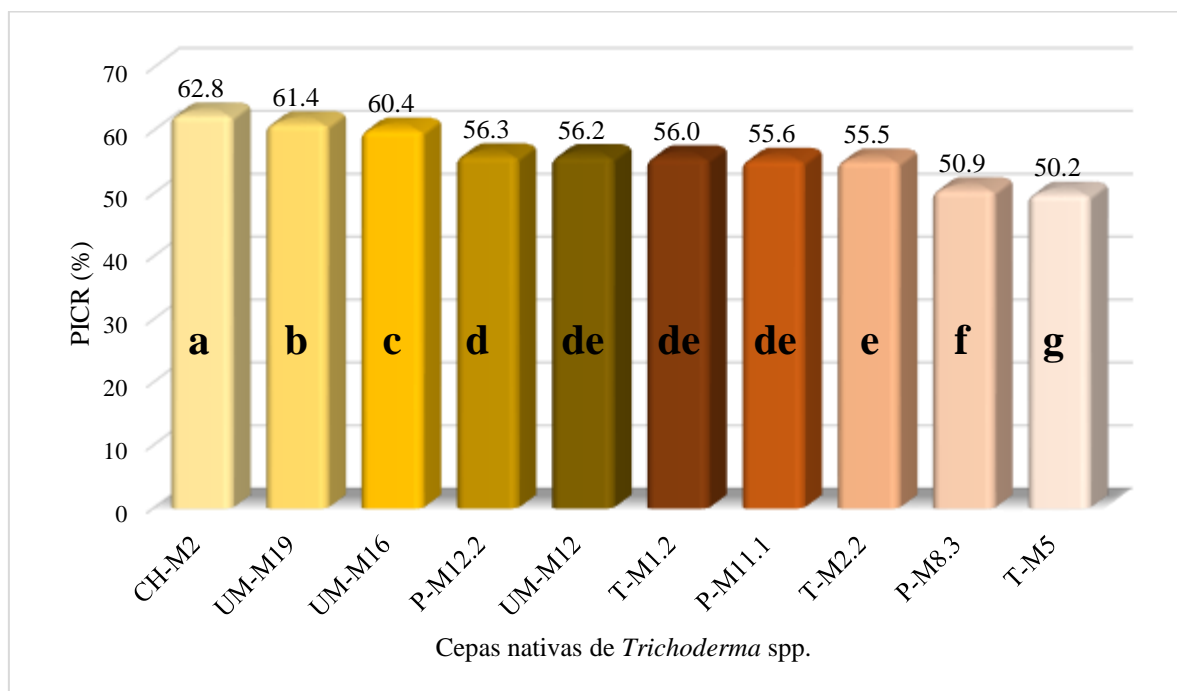
ANOVA de PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre F2

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	757.46	84.16	772.13	<0.0001**
Error	40	4.36	0.11		
Total	49	761.82			

CV= 0.58%

Figura 3.12

Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre F2



De acuerdo con la tabla 3.13, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. (F2) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 0.58%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.12), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente a F2. El aislamiento CH-M2 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 62.8%, correspondiente a un grado 3 de antagonismo, mientras que T-M5 presentó el menor porcentaje, con 50.2% y el mismo grado de antagonismo. Se observó además que algunas cepas evidenciaron diferencias significativas

tanto en el análisis estadístico como en los valores numéricos, mientras que en otros casos dichas diferencias fueron únicamente de carácter numérico.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por diversos autores: Michel et al. (2019) informaron inhibiciones superiores al 60% frente a *Fusarium oxysporum*; Araya (2021) registró valores de 55.6% a 67.1% frente a *Fusarium solani*; Savín et al. (2021) reportaron inhibiciones de 40% a 56% contra *Fusarium solani* y de 63% a 70% frente a *Fusarium oxysporum*; Huamán (2021) obtuvo un 58.06% sobre *Fusarium* sp.; y Grados (2024) señaló valores de 55.65% a 64.35% frente al mismo género.

3.3.2. Capacidad antagonica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Alternaria* sp.

Tabla 3.14

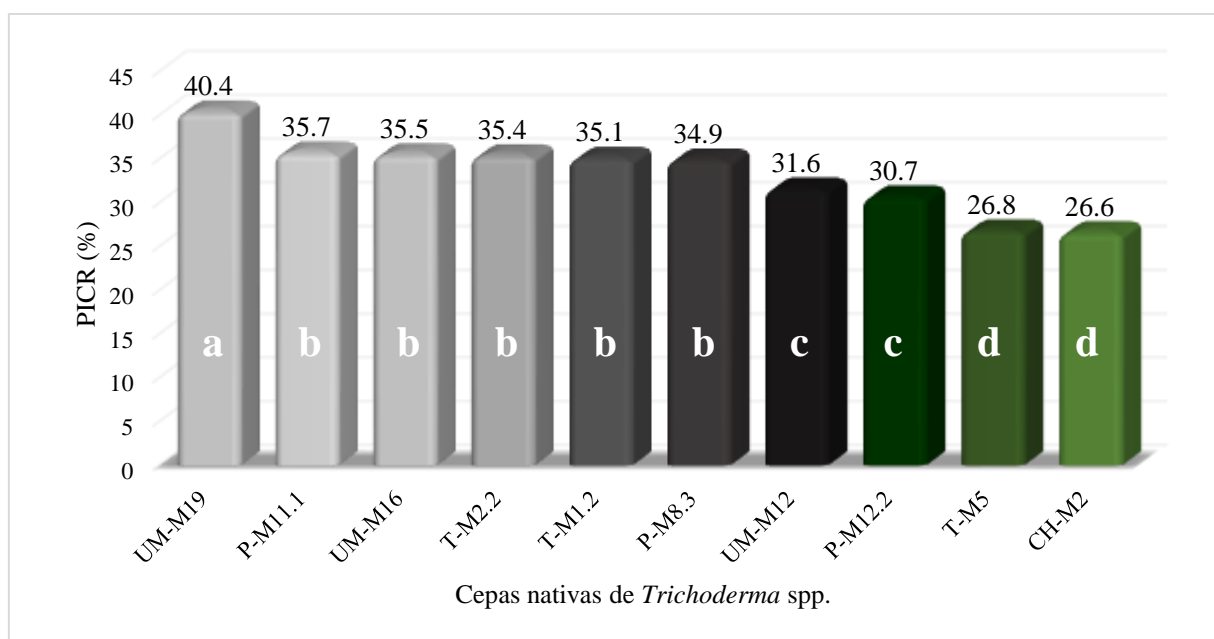
Categoría de antagonismo de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Alternaria* sp.

Código	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR)			
	<i>Alternaria</i> sp.			
	A1 (%)	Categoría/ Grado	A2 (%)	Categoría/ Grado
UM-M12	31.6	2	37.8	2
UM-M16	35.5	2	36.7	2
UM-M19	40.4	2	44.8	2
P-M8.3	34.9	2	28.5	2
P-M11.1	35.7	2	36.4	2
P-M12.2	30.7	2	28.0	2
T-M1.2	35.1	2	32.3	2
T-M2.2	35.4	2	36.3	2
T-M5	26.8	2	32.4	2
CH-M2	26.6	2	30.3	2

Tabla 3.15*ANOVA de PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre A1*

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	833.59	92.62	427.81	<0.0001**
Error	40	8.66	0.22		
Total	49	842.25			

CV = 1.4%

Figura 3.13*Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre A1*

De acuerdo con la tabla 3.15, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria* sp. (A1) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 1.4%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.13), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente a A1. La cepa UM-M19 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 40.4%, correspondiente a un grado 2 de antagonismo, mientras que la cepa CH-M2 presentó el menor porcentaje, con 26.6% y un grado 2 de antagonismo. Se observó además que algunas cepas evidenciaron diferencias significativas

tanto en el análisis estadístico como en los valores numéricos, mientras que en otros casos dichas diferencias fueron únicamente de carácter numérico.

Tabla 3.16

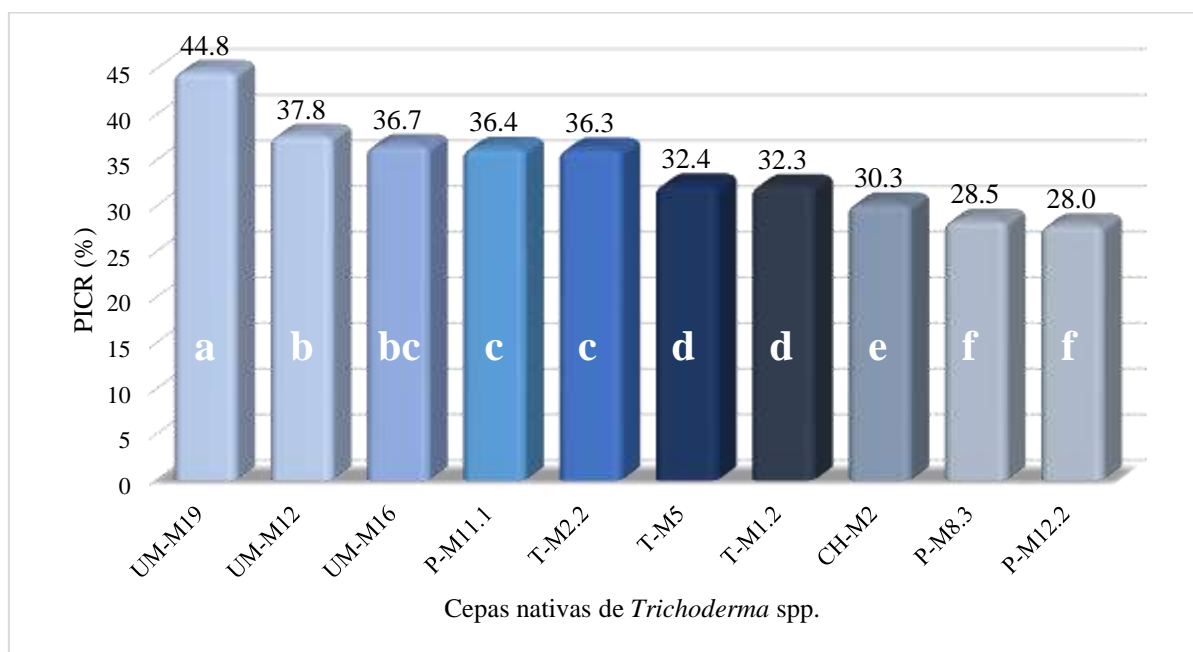
ANOVA de PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre A2

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	1163.46	129.27	400.72	<0.0001**
Error	40	12.9	0.32		
Total	49	1176.36.49			

CV = 1.65%

Figura 3.14

Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de Trichoderma spp. sobre A2



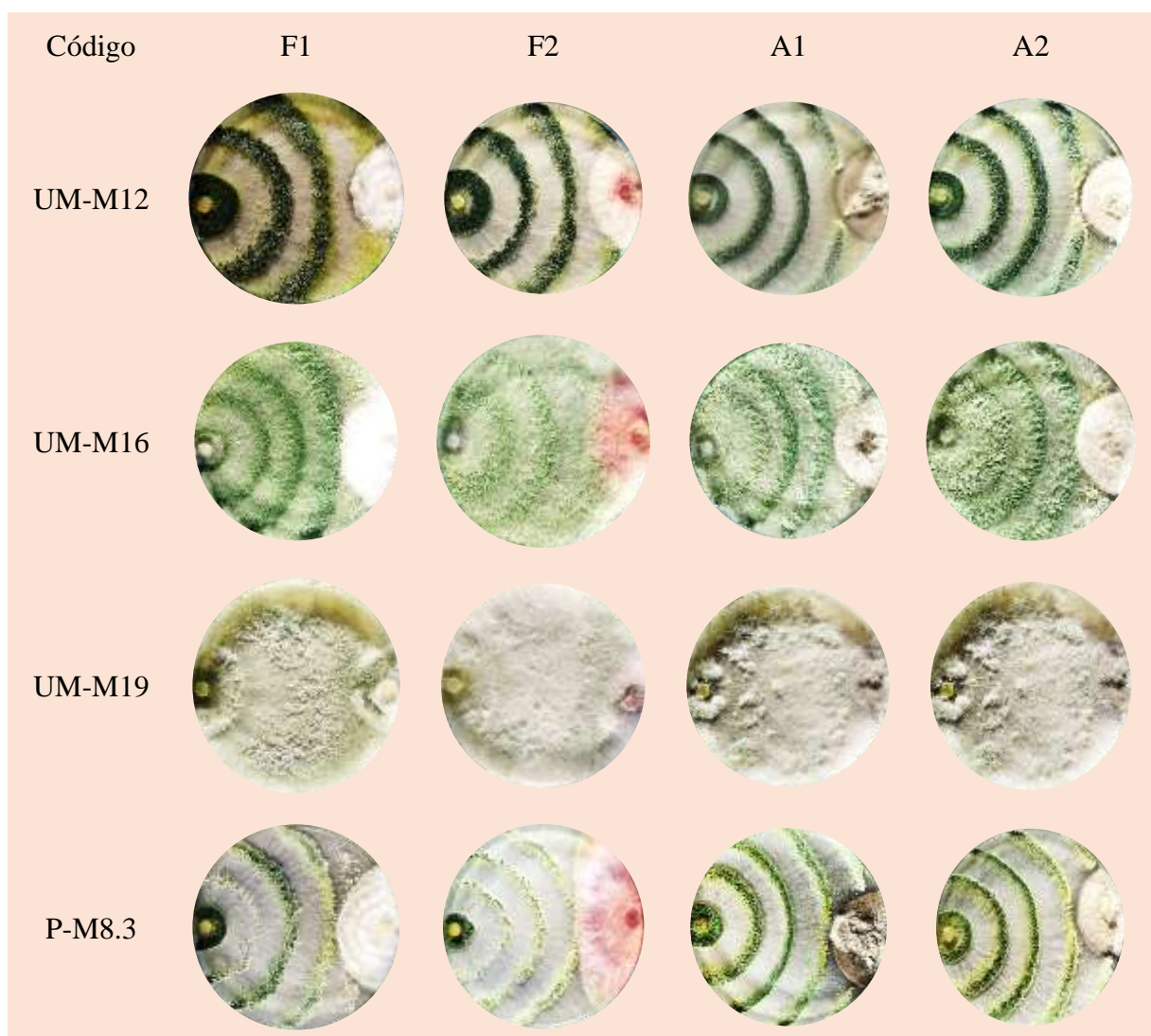
Según la tabla 3.16, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria* sp. (A2) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 1.65%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.14), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente A2. El aislamiento UM-M19 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 44.8%, correspondiente a un grado 2 de antagonismo, mientras que P-M12.2 presentó el menor porcentaje, con 28.0% y un grado 2 de antagonismo.

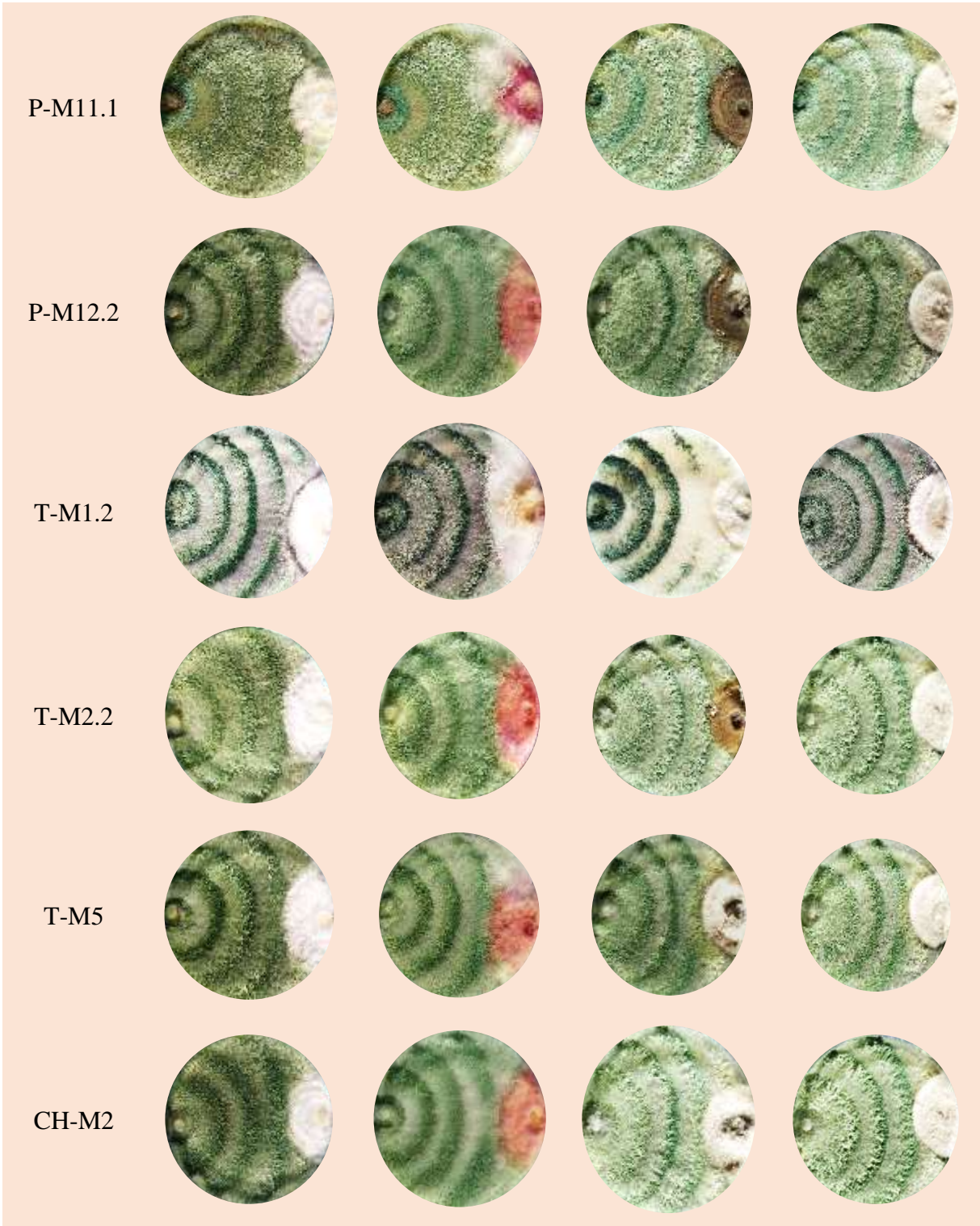
Se observó además que algunas cepas evidenciaron diferencias significativas tanto en el análisis estadístico como en los valores numéricos, mientras que en otros casos dichas diferencias fueron únicamente de carácter numérico.

Los resultados obtenidos frente a los aislamientos A1 y A2 se encuentran dentro de los rangos reportados por diferentes autores como: Jiménez (2022) obtuvo porcentajes de inhibición de *Alternaria* sp. entre 10.87% a 32.51%, mientras que Castrillo et al. (2021) registraron valores de 37.27% a 63.64% frente a *Alternaria alternata*.

Figura 3.15

Prueba antagónica al séptimo día





CONCLUSIONES

1. Se aislaron 73 cepas nativas de *Trichoderma* spp., además de dos aislamientos de *Fusarium* sp. y dos de *Alternaria* sp., obtenidos tanto de la parte aérea como del tubérculo de *Solanum tuberosum* L.
2. La caracterización macroscópica y microscópica permitió identificar rasgos morfológicos propios del género *Trichoderma*, tales como colonias de textura algodonosa con tonalidades variables entre blanco, amarillo y verde, fiálides hialinas solitarias o agrupadas (2-5), conidios de color hialino o verde con formas globosa, ovoide y elipsoidal, hifas hialinas septadas y conidióforo ramificado y sin ramificación. Mediante la caracterización molecular se identificó al aislamiento T-M1.2 como *Trichoderma yunnanense*, CH-M2 como *Trichoderma rifaii*, UM-M19 como *Trichoderma orientale* y P-M8.3 como *Trichoderma lentiforme*.
3. En la prueba antagónica realizada con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. (F1 y F2), el aislamiento T-M1.2 mostró la mayor capacidad antagónica contra F1, alcanzando un porcentaje de inhibición de 33.4% con grado 2 de antagonismo. Por su parte, CH-M2 evidenció la mayor eficacia frente a F2, con un porcentaje de inhibición de 62.8% con grado 3 de antagonismo.
4. En la prueba antagónica realizada con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria* sp. (A1 y A2), los resultados mostraron que el aislamiento UM-M19 presentó la mayor capacidad antagónica, alcanzando un porcentaje de inhibición de 40.4% frente al aislamiento A1 y de 44.8% frente A2, en ambos con grado 2 de antagonismo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con la evaluación de la capacidad antagónica de las cepas en condiciones de campo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos.
2. Se recomienda realizar pruebas de patogenicidad con las cuatro cepas de fitopatógenos aislados.
3. Identificar mediante prueba molecular a todas las cepas nativas aisladas de *Trichoderma* spp.
4. Realizar la comparación de la prueba antagónica entre cepas nativas y cepas comerciales de *Trichoderma* spp.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, R. D., & España, C. K. (2017). Aislamiento, caracterización y evaluación de *Trichoderma* spp. Como promotor de crecimiento vegetal en pasturas de Raygrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). *LA GRANJA. Ciencias de la Vida*, 25(1), 53-61. <https://doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.05>
- Al-lami, H. F., You, M. P., Banga, S. S., & Barbetti, M. J. (2023). Nuevas resistencias ofrecen nuevas vías para controlar la mancha foliar causada por *Alternaria* (*Alternaria brassicae*) en cultivos de canola (*Brassica napus*), mostaza (*B. juncea*) y otras brasicáceas. *Plant Disease*, 107(2), 372-381. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-05-22-1153-RE>
- Andrade, P., Luna, A., Osorio, E., Molina, E., Landero, N., & Barrales, H. J. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. Vs hongos asociados a la marchitez de Chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1259-1272. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342019000601259&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Araya, L. A. (2021). *Evaluación de la capacidad antagónica in vitro de aislamientos nativos de trichoderma spp. Sobre fusarium solani, causante de la pudrición del tronco de aralia fabian (polyscias scuterallia), aisladas en la zona de La Tigra de San Carlos* [Tesis para grado, Universidad Nacional de Costa Rica]. <http://hdl.handle.net/11056/27186>
- Ayala, E. F. (2019). *Efecto antagónico in vitro de cepas nativas de Trichoderma sp. Frente a los hongos fitopatógenos Colletotrichum sp. Y Fusarium sp. Ayacucho, 2018*. [Tesis para título, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4477>
- Barboza, A., Pérez, A., & Anaya, L. (2022). Especies nativas de *Trichoderma* aisladas de plantaciones de aguacate con actividad inhibitoria contra *Phytophthora cinnamomi*. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 101-116. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1852>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1972). *Géneros ilustrados de hongos imperfectos*. Burgess Publishing Company.

- Bonavia, D. (1993). La papa: Apuntes sobre sus orígenes y su domesticación. *Journal de la société des américanistes*, 79, 173-187. <https://doi.org/10.3406/jsa.1993.1473>
- Bonelo, L. Y., & Sánchez, L. C. (2018). Control biorracional de hongos del género *Fusarium*. *Biociencias (UNAD)*, 2(1), 1-19.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/index>
- Bonifaz, P. A., & Rubio, T. N. (2023). *Producción de metabolitos secundarios mediante fermentación líquida a partir de Trichoderma y Bacillus para el control de hongos aislados de pitahaya roja (Hylocereus Undatus)* [Tesis para título, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26262>
- Cabezas, B. M. (2024). *Análisis de daños causado por Ralstonia solanacearum en cultivo de papa* [Tesis de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo].
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/15929>
- Carrera, K. M. E., Suntasig, E. R., Manobanda, P. M., & Dominguez, J. (2025). Caracterización cultural, morfológica y fisiológica de *Fusarium* spp. En pitahaya, Palora, Ecuador. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar*, 7(12), 73-95. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2665-02902025000100073&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Castrillo, M., Bich, G., Sioli, G., Zapata, P., & Villalba, L. (2021). Capacidad biocontroladora de aislamientos nativos de *Trichoderma* sp. Contra el hongo fitopatógeno *Alternaria alternata*, aislado de yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hil.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 37(3), 244-256.
<http://dx.doi.org/10.29393/chjaas37-26cbml50026>
- Cázar, M., Villena, P., Parra, J., Espinoza, V., Larriva, G., & Caldas, A. (2014). Eficacia de extracto etanólico de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en el control de *Alternaria* sp. En cultivos de col y patata. *Maskana*, 5(1), 33-41.
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/427>
- Cortés, F. del C., Alvarado, G., & Sánchez, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: Una revisión. *Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 73-87.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>

- Demers, M. (2022). *Alternaria alternata* como endófito y patógeno. *Microbiology*, *168*(3), 1-15. <https://doi.org/10.1099/mic.0.001153>
- Dirección General de Sanidad Vegetal [DGSV]. (2020). *Fusarium spp.* 1-18. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633031/Fusarium_spp__ma_z__2020.pdf
- Duarte, Y., Echevarría, A., & Martínez, B. (2016). Identificación y caracterización de aislamientos de *Fusarium spp.* Presentes en garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, *31*(3), 173-183. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522016000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Elshafie, H. S., Osman, A., El Saber, M. M., Camele, I., & Abbas, E. (2023). Actividad antifúngica de nanopartículas de ZnO verdes y sintetizadas químicamente contra *Alternaria citri*, el agente causal de la podredumbre negra de los cítricos. *The Plant Pathology Journal*, *39*(3), 265-274. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10265117/>
- Fabrega, A., Agut, M., & Calvo, M. A. (2002). Fabrega, A., Agut, M., & Calvo, M. A. (2002, November). El género *Alternaria*: Características morfológicas y capacidad de producción de micotoxinas. *In Anales de la real academia de doctores*, *6*, 357-367. <https://www.rade.es/imageslib/PUBLICACIONES/ARTICULOS/1V6N2-calvo-generoalternaria.pdf>
- Fraire, M. de L., Nieto, D., Cárdenas, E., Gutiérrez, G., Bujanos, R., & Vaquera, H. (2010). *Alternaria tenuissima*, *A. alternata* y *Fusarium oxysporum* Hongos Causantes de la Pudrición del Florete de Brócoli. *Revista mexicana de fitopatología*, *28*(1), 25-33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-33092010000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- French, E. R., & Hebert, T. T. (1980). *Métodos de investigación fitopatológica*.
- Fresneda, J. A., Oliva, P., Sánchez, J. R., Camacho, J. L., Zulueta, I., & Rodríguez, L. (2018). Especies del género *Alternaria* que frecuentan semillas de hortalizas, granos y oleaginosas. *Agrotecnia de Cuba*, *42*(2), 1-12. <https://www.agrotecnia.edicionescervantes.com/index.php/agrotecnia/article/view/157>

- García, H. G., Martínez, Á. R., Hermosa, M. R., Monte, E., Aguilar, C. J., & González, C. E. (2017). Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(1), 58-79. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1605-4>
- Grados, N. J. (2024). *Antagonismo in vitro de Trichoderma spp. Frente a Botrytis sp. Y Fusarium sp., aislados de Fragaria ananassa "fresa". Ayacucho—2022* [Tesis para título, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6338>
- Guarniz, J., & Valdez, J. (2019). Morphological identification of mycotoxigenic fungi in accessions of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) of the peruvian coast and sierra. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 327-336. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Gupta, S., Didwania, N., & Singh, D. (2020). Control biológico del tizón de la mostaza causado por *Alternaria brassicae* mediante bacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Current Plant Biology*, 23, 1-6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214662820300475>
- Hernández, C. A. (2016). *Especies de Fusarium y Penicillium asociadas a frutales en los departamentos del Cauca y Valle de Cauca, Colombia* [Tesis para maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56918>
- Hernández, D. J., Ferrera, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial*. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 98-112. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
- Hernández, Y. I. (2013). *Epidemiología de Enfermedades Asociadas al Álamo (Populus deltoides Marshal) en Arteaga, Coahuila* [Tesis para título, Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro]. <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-UAAAN:62802/Description>
- Huaman, E. E. (2021). *Control biológico in vitro por Trichoderma sp., sobre hongos fitopatógenos de la quinua Rhizoctonia sp., Fusarium sp. Y Phoma sp.* [Tesis para

- grado, Universidad Nacional del Altiplano].
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16956>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST]. (2022). *Alternaria spp.* Portal INSST. <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/alternaria-spp>
- Jiménez, J. I. (2022). *Evaluación In vitro de aislados de Trichoderma spp. Sobre el crecimiento de Alternaria sp., en Selenicereus sp. (Pitahaya), en la Joya de los Sachas.* [Tesis para grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5826>
- Junior, J. C., Borges, L. F., Rodrigues, G., Lima, A. L., Rodrigues, M., & Oliveira, L. (2018). Acción de Trichoderma spp. En el control de Fusarium sp., Rhizoctonia solani Y Sclerotium rolfsii. *AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 4(2), 9-15.
<https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/420>
- Kenneth, R., Ramírez, J. A., Castro, O., & Blanco, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de Fusarium oxysporum F. SP.Apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 115-126.
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0377-94242018000100115&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Leyte, M., Richomme, P., & Peña, L. M. (2020). Dicotopiperazinas de Alternaria dauci. *Revista de La Sociedad Química Mexicana*, 64(4), 283-290.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-249X2020000400283&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Lopez, L. (2022, junio 6). Phytophthora: Aprende a prevenir y controlar esta enfermedad. *Certis Belchim*. <https://certisbelchim.es/phytophthora-aprende-a-prevenir-y-controlar-esta-enfermedad-2/>
- López, M. E., López, L. D., Elizondo, J. H., & González, G. M. (2025). Ácidos grasos y metabolitos bioactivos de algas y cianobacterias: Alternativa antifúngica natural contra Fusarium sp. *Microorganisms*, 13(439), 1-28. <https://www.mdpi.com/2076-2607/13/2/439>
- López, V., Mora, G., Gutiérrez, M. A., Mendoza, C., Martínez, V. I., Coria, J. J., Acevedo, G., & Santana, B. (2020). Caracterización morfológica y molecular de Fusarium spp.

- Asociados a la ocurrencia regional de marchitez y pudrición seca del cogollo en Agave tequilana. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(1), 79-106.
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-4>
- Magalhães, L., & Heinrich, L. (2022). *El género Trichoderma* (1°).
<https://core.ac.uk/download/pdf/541488776.pdf#page=328>
- Martínez, B., Infante, D., & Peteira, B. (2015). Taxonomía polifásica y variabilidad en el género *Trichoderma*. *Protección Vegetal*, 30, 11-22.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v30s1/rpv004s15.pdf>
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. Y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*, 28(1), 1-11.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522013000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Matas, M. Á., Flores, M. A., Pérez, S., Rodríguez, M. J., Salas, N. A., Soto, M. C., & Sánchez, E. (2023). Hongos *Trichoderma* como control biológico agrícola en México. *Chapingo. Serie Horticultura*, 29(3), 79-114.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2023000300079&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Méndez, P., & Inostroza, J. (2009). Manual de papa para la raucanía: Manejo de Cultivo, enfermedades y almaceña. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Ministerio de Agricultura Centro Regional Carillanca*, 194.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/de99c085-a4eb-4b18-ad8b-b055a370a649/content>
- Mesa, A. M., Marin, A., & Calle, J. (2019). Metabolitos secundarios en *Trichoderma* spp. Y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas. *Actualidades Biológicas*, 41(111), 32-44.
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a02>
- Michel, A. C., Hernández, J., Toledo, R., Sabino, J. E., & Romero, T. (2019). Capacidad antagónica de *Trichoderma* spp. Nativa contra *Phytophthora parasitica* y *Fusarium oxysporum* aislado de cultivos de jamaica. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(3), 235-241. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802019000300235&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Montaño, V., Mancilla, N. A., Chávez, C., & Avila, M. E. (2025). Diversidad y taxonomía de *Fusarium solani* aislado de plantas marchitas de *Agave tequilana* var azul. *Revista mexicana de fitopatología*, 43(1), 1-15.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-33092025000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mugao, L. (2023). Variabilidad morfológica y molecular de *Alternaria solani* y *Phytophthora infestans* causantes de la plaga del tomate. *Revista Internacional de Microbiología*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2023/8951351>
- Narváez, C. A., & Zambrano, M. R. (2006). *Reacción de diferentes materiales de lulo (solanum quitoense) al ataque de fusarium oxysporum* [Tesis de grado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/5765/>
- Oficina Europea de Fiscalización Europea [EPPO]. (2023). *Fusarium solani*. Base de datos global de la EPPO. <https://gd.eppo.int/taxon/FUSASO>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2024). *Día Internacional de la Papa: En su primera celebración, la FAO resalta la importancia del tubérculo y desvela su potencial*.
<https://www.fao.org/newsroom/detail/international-day-of-potato--at-inaugural-celebration--fao-highlights-crop-s-significance-and-further-potential/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2025). *Cinco motivos que hacen de la papa un alimento fundamental*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/americas/news/news-detail/papa-alimento-fundamental/es>
- Pavón, M. Á., González, I., Martín, R., & García, T. (2015). Importancia del género *Alternaria* como patógeno de cultivos vegetales (I). *Phytoma España*, 265, 46-50.
- Pérez, A. A., Pérez, M. A., Martínez, B., Rollhaiser, I. N., & Blengini, M. C. (2020). Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. In vitro como potenciales biofungicidas para el control de *Rhizoctonia solani* Kühn en la papa. *Agriscientia*, 37(2), 21-30. <https://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n2.29419>

- Podgórska, I., Solarska, E., & Kordowska, M. (2022). Control biológico de *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* y *Fusarium poae* mediante levaduras antagonistas. *Pathogens*, *11*(1), 86. <https://doi.org/10.3390/pathogens11010086>
- Ramírez, J., Trujillo, J., Osorio, V., Jaramillo, M. M., & Botero, L. (2019). In vitro antagonism of *Trichoderma asperellum* against *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata*, and *Fusarium oxysporum*. *Revista UIS Ingenierías*, *18*(2), 159-166. <https://10.18273/revuin.v18n2-2019015>
- Rentería, M. E., Guerra, M. Á., Ochoa, A., Moreno, S. F., Meza, A. del C., & Guzmán, J. M. (2019). Descripción y comparación entre morfotipos de *Fusarium brachygibbosum*, *F. falciforme* y *F. oxysporum* patogénicos en sandía cultivada en Sonora, México. *Revista mexicana de fitopatología*, *37*(1), 16-34. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1808-1>
- Renu, J. (2018). Una revisión del *Fusarium oxysporum* sobre su interacción con plantas y su uso industrial. *Journal of Medicinal Plants Studies*, *6*(3), 112-115. <https://www.researchgate.net/publication/326064312>
- Rivas, L. M., & Mühlhauser, M. (2014, octubre). *Alternaria* spp. *Revista chilena de infectología*, *31*(5), 605-606. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0716-10182014000500013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, *28*(1), 9-17. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-99652010000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Sabate, M. (2025). Hongos y micotoxinas: *Alternaria*. *Micotoxinas en alimentos para animales*. <https://www.bionte.com/micotoxinas-y-hongos-alternaria/>
- Salazar, C., Lagos, L. E., Díaz, V., Mora, S., & Betancourth, C. (2020). Caracterización de *Fusarium* spp. Asociado con la pudrición basal de la cebolla de rama. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *23*(1), 1-10. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262020000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Sanchez, A. D. (2015). *Biocontrol de Fusarium oxysporum f.sp. Cepae, patógeno de suelo en cebolla con aislamientos nativos de Trichoderma de la región Patagónica Norte* [Tesis para maestría, Universidad Nacional del Comahue].
<https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/6786>
- Sánchez, B. M., Espinosa, E., Villordo, E., Rodríguez, R., & Mora, M. A. (2017). Identificación molecular y evaluación antagónica in vitro de cepas nativas de *Trichoderma* spp. Sobre hongos fitopatógenos de raíz en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Montcalm. *Agrociencia*, 51(1), 63-79.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952017000100063&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Sánchez, M. D., Moreno, M. L. F., & Páramo, L. (2021). Identificación morfológica y molecular de especies autóctonas trichoderma spp., aisladas de suelos de importancia agrícola. *El Higo Ciencia y Tecnología*, 11(1), 26-42.
<https://doi.org/10.5377/ehigo.v11i1.1175>
- Savín, J., Hernández, L. G., Ceiro, W., Ávila, G. D., Palacios, A., Ruiz, F. H., & Romero, M. (2021). Caracterización morfológica y potencial de biocontrol de especies de *Trichoderma* aisladas de suelos del semiárido. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(3), 435-451. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2106-7>
- Sierra, J. A., Espinoza, C., Guzmán, O., Trigos, Á., & Salinas, A. (2022). Caracterización de especies de *Fusarium* que afectan al cultivo de espárrago en Veracruz, México. *Scientia Agropecuaria*, 13(4), 343-349.
<http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Solórzano, J. A., Zambrano, S. M. V., & Olmedo, J. B. V. (2024). *Fusarium* spp. en el cultivo de maíz: Identificación, distribución geográfica, sintomatología, micotoxinas, ciclo de la enfermedad, control, y desafíos actuales y futuros. *Scientia Agropecuaria*, 15(4), 537-556. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Spooner, D. M., Ghislain, M., Simon, R., Jansky, S. H., & Gavrilenko, T. (2014). Systematics, Diversity, Genetics, and Evolution of Wild and Cultivated Potatoes. *The Botanical Review*, 80(4), 283-383. <https://doi.org/10.1007/s12229-014-9146-y>

- Tapuy, M. P. (2022). *Evaluación de aislados de Trichoderma spp., sobre Alternaria sp., en el cultivo de pitahaya (Selenicereus sp.), en condiciones de invernadero*. [Tesis para grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/fbf61f52-1194-4659-9e95-dea77975f120>
- Torres, E., Guigón, C., Uranga, L. P., & Guerrero-Morales, S. (2023). Antagonismo de especies de Trichoderma contra fitopatógenos que causan pudrición radical en cultivos de Chile. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(SPE3).
<https://doi.org/10.19136/era.a10niii.3610>
- Torres, H. (2002). *Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú*. International Potato Center. <https://books.google.com.pe/books?id=JactDLhLXegC>
- Ynfante, D., Martínez, B., Peteira, B., Reyes, Y., Gil, K., Simpson, J., & Herrera, A. (2023). Caracterización morfo—Cultural y variabilidad genética y molecular de aislamientos de Trichoderma. *Biotecnia*, 25(2), 194-203.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-14562023000200194&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Funciones biológicas de Trichoderma spp. Para aplicaciones agrícolas. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168-178.
<https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico

Fotografía 1. Muestras de suelo y muestra vegetal en el laboratorio de Fitopatología



Fotografía 2. Medición de conidio y fiálide de *Trichoderma* spp. con microscopio con pantalla



Fotografía 3. Equipo de trabajo del laboratorio Umbrella



Fotografía 4. Cultivo dual de F1, F2, A1 y A2 frente a cepa de *Trichoderma* spp. con 5 repeticiones



Fotografía 5. Medición del crecimiento de *Fusarium* sp (F1 y F2) y *Alternaria* sp. (A1 y A2)



Fotografía 6. Recolección de muestra vegetal



Fotografía 7. Recolección de muestras de suelo



Anexo 2. Panel fotográfico de las parcelas con su altitud





Anexo 3. Panel fotográfico de las zonas de muestreo de suelo



Nota. A: Unión Minas, B: Polanco, C: Churulla, D: Rayancasa, E: Tantacocha

Anexo 4. Proceso de preparación de medio de cultivo



Pesar 39 gr. de PDA formulado.



Colocar PDA en vaso precipitado con agua hervida de 1L.



Agitar con una varilla de vidrio.



Se colocaron 250 ml en cada botella de vidrio.



Esterilización a una temperatura de 121°C por 15 minutos.



Entubado en tubos esterilizados/Plaqueado en placas esterilizadas



Colocar antibiótico (Tetraciclina) 0.2 gr. por botella (250 ml).

Anexo 5. Proceso del aislamiento y conservación de *Trichoderma* spp.



Medir 90 ml de agua esterilizada y color en táper limpio.



Pesar 10 gr. de suelo y colocar en el táper con agua



Tapar y agitar por 5 minutos



Dilución seriada hasta 10^{-2}



Colocar 9 ml. De agua esterilizada en tubos de ensayo



Reposar por 30 minutos



Colocar 100 μ l en medio PDA y dispersar con un asa de Drigalski previamente esterilizada.



Rotulado e incubación en la estufa a una temperatura de 25 ± 2 °C.



De colonia purificada e identificada sacar discos y transferir a tubo de ensayo con medio PDA y colocar en estufa a 25 ± 2 °C. por 2-3 días, finalmente colocar en una conservadora.

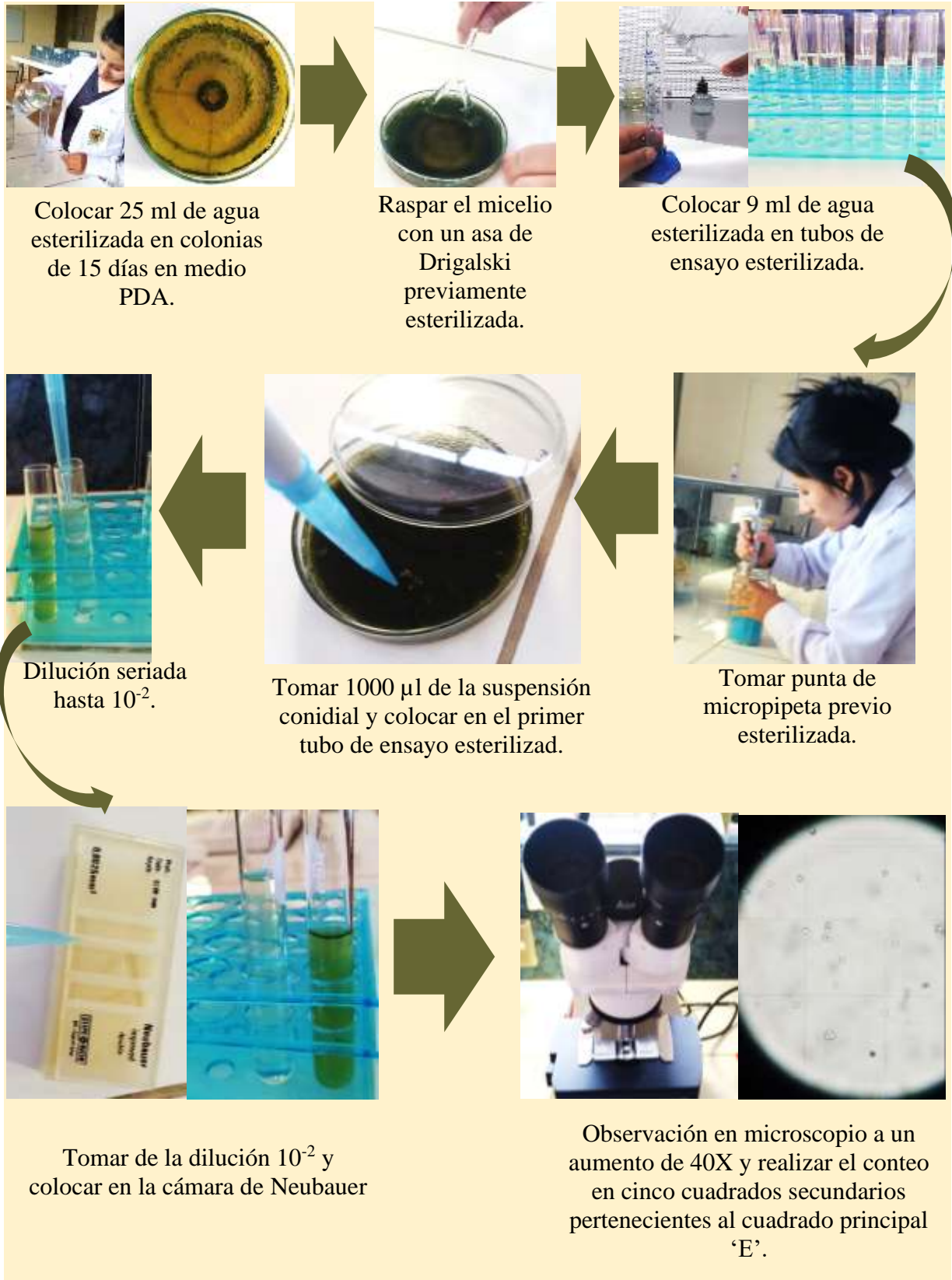


Purificación de los micelios que presentan características de *Trichoderma* spp. Luego de 5 días observar en microscopio a 40X.

Anexo 6. Proceso de aislamiento y conservación de los patógenos *Fusarium sp.* y *Alternaria sp.*















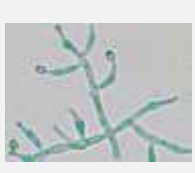












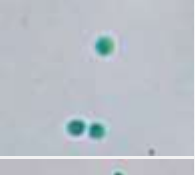






Anexo 7. Proceso del conteo de conidios de las cepas nativas de *Trichoderma spp.*

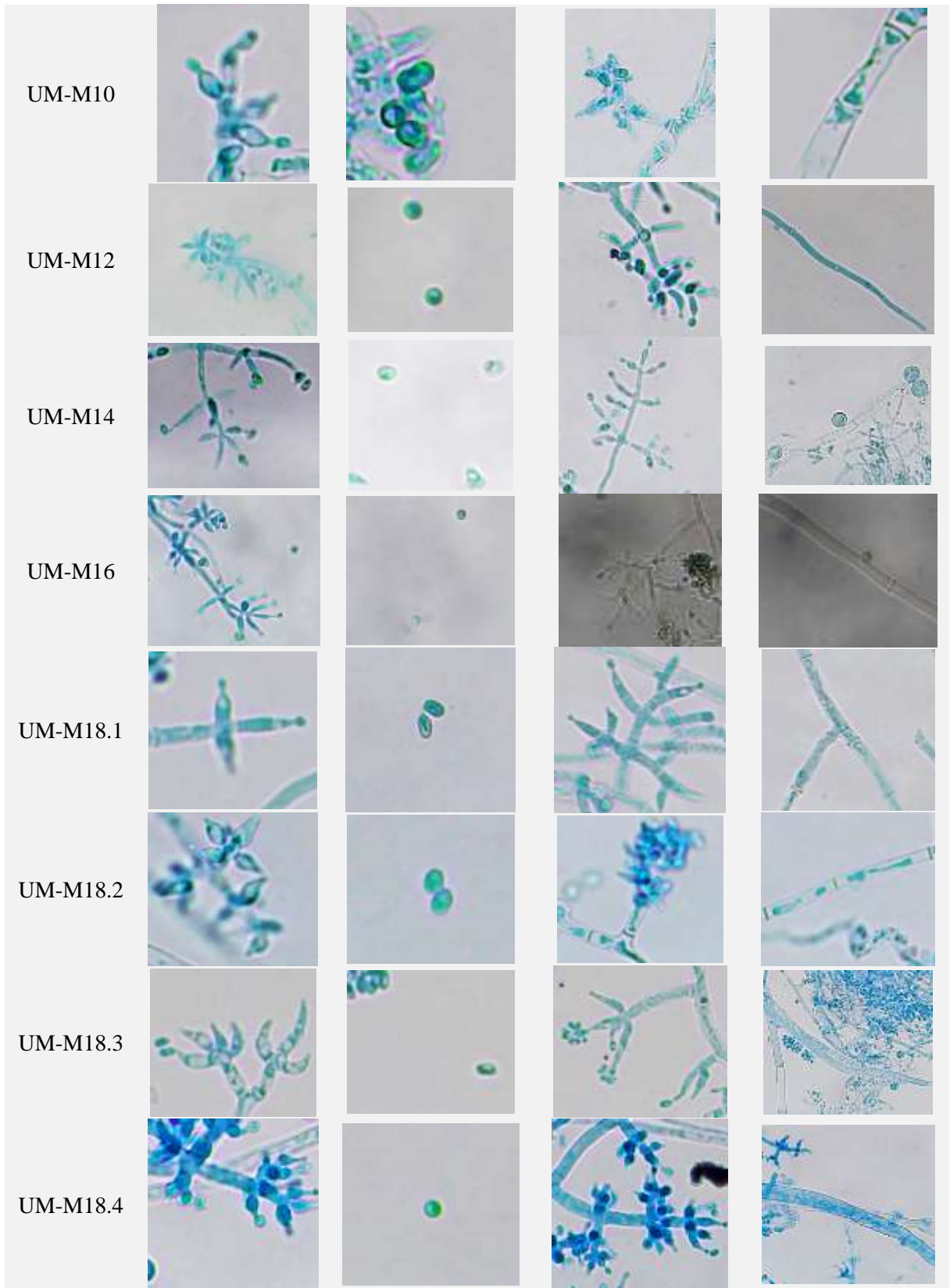


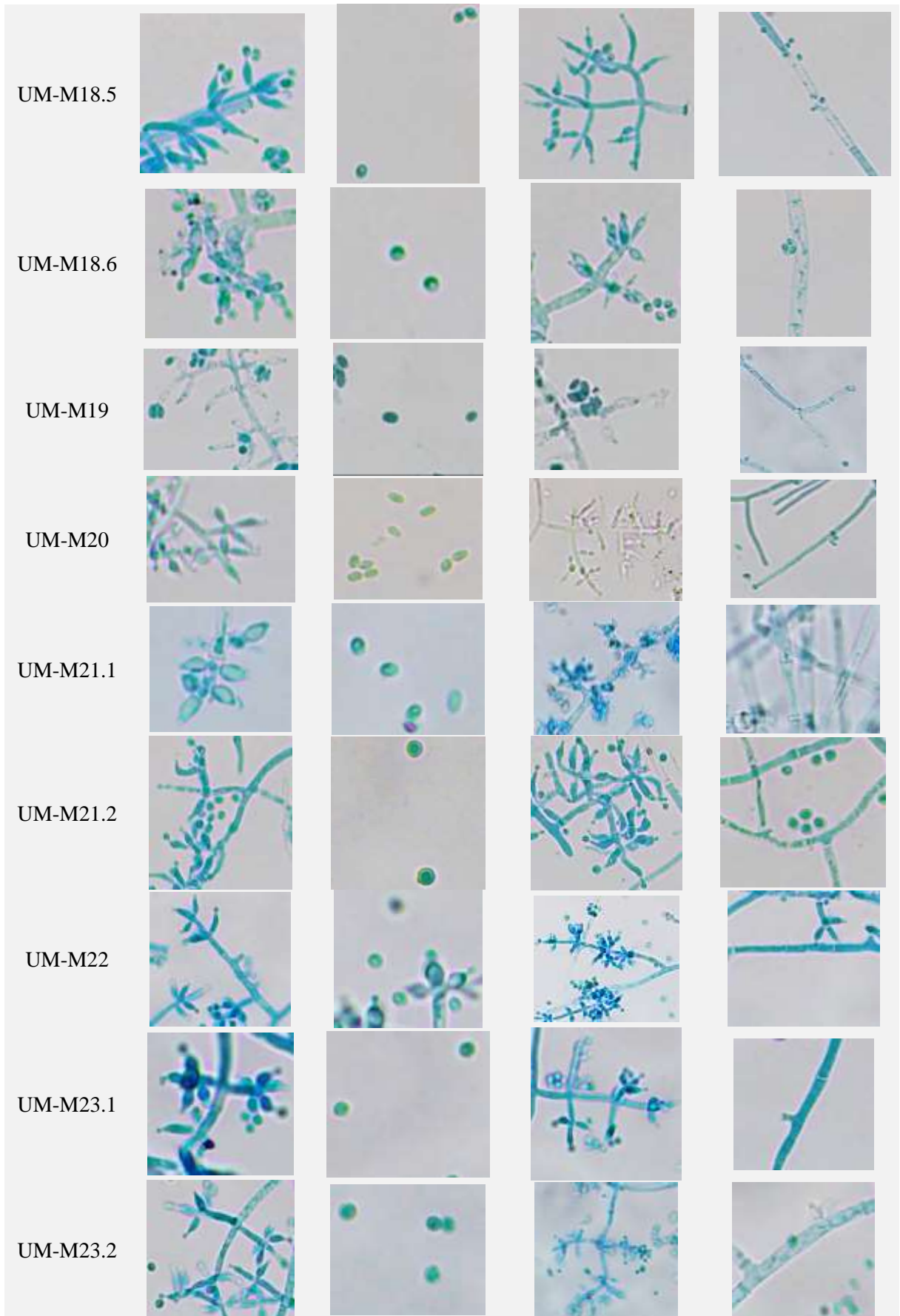
Anexo 8. Procesos para prueba molecular

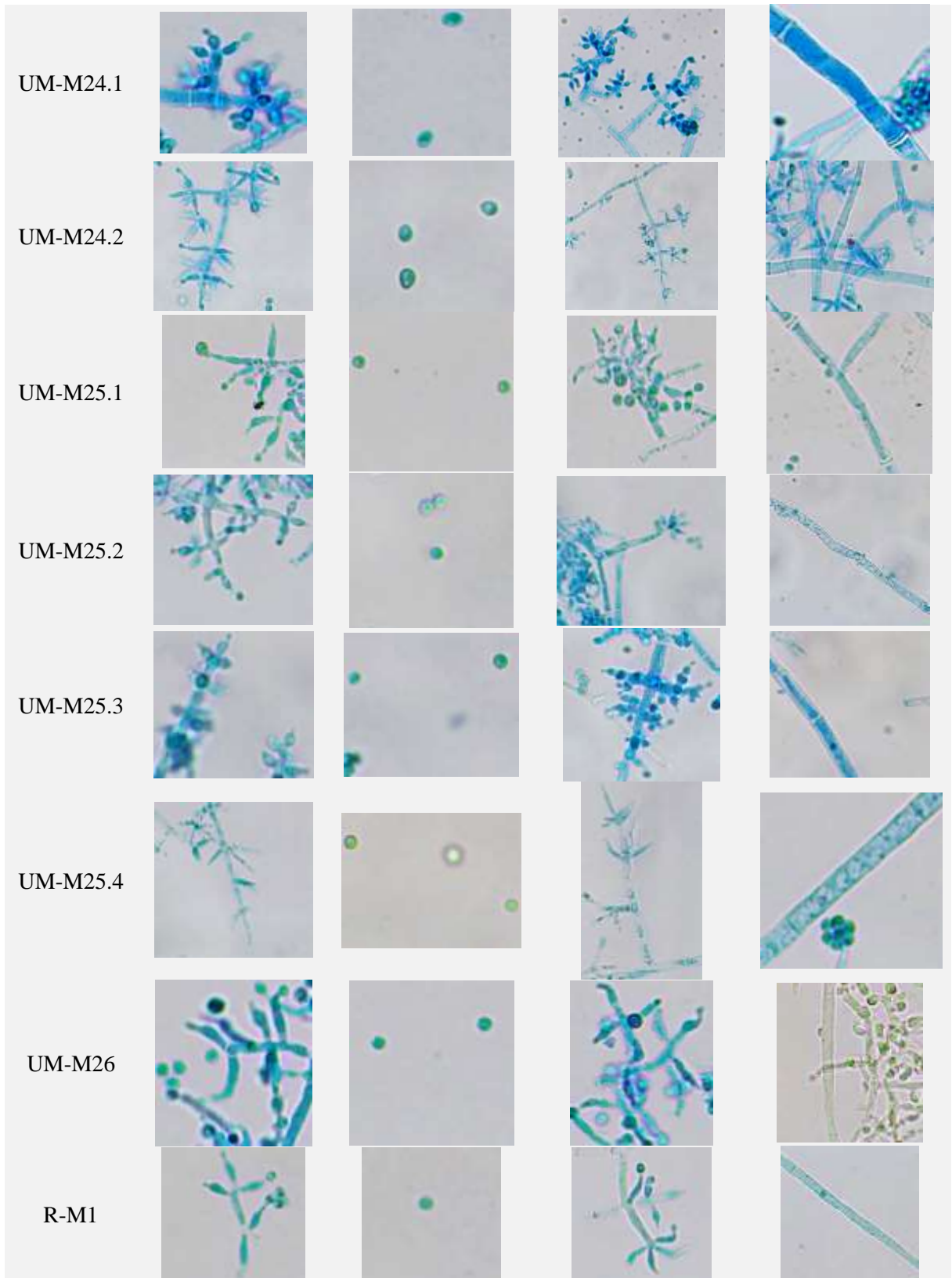


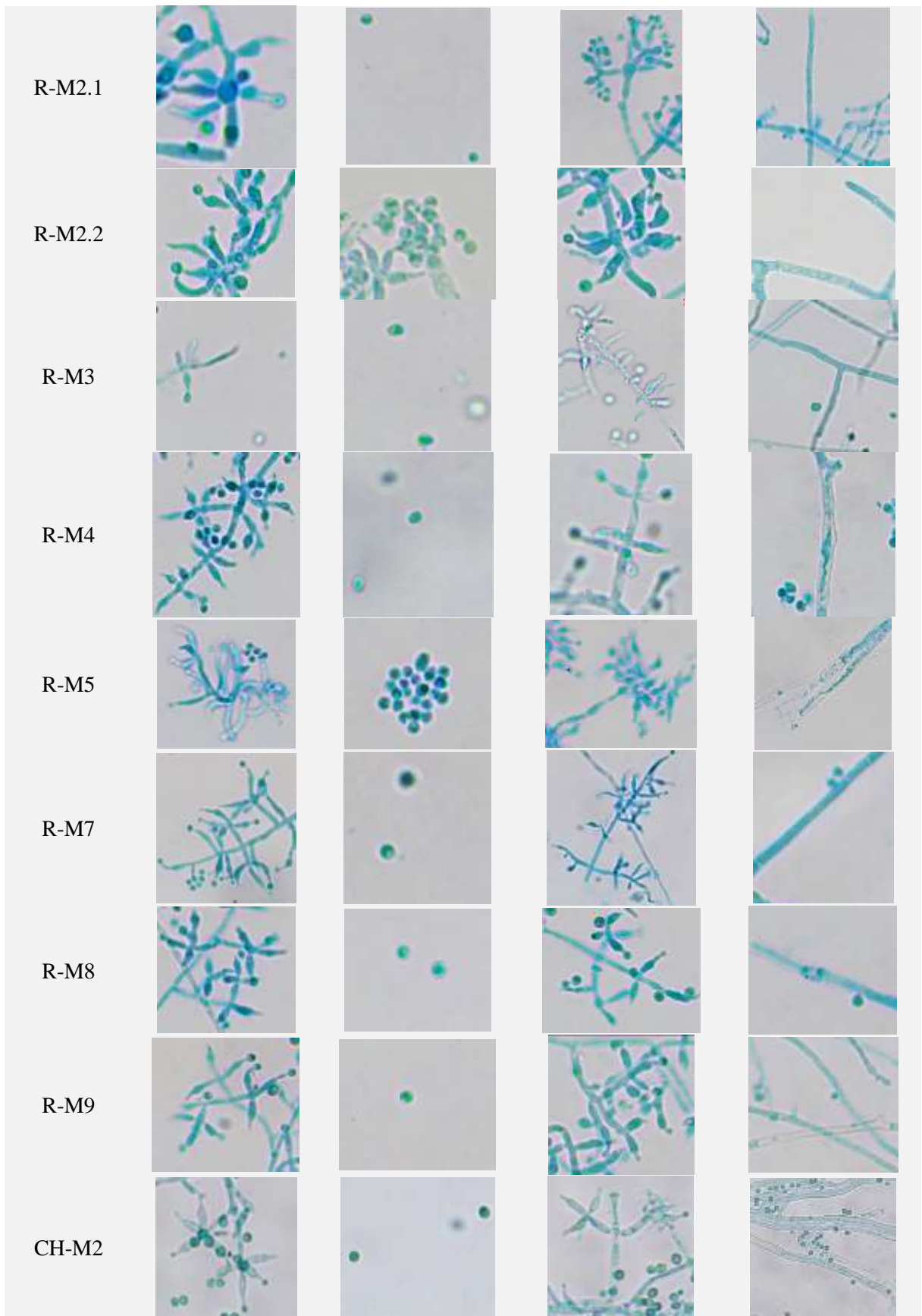
Anexo 9. Características microscópicas de las 73 cepa nativas de *Trichoderma* spp.

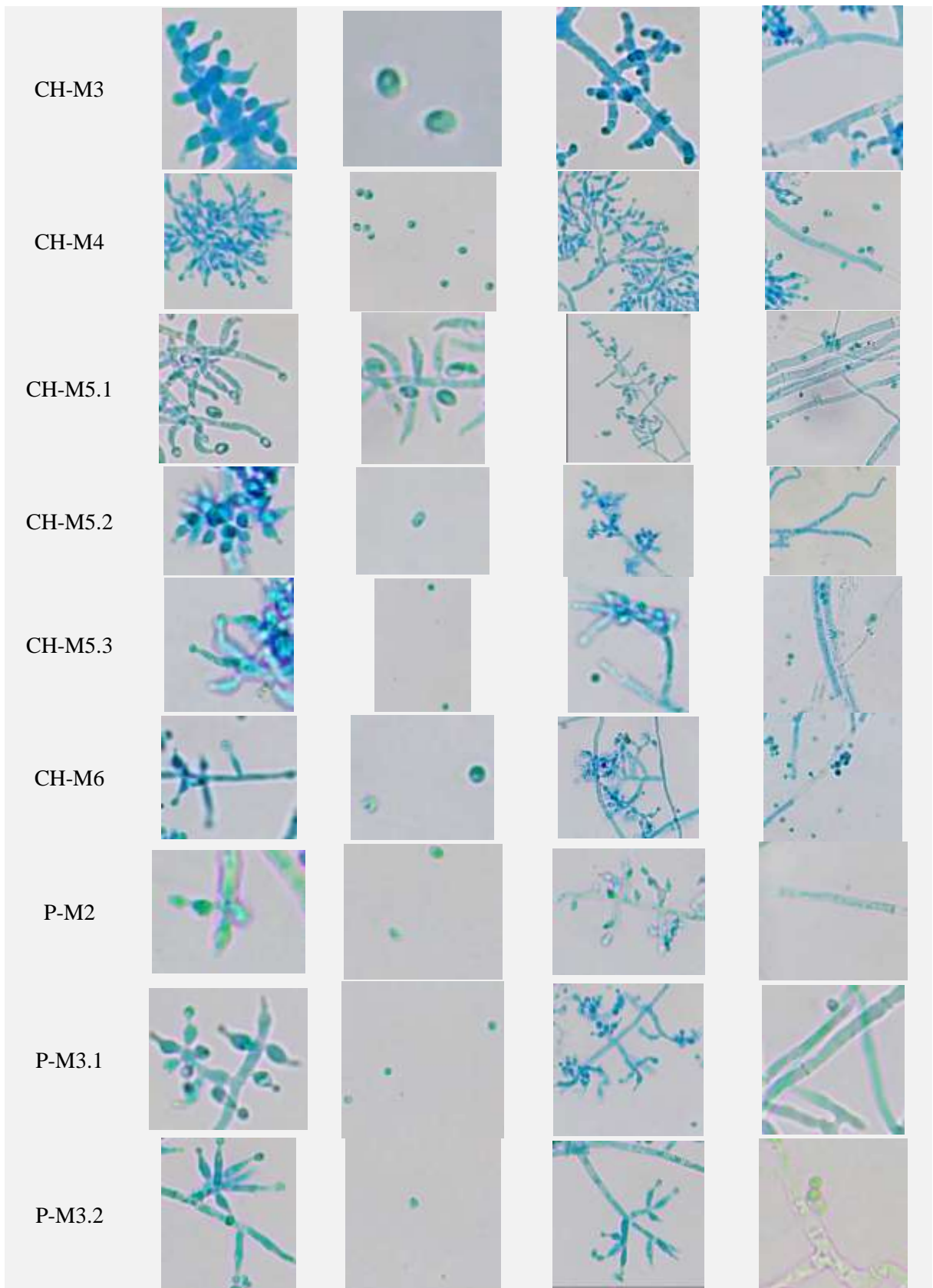
Código	Fiálide	Conidio	Conidióforo	Micelio
UM-M1.1				
UM-M1.2				
UM-M2				
UM-M3				
UM-M4				
UM-M5				
UM-M6				
UM-M8				

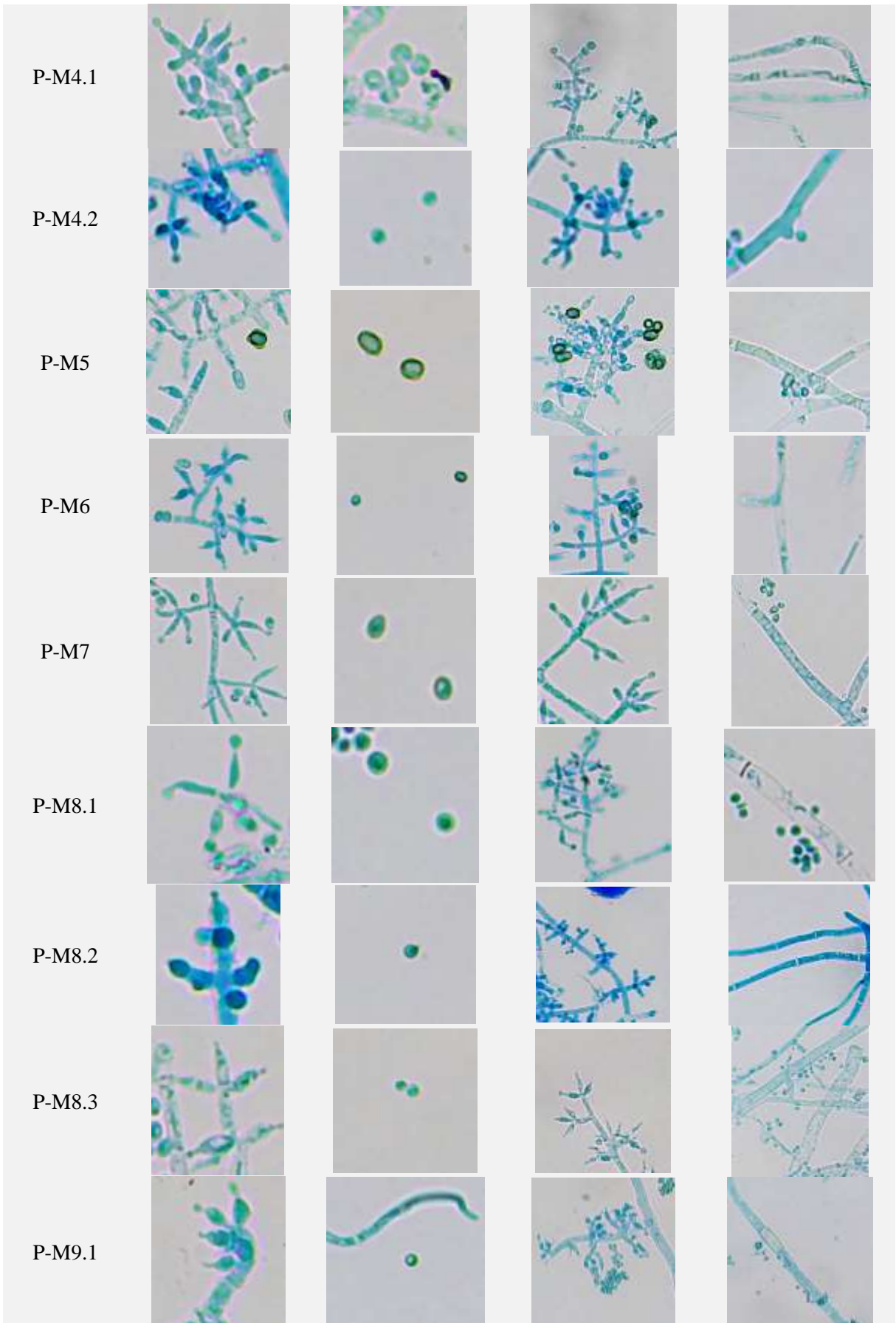


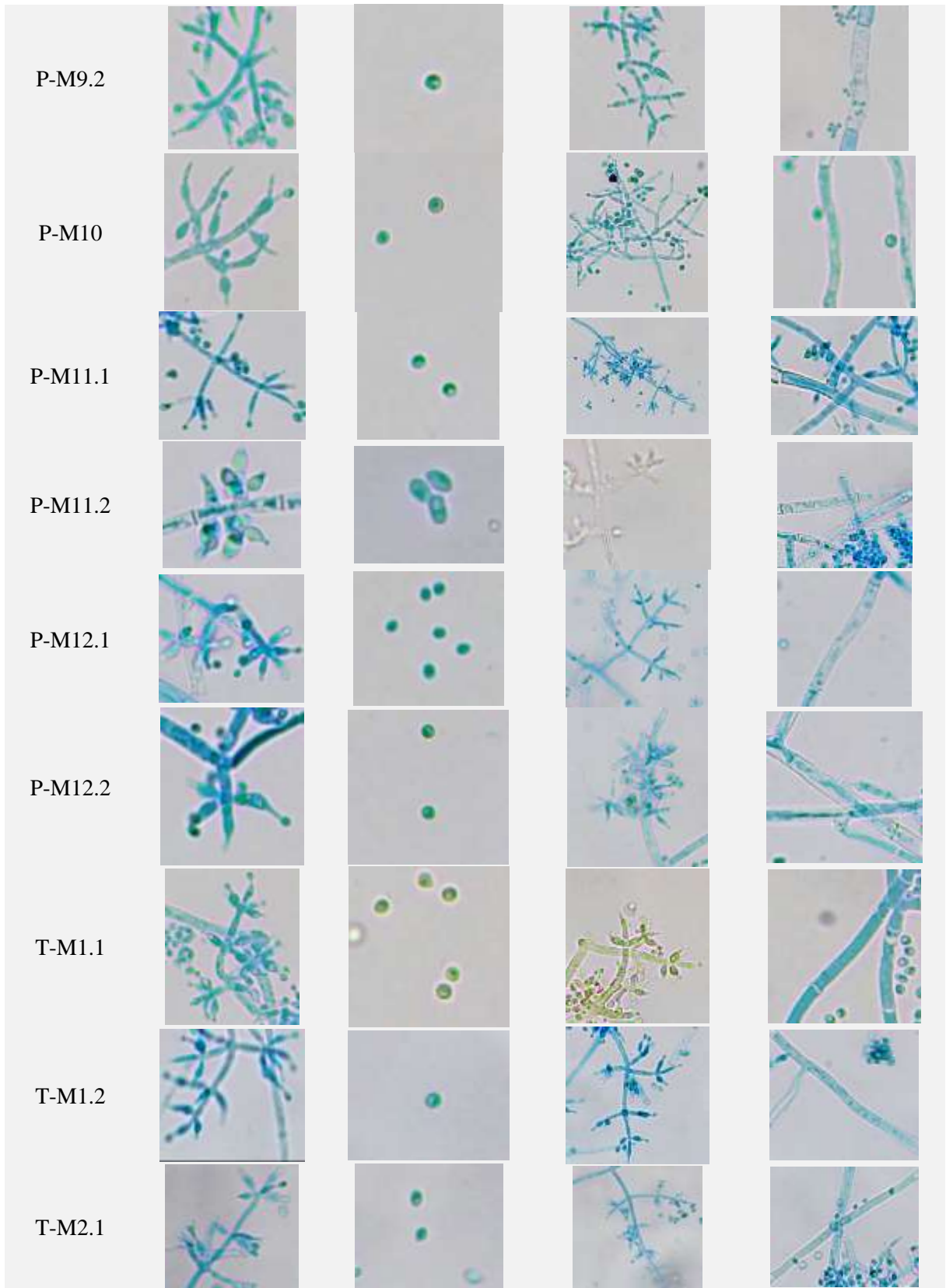


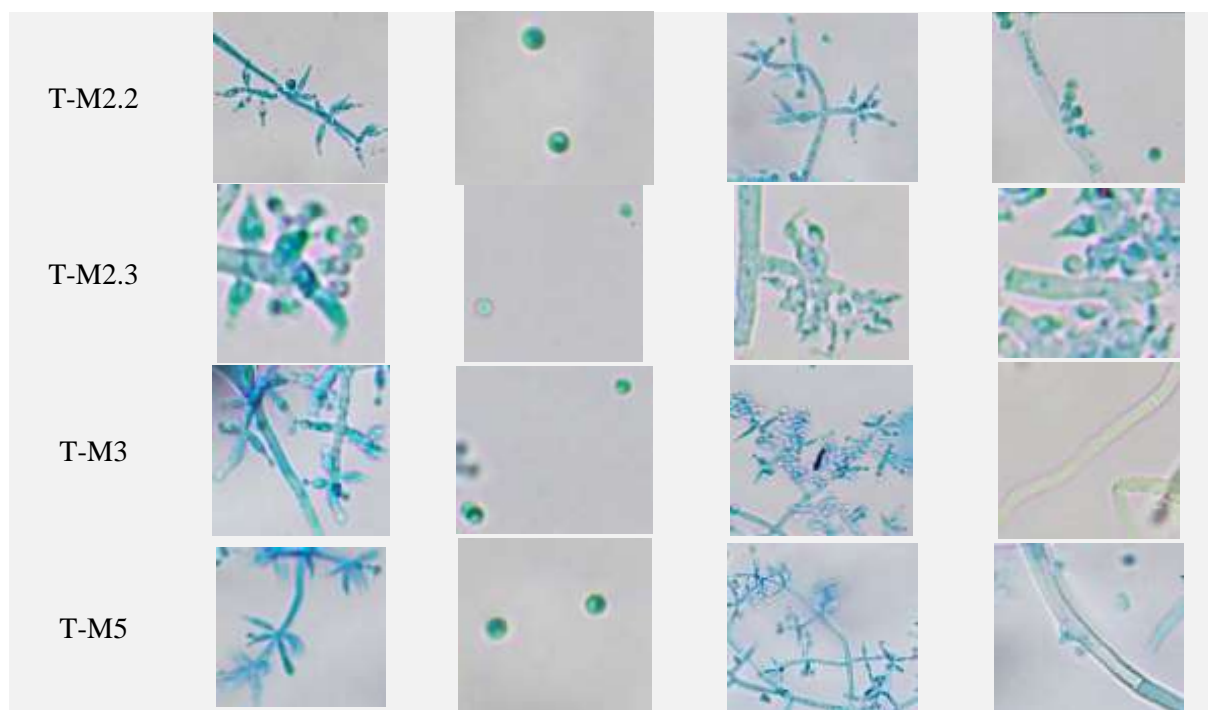












Anexo 10. Medida del crecimiento diaria de la colonia de las 73 cepas nativas de *Trichoderma* spp.

Código	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11
UM-M1.1	1.15	2.84	4.30								
UM-M1.2	1.18	2.22	3.29	3.99	4.30						
UM-M2	1.55	3.45	4.30								
UM-M3	1.05	3.52	4.30								
UM-M4	1.65	3.25	4.30								
UM-M5	0.87	1.91	3.15	4.30							
UM-M6	1.09	3.07	4.30								
UM-M8	1.42	2.71	4.30								
UM-M10	0.57	1.32	1.82	2.36	2.95	3.37	3.69	4.05	4.30		
UM-M12	1.01	2.55	4.30								
UM-M14	1.29	3.40	4.30								
UM-M16	1.53	3.06	4.30								
UM-M18.1	0.61	1.51	2.10	2.53	2.94	3.32	3.67	4.08	4.30		
UM-M18.2	0.52	1.32	2.07	2.72	3.62	4.30					
UM-M18.3	0.64	2.12	3.60	4.30							
UM-M18.4	0.66	1.85	2.92	3.80	4.30						

UM-M18.5	1.26	2.89	4.30					
UM-M18.6	1.20	2.84	4.30					
UM-M19	1.58	4.30						
UM-M20	0.92	2.43	3.96	4.30				
UM-M21.1	0.57	1.16	1.60	2.08	2.60	3.26	3.85	4.30
UM-M21.2	1.01	2.84	4.30					
UM-M22	1.14	3.08	4.30					
UM-M23.1	1.00	2.98	4.30					
UM-M23.2	0.64	2.29	4.30					
UM-M24.1	0.54	2.09	4.30					
UM-M24.2	0.56	1.95	3.88	4.30				
UM-M25.1	0.98	2.62	4.30					
UM-M25.2	0.98	2.62	4.30					
UM-M25.3	0.85	2.42	4.30					
UM-M25.4	0.85	2.45	4.30					
UM-M26	0.76	3.84	4.30					
P-M2	1.05	2.47	4.30					
P-M3.1	0.46	1.86	3.51	4.30				
P-M3.2	1.13	2.75	4.30					
P-M4.1	1.18	2.87	4.30					
P-M4.2	1.43	3.56	4.30					
P-M5	0.35	1.73	3.14	4.30				
P-M6	0.79	2.19	3.84	4.30				
P-M7	1.33	3.17	4.30					
P-M8.1	1.05	2.68	4.30					
P-M8.2	1.40	3.27	4.30					
P-M8.3	1.13	2.75	4.30					
P-M9.1	0.84	2.50	4.30					
P-M9.2	0.95	2.55	4.30					
P-M10	0.97	2.51	4.05	4.30				
P-M11.1	1.65	3.60	4.30					
P-M11.2	0.66	1.27	1.93	2.60	3.10	3.88	4.30	
P-M12.1	1.37	2.94	4.30					

P-M12.2	1.31	2.99	4.30								
T-M1.1	0.87	2.76	4.30								
T-M1.2	1.27	2.57	4.30								
T-M2.1	1.30	2.78	4.30								
T-M2.2	1.31	2.97	4.30								
T-M2.3	0.76	2.21	3.70	4.30							
T-M3	1.29	2.93	4.30								
T-M5	1.38	2.86	4.30								
CH-M2	1.54	3.24	4.30								
CH-M3	0.55	1.10	1.59	2.10	2.53	2.91	3.25	3.56	3.86	4.11	4.30
CH-M4	0.93	3.77	3.89	4.30							
CH-M5.1	1.37	3.86	4.30								
CH-M5.2	0.60	1.16	1.67	2.21	2.65	3.03	3.36	3.65	3.91	4.15	4.30
CH-M5.3	0.73	2.07	3.57	4.30							
CH-M6	0.89	2.44	3.79	4.30							
R-M1	0.71	1.65	2.68	3.84	4.30						
R-M2.1	1.42	3.86	4.30								
R-M2.2	1.22	3.12	4.30								
R-M3	0.88	2.56	4.30								
R-M4	1.39	3.04	4.30								
R-M5	0.92	2.21	3.61	4.30							
R-M7	1.09	2.91	4.30								
R-M8	0.82	2.19	3.25	4.30							
R-M9	0.81	2.17	3.15	4.30							

Anexo 11. Medidas del crecimiento diaria de *Fusarium sp.* (F1 y F2) y *Alternaria sp.* (A1 y A2)

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11
A1	0.5	0.9	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.1	4.3
A2	0.5	1.0	1.5	1.9	2.4	2.8	3.2	3.3	3.7	4.0	4.3
F1	0.3	0.8	1.3	1.9	2.5	2.9	3.5	4.0	4.3		
F2	0.5	1.2	2.4	3.9	4.3						

Anexo 12. Medidas del tamaño del macroconidio de *Alternaria sp.* y *Fusarium sp.*

Patógenos	Dimensiones conidiales	Tamaño de conidios(μm)
<i>Alternaria sp.</i> (A1)	Largo	20.1
	Ancho	7.8
<i>Alternaria sp.</i> (A2)	Largo	21.5
	Ancho	7.4
<i>Fusarium sp.</i> (F1)	Largo	19.5
	Ancho	4.1
<i>Fusarium sp.</i> (F2)	Largo	31.5
	Ancho	3.1

Anexo 13. Medidas del tamaño de fiálide y conidio de las 73 cepas nativas de *Trichoderma spp.*

Código	Fiálide (μm)	Conidio (μm)	Código	Fiálide (μm)	Conidio (μm)
UM-M1.1	6.45	2.35	P-M5	7.36	4.15 X 2.62
UM-M1.2	5.66	2.14	P-M6	6.11	3.17 X 2.24
UM-M2	4.55	2.03	P-M7	6.81	2.79 X 2.02
UM-M3	7.32	3.16 X 2.15	P-M8.1	6.82	2.15
UM-M4	4.38	2.33	P-M8.2	4.49	2.19
UM-M5	4.95	3.07 X 2.07	P-M8.3	5.09	1.98
UM-M6	7.53	2.87	P-M9.1	4.58	2.1
UM-M8	6.43	2.79 X 1.75	P-M9.2	6.04	2.33
UM-M10	6.24	3.44 X 2.31	P-M10	6.56	2.09
UM-M12	4.6	2.01	P-M11.1	6.79	2.18
UM-M14	6.83	2.95 X 2.03	P-M11.2	4.81	2.85 X 1.85
UM-M16	6.48	2.2	P-M12.1	5.15	2.41 X 1.79
UM-M18.1	6.39	3.66 X 2.30	P-M12.2	6.81	2.01
UM-M18.2	4.81	2.82 X 1.85	T-M1.1	4.96	2.12
UM-M18.3	7.16	2.88 X 1.89	T-M1.2	6.69	2.62
UM-M18.4	4.91	2.11	T-M2.1	7.34	3.01 X 2.08
UM-M18.5	6.76	2.83 X 2.07	T-M2.2	6.71	2.38
UM-M18.6	5.99	2.07	T-M2.3	4.46	2.19
UM-M19	7.7	3.86 X 2.17	T-M3	4.75	2.13
UM-M20	4.97	2.43 X 1.53	T-M5	6.8	2.18

UM-M21.1	4.92	2.79 X 1.89	CH-M2	6.86	2.22
UM-M21.2	7.34	2.41	CH-M3	5.04	2.72 X 1.87
UM-M22	5.47	2.27	CH-M4	6.73	2.51
UM-M23.1	5.01	2.19	CH-M5.1	7.71	3.11 X 2.10
UM-M23.2	6.39	2.44	CH-M5.2	4.69	2.68 X 1.85
UM-M24.1	4.82	2.82 X 1.96	CH-M5.3	7.48	2.14
UM-M24.2	6.66	2.83 X 1.93	CH-M6	7.14	2.36
UM-M25.1	6.91	2.28	R-M1	6.85	2.32
UM-M25.2	5.54	2.27	R-M2.1	7.21	2.1
UM-M25.3	4.36	2.22	R-M2.2	6.48	2.2
UM-M25.4	6.46	2.41	R-M3	6.79	2.90 X 2.25
UM-M26	6.82	2.26	R-M4	6.7	2.79 X 2.18
P-M2	4.81	2.33 X 1.48	R-M5	7.64	2.52
P-M3.1	6.27	2.18	R-M7	7.54	2.15
P-M3.2	6.74	1.96	R-M8	6.54	2.29
P-M4.1	5	2.53	R-M9	6.94	2.26
P-M4.2	4.44	2.04			

Anexo 14. Ruta de identificación para *Alternaria*.

- 1g Conidia (porospores) often thick walled, developed through pores in the wall at the apex or side of the conidiophore, single or in some genera produced on successive new growing tips of the conidiophore formed by proliferation at the apex or by sympodial extension from beneath the previous conidium (Examples: *Helminthosporium*, *Stemphylium*) Series POROSPORAE.....91
- 91a Conidia with cross and oblique septa, dictyosporous92
- 92a Conidia long beaked or obclavate to ovoid*Alternaria*.

Anexo 15. Ruta de identificación para *Fusarium*

1i Conidia (Phialospores) formed successively from open apex of conidiophore or sporogenous cell (phialide), which ordinarily does not increase in length; conidia often collecting in a drop of mucilage or slime at apex of phialide or remaining attached in basipetal chains; conidiophore simple or branched. In a few genera the simple conidiophore proliferates through the apex and forms new...(Examples: Chalara, Phialophora) series PHIALOSPORAE.....152

152b Not aquatic; i.e., not normally growing in water156

156a Conidia 2-or several-celled157

157b Conidiophore (or sporogenous cells) hyaline159

159b Conidiophores simple or branched irregularly, phialides long slender160

160b Large conidia typically canoe-shaped; microconidial 1-celledFusarium

Anexo 16. Ruta de identificación para *Trichoderma*

1i. Conidia (Phialospores) formed successively from open apex of conidiophore or sporogenous cell (phialide), which ordinarily does not increase in length; conidia often collecting in a drop of mucilage or slime at apex of phialide or remaining attached in basipetal chains; conidiophore simple or branched. In a few genera the simple conidiophore proliferates through the apex and forms new...(Examples: Chalara, Phialophora) series PHIALOSPORAE.....152

152b Not aquatic; i.e., not normally growing in water156

156b Conidia typically 1-celled161

161b Conidiophores, phialides or conidia otherwise162

162a Conidia hyaline or subhyaline 163

163b Conidia globose, ovoide, oblongo r hooked, without appendages 165

165b Conidia produced at apex of phiali, not rod-shaped 169

169b Conidiophores short or mostly reduced to a single 171

171b Conidia held together in slime heads 174

174b Conidiophores variously branched 175

175c Conidial masses small, at apex of branches or single phialides 178

178b Conidiophores hyaline, branches irregular Trichoderma

Anexo 17. Prueba de Tukey del PICR sobre F1

Cepas	Medias	n	E.E.				
T-M1.2	33.4	5	0.15	a			
P-M12.2	31.4	5	0.15		b		
P-M8.3	31.3	5	0.15		b		
UM-M12	29.7	5	0.15			c	
UM-M19	29.5	5	0.15			c	
CH-M2	28.8	5	0.15				d
UM-M16	27.3	5	0.15				e
T-M2.2	27.2	5	0.15				e
T-M5	24.1	5	0.15				f
P-M11.1	19.0	5	0.15				g

Anexo 18. Prueba de Tukey del PICR sobre F2

Cepas	Medias	n	E.E.				
CH-M2	62.8	5	0.15	a			
UM-M19	61.4	5	0.15		b		
UM-M16	60.4	5	0.15			c	
P-M12.2	56.3	5	0.15				d
UM-M12	56.2	5	0.15				d e
T-M1.2	56.0	5	0.15				d e
P-M11.1	55.6	5	0.15				d e
T-M2.2	55.5	5	0.15				e
P-M8.3	50.9	5	0.15				f
T-M5	50.2	5	0.15				g

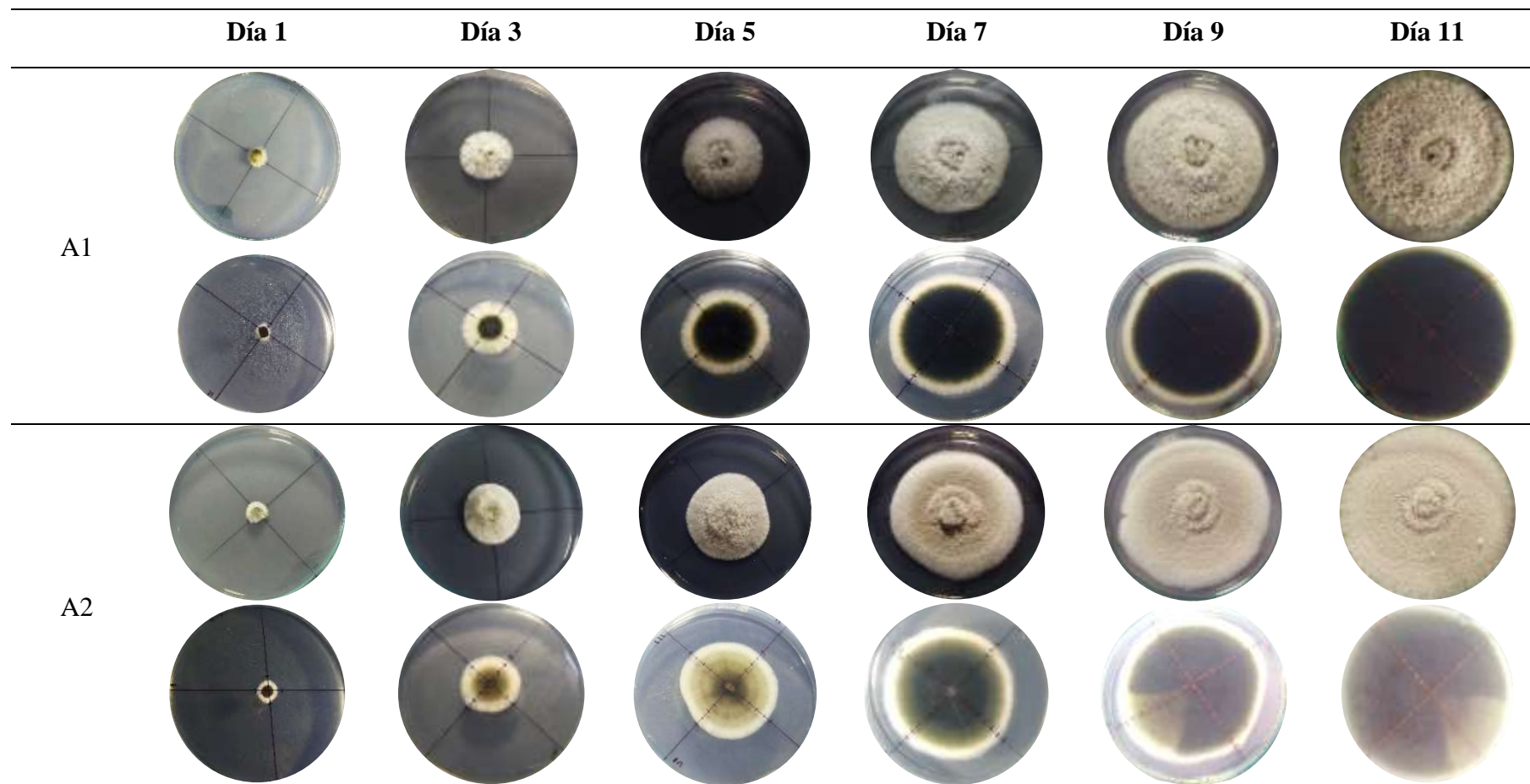
Anexo 19. Prueba de Tukey del PICR sobre AI

Cepas	Medias	n	E.E.			
UM-M19	40.4	5	0.21	a		
P-M11.1	35.7	5	0.21		b	
UM-M16	35.5	5	0.21		b	
T-M2.2	35.4	5	0.21		b	
T-M1.2	35.1	5	0.21		b	
P-M8.3	34.9	5	0.21		b	
UM-M12	31.6	5	0.21			c
P-M12.2	30.7	5	0.21			c
T-M5	26.8	5	0.21			d
CH-M2	26.6	5	0.21			d

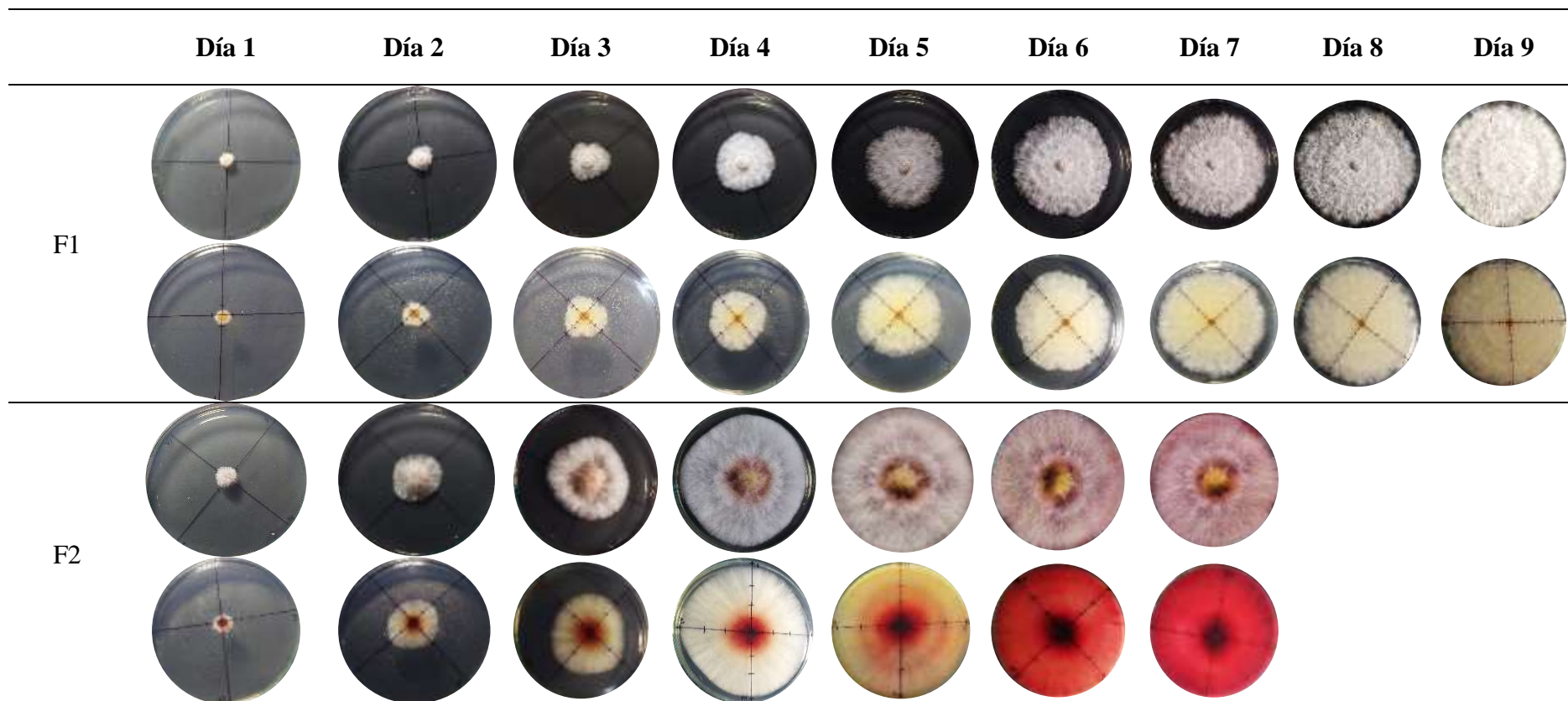
Anexo 20. Prueba de Tukey del PICR sobre AI

Cepas	Medias	n	E.E.				
UM-M19	44.8	5	0.25	a			
UM-M12	37.8	5	0.25		b		
UM-M16	36.7	5	0.25		b	c	
P-M11.1	36.4	5	0.25			c	
T-M2.2	36.3	5	0.25			c	
T-M5	32.4	5	0.25				d
T-M1.2	32.3	5	0.25				d
CH-M2	30.3	5	0.25				e
P-M8.3	28.5	5	0.25				f
P-M12.2	28.0	5	0.25				f

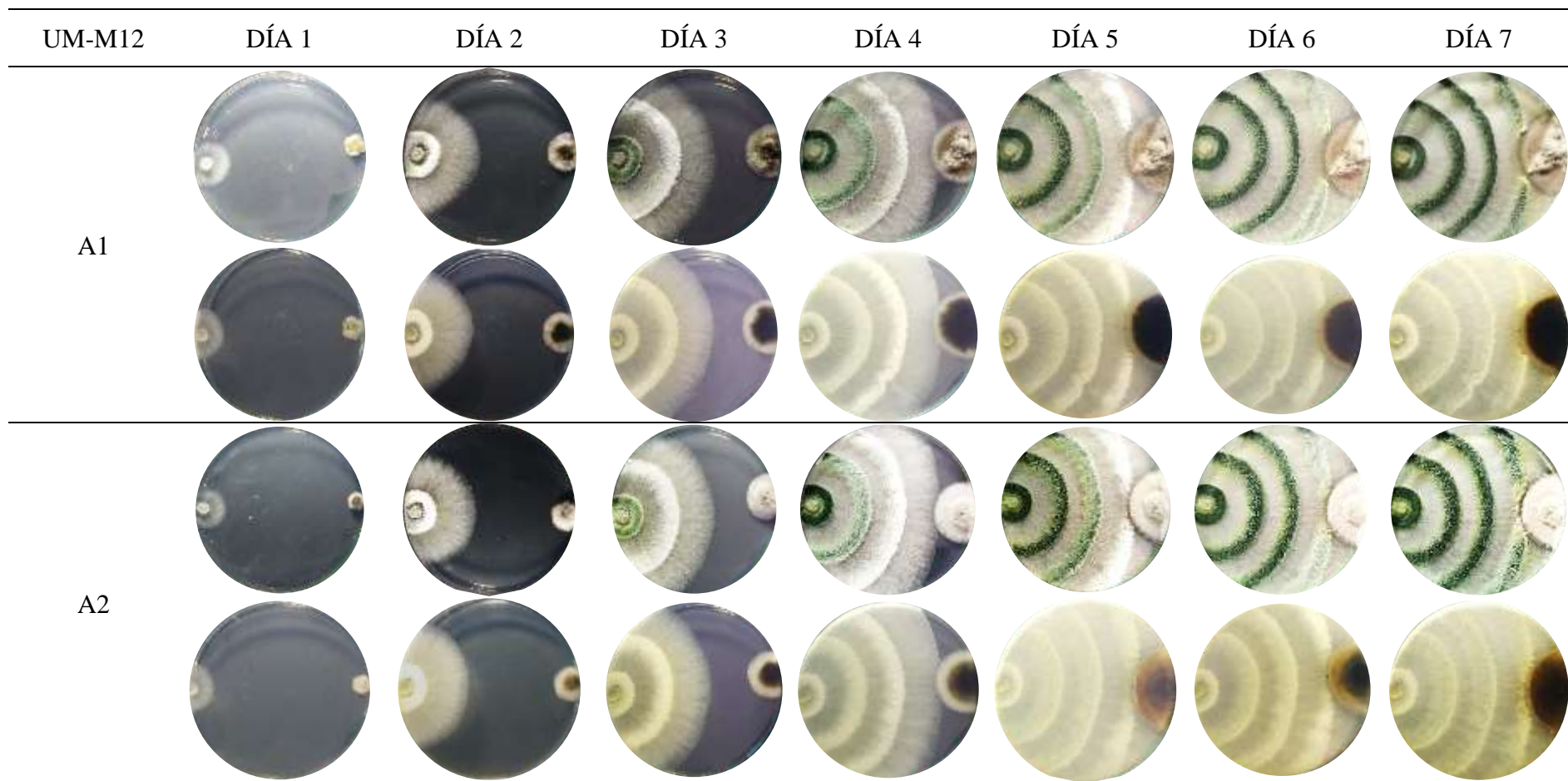
Anexo 21. Crecimiento diario de la colonia de *Alternaria* sp. (A1 y A2)



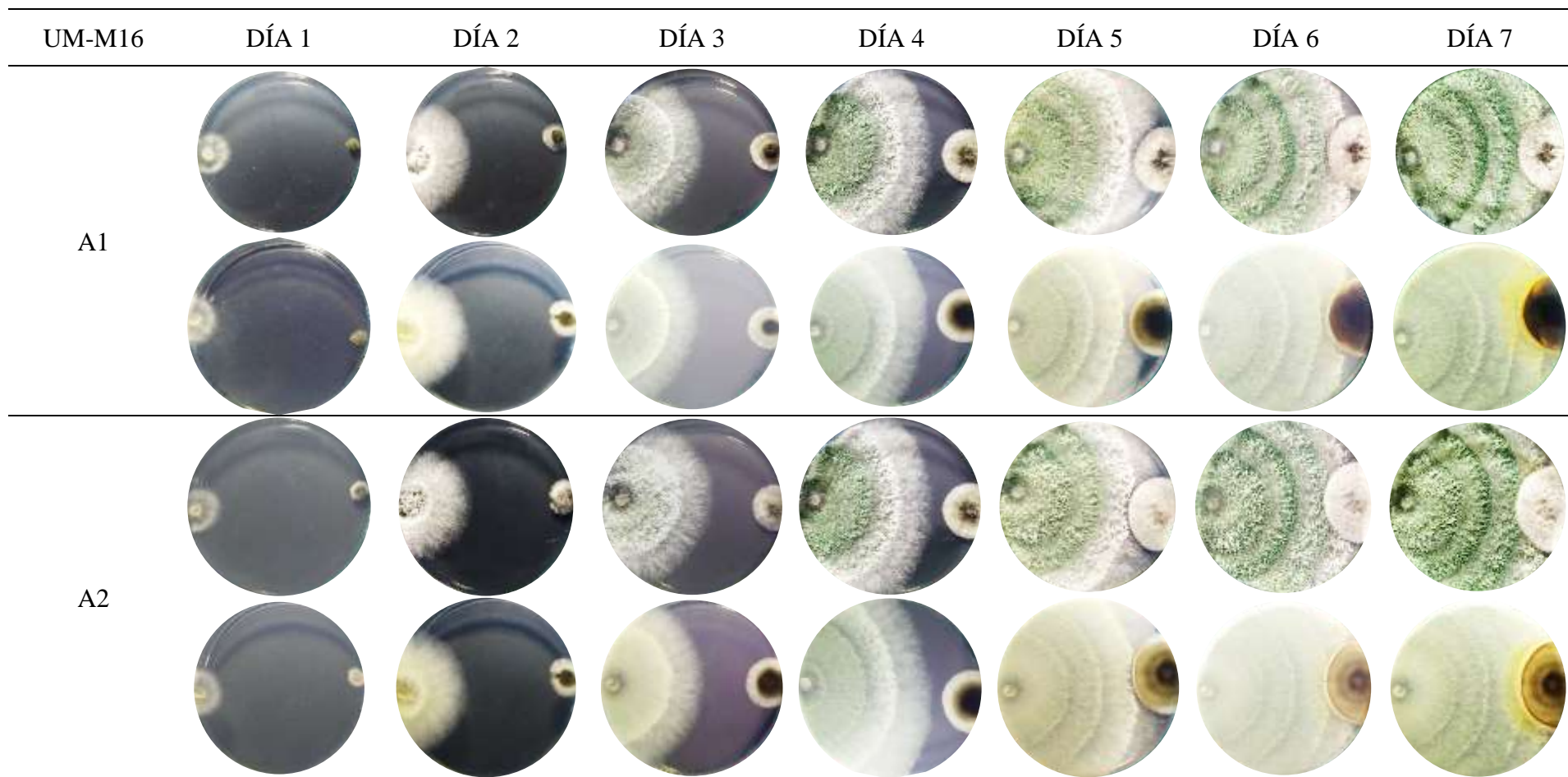
Anexo 22. Crecimiento diario de la colonia de *Fusarium* sp. (F1 y F2)



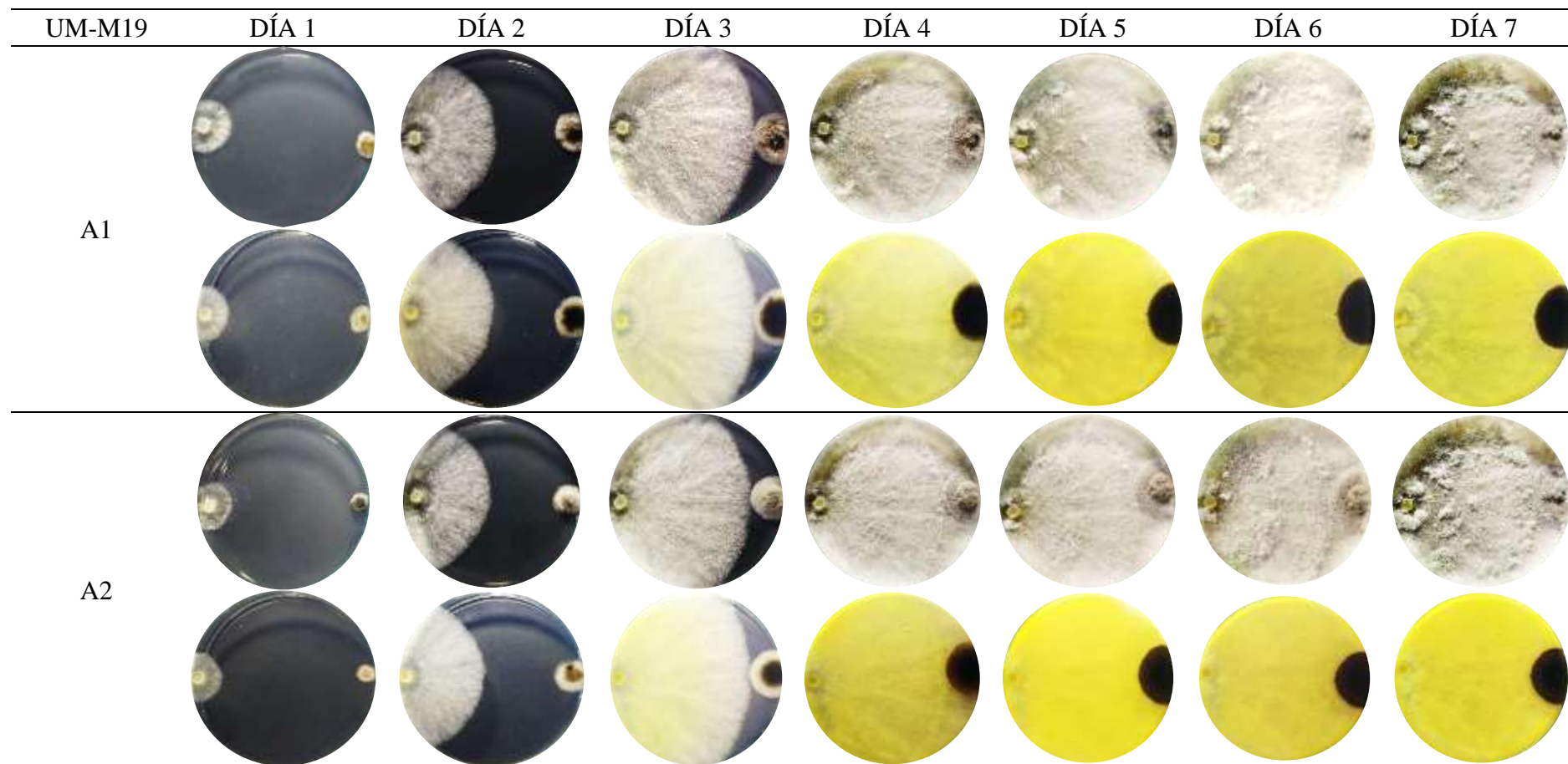
Anexo 23. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M12 vs A1 y A2



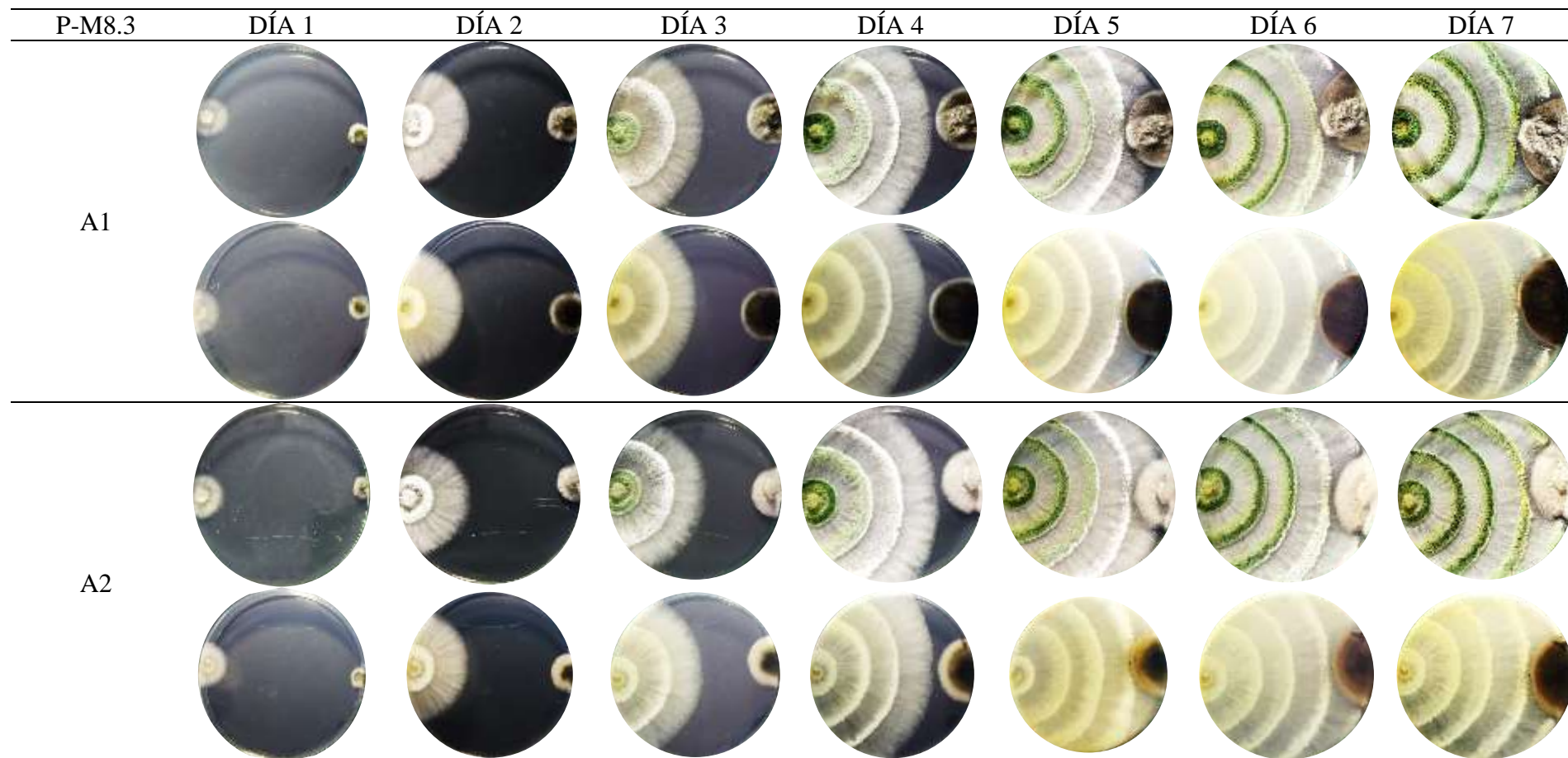
Anexo 24. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M16 vs A1 y A2






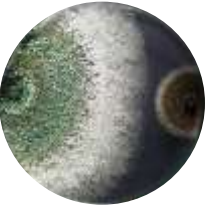






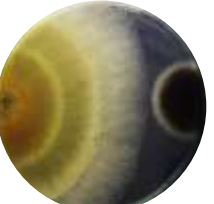

















Anexo 25. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M19 vs A1 y A2



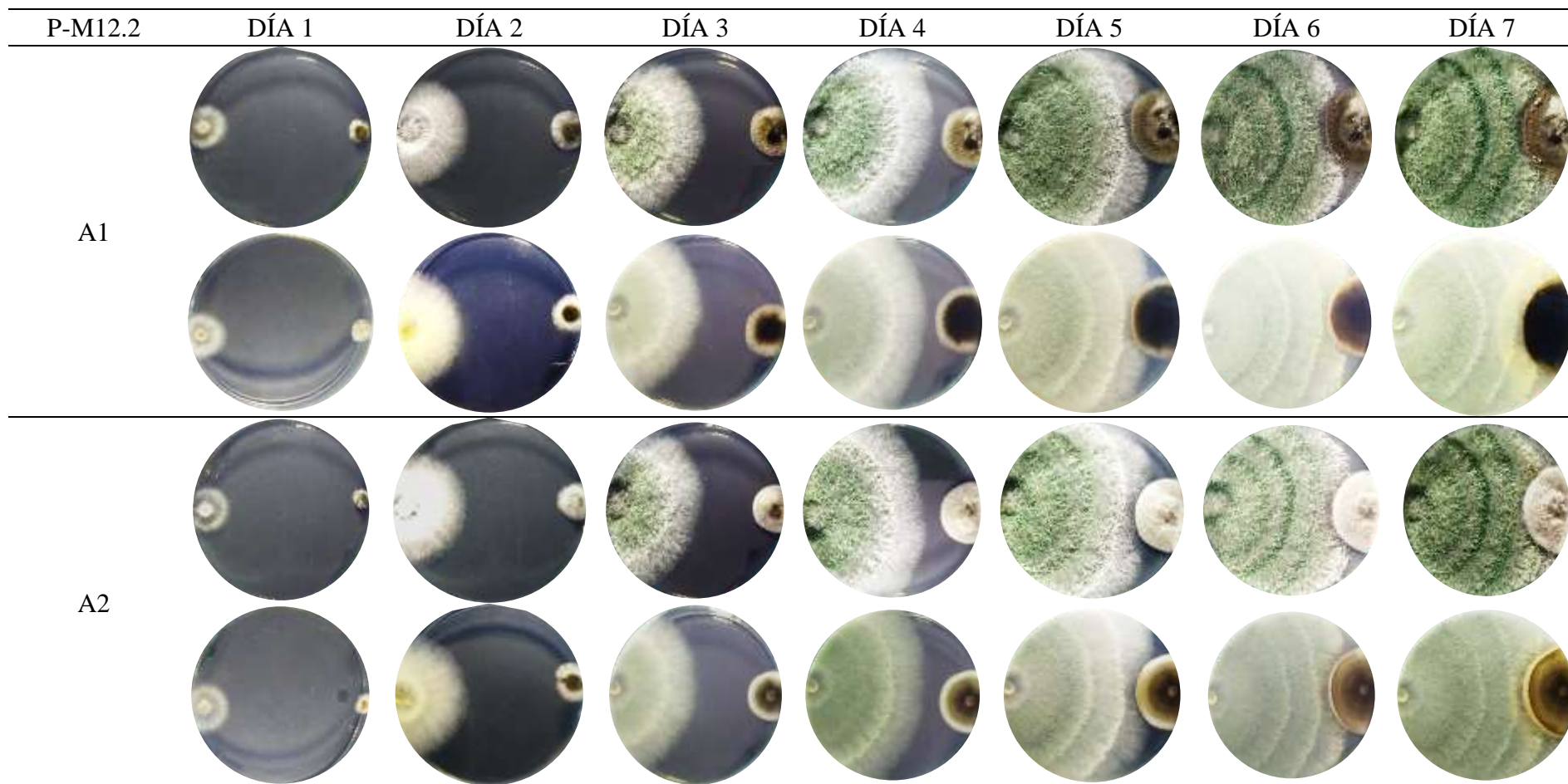
Anexo 26. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M8.3 vs A1 y A2



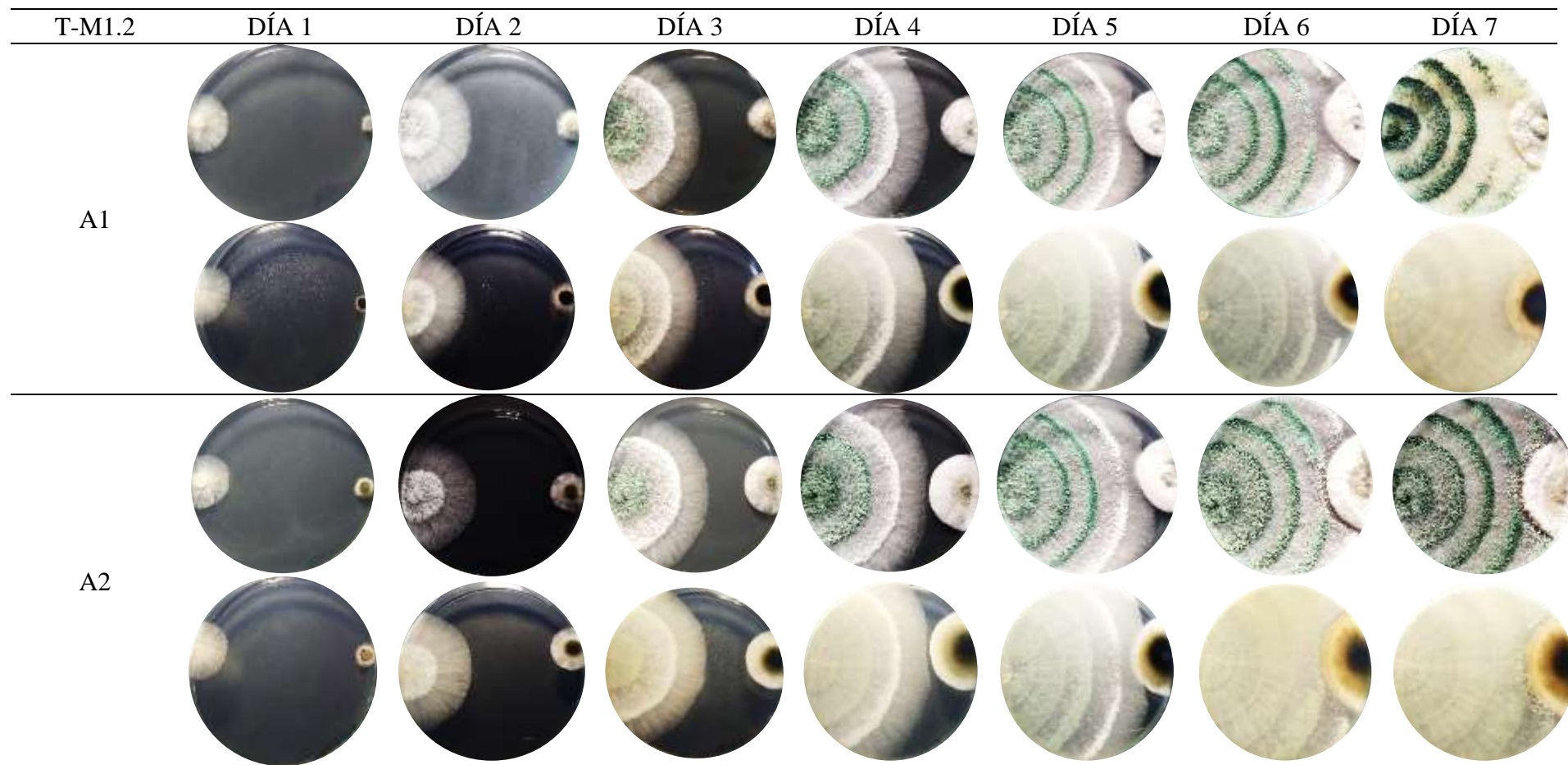
Anexo 27. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M12 vs A1 y A2

P-M11.1	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7
A1							
							
A2							
							

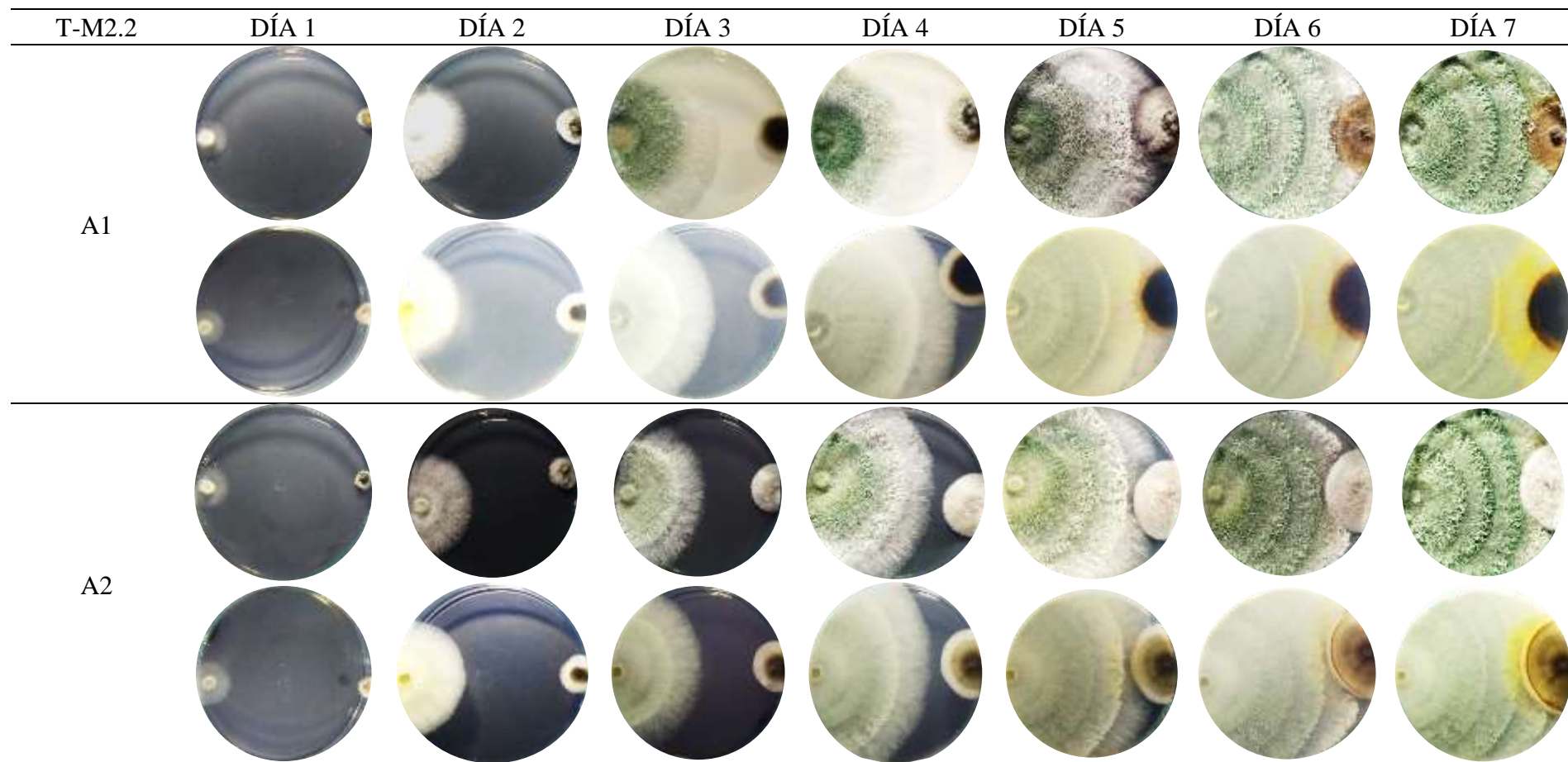
Anexo 28. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M12.2 vs A1 y A2



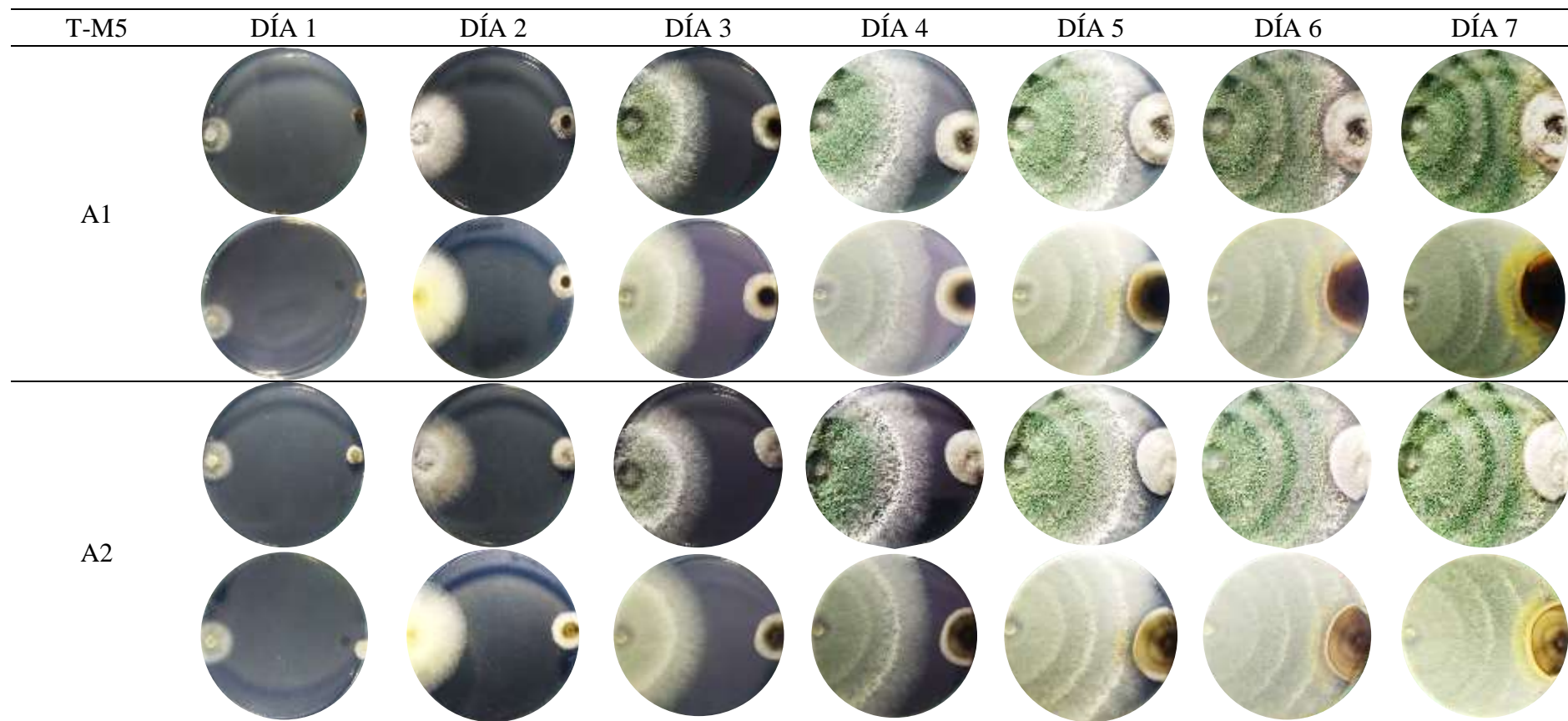
Anexo 29. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M1.2 vs A1 y A2



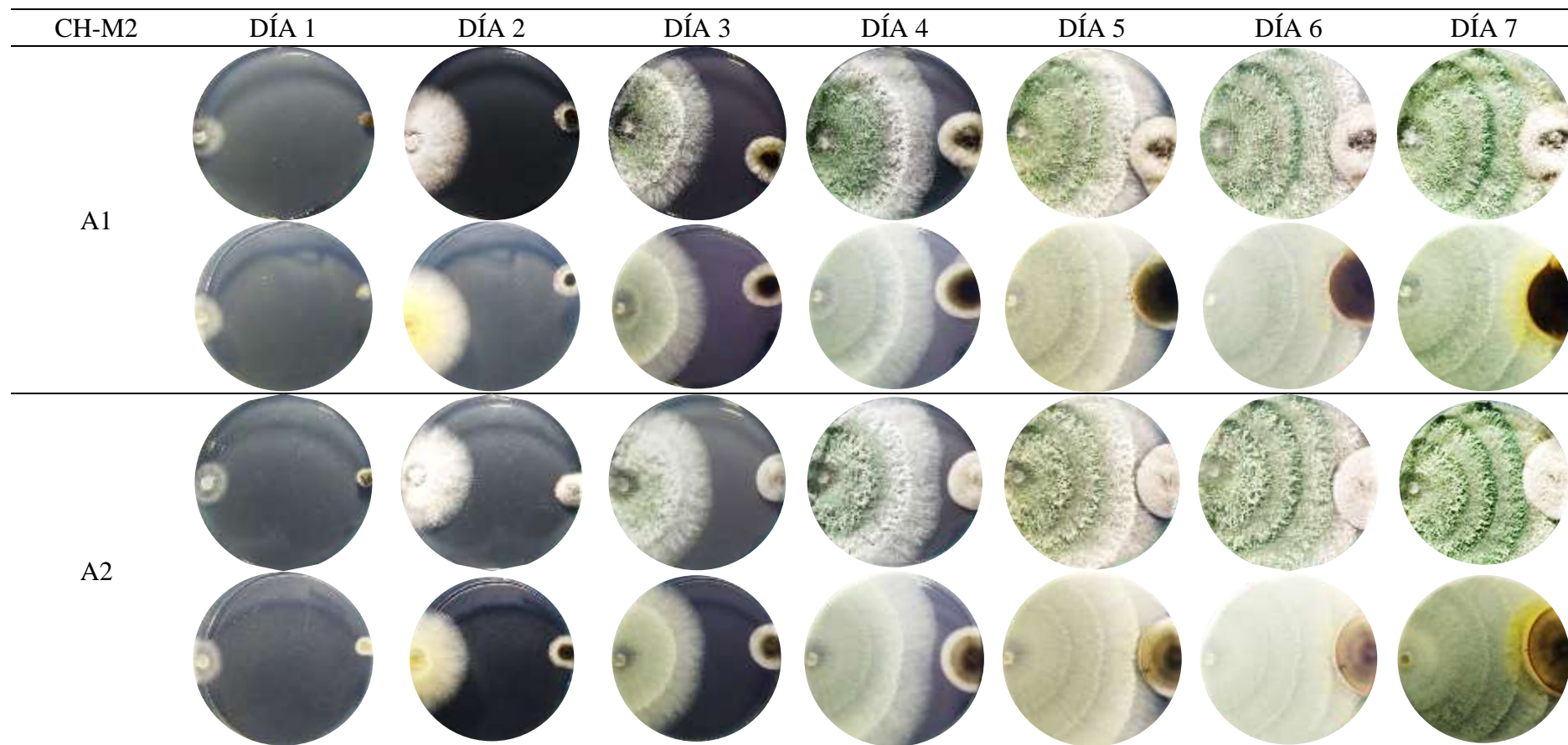
Anexo 30. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M2.2 vs A1 y A2



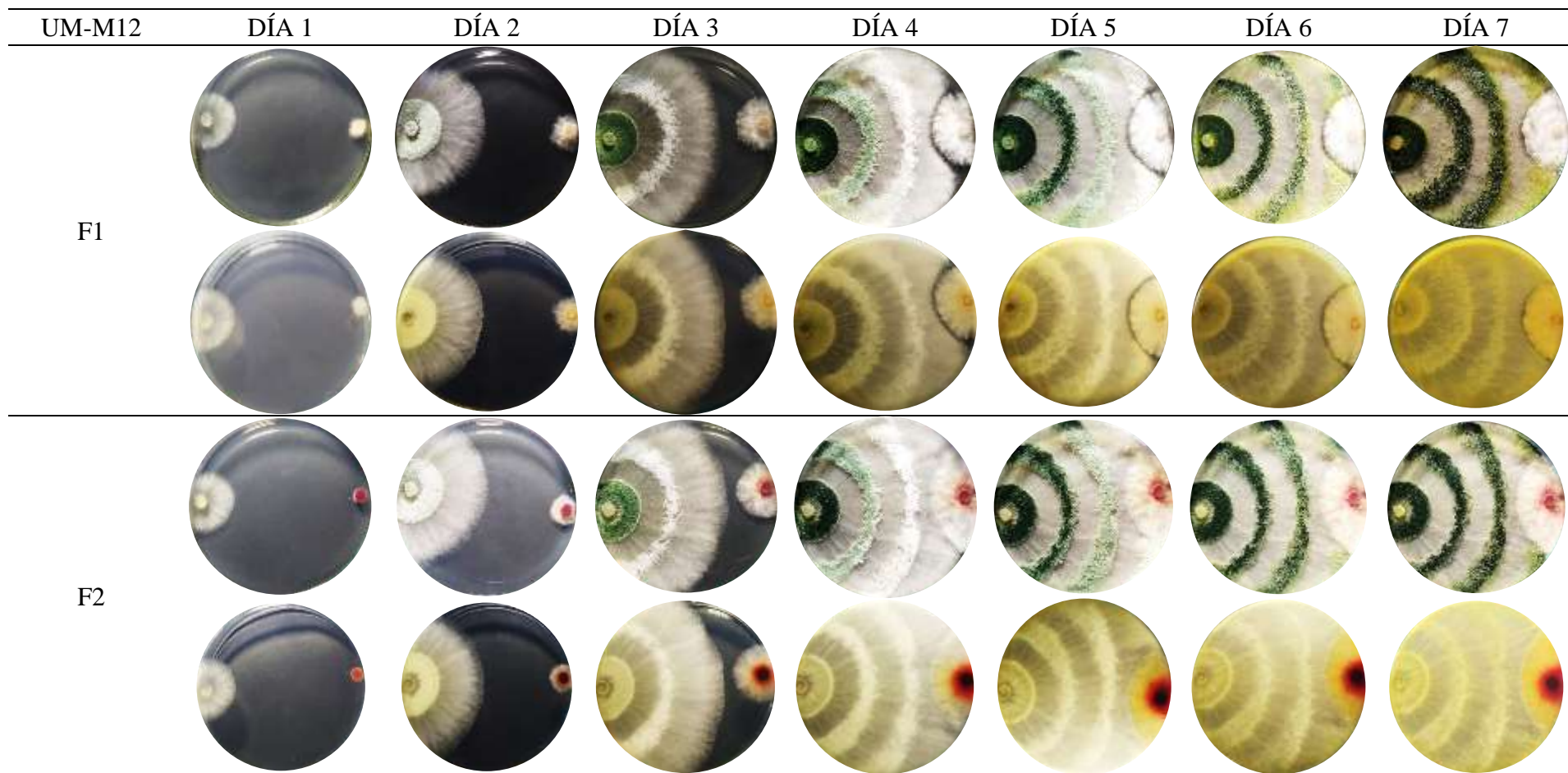
Anexo 31. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M5 vs A1 y A2



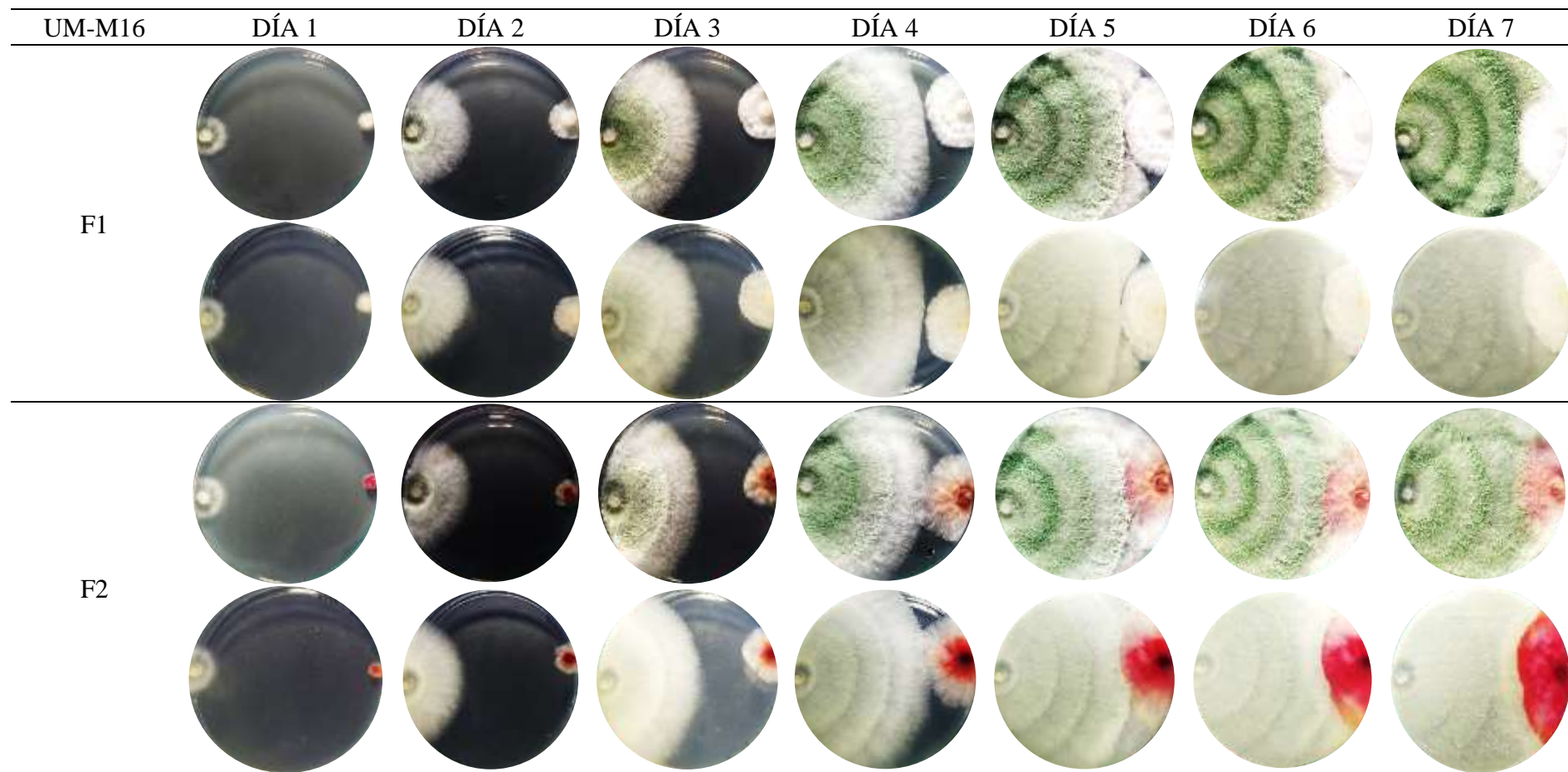
Anexo 32. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa CH-M2 vs A1 y A2



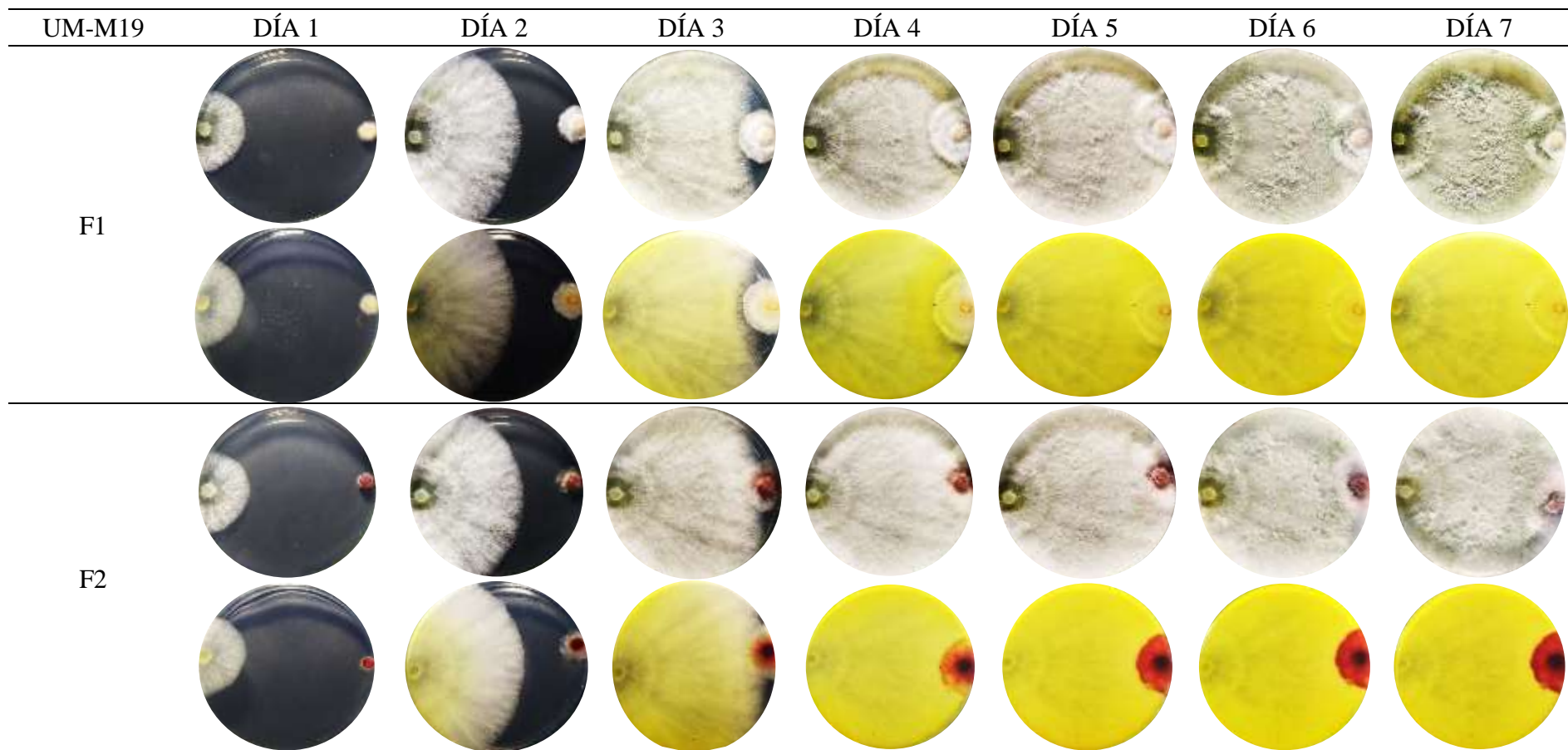
Anexo 33. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M12 vs F1 y F2



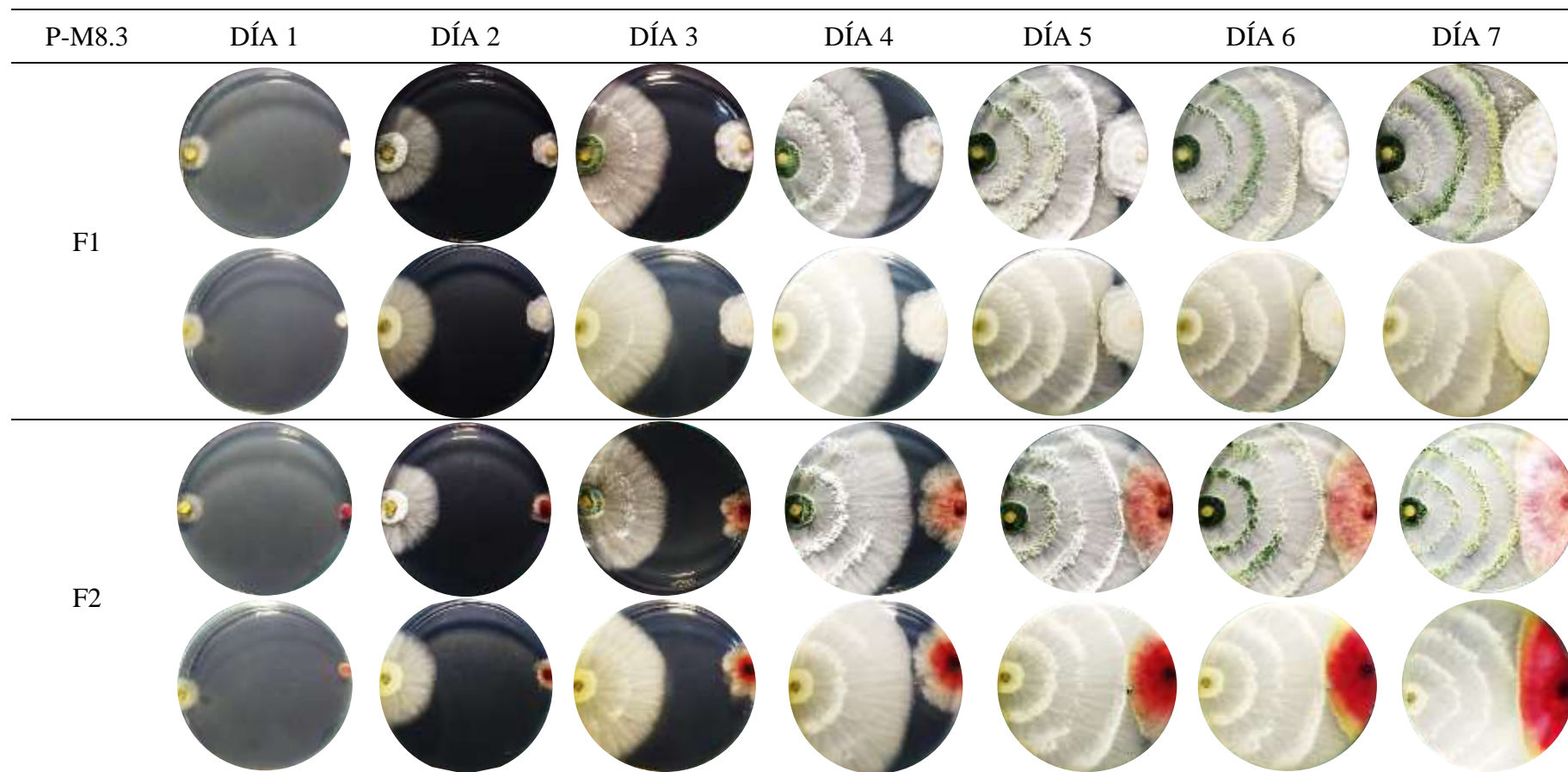
Anexo 34. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M16 vs F1 y F2



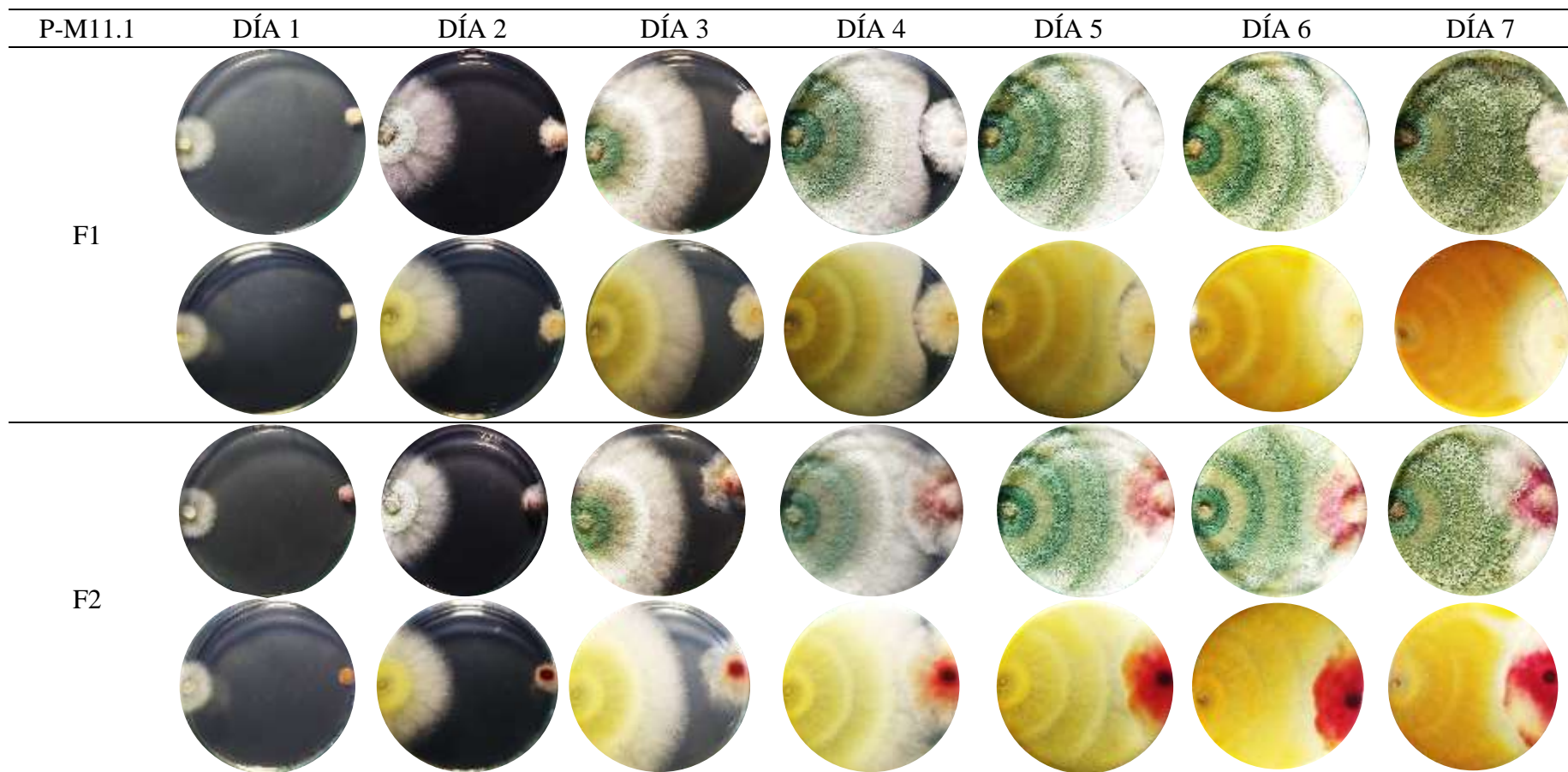
Anexo 35. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa UM-M19 vs F1 y F2



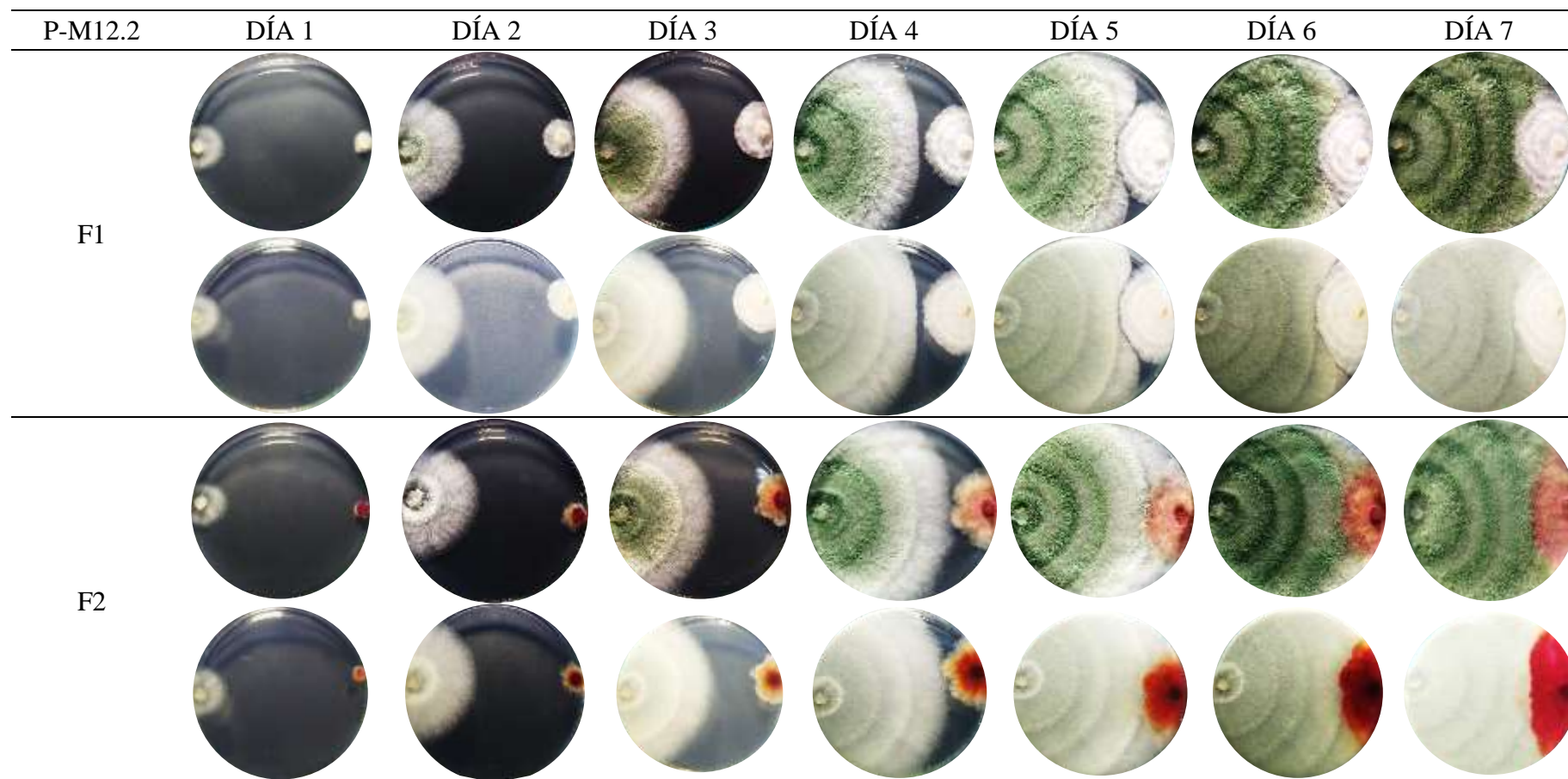
Anexo 36. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M8.3 vs F1 y F2



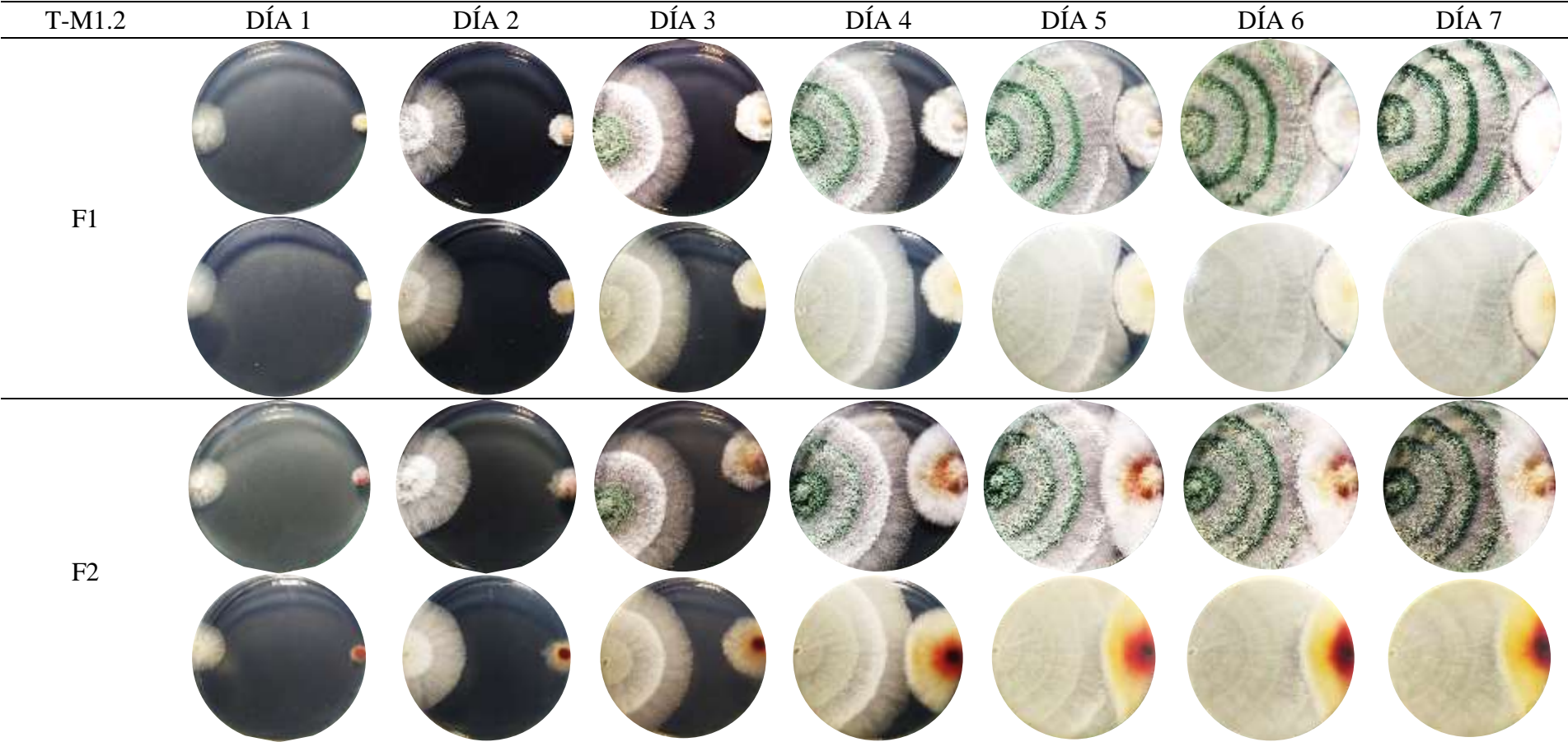
Anexo 37. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M11.1 vs F1 y F2



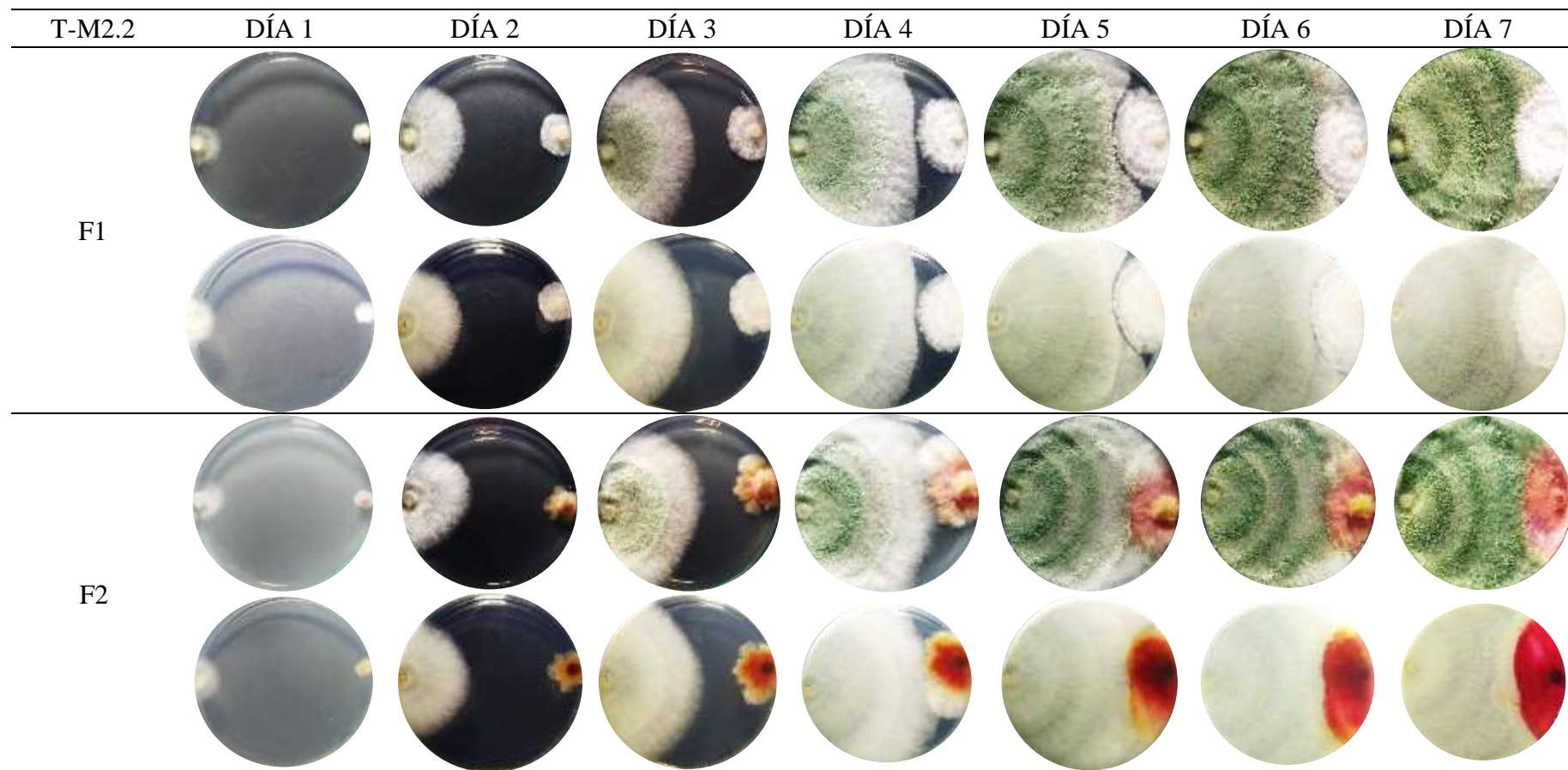
Anexo 38. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa P-M12.2 vs F1 y F2



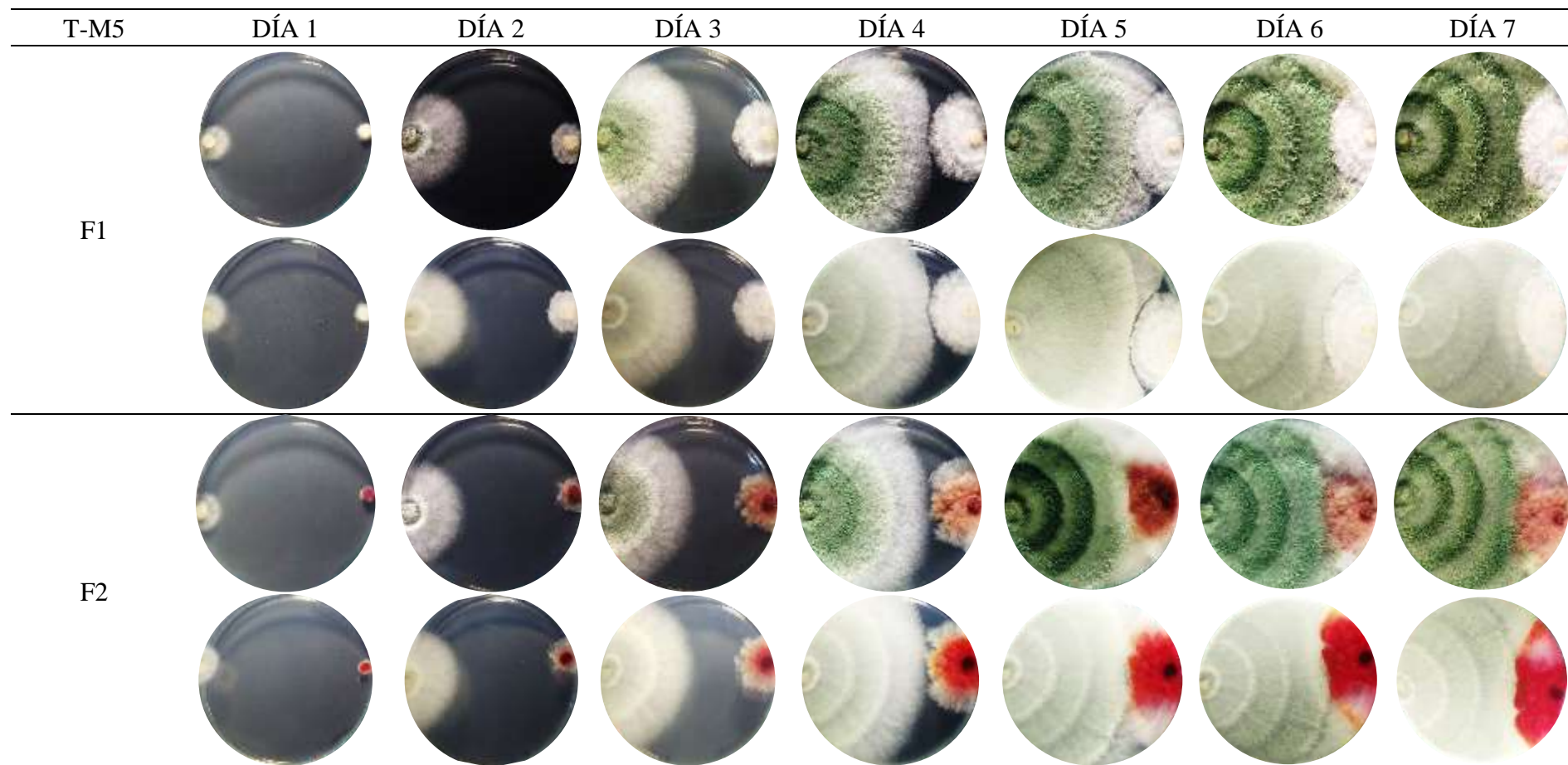
Anexo 39. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M1.2 vs F1 y F2



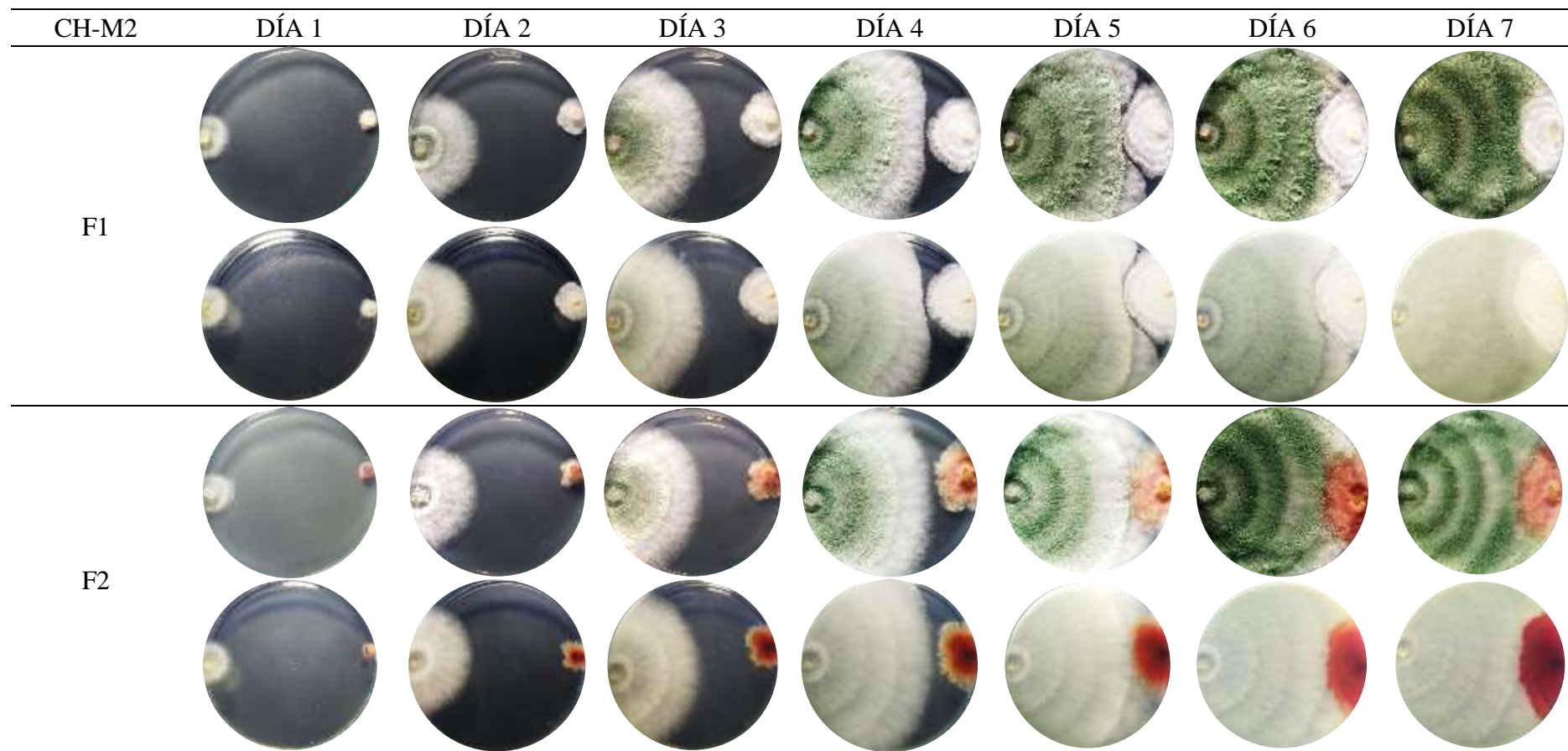
Anexo 40. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M2.2 vs F1 y F2



Anexo 41. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa T-M5 vs F1 y F2



Anexo 42. Crecimiento diario del cultivo dual de la cepa CH-M2 vs F1 y F2





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. LUBIA MAULI CAVEZAS
R.D. N° 402-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los siete días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, siendo las dieciséis horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva, M.Sc. Angela Juana Requis Quintanilla como asesor, M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo y el Ing. Guillermo Carrasco Aquino; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Aislamiento, caracterización y capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L., Ayacucho - 2025**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma, presentado por la Bachiller **LUBIA MAULI CAVEZAS**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva	16	15	16	16
M.Sc. Angela Juana Requis Quintanilla	17	16	17	17
M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo	17	16	17	17
Ing. Guillermo Carrasco Aquino	15	15	16	15
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva
 Presidente



M.Sc. Angela Juana Requis Quintanilla
 Asesora



M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo
 Jurado



Ing. Guillermo Carrasco Aquino
 Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
 Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.D N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado;

Aislamiento, caracterización y capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma spp.* sobre *Fusarium sp.* y *Alternaria sp.* De *Solanum tuberosum L.*, Ayacucho – 2025

Autor : Luvia Mauli Cavezas
Asesor : Angela Juana Requis Quintanilla

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de doce por ciento (**12%**) de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2828282468

Ayacucho, 26 de noviembre de 2025

.....
Angela J. Requis Quintanilla

M.Sc. en Fitopatología
E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Aislamiento, caracterización y capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L., Ayacucho – 2025

por Lubia Mauli Cavezas

Fecha de entrega: 26-nov-2025 10:01a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2828282468

Nombre del archivo: LUBIA_MAULI_CAVEZAS_TESIS_2025.pdf (4.51M)

Total de palabras: 24478

Total de caracteres: 134320

Aislamiento, caracterización y capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L., Ayacucho – 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
3	sired.udenar.edu.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.iniap.gob.ec Fuente de Internet	1%
5	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
7	doczz.es Fuente de Internet	<1%
8	www.smf.org.mx Fuente de Internet	<1%

9	docslib.org Fuente de Internet	<1 %
10	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
11	eic-code-browser.sdcc.bnl.gov Fuente de Internet	<1 %
12	repositorij.unios.hr Fuente de Internet	<1 %
13	www.ieee802.org Fuente de Internet	<1 %
14	revista.ister.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.una.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
16	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
17	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	dokodoc.com Fuente de Internet	<1 %
19	revistas.udec.cl Fuente de Internet	<1 %
20	scholaron.com Fuente de Internet	<1 %

21 Lucia Moreno, Gerardo Barone, Marina Stocco, Cecilia Monaco. "Acción antagónica de tres cepas de *Trichoderma harzianum* y su efecto como bioestimulante sobre plantas de tomate", *Investigación Joven*, 2025
Publicación <1 %

22 docplayer.cz
Fuente de Internet <1 %

23 Juan Antonio Moriano, Enrique Trejo, Francisco J. Palací. "El perfil psicosocial del emprendedor: un estudio desde la perspectiva de los valores", *Revista de Psicología Social*, 2001
Publicación <1 %

24 docplayer.es
Fuente de Internet <1 %

25 repositorio.educacionsuperior.gob.ec
Fuente de Internet <1 %

26 repositorio.unsaac.edu.pe
Fuente de Internet <1 %

27 qdoc.tips
Fuente de Internet <1 %

28 Kyungjoon Chang, Taewhan Kim. "Analysis of Impacting Multi-stack Standard Cells on Chip <1 %

Implementation", 2022 19th International SoC Design Conference (ISOCC), 2022

Publicación

29

Submitted to Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Aislamiento, caracterización y capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. de *Solanum tuberosum* L., Ayacucho – 2025

Isolation, characterization, and antagonistic capacity of native strains of *Trichoderma* spp. against *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. of *Solanum tuberosum* L., Ayacucho – 2025

Lubia Mauli Cavezas¹
lubia.mauli.01@unsch.edu.pe

Angela Juana Requis Quintanilla²
angela.requis@unsch.edu.pe

Área de investigación: Fitopatología agrícola
Lineal de investigación: Conservación y valoración de la biodiversidad

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo aislar, caracterizar y evaluar la capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp., de *Solanum tuberosum* L. se trabajó bajo un diseño completamente al azar. *Trichoderma* spp. fueron aisladas a partir de muestras de suelo obtenidas de parcelas agrícolas de 5 comunidades campesinas, ubicadas en el distrito de Tambo, provincia de La Mar, departamento de Ayacucho. Las cepas aisladas fueron caracterizadas morfológicamente y se seleccionaron diez cepas nativas para la evaluación del porcentaje de inhibición del crecimiento radial frente a dos aislamientos de *Fusarium* sp. (F1 y F2) y dos de *Alternaria* sp. (A1 y A2). Finalmente, se realizó la caracterización molecular de las cepas que presentaron la mayor capacidad antagónica frente a cada fitopatógeno. Como resultado se aislaron 73 cepas nativas de *Trichoderma* spp., las cuales mostraron amplia variabilidad morfológica. A nivel macroscópico, las colonias presentaron texturas algodonosas y colores blanco, verde amarillo, con o sin anillos concéntricos. A nivel microscópico, presentaron fiálides hialinas solitarias o agrupadas (2–5), conidios hialinos o verdes de forma globosa, ovoide o elipsoidal, hifas hialinas septadas, y conidióforos ramificados o sin ramificación. En las pruebas antagónicas, la inhibición de *Fusarium* sp. varió entre 19.0 y 33.4 % (F1) y 50.2 y 62.8 % (F2). Para *Alternaria* sp., la inhibición varió entre 26.8 % y 40.4 % (A1) y entre 28.0 % y 44.8 % (A2). Mediante análisis molecular se identificaron las especies *Trichoderma yunnanense*, *Trichoderma rifaii*, *Trichoderma orientale* y *Trichoderma lentiforme*.

Palabras claves: Cepas nativas, *Trichoderma* spp., Antagonismo, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. caracterización molecular.

ABSTRACT

The study aimed to isolate, characterize, and evaluate the antagonistic capacity of native strains of *Trichoderma* spp. against *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. in *Solanum tuberosum* L. A completely randomized design was used. *Trichoderma* spp. were isolated from soil samples obtained from agricultural plots in five rural communities located in the district of Tambo, province of La Mar, department of Ayacucho. The isolated strains were morphologically characterized, and ten native strains were selected to evaluate the percentage of radial growth inhibition against two isolates of *Fusarium* sp. (F1 and F2) and two of *Alternaria* sp. (A1 and A2). Finally, molecular characterization was performed on the strains that exhibited the greatest antagonistic capacity against each phytopathogen. As a result, 73 native strains of *Trichoderma* spp. were isolated, showing wide morphological variability. At the macroscopic level, the colonies exhibited cottony textures and white, greenish-yellow colors, with or without concentric rings. At the microscopic level, they presented solitary or grouped (2–5) hyaline phialides, hyaline or green conidia of globose, ovoid, or ellipsoidal shape, septate hyaline hyphae, and branched or unbranched conidiophores. In antagonistic tests, the inhibition of *Fusarium* sp. ranged from 19.0 to 33.4% (F1) and from 50.2 to 62.8% (F2). For *Alternaria* sp., the inhibition ranged from 26.8% to 40.4% (A1) and from 28.0% to 44.8% (A2). The species *Trichoderma yunnanense*, *Trichoderma rifaii*, *Trichoderma orientale*, and *Trichoderma lentiforme* were identified by molecular analysis.

Keywords: Native strains, *Trichoderma* spp., Antagonism, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., molecular characterization.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la papa es el tercer cultivo alimenticio más importante después del arroz y el trigo, y es consumida por más de dos tercios de la población gracias a su alto valor nutricional y a su capacidad de adaptarse a condiciones adversas. La papa no solo fortalece la seguridad alimentaria global, sino que también representa un medio de subsistencia esencial para millones de pequeños productores y familias rurales, aportando además un considerable potencial económico en toda su cadena productiva y de valor agregado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024; 2025). Sin embargo, su calidad y rendimiento se ven afectados por diversas enfermedades fúngicas que limitan la producción (Pérez et al., 2020).

El control químico constituye la práctica más común en el manejo de enfermedades (Barboza et al., 2022), su uso genera problemas de toxicidad ambiental y resistencia en los patógenos. Por ende, se promueve la aplicación de métodos alternativos como el control biológico, basado en el uso de organismos antagonistas capaces de reducir el avance de plagas y enfermedades en las plantas. Este enfoque se integra al manejo agrícola sostenible y evita, en lo posible, la dependencia de agroquímicos nocivos para el ambiente (Matas et al., 2023).

Dentro de los agentes de biocontrol, destaca los hongos del género *Trichoderma* por su eficacia y amplio uso en agricultura. Se trata de organismos filamentosos, beneficiosos que actúan como antagonistas frente a múltiples fitopatógenos, protegiendo a las plantas mediante mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos secundarios con efecto antibiótico, el micoparasitismo y la inducción de resistencia a las plantas (Sánchez, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos fases. La primera correspondió a la fase de campo, realizada en cinco comunidades campesinas del distrito de Tambo, provincia de La Mar, departamento de Ayacucho. La segunda fase se efectuó en el laboratorio de Fitopatología de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Asimismo, las pruebas moleculares se llevaron a cabo en el laboratorio de la empresa Umbrella Genomics Company, ubicado en el distrito de Lince, Lima-Perú.

Colección de muestras de suelo

Se realizó en áreas agrícolas pertenecientes a cinco comunidades campesinas: Unión Minas, Rayanccasa, Churulla, Polanco y Tantacocha. En cada una de las parcelas se tomaron 5 submuestras de manera aleatoria, a una profundidad de 20 cm. Se tomó 100 a 150 gramos de suelo por submuestra, se trasladó al laboratorio de Fitopatología en bolsas de papel.

Colección de material vegetal

Se llevó a cabo en la comunidad campesina de Unión Minas, en una parcela con cultivo de papa. Se recolectaron tallos, hojas y tubérculos y se colocaron en papel Kraft, para el traslado al laboratorio de Fitopatología.

Aislamiento de cepas nativas de *Trichoderma* spp.

Se realizó a partir de 10 g de suelo suspendidos en 90 ml de agua estéril, mezcla que fue agitada durante 5 minutos y dejada en reposo por 30 minutos. Del sobrenadante se prepararon diluciones seriadas hasta 10^{-2} transfiriendo 1000 μ l sucesivamente a tubos con 9 ml de agua estéril, las cuales fueron homogenizadas y luego sembradas (100 μ l) en placas Petri con PDA. Las muestras se incubaron a 25 ± 2 °C. Después de 5 a 7 días, se seleccionaron y se purificaron en nuevas placas con PDA, incubándolas nuevamente a la misma temperatura. Finalmente, las cepas purificadas se reconocieron mediante observación macro y microscópica (40x).

Aislamiento de hongos fitopatógenos

Se inició con la preparación de cámaras húmedas, los cuales fueron incubados a temperatura ambiente. Con el signo visible, se tomaron fragmentos de micelio con un estilete estéril y se sembraron en placas con PDA, que luego fueron incubadas a 25 ± 2 °C. Tras 5 a 7 días, se seleccionaron colonias con características morfológicas propias de ambos patógenos y se purificaron, posterior se incubó nuevamente bajo las mismas condiciones. Finalmente, las cepas purificadas fueron observadas con microscopio (40x), donde se identificaron conidios típicos de *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp.

Caracterización morfológica

1. Caracterización morfológica de *Trichoderma* spp.

La caracterización macroscópica y microscópica de *Trichoderma* spp. se realizó a partir de las cepas previamente aisladas, siguiendo los criterios de Barnett y Hunter (1972).

Los conidios y las fiálides, se midieron con un microscopio acoplado a una pantalla a 40X (BioBlue).

2. Caracterización morfológica de los hongos fitopatógenos.

La caracterización macroscópica y microscópica de *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp. se realizó siguiendo la guía taxonómica de Barnett y Hunter (1972). Para su medición de los conidios, se prepararon montajes y se observaron mediante un microscopio acoplado a una pantalla digital (40X).

Conteo de conidio de *Trichoderma* spp.

Se realizó con colonia incubadas a 25 ± 2 °C durante 15 días. Tras este periodo, se preparó una suspensión conidial añadiendo 25 ml de agua estéril y raspando el micelio con un asa de Drigalski esterilizada; luego se efectuaron diluciones seriadas (10^{-1} y 10^{-2}). De la

segunda dilución se tomó una alícuota que se colocó en la cámara de Neubauer para su observación en microscopio (40X). El conteo se efectuó en 5 cuadrados secundarios del cuadrante principal “E”, y se calculó mediante la fórmula de por French y Hebert, (1980) que es lo siguiente: Suma de 5 C.S. X 50 000 = Conidio/ml.

Selección de *Trichoderma* spp. para prueba antagónica

Bonifaz y Rubio (2023), señalan que *Trichoderma* se caracteriza por su rápido crecimiento micelial y alta capacidad de esporulación, atributos que facilitan su eficiente colonización de diversos sustratos y suelos. En función de estas propiedades, la selección de cepas para la prueba antagónica se basó en tres criterios principales: su capacidad para cubrir totalmente una placa de 9 cm en tres días o menos, su esporulación dentro del mismo periodo, y una producción conidial igual o superior a 4 250 000 conidios/ml.

Prueba antagónica

Se evaluó mediante la técnica de enfrentamiento dual, colocando en extremos opuestos de una placa con PDA un disco de 5 mm del fitopatógeno y otro de igual tamaño de la cepa de *Trichoderma* spp. Cada enfrentamiento contó con cinco repeticiones, al igual que los testigos. El crecimiento radial de ambas colonias se midió cada 24 horas, y el porcentaje de inhibición se calculó utilizando la fórmula mencionada por Andrade et al. (2019): $PICR\% = (R1 - R2) / R1 \times 100$, donde R1 corresponde al crecimiento radial del patógeno sin *Trichoderma* y R2 al crecimiento en presencia del antagonista. Los valores obtenidos fueron clasificados en una escala de 0 a 4 según la categoría de inhibición mencionada por Ramírez et al. (2019).

Tabla 2.1

Escala de categoría de inhibición de crecimiento PICR

CATEGORÍA/GRADO	INHIBICIÓN DE CRECIMIENTO
0	Sin crecimiento o inhibición
1	1% - 25% inhibición del crecimiento
2	26% - 50% inhibición del crecimiento
3	51% - 75% inhibición del crecimiento
4	76% - 100% inhibición del crecimiento

Fuente: Ramírez et al. (2019).

Prueba molecular de cepas antagónicas

Las cepas de *Trichoderma* spp. que presentaron los mayores porcentajes de inhibición frente a las cepas patogénicas evaluadas fueron identificadas molecularmente en la empresa Umbrella Genomics Company. La identificación se realizó mediante la amplificación de la región ITS.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se efectuó en el software InfoStat mediante un análisis de varianza, seguido de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar diferencias significativas entre las cepas evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento de cepas nativas de *Trichoderma* spp.

De las 58 muestras de suelo se obtuvo 73 aislamientos pertenecientes al género *Trichoderma*. Este resultado evidencia alta presencia de este hongo en los suelos evaluados. Este resultado se asemeja con lo reportado por Sánchez et al. (2021), quienes aislaron cepas de *Trichoderma* de muestras de suelo agrícola.

Aislamiento de los hongos fitopatógenos

Se aislaron dos cepas pertenecientes a *Fusarium* sp. una de la parte aérea de la planta (F1) y otra del tubérculo (F2). De igual modo, se lograron obtener dos aislamientos de *Alternaria* sp., correspondientes a la parte aérea (A1) y al tubérculo (A2).

Características morfológicas de cepas nativas de *Trichoderma* spp.

Figura 3.1

Cepas nativas de *Trichoderma* spp

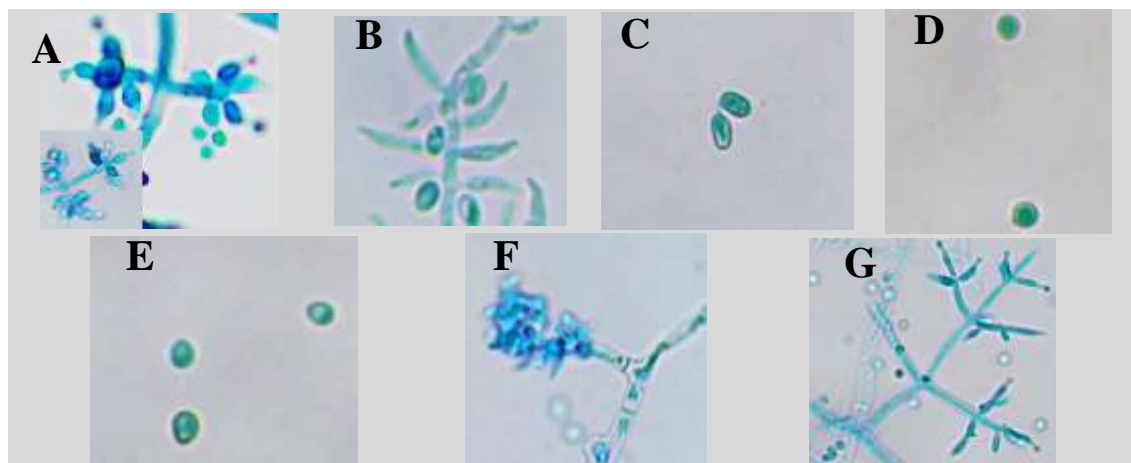


En los aislamientos evaluados de *Trichoderma* spp., el micelio presentó textura algodonosa y color blanco inicial; para el día 7, el 36,9% mantuvo esta tonalidad, mientras que el 63,1% adquirió colores entre amarillo y verde, y el 28,8% formó anillos concéntricos. El 30,1% de los aislamientos emitió un aroma característico a coco. Se observó una marcada variabilidad en crecimiento y esporulación: una cepa llenó la placa en 2 días, 44 en 3 días, 18 en 4 días y el resto entre 5 y 11 días; respecto a la esporulación, una cepa lo hizo a los 2 días, 20 a los 3 días, 15 a los 4 días y las demás entre 5 y 32 días. Estas características macroscópicas es propio del género *Trichoderma* de acuerdo a los criterios de Barnett y Hunter (1972).

Los resultados obtenidos coinciden con las descripciones morfológicas reportadas por Ynfante et al. (2023), mencionan que las colonias presentan inicialmente coloración blanca que evoluciona hacia tonos verdes o azulados. De igual manera, García et al. (2017) reportaron la presencia de 2 a 3 de anillos concéntricos y pigmentaciones amarillas o verdes. Asimismo, la forma de textura algodonosa blanca a coloración verde descrita por Acurio y España (2017) coincide con la dinámica de crecimiento registrada en este estudio. Finalmente, el aroma característico señalado por Mesa et al. (2019) fue detectado en algunos aislamientos.

Figura 3.2

Estructuras microscópica de *Trichoderma* spp.



Nota. A: Fiálides agrupadas en grupo de 5, B: Fiálide solitario, C: Conidios elipsoidales, D: Conidios globosos, E: Conidios ovoides, F: Conidióforo sin ramificación, G: Conidióforo ramificado.

En los aislamientos se identificaron fiálides hialinas, solitarias o agrupadas (2 a 5), junto con hifas hialinas y septadas. Los conidióforos fueron ramificados (87.7% aislamientos), mientras que el 12.3% aislamientos no presentó ramificación. Los conidios mostraron

formas globosas (64.4%), ovoides (6.9%) y elipsoidales (28.8%), con predominio de la coloración verde, aunque en algunas cepas (UM-M21.1, CH-M3, CH-M5.2 y P-M11.2) se observaron conidios hialinos.

El tamaño de las fiálides varió entre 4.36 μm a 7.71 μm , y los conidios variaron desde 1.96 μm hasta 4.11 \times 2.63 μm . En relación con la esporulación, el 13.7% de los aislamientos no produjo conidios a los 15 días, mientras que la máxima concentración fue de 7 600 000 conidios/ml (P-M3.2). Las características microscópicas observadas es propio del género *Trichoderma* de acuerdo a Barnett y Hunter (1972).

Ynfante et al. (2023) describen hifas hialinas septadas, conidióforos hialinos y conidios ovalados, rasgos también presentes en este estudio. De igual manera, García et al. (2017) señalan conidios globosos u ovoides, fiálides agrupadas y conidióforos ramificados. Asimismo, las fiálides hialinas, solitarias o en grupos, y los conidios de tonos verdes claros descritos por Acurio y España (2017), así como la variabilidad pigmentaria mencionada por Sánchez et al. (2017), se corresponden con las observaciones realizadas.

Características moleculares de las 4 cepas nativas de *Trichoderma* spp.

Tabla 3.1

Identificación a nivel especie de las 4 cepas nativas de *Trichoderma* spp

Código	Nombre científico	Total Score	E value	% identidad	Número de accesoión
T-M1.2	<i>Trichoderma yunnanense</i>	1055	0.0	100.00%	NR_781940.1
CH-M2	<i>Trichoderma rifaii</i>	1057	0.0	99.83%	NR_137305.1
UM-M19	<i>Trichoderma orientale</i>	996	0.0	99.63 %	NR_111317.1
P-M8.3	<i>Trichoderma lentiforme</i>	1027	0.0	99.30%	NR_144868.1

Se identificación a nivel especie de las cuatro cepas seleccionadas. La cepa T-M1.2 fue identificada como *Trichoderma yunnanense* con un 100% de similitud. La cepa CH-M2 fue identificada como *Trichoderma rifaii*, con un 99.83% de similitud. Por su parte la cepa UM-M19 fue identificada como *Trichoderma orientale* con un 99.63% de similitud, mientras que la cepa P-M8.3 se identificó como *Trichoderma lentiforme* con un 99.03% de similitud.

Características morfológicas de *Fusarium* sp.

Figura 3.3

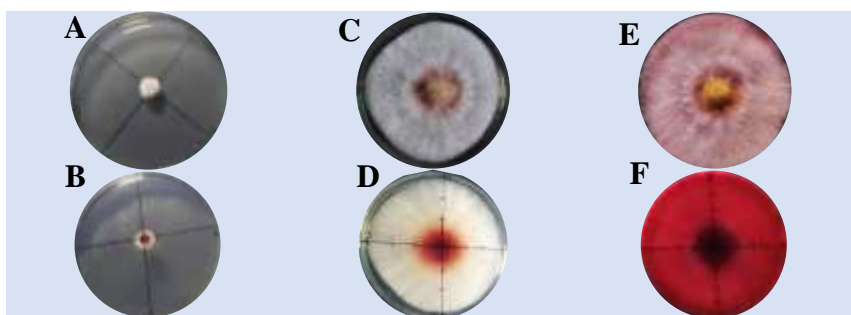
Fusarium sp. (F1)



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 5 días, E-F: Colonia de 9 días.

Figura 3.4

Fusarium sp. (F2)



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 4 días, E-F: Colonia de 7 días.

El aislamiento F1 presentó una colonia algodonosa de color blanco, con reverso crema café, y cubrió la placa en 9 días. F2 también mostró textura algodonosa, con coloración inicial blanca que evolucionó a tonos rosados y un centro amarillo anaranjado, observándose en el reverso un rojo intenso, y llenó la placa en 5 días. Las características macroscópicas observadas es propio del género *Fusarium*, según el criterio taxonómico propuesta por Barnett y Hunter (1972).

Los resultados coinciden con lo descrito en estudios previos sobre *Fusarium*. Salazar et al. (2020) reportaron micelio aéreo de textura algodonosa y variabilidad en la coloración de las colonias. De igual manera, Duarte et al. (2016) señalaron que las colonias presentan inicialmente tonos blanquecinos que progresivamente evolucionan hacia pigmentaciones rosadas.

Figura 3.5

Conidio de *Fusarium* sp. (F1 y F2)



Nota. A: Macroconidio de F1, B: Macroconidio de F2, C: Microconidio de F2.

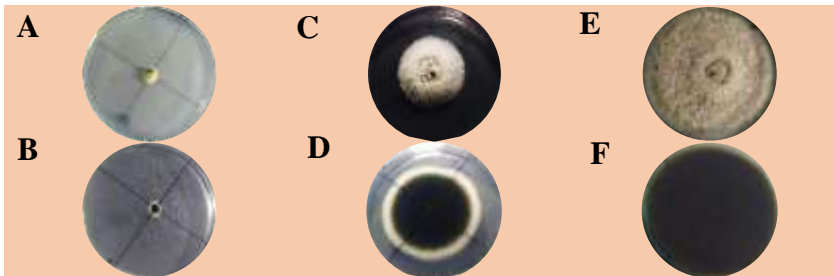
El aislamiento F1 presentó macroconidios hialinos en forma de canoa con 3–4 células con un tamaño promedio de $19.5 \times 4.1 \mu\text{m}$, y microconidios unicelulares oblongos. F2 mostró macroconidios similares, pero con 6–8 células y un tamaño promedio de $31.5 \times 3.1 \mu\text{m}$. Estas estructuras coinciden con las características conidiales propias del género *Fusarium*, según los criterios de Barnett y Hunter (1972).

Estos resultados son coherentes con lo descrito por López et al. (2020), quienes reportaron macroconidios de forma recta a ligeramente curvada o falcada, compuestos por 3-6 células, con una longitud variable entre 17.12 a 57.62 μm .

Características morfológicas de *Alternaria* sp.

Figura 3.6

Alternaria sp. (A1)



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 5 días, E-F: Colonia de 11 días.

Figura 3.7

Alternaria sp. (A2).



Nota. A-B: Colonial de 1 día, C-D: Colonia de 5 días, E-F: Colonia de 11 días.

El aislamiento A1 presentó una colonia algodonosa, inicialmente de color blanco que posteriormente se tornó grisáceo, con reverso de tonalidad negra. En el caso de A2, la colonia también mostró una textura algodonosa, con colores que variaron de gris blanquecino a pardo olivácea, y el reverso de un tono marrón oscuro. En ambos aislamientos, las colonias lograron llenar la placa de 9 cm de diámetro en 11 días. Las texturas y pigmentaciones registradas en las colonias coinciden con las características del género *Alternaria*, de acuerdo a los criterios de identificación propuesta por Barnett y Hunter (1972). Estos resultados coinciden con lo reportado por Guarniz y Valdez (2019), quienes observaron colonias de colores grisáceos a pardo oliváceos y reversos negros.

Figura 3.8

Conidio de Alternaria sp. (A1 y A2)



Nota. A: Conidio de A1, B: Conidio de A2.

En ambos aislamientos, A1 y A2, se observaron conidios solitarios de color pardo claro, con forma obclavada, con presencia de septos transversales y longitudinales. En relación con el número de septos transversales, la A1 presentó entre 4 y 5, con conidios de tamaño $20.1 \times 7.8 \mu\text{m}$. Por su parte, A2 mostró entre 5 y 6 septos transversales, con conidios de tamaño $24.5 \times 7.4 \mu\text{m}$. Estas estructuras conidiales son características propias del género *Alternaria*, según los criterios de identificación establecidos por Barnett y Hunter (1972).

Estos resultados son semejantes con lo reportado por Guarniz y Valdez (2019), quienes describieron conidios con forma característica de granada, provistos de septos transversales, longitudinales y oblicuos. De igual modo, Fraire et al. (2010) señalaron que los conidios presentaron formas obclavados, muriformes y con septo transversal variable de 4 a 6, con dimensiones que variaron entre $11 \text{ y } 42 \mu\text{m} \times 7.7 \text{ a } 11 \mu\text{m}$, valores que se encuentran dentro del rango observado en el presente estudio.

Capacidad antagonica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium* sp.

Tabla 3.2

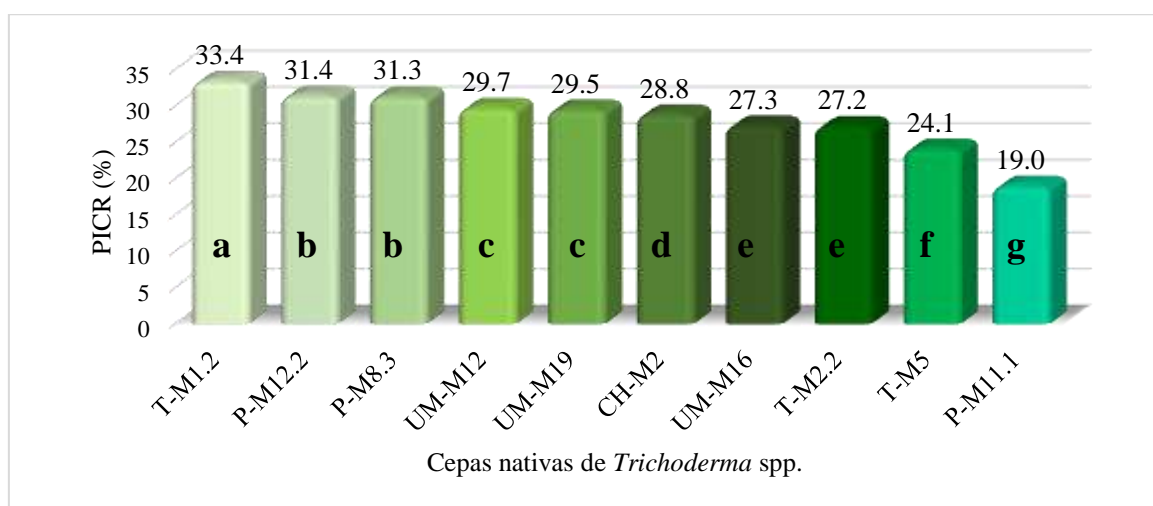
ANVA de PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre F1

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	774.15	86.02	760.54	<0.0001**
Error	40	4.52	0.11		
Total	49	778			

CV= 1.19%

Figura 3.9

Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre F1



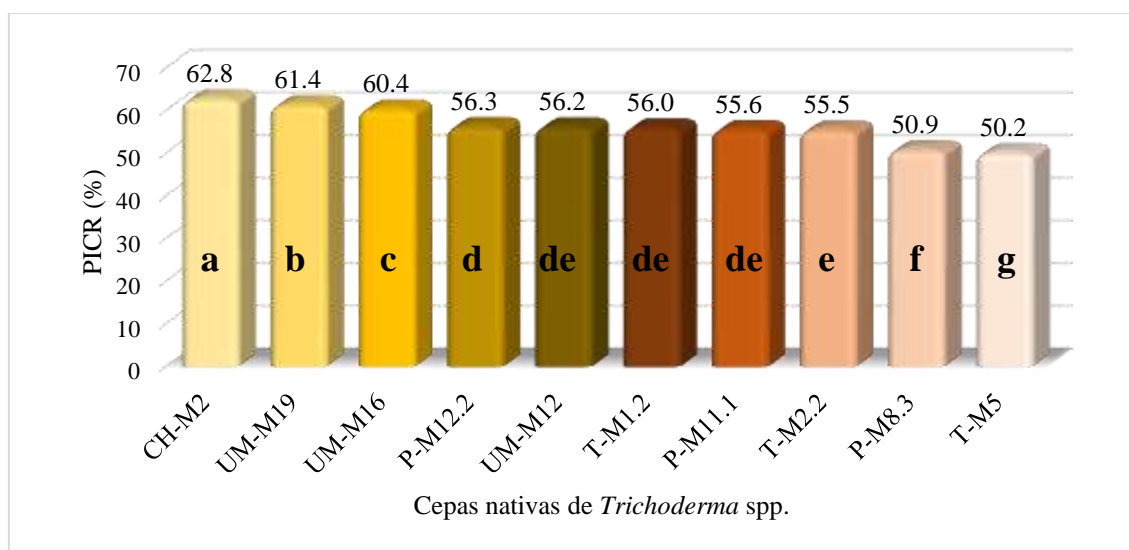
De acuerdo con la tabla 3.2, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. (F1) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 1.19%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.9), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente a F1. El aislamiento T-M1.2 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 33.4%, correspondiente a un grado 2 de antagonismo, mientras que P-M11.1 presentó el menor porcentaje, con 19.0% y un grado 1 de antagonismo.

Los resultados de la prueba antagonica son consistentes con los reportados por Torres et al. (2023), quien informó porcentajes de inhibición de *Fusarium* sp. en un rango de 19% a 47%, así como con lo señalado por Ayala (2019), quien obtuvo valores entre 28.57% y 61.11%.

Tabla 3.3ANVA de PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre F2

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	757.46	84.16	772.13	<0.0001**
Error	40	4.36	0.11		
Total	49	761.82			

CV= 0.58%

Figura 3.10Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre F2

De acuerdo con la tabla 3.3, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. (F2) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 0.58%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.10), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente a F2. El aislamiento CH-M2 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 62.8%, correspondiente a un grado 3 de antagonismo, mientras que T-M5 presentó el menor porcentaje, con 50.2% y el mismo grado de antagonismo.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por diversos autores: Araya (2021) registró valores de 55.6% a 67.1% frente a *Fusarium solani*; Huamán (2021) obtuvo un 58.06% sobre *Fusarium* sp.

Capacidad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre *Alternaria* sp.

Tabla 3.4

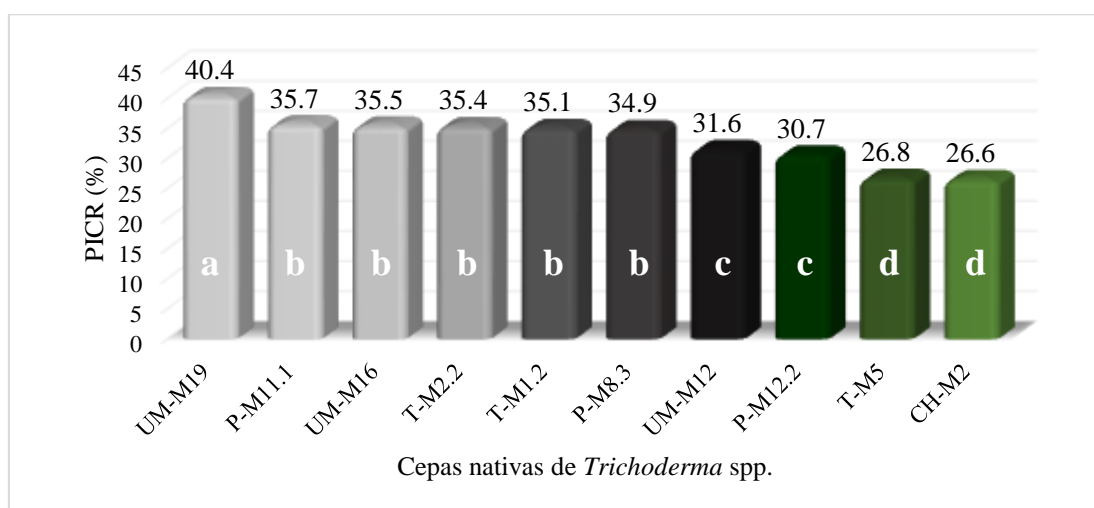
ANVA de PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre A1

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	833.59	92.62	427.81	<0.0001**
Error	40	8.66	0.22		
Total	49	842.25			

CV = 1.4%

Figura 3.11

Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre A1



De acuerdo con la tabla 3.4, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria* sp. (A1) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 1.4%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.11), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente a A1. El aislamiento UM-M19 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 40.4%, correspondiente a un grado 2 de antagonismo, mientras que CH-M2 presentó el menor porcentaje, con 26.6% y un grado 2 de antagonismo.

Tabla 3.5

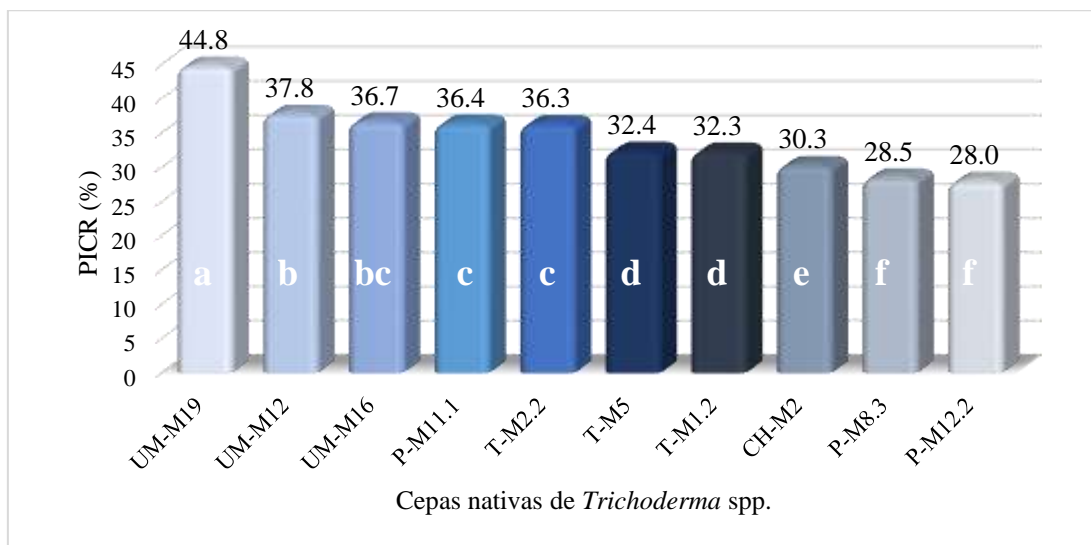
ANVA de PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre A2

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Cepas	9	1163.46	129.27	400.72	<0.0001**
Error	40	12.9	0.32		
Total	49	1176.36.49			

CV = 1.65%

Figura 3.12

Prueba de Tukey del PICR de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre A2



De acuerdo con la tabla 3.5, el porcentaje de inhibición de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria* sp. (A2) fue altamente significativo, con un coeficiente de variación de 1.65%. Asimismo, según la prueba de Tukey (figura 3.12), las cepas nativas de *Trichoderma* spp. mostraron diferentes porcentajes de inhibición frente A2. El aislamiento UM-M19 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición con 44.8%, correspondiente a un grado 2 de antagonismo, mientras que P-M12.2 presentó el menor porcentaje, con 28.0% y un grado 2 de antagonismo.

Los resultados obtenidos frente al aislamiento A1 y A2 se encuentran dentro de los rangos reportados por diferentes autores como: Jiménez (2022) obtuvo porcentajes de inhibición de *Alternaria* sp. entre 10.87% a 32.51%, mientras que Castrillo et al. (2021) registraron valores de 37.27% a 63.64% frente a *Alternaria alternata*.

CONCLUSIONES

1. Se aislaron 73 cepas nativas de *Trichoderma* spp., además de dos aislamientos de *Fusarium* sp. y dos de *Alternaria* sp., obtenidos tanto de la parte aérea como del tubérculo de *Solanum tuberosum* L.
2. La caracterización macroscópica y microscópica permitió identificar rasgos morfológicos propios del género *Trichoderma*, tales como colonias de textura algodonosa con tonalidades variables entre blanco, amarillo y verde, fiálides hialinas solitarias o agrupadas (2-5), conidios de color hialino o verde con formas globosa, ovoide y elipsoidal, hifas hialinas septadas y conidióforo ramificado y sin

ramificación. Mediante la caracterización molecular se identificó 4 especies, *Trichoderma yunnanense*, *Trichoderma rifaii*, *Trichoderma orientale* y *Trichoderma lentiforme*.

3. En la prueba antagónica realizada con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp., el aislamiento T-M1.2 mostró la mayor capacidad antagónica contra F1, alcanzando un porcentaje de inhibición de 33.4% con grado 2 de antagonismo. Por su parte, CH-M2 evidenció la mayor eficacia frente a F2, con un porcentaje de inhibición de 62.8% con grado 3 de antagonismo.
4. En la prueba antagónica realizada con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria* sp., el aislamiento UM-M19 presentó la mayor capacidad antagónica, alcanzando un porcentaje de inhibición de 40.4% frente a A1 y de 44.8% frente a A2, en ambos con grado 2 de antagonismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, R. D., & España, C. K. (2017). Aislamiento, caracterización y evaluación de *Trichoderma* spp. Como promotor de crecimiento vegetal en pasturas de Raygrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). *LA GRANJA. Ciencias de la Vida*, 25(1), 53-61. <https://doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.05>
- Andrade, P., Luna, A., Osorio, E., Molina, E., Landero, N., & Barrales, H. J. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. Vs hongos asociados a la marchitez de Chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1259-1272. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342019000601259&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Araya, L. A. (2021). *Evaluación de la capacidad antagónica in vitro de aislamientos nativos de trichoderma spp. Sobre fusarium solani, causante de la pudrición del tronco de aralia fabian (polyscias scuterallia), aisladas en la zona de La Tigra de San Carlos* [Tesis para grado, Universidad Nacional de Costa Rica]. <http://hdl.handle.net/11056/27186>
- Ayala, E. F. (2019). *Efecto antagónico in vitro de cepas nativas de Trichoderma sp. Frente a los hongos fitopatógenos Colletotrichum sp. Y Fusarium sp. Ayacucho, 2018*. [Tesis para título, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4477>
- Barboza, A., Pérez, A., & Anaya, L. (2022). Especies nativas de *Trichoderma* aisladas de plantaciones de aguacate con actividad inhibitoria contra *Phytophthora cinnamomi*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 101-116. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1852>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1972). *Géneros ilustrados de hongos imperfectos*. Burgess Publishing Company.
- Bonifaz, P. A., & Rubio, T. N. (2023). *Producción de metabolitos secundarios mediante fermentación líquida a partir de Trichoderma y Bacillus para el control de hongos aislados de pitahaya roja (Hylocereus Undatus)* [Tesis para título, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26262>

- Castrillo, M., Bich, G., Sioli, G., Zapata, P., & Villalba, L. (2021). Capacidad biocontroladora de aislamientos nativos de *Trichoderma* sp. Contra el hongo fitopatógeno *Alternaria alternata*, aislado de yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hil.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 37(3), 244-256. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaas37-26cbml50026>
- Duarte, Y., Echevarría, A., & Martínez, B. (2016). Identificación y caracterización de aislamientos de *Fusarium* spp. Presentes en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 31(3), 173-183. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522016000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Fraire, M. de L., Nieto, D., Cárdenas, E., Gutiérrez, G., Bujanos, R., & Vaquera, H. (2010). *Alternaria tenuissima*, *A. alternata* y *Fusarium oxysporum* Hongos Causantes de la Pudrición del Florete de Brócoli. *Revista mexicana de fitopatología*, 28(1), 25-33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-33092010000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- French, E. R., & Hebert, T. T. (1980). *Métodos de investigación fitopatológica*.
- García, H. G., Martínez, Á. R., Hermosa, M. R., Monte, E., Aguilar, C. J., & González, C. E. (2017). Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(1), 58-79. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1605-4>
- Guarniz, J., & Valdez, J. (2019). Morphological identification of mycotoxigenic fungi in accessions of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) of the peruvian coast and sierra. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 327-336. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Huaman, E. E. (2021). *Control biológico in vitro por Trichoderma sp., sobre hongos fitopatógenos de la quinua Rhizoctonia sp., Fusarium sp. Y Phoma sp.* [Tesis para grado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16956>
- Jiménez, J. I. (2022). *Evaluación In vitro de aislados de Trichoderma spp. Sobre el crecimiento de Alternaria sp., en Selenicereus sp. (Pitahaya), en la Joya de los Sachas.* [Tesis para grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5826>
- López, V., Mora, G., Gutiérrez, M. A., Mendoza, C., Martínez, V. I., Coria, J. J., Acevedo, G., & Santana, B. (2020). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium* spp. Asociados a la ocurrencia regional de marchitez y pudrición seca del cogollo en *Agave tequilana*. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(1), 79-106. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-4>
- Matas, M. Á., Flores, M. A., Pérez, S., Rodríguez, M. J., Salas, N. A., Soto, M. C., & Sánchez, E. (2023). Hongos *Trichoderma* como control biológico agrícola en México. *Chapingo. Serie Horticultura*, 29(3), 79-114. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2023000300079&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Mesa, A. M., Marin, A., & Calle, J. (2019). Metabolitos secundarios en *Trichoderma* spp. Y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas. *Actualidades Biológicas*, 41(111), 32-44. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a02>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2024). *Día Internacional de la Papa: En su primera celebración, la FAO resalta la importancia del tubérculo y desvela su potencial.*

- <https://www.fao.org/newsroom/detail/international-day-of-potato--at-inaugural-celebration--fao-highlights-crop-s-significance-and-further-potential/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2025). *Cinco motivos que hacen de la papa un alimento fundamental*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/americas/news/news-detail/papa-alimento-fundamental/es>
- Pérez, A. A., Pérez, M. A., Martínez, B., Rollhaiser, I. N., & Blengini, M. C. (2020). Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. In vitro como potenciales biofungicidas para el control de *Rhizoctonia solani* Kühn en la papa. *Agriscientia*, 37(2), 21-30. <https://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n2.29419>
- Ramírez, J., Trujillo, J., Osorio, V., Jaramillo, M. M., & Botero, L. (2019). In vitro antagonism of *Trichoderma asperellum* against *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata*, and *Fusarium oxysporum*. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 159-166. <https://10.18273/revuin.v18n2-2019015>
- Salazar, C., Lagos, L. E., Díaz, V., Mora, S., & Betancourth, C. (2020). Caracterización de *Fusarium* spp. Asociado con la pudrición basal de la cebolla de rama. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1), 1-10. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262020000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Sanchez, A. D. (2015). *Biocontrol de Fusarium oxysporum f.sp. Cepae, patógeno de suelo en cebolla con aislamientos nativos de Trichoderma de la región Patagónica Norte* [Tesis para maestría, Universidad Nacional del Comahue]. <https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/6786>
- Torres, E., Guigón, C., Uranga, L. P., & Guerrero-Morales, S. (2023). Antagonismo de especies de *Trichoderma* contra fitopatógenos que causan pudrición radical en cultivos de Chile. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(SPE3). <https://doi.org/10.19136/era.a10niii.3610>
- Ynfante, D., Martínez, B., Peteira, B., Reyes, Y., Gil, K., Simpson, J., & Herrera, A. (2023). Caracterización morfo—Cultural y variabilidad genética y molecular de aislamientos de *Trichoderma*. *Biotechnia*, 25(2), 194-203. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-14562023000200194&lng=es&nrm=iso&tlng=es