

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTION**  
**AMBIENTAL**



**Antagonismo de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T) y hongos nativos en suelo bananero**

**TESIS**

**Para optar el grado académico de Maestra en Ciencias con  
Mención en Gestión Ambiental**

**Autora: Br. Nasstie Marina Vilela Severino**

**Tumbes, 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTION**  
**AMBIENTAL**



**Antagonismo de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T) y hongos nativos en suelo bananero**

**Tesis aprobada en forma y estilo por:**

**Dr. Javier Mijahuanca Infante (presidente)**

**Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete (secretario)**

**Dr. Milton Valladolid Ramos (miembro)**

**Tumbes, 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTION**  
**AMBIENTAL**



**Antagonismo de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T) y hongos nativos en suelo bananero**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma**

**Br. Nasstie Marina Vilela Severino (autora)**

**Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy (asesor)**

**Código ORCID 0000-0002-8542-9353**

**Tumbes, 2025**



*"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"*

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los doce días de marzo del dos mil veinticinco, siendo las diecisiete horas y cuarenta y cinco minutos, en el aula N° 02 de la Escuela, se reunieron los miembros del jurado calificador constituido con la RESOLUCIÓN DIRECTORAL No 0366-2021/UNTUMBES-EPG-D, del veintitrés de noviembre del 2021, presidido por el **Dr. Javier Mijahuanca Infante**, integrado por el Dr. Carlos **Alberto Deza Navarrete** (secretario), el **Dr. Milton Valladolid Ramos** (miembro), y el **Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy** (asesor).

Instalado el jurado, se procedió a la evaluación, deliberación y calificación del acto de la sustentación de la tesis titulada: **"Antagonismo de diez cepas de trichoderma SPP. frente A, fusarium oxysporum F. SP. cubense (R2T) Y hongos nativos en suelo bananero"**, presentada por la egresada: **Nasstie Marina Vilela Severino**, para optar el grado académico de **MAESTRA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL**.

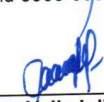
Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la correspondiente, deliberación el jurado, conforme a lo normado en el artículo N° 111 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la sustentante **APROBADO**, con el calificativo de **MUY BUENO**.

Por lo anterior, la sustentante está expedita para iniciar los trámites correspondientes y conducentes a la obtención del grado académico de **Maestra en Ciencias con mención en Gestión Ambiental**, en conformidad con lo normado en la Ley Universitaria N° 30220, el Texto Único Ordenado del Estatuto, El Reglamento General, el Reglamento General de Grados Titulos y el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las dieciocho horas y cincuenta y cinco minutos, del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de público asistente.

Tumbes, 12 de marzo 2025

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Javier Mijahuanca Infante**  
Presidente  
DNI 0227398  
Código Orcid 0000-0003-3162-680X

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Milton Valladolid Ramos**  
Miembro  
DNI: 00218325  
Código Orcid 0000-0002-0526-0544

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Deza Navarrete Carlos Alberto**  
Secretario  
DNI 16532820  
Código Orcid 0000-0002-3324-3741

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy**  
Asesor  
DNI: 00240207  
Código Orcid: 0000-0002-8542-9353

C.c.  
Jurado de Tesis  
Asesor  
Interesado  
Unidad de Investigación.  
Archivo (Director EPG).

# Antagonismo de diez cepas de Trichoderma spp. frente a, Fusarium oxysporum f. sp. cubense (R2T) y hongos nativos en suelo bananero

*por* Nasstie Marina Vilela Severino

---

**Fecha de entrega:** 02-abr-2025 11:59a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2633085994

**Nombre del archivo:** Informe\_Final\_de\_Tesis\_Br.\_Nasstie\_Marina\_Vilela\_Severino.docx (33.15M)

**Total de palabras:** 10840

**Total de caracteres:** 61249



---

Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy  
DNI: 00240207  
Asesor

## Antagonismo de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (R2T) y hongos nativos en suelo bananero

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>12%</b>	<b>11%</b>	<b>4%</b>	<b>2%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<a href="http://repositorio.untumbes.edu.pe">repositorio.untumbes.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<a href="http://agris.fao.org">agris.fao.org</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<a href="http://www.facbio.unitru.edu.pe">www.facbio.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<a href="http://apirepositorio.unh.edu.pe">apirepositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<a href="http://dspace.uclv.edu.cu">dspace.uclv.edu.cu</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<a href="http://buleria.unileon.es">buleria.unileon.es</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec">repositorio.espe.edu.ec</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<a href="http://colposdigital.colpos.mx:8080">colposdigital.colpos.mx:8080</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

12	<a href="http://www.perulicitaciones.com">www.perulicitaciones.com</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.archivos.ujat.mx">www.archivos.ujat.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://www.contrataciones.pe">www.contrataciones.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://ojs.unipamplona.edu.co">ojs.unipamplona.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://www.scielo.sa.cr">www.scielo.sa.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://dx.doi.org">dx.doi.org</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://cyted.org">cyted.org</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr">repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://faz.ujed.mx">faz.ujed.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

27	rinacional.tecnm.mx Fuente de Internet	<1 %
28	digeset.ucol.mx Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
31	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	www.minedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy  
DNI: 00240207  
Asesor

## DEDICATORIA

*A Dios Padre por permitirme cumplir  
una meta más en mi vida profesional.*

*A mis padres, Irene, Wilmer y Marliz  
por su apoyo incondicional.*

*A mi esposo e hijos,  
a quienes amo con todo mi corazón  
y son el motivo para seguir adelante.*

*A mis hermanos por su apoyo en todo momento.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy,  
por sus enseñanzas, colaboración y apoyo  
en la elaboración de esta investigación.

Al personal del Laboratorio de Fitopatología  
y el Centro de Diagnóstico de enfermedades de Plantas,  
por el apoyo brindado.

A mi jurado de Tesis, por su tiempo y comprensión.

## INDICE

	Página
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I.....	17
INTRODUCCIÓN .....	17
REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	18
2.1 Generalidades de <i>Trichoderma</i> .....	18
2.2 <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Cubense</i> en banano .....	21
2.2.2 Proceso de infección.....	23
2.3 Hongos nativos del suelo .....	24
MATERIAL Y METODOS .....	25
3.1 Fase de vivero.....	28
3.1.1 Materiales, Equipos e Insumos .....	28
3.1.2 Instalación de los tratamientos.....	28
3.1.3 Toma de muestras de suelo para análisis microbiológico .....	29
3.1.4 Toma de muestras de suelo para NPK.....	29
3.1.5 Altura de planta y diámetro de Pseudotallo .....	29
3.2.1 Materiales, Equipos e Insumos .....	30
3.2.2 Antagonismo <i>in vitro</i> de <i>Trichoderma</i> spp. frente a FOC Tropical R2T .....	30
3.2.3 Mecanismos de acción de <i>Trichoderma</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> (R2T).....	31
3.2.4 Análisis microbiológico del suelo .....	31
DISCUSIÓN .....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
ANEXOS .....	63

## Índice de tablas

	<b>Página</b>
Tabla 1. Cepas de <i>Trichoderma</i> spp., tomadas del Centro de Diagnóstico de Enfermedades de Plantas. ....	27
Tabla 2. Escala de evaluación de la capacidad antagónica. Bell <i>et al.</i> , 1982. ....	31
Tabla 3. Escala del nivel de interacción hifal de <i>Trichoderma</i> frente a <i>Fusarium</i> .....	32
Tabla 4. Escala de evaluación del desarrollo de <i>Trichoderma</i> spp, inoculado en materia orgánica .....	34
Tabla 5. Mecanismos de acción desarrollados por 10 cepas de <i>Trichoderma</i> sp., frente a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp cubense. (F661C-23) .....	43
Tabla 6. Mecanismos de acción desarrollados por 10 cepas de <i>Trichoderma</i> sp., frente a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp cubense. (F661-21) .....	43

## Índice de Figuras

	<b>Página</b>
Figura 1. Ubicación del proyecto de investigación .....	26
Figura 2. Colonias de <i>Trichoderma</i> usados en la investigación. ....	27
Figura 3. Plantas de banano mostrando síntomas de necrosis de haces vasculares. ....	28
Figura 4. Plantas de banano sub grupo Cavendish sembrados en noques de cemento .....	29
Figura 5. Medición de altura y Diámetro de planta .....	30
Figura 6. Metodología para determinar la calidad de la materia organica.....	33
Figura 7. Síntomas desarrollados por Foc R2T en banano, bajo condiciones de tinglado .....	36
Figura 8. Aislamientos de <i>Fusarium oxysporum</i> f sp cubense, en medio de cultivo PDA. a. F661-21, b. F661C-23, c. macroconidios, d. microconidios, e. clamidosporas .....	37
Figura 9. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T351-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	38
Figura 10. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T249-13 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	38
Figura 11. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T353-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	38
Figura 12. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T354-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	38
Figura 13. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T355-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	39
Figura 14. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T356-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	39
Figura 15. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T357-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	39
Figura 16. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T358-11 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	39

Figura 17. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T400-15 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	40
Figura 18. Velocidad de crecimiento de <i>Trichoderma</i> T280-13 frente a Foc R2T: (a) F661-21 y (b) F661C-23 .....	40
Figura 19. Enfrentamiento in-vitro de <i>Fusarium</i> F661-21 frente a <i>Trichoderma</i> : (a). T351-11, (b). T249-13, (d). T353-11, (e). T355-11, (f). T356-11, (g). T357-11, (h). T358-11, (i). T400-15, (j) T280-15.....	41
Figura 20. Enfrentamiento in-vitro de <i>Fusarium</i> F661C-23 frente a <i>Trichoderma</i> : (a). T351-11, (b). T249-13, (d). T353-11, (e). T355-11, (f). T356-11, (g). T357-11, (h). T358-11, (i). T400-15, (j) T280-15 .....	42
Figura 21. Mecanismos de acción desarrollados por <i>Trichoderma</i> spp., frente a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense.....	44
Figura 22. Porcentaje de inhibición de crecimiento por <i>Trichoderma</i> spp., frente a dos cepas de Foc R2T .....	45
Figura 23. Deficiencia de nitrógeno mostradas en las vinas en banano.	46
Figura 24. Diámetro de pseudotallo por efecto de los tratamientos .....	48
Figura 25. Altura de planta por efecto de los tratamientos.....	49
Figura 26. Efecto de los tratamientos en la población de <i>Trichoderma</i> ..	50
Figura 27. Efecto de los tratamientos en la población de <i>Penicillium</i> .....	50
Figura 28. Efecto de los tratamientos en la población de Degradadores de la materia orgánica en el suelo .....	51
Figura 29. Efecto de los tratamientos en la población de Hongos .....	51
Figura 30. Eficacia de diez cepas de <i>Trichoderma</i> spp. frente a, <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense (R2T) .....	52
Figura 31. Efecto de los tratamientos en la diversidad de hongos.....	53
Figura 32. Desarrollo de <i>Trichoderma harzianum</i> , en diferentes tipos de materia orgánica de campos de banano. ....	55

## RESUMEN

### **Antagonismo de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T) y hongos nativos en suelo bananero**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Diagnóstico de Enfermedades de Plantas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, con la finalidad de evaluar el efecto de diez cepas de *Trichoderma* spp. Frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T) y los hongos nativos en suelo bananero. Encontrándose que *Trichoderma* spp., muestra capacidad de competencia con las dos cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense R2T, sobresaliendo las cepas de *Trichoderma* T355 - 11 y T358 – 11; igualmente con diferentes mecanismos de acción, siendo frecuentes la Granulación y Lisis y, en menor nivel, Fragmentación, Vacuolización, Perforación, Penetración y Enrollamiento. La eficacia mostrada por la cepa comercial de *T. harzianum* (T355 - 11) y las T351-11, T353-11, T354-11, T357-11 y 358-11 con 71.16 a 84.94 %, garantizan la capacidad de biocontrol de *Trichoderma* frente a este patógeno. Aun cuando el número de mecanismos de acción desarrollados por las cepas es mayor uno que otros, esto no garantiza la eficacia de una cepa para controlar a un fitopatógeno como *Fusarium*, de ahí que la cepa T280 – 13, con un solo mecanismo (Lisis), presenta mayor eficacia frente a la cepa de *Fusarium* F661 - 21 (75.63 %) que frente a la Cepa F661C-23 (33.33 %); similar respuesta se encontró con la cepa T355 - 11 frente a la cepa de *Fusarium* F661C-23 (73.95 %) y F661 -21 (78.38 %); de la misma manera *Trichoderma* spp., incentiva las poblaciones de *Trichoderma* nativos en el suelo, sobresaliendo los tratamientos T355-11 (comercial), T249-13, T400-15 (artesanal), T351-11 y el T353-11; el desarrollo de *Trichoderma* en el suelo está influenciada por la calidad de la materia orgánica, siendo por lo cual el mayor desarrollo se da en una materia orgánica del suelo bien degradada.

**Palabras Claves:** Control biológico, Mecanismos de acción, Antagonista, *Fusarium oxysporum* R4, *Trichoderma* spp.

## ABSTRACT

The present work of investigation was carried out in the Center of Diagnosis of diseases of Plants of the Faculty of Agrarian Sciences of the National University of Tumbes, with the purpose of evaluating the effect of ten strains of *Trichoderma* spp. against, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (R2T) and the native fungi in banana soil.

It was found that *Trichoderma* spp. shows capacity of competition with the two strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* R2T, standing out the strains of *Trichoderma* T355 - 11 and T358 - 11; also with different mechanisms of action, being frequent the Granulation and Lysis and, in smaller level, Fragmentation, Vacuolization, Perforation, Penetration and Coiling. The efficacy shown by the commercial strain of *T. harzianum* (T355 - 11) and the T351-11, T353-11, T354-11, T357-11 and 358-11 with 71.16 to 84.94 %, guarantee the capacity of biocontrol of *Trichoderma* against this pathogen. Even when the number of mechanisms of action developed by the strains are greater in one than in others, this does not guarantee the effectiveness of a strain to control a phytopathogen as *Fusarium*, hence the strain T280 - 13, with only one mechanism (Lysis), presents greater effectiveness against the strain of *Fusarium* F661 - 21 (75.63%) than against the Strain F661C-23 (33.33 %); similar response was found with the strain T355 - 11 against the strain of *Fusarium* F661C-23 (73.95 %) and F661 - 21 (78.38 %); in the same way *Trichoderma* spp, encourages the populations of native *Trichoderma* in the soil, standing out the treatments T355-11 (commercial), T249-13, T400-15 (artisan), T351-11 and T353-11; the development of *Trichoderma* in the soil is influenced by the quality of the organic matter, finding that the greater development is given in a well degraded organic matter of the soil.

**Keywords:** Biological control, Mechanisms of action, Antagonist, *Fusarium oxysporum* R4, *Trichoderma* spp.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

El control biológico en una agricultura sustentable ha ido creciendo significativamente como una alternativa al problema de la degradación de los suelos contaminados por el exceso de aplicaciones de agroquímicos. La tendencia actual, es usar agentes biológicos que ayuden a restaurar la microbiota del suelo logrando un equilibrio poblacional que mejoren sus condiciones edáficas, químicas y biológicas.

*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc R4T), causa una de las enfermedades que más daño produce al banano; su presencia en el Perú ha causado alarma entre los productores bananeros, intensificándose las medidas de prevención para evitar su propagación. Foc R4T, es altamente destructiva y agresiva, por su rápida propagación y su capacidad de producir estructuras de conservación, capaces de permanecer viables por más de 30 años dificultando su control. (García-Bastidas *et al.*, 2019). A la fecha no se ha reportado medidas de control químico que detenga el avance, incrementar la microbiota del suelo puede ser una alternativa de prevención y posible control biológico; *Trichoderma spp.*, incentiva la vida del suelo, mejora la salud de las plantas y la nutrición de los cultivos.

Ante la presencia de esta enfermedad en el Perú, es necesario investigar alternativas de prevención biológicas, aun cuando para ello utilicemos R2T, organismo que presenta características morfológicas similares a R4T, Dita *et al.*, (2013). Un suelo con un alto contenido de materia orgánica y mayor actividad biológica disminuyen la incidencia de enfermedades en el suelo. Por tanto, lo que se busca mediante esta investigación, es tener la evidencia que *Trichoderma spp.*, es un antagonismo para *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T), que proteja y fortalece la salud de las plantas.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 Generalidades de *Trichoderma*

*Trichoderma*, pertenece al grupo de hongos filamentosos anamórficos antagonista (reproducción asexual), telemórfico (fase sexual) (García, 2016); este hongo tiene la característica de habitar en el suelo de manera saprofita o antagónica y en material vegetal que se encuentra en estado de descomposición (Gonzales-León *et al.*, 2022), este hongo ejerce dominancia en estos hábitats ricos en nutrientes. Además, por su rápido crecimiento, la producción de metabolitos con actividad antimicrobiana y su capacidad de colonización (Sood *et al.*, 2020).

*Trichoderma harzianum*, es un hongo eficiente en el control de fitopatógenos, entre ellos hongos causantes de marchitez vascular, por lo cual se considera una alternativa en el control biológico (Andrade-Hoyos, 2019), por su efectividad contra fitopatógenos, mediante sus mecanismos de acción que, a pesar de su acción lenta, es más estable y duradera que el control químico (Konnappa *et al.*, 2022). Los mecanismos de defensa de *Trichoderma* se pueden dar a través de la competencia, la lisis, la antibiosis, la depredación, el micoparasitismo entre otros (Klaram *et al.*, 2022), además estimula el crecimiento y desarrollo vegetal por medio de nutrientes disponibles en el suelo, previene la erosión de los suelos trayendo como resultado la disminución de las aplicaciones de agroquímicos (Gonzales-León *et al.*, 2020), finalmente mejora la salud del suelo y el rendimiento de las plantas, al colonizar las raíces y parasitar a otros hongos como *Fusarium oxysporum*, dando como resultado una baja infección de la planta (Gonzales, 2024).

*Trichoderma*, crece rápidamente sobre cualquier sustrato, algunas cepas cumplen funciones específicas de control biológico, debido a la producción de

enzimas como celulasa, quitinasas, glucanasas, etc., que degradan la pared celular inmadura de los ápices de las hifas en crecimiento sino también los complejos de quitina y glucano de paredes celulares maduras y de estructuras de supervivencia como esclerocios o clamidosporas. (García-Espejo et al., 2019). Este género conocido en el mundo de la agricultura sostenible tiene especies de mayor importancia como *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, *T. virens*, entre otros. (Companiononi et al., 2019).

### **2.1.1 Morfología de *Trichoderma***

El género *Trichoderma*, lo describió por primera vez Person y Rifai en 1974, basándose en características morfológicas y fisiológicas que no se diferenciaban una de otras por su alta complejidad (Ynfante-Martinez et al., 2023), en los primeros aislamientos se designaron nueve especies agregadas debido al polimorfismo que presentaban, y su variabilidad en aspectos bioquímicos y fisiológicos (Gakegne, 2018).

En el 2018 el Sistema Integrado de Información Taxonómica, define al género *Trichoderma* con el orden: Hypocreales, familia: Hypocreaceae, género: *Trichoderma* Pearson. (Llicahua, 2018). La forma asexual (telemorfo) es la fase completa de *Trichoderma* la cual presenta hifas, conidios, conidióforo y clamidosporas y la forma sexual (anamórfica) se encuentra sobre restos de madera en descomposición, observándose en ella una coloración verdosa debido a la maduración de sus conidios. (Morales et al., 2023)

Los aislamientos de *Trichoderma*, presentan en medio de cultivo PDA, un crecimiento rápido, circular, con pigmentación de color inicialmente blanquecino tornándose verde claro u oscuro y en algunas cepas color amarillento, presentando abundante esporulación, hifas hialinas septadas, conidióforos hialinos en penachos compactos en forma de pirámide, fiálides alargadas y ensanchadas en el centro, sus conidios son de forma ovalados, no presenta micelio aéreo, pero si un olor típico a coco. (Ynfante-Martinez et al., 2023). Sus conidios son asexuales unicelulares de color verde o hialinos, con paredes algo ásperas o lisos,

de aspecto globosas a subglobosas, cilíndricos, oblongos de acuerdo con la cepa en identificación, con diámetro promedio de 3 a 5  $\mu\text{m}$ ., formándose a partir de células conidiógenas y fiálides agrupadas o singulares, que se ubican en los extremos de los conidióforos, éstos son se aspecto cónico, hialinos, ramificados y no verticilados. También producen estructuras de sobrevivencia llamadas clamidosporas unicelulares, globosas, intercalares o terminales en los extremos de las hifas, de color verdoso y menores de 15 $\mu\text{m}$  de diámetro. Su micelio es septado con paredes compuestas de quitina y glucano, compuesto por hifas hialinas muy ramificadas de pared lisa, fino y algunas veces ralo. (Llicahua, 2018).

### **2.1.2 Mecanismos de acción de *Trichoderma***

Los mecanismos de acción de *Trichoderma* se definen como mecanismos directos que ejerce este hongo para regular el desarrollo de los diferentes hongos fitopatógenos, al mejorar la rizosfera de las plantas colonizando toda la superficie de la raíz, (Sigüeñas *et al.*, 2015), esto hace que la velocidad de crecimiento de este patógeno evite la propagación del patógeno en la planta. (Diaz, 2019)

Utrilla (2021), hace referencia a cultivos sanos en suelos agrícolas, debido a la influencia por el crecimiento y mecanismos de acción que ayudan en la mejora de la rizosfera de los cultivos al colonizar la totalidad de sus raíces, cepas de *Trichoderma harzianum*, así como otras especies tales como *T. atroviride*, *T. viride* y *T. pseudokonigi*, actúan sobre los patógenos mediante sus mecanismos de acción, esto hace que se mejore la absorción de nutrientes, mejor crecimiento y vigor de las plantas, así como la resistencia al ataque de patógenos, además Djonovic *et al.* (2020) hacen referencia al efecto que ejerce *Trichoderma*, como una alternativa para reducir el uso de pesticidas sintéticos o agroquímicos.

*Trichoderma* compite por espacio y/o nutrientes (Saravanakumar *et al.*, 2017); el carbono, nitrógeno y hierro son los principales nutrientes por lo

que compite este antagonista, además se ha demostrado que algunas cepas solubilizan mejor los nutrientes del suelo (Andrade-Hoyos *et al.*, 2023)

Las interacciones biotróficas entre microorganismos, es el micoparasitismo, en este mecanismo los organismos se benefician de otros parasitándolo e incluso generar su muerte. La antibiosis ocurre en cuatro etapas: Crecimiento químico trófico: en esta etapa *Trichoderma* logra detectar la distancia del patógeno por respuesta química, el hongo saprofito reconoce al patógeno y lo parasita, así mismo logra enrollarse en el patógeno (Zeilinger y Atanasova, 2020; Shenouda y Cox, 2021). La actividad lítica por parte de *Trichoderma* se da mediante la producción de enzimas líticas extracelulares como quitinasas, glucanasas y proteasas, estas degradan las paredes celulares del patógeno, dando origen a poros por donde penetra *Trichoderma* (Cortes Hernández, Alvarado-Castillo, Sanchez-Viveros, 2023).

La presencia de *Trichoderma* en los agroecosistemas, es considerado un micoparásito eficaz (Garrido, Vilela, 2019), reportándose además al menos 75 especies con la capacidad de aplicar sus diferentes interacciones hifales como: enrollamiento, penetración, vacuolización, granulación, coagulación, desintegración y lisis. (Guzman-Guzman *et al.*, 2019 y Sood *et al.*, 2020). Samaniego-Fernández, (2018) asegura que en los enfrentamientos de *Trichoderma harzianum* contra *Fusarium oxysporum*, en condiciones *in vitro*, se demuestra la inhibición del antagonista frente al patógeno.

## **2.2 *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* en banano**

Los cultivos de banano y plátano, subgrupo Cavendish son afectados por tres razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, la raza 1 (Foc R1), raza 2 (Foc R2) y raza 4 Tropical (R4T), siendo esta última la más destructiva debido a que no existen métodos de control químico como estrategia de solución al daño que causa. Por la capacidad destructiva que ejerce la R4T, se usa como modelo a la raza 2 para generar estrategias de control biológico y que ayude

a una posible solución al ataque de raza 4 Tropical (Florencio-Anastasio *et al.*, 2022), Bubicí *et al.*, (2019). propone el uso de bacterias y hongos antagonistas contra las razas de Foc.

*Fusarium oxysporum* es un hongo filamentoso, saprófito, antagonista y patógeno de plantas, animales y humanos (Oirsa, 2018), que se presenta bajo cuatro razas patogénicas, esta asignación se hizo teniendo como referencia su patogenicidad a diferentes variedades.

Actualmente, han sido identificadas más de 100 “*forma especiales*” o “f. sp.”, cada una de ellas con patogenicidad singular a un determinado hospedante, éstas no pueden ser distinguidas de una de otras a través de su morfología (Oirsa, 2018), pero se designa como *Cubense* por su acción frente a las musáceas (Oirsa, 2013). Existen hasta el momento 4 razas de Foc, la raza 1, que afecta a la variedad ‘Gross Michel’, la raza 2 ataca al tipo Bluggoe, la raza 3 a las Heliconias y por último la raza 4 ataca a las variedades que son susceptibles al ataque de raza 1 y 2 así como al Subgrupo Cavendish (Flores, 2019)

*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, se caracteriza por generar marchitez vascular y muerte de las plantas, se inician con un amarillamiento y marchitez de las hojas adultas, hacia las hojas jóvenes, hasta causar la muerte, también puede presentarse rajadura en la parte baja del Pseudotallo (Ploetz, 2015). A nivel interno, la planta muestra una decoloración marrón rojiza de los rizomas y los vasos vasculares en el Pseudotallo, son producto de la infección de la planta ocasionada por *Fusarium*, éste coloniza causando la oclusión de los vasos xilemáticos (Pegg *et al.*, 2019).

Li *et al* 2017, hacen referencia al inicio de la enfermedad cuando las clamidosporas que produce *Fusarium* se encuentran en el suelo por varios años, estas al germinar ante el estímulo de exudados de raíces de plantas hospederas, inician el ciclo de la enfermedad vascular, produciéndose a través de las raíces o por heridas. Dita, 2018, explica que el material vegetal es el medio más importante y con altos riesgos de diseminación, hijuelos

menores de tres meses, se pueden mantener asintomáticos y diseminar la enfermedad al ser usado como material de siembra.

### **2.2.1 Biología**

*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, dentro de su estado asexual o imperfecto, produce microconidios, macroconidios y clamidiosporas. Oirsa (2018).

ProMusa, 2018., señala a los “microconidios, como estructuras de reproducción vegetativa, presentan forma ovalada o arriñonada, con paredes delgadas y pálidas, naciendo de células conidiogénicas a partir de monofiálides. Los macroconidios, son de diferentes tamaños desde cortos hasta medianos, con superficies abaxial casi recta, de color pálido y paredes delgadas y la gran mayoría con 3 septos, la célula apical es corta y ganchuda y la célula basal tiene una muesca en forma de pie, estos macroconidios se forman a partir de monofiálides en conidióforos ramificados en esporodochia o en monofiálides en hifas. Los microconidios, se encuentran en abundancia en los vasos floemáticos de las plantas infectadas y los macroconidios, en la superficie de las plantas muertas atacadas por *Fusarium*.”

### **2.2.2 Proceso de infección**

*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense necesita obligatoriamente interactuar con una planta hospedera para iniciar su proceso de infección y reproducción de sus estructuras, por eso es conocido como patógeno necrotrófico o hemibiotrófico (OIRSA, 2018). La interacción primaria se da entre las raíces terciarias o secundarias, éstas se ven comprometidas por las hifas que crecen y colonizan toda la superficie estimulada por los exudados de éstas (Guo *et al*, 2015).

*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, puede hospedarse en las raíces, rizomas o cormos, pseudotallos y peciolo. Las plantaciones de banano por ser monocultivos son susceptibles a los medios de dispersión del patógeno, éste se puede movilizar por todos los campos bananeros a

través del material vegetal infectado, la escorrentía con agua contaminada, maquinarias con suelo infectado, incluso hasta las herramientas que se usan frecuentemente en las labores culturales (García-Bastidas *et al.*, 2020).

### 2.3 Hongos nativos del suelo

González-García *et al.* 2021, realizaron estudios de la microbiota en suelos con plantas de plátano, encontrando hongos filamentosos como parte de la diversidad fúngica existente en la zona, siendo éstos *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., y *Trichoderma* sp. Los microorganismos existentes en el suelo son un indicador de las características “físico, químico y biológico además de la temperatura, humedad, salinidad, aireación, estado de óxido-reducción, contenido y composición de los gases en el espacio poroso, biodisponibilidad de los nutrientes, pH”, que está siendo afectada por las prácticas agrícolas intensivas no sostenibles como el uso irracional de agroquímicos (Ibarra-Villarreal *et al.*, 2021).

Morel *et al.*, 2021, investigaron hongos de la rizósfera del banano, que pudieran actuar como controladores biológicos de enfermedades llegando a aislar un total de 423 colonias de hongos endófitos nativos, de los cuales 66 fueron de los géneros *Trichoderma* y 357 *Fusarium* siendo la raíz según Beltrán-García *et al.*, (2016), el órgano principal de las plantas donde se da la colonización de hongos y bacterias endófitas.

Es entre la rizósfera y el suelo donde se encuentra la mayor interacción de bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Latobacillus* y *Rhizobium*, etc., además de algunos hongos como, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, etc. Buritaca *et al.*, 2017.

## CAPÍTULO III

### MATERIAL Y METODOS

El trabajo de investigación se realizó en el Centro de Diagnóstico de enfermedades de Plantas, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, en dos fases de manera simultánea: Vivero y Laboratorio.

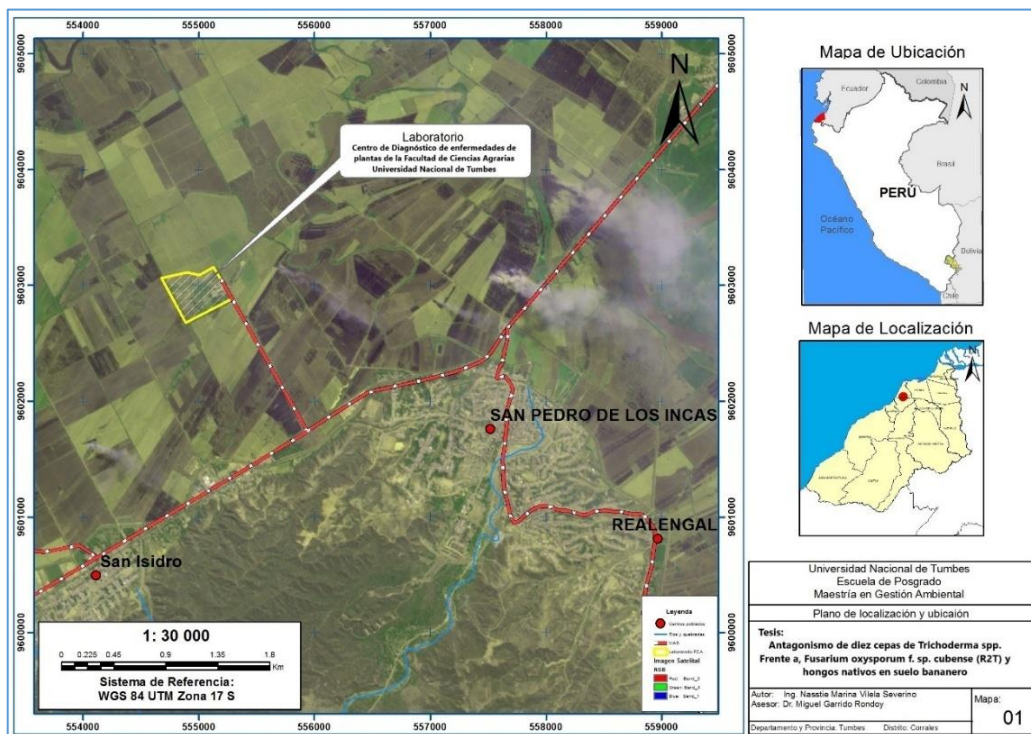


Figura 1. ubicación del proyecto de investigación

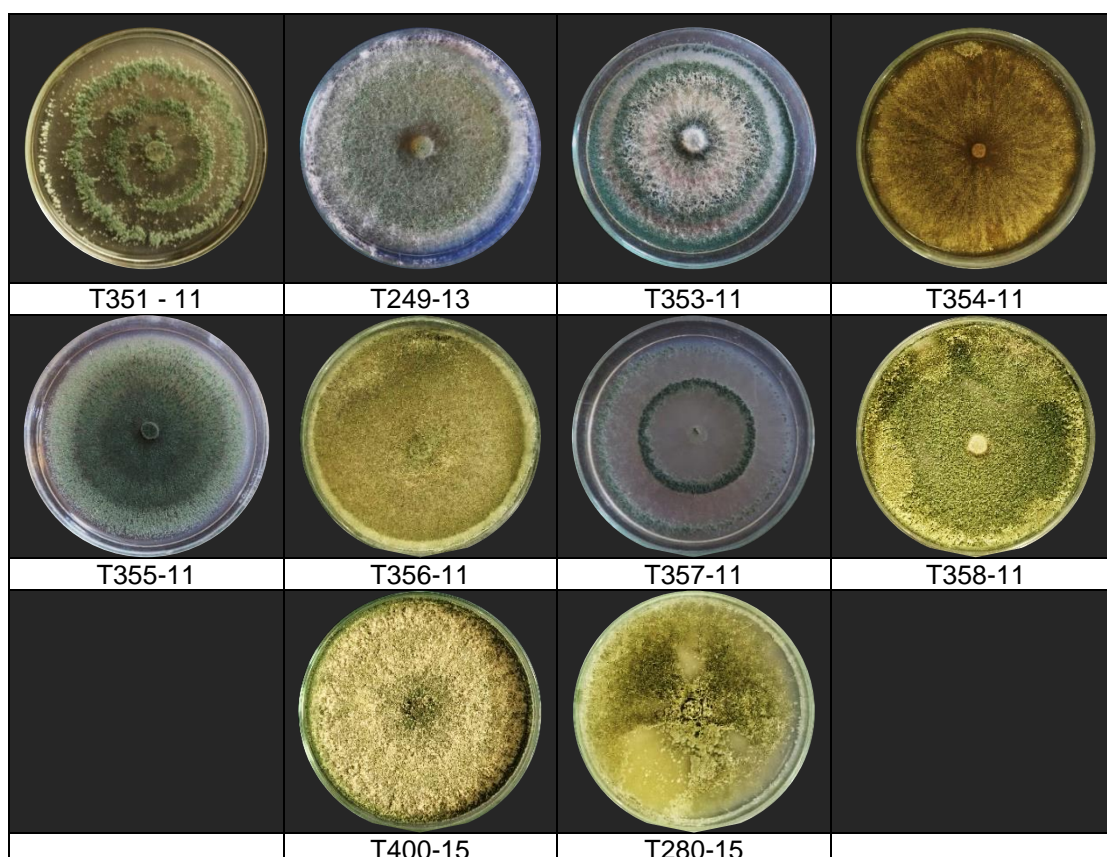
Se usaron diez cepas de *Trichoderma* spp, tomadas del Laboratorio de Conservación de Hongos, provenientes de cultivos de arroz y café de las zonas agrícolas de Tumbes, Piura y San Martín (Tabla 1). Estas cepas fueron seleccionadas por su alta capacidad antagonista en ensayos *in-vitro* realizados frente a cepas de *Rhizoctonia* spp.

**Tabla 1.**

Cepas de *Trichoderma* spp., tomadas del Centro de Diagnostico de Enfermedades de Plantas – Facultad de Ciencias Agrarias.

Tratamientos	Código	Cultivo	Procedencia	Zona agrícola
Tratamiento 1	T351 – 11	Arroz	Malval	Tumbes
Tratamiento 2	T249 -13	Arroz	Ignacio Escudero	Piura
Tratamiento 3	T353 -11	Arroz	Malval	Tumbes
Tratamiento 4	T354 -11	Arroz	Malval	Tumbes
Tratamiento 5	T355 -11	Comercial	Comercial	-
Tratamiento 6	T356 -11	Arroz	Malval	Tumbes
Tratamiento 7	T357 -11	Arroz	Malval	Tumbes
Tratamiento 8	T358 -11	Arroz	Malval	Tumbes
Tratamiento 9	T400 – 15	Artesanal	San Martin	San Martin
Tratamiento 10	T280 – 13	Café	Canchaque	Piura
<b>Testigo</b>			<b>Sin aplicación</b>	

Las cepas se activaron en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA), incubándose a 28 °C por cinco días, presentando diferencias morfológicas como color del micelio, conidios y velocidad de crecimiento (Figura 2).



**Figura 2.** Colonias de *Trichoderma* usados en la investigación.

Las cepas de *Fusarium* fueron aisladas de plantas de banano colectadas de un campo agrícola ubicado en Zarumilla, una zona no reportada para FOC R4T, las plantas presentaban síntomas de marchitez, hojas secas colgando del pseudotallo, necrosis de tejido interno de color rojizo.

El material seleccionado con síntomas similares al de Foc R2T, fueron embalados, etiquetados y llevados al Laboratorio de Conservación de Hongos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, para el aislamiento de las cepas de *Fusarium*.



**Figura 3.** Plantas de banano mostrando síntomas de marchitez y necrosis de haces vasculares.

La patogenicidad de las cepas aisladas se realizó en plantas de banano orgánico comercial libres de la enfermedad, las cepas fueron inoculadas en plantas de 2 m de altura, cortando fragmentos en la parte central del pseudotallo, se aplicó en cada caso, cinco cm de una dilución conteniendo micro conidios de *Fusarium*, una vez realizada la inoculación, se colocó nuevamente el fragmento cortado y selladas con papel de aluminio para evitar el secado del área inoculada.

### 3.1 Fase de vivero

#### 3.1.1 Materiales, Equipos e Insumos

Materiales: Placas Petri con PDA conteniendo cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense R2T, cepas de *Trichoderma* spp., espátulas, agua destilada estéril, palanas de mano, cartilla de evaluación.

Equipos: cámara fotográfica, bomba fumigación de palanca.

Insumos: Suelo bananero, cebollines de banano orgánico, Producto biológico (Tricho-D).

#### 3.1.2 Instalación de los tratamientos

Se instalaron diez tratamientos y un testigo absoluto, en noques de cemento de 1.80 m x 2.5 m x 0.80 m de área de siembra. Cada tratamiento corresponde a la aplicación al suelo de una cepa de *Trichoderma* (Tabla 1), con 12 cebollines de banano del Subgrupo Cavendish sembrados cada 40 cm, sobre suelo bananero. Los cebollines fueron limpiados, se eliminaron las raíces y posteriormente desinfectados, por el método de triple desinfección propuesto por French *et al.*, (1980).



**Figura 4.** Plantas de banano Subgrupo Cavendish sembrados en noques de cemento

Se realizaron tres aplicaciones de *Trichoderma* al suelo, cada 15 días, con una dosis de 20 kilos/ha., por cepas nativa y 300 g/ha. de una cepa comercial, la primera aplicación se realizó después de la siembra.

### 3.1.3 Toma de muestras de suelo para análisis microbiológico

La determinación de los análisis microbiológicos se realizó en 200 g de suelo de los primeros 20 cm de la capa arable; las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico e etiquetadas para ser llevadas al laboratorio. Se realizaron ocho muestreos con una frecuencia de quince días, el primer muestreo se realizó antes de la aplicación de *Trichoderma* al suelo.

### 3.1.4 Toma de muestras de suelo para NPK

Los análisis de NPK, se realizó en 500 g de suelo; el primer muestreo se realizó tres días antes de la siembra. Las submuestras fueron tomadas entre planta y planta, y colocadas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas y llevadas al Laboratorio para su análisis.

### 3.1.5 Altura de planta y diámetro de Pseudotallo

La altura de la planta, fue tomada usando una cinta métrica, desde la base del suelo hasta la última “V” que forman las hojas; el diámetro del pseudotallo fue tomado colocando la cinta métrica a un metro de altura de la planta. (CIRAD, 1996). (Figura 5). Se realizaron ocho evaluaciones con una frecuencia de 15 días.



**Figura 5.** Medición de la altura y diámetro de planta.

## 3.2 Fase de laboratorio

### 3.2.1 Materiales, Equipos e Insumos

Materiales: Placas Petri de vidrio, vasos de precipitación de 50 y 100 ml, pipetas de 1, 5 y 10 ml, tubos de conservación, matraces.

Equipos: Cámara de flujo laminar, estufa de incubación, microscopio, autoclave, balanza analítica, agitador magnético.

Insumos: Agar agar, papa, dextrosa, agua destilada estéril, *Trichoderma* spp., y *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T).

### 3.2.2 Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a FOC Tropical R2T

Esta prueba se realizó siguiendo la técnica de cultivo Dual de Dennis y Webster (1971), en una placa Petri de 9 cm de diámetro conteniendo medio de cultivo PDA, se sembraron cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T) frente a *Trichoderma* spp., la siembra se hizo usando discos de 0.5 cm de diámetro conteniendo los hongos en desarrollo. Las placas se incubaron a 28 °C, con alternancia de luz-oscuridad y se evaluó cada 24 horas, durante siete días consecutivos.

**Tabla 2.** Escala de evaluación de la capacidad antagónica. Bell *et al.*, 1982.

Grado	Capacidad antagónica
0	Ninguna invasión de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
1	Invasión de $\frac{1}{4}$ de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
2	Invasión de $\frac{1}{2}$ de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
3	Invasión total de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
4	Invasión total de la superficie de la colonia del hongo patógeno esporulación sobre ella.

Para determinar los Radios de Crecimiento del Antagonista (RCA), y los Radios de Crecimiento del Patógeno (RCP), se midió la longitud desde el borde del disco sembrado hasta el borde de la colonia en crecimiento

(García *et al.* 2015). En el caso de PICR se evaluó la reducción del crecimiento del micelio, usando la fórmula de Ezziyyani *et al.* (2004):

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

**Dónde:** R1: crecimiento del patógeno en el testigo

R2: crecimiento del patógeno enfrentado con *Trichoderma*

### 3.2.3 Mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T)

Se uso como referencia la escala propuesta por Garrido (2018) (Tabla 3); observándose a los diez días el tipo de interacción hifal, tales como enrollamiento, granulación, vacuolización, penetración y lisis (Reaves y Crawford, 1994). Las muestras fueron extraídas de la zona de enfrentamiento de las cepas y se observaron en el microscopio óptico a un aumento de 400 x.

**Tabla3.** Escala del nivel de interacción hifal de *Trichoderma* frente a *Fusarium*

Grado	Antagonismo
Alto	+++
Medio	++
Bajo	+

### 3.2.4 Análisis microbiológico del suelo

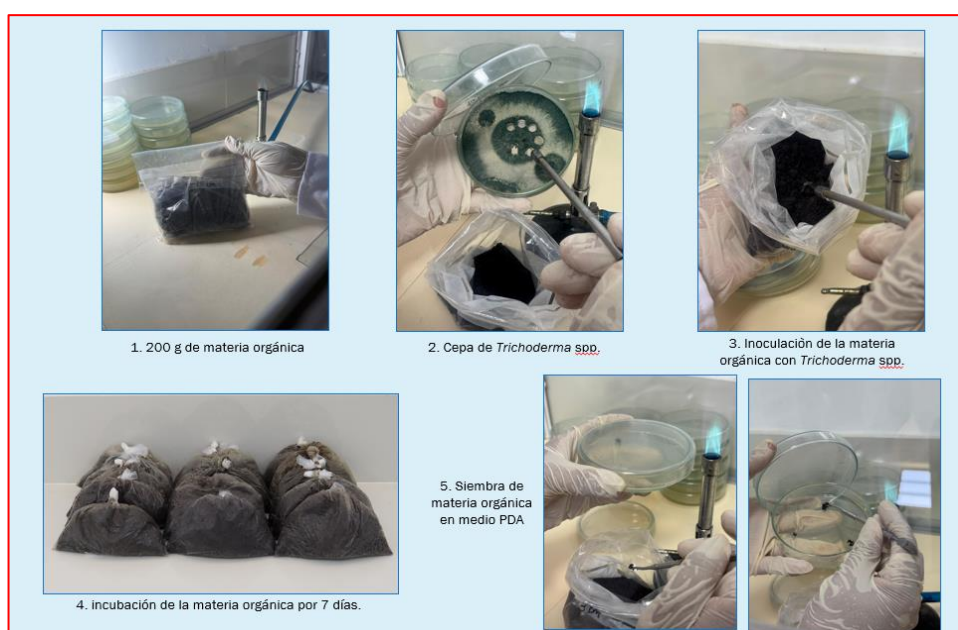
Por cada tratamiento se tomó una muestra de 10 g de suelo, se colocó en un vaso de precipitación estéril conteniendo 100 ml de agua destilada estéril, las muestras fueron puestas en una plancha movediza con agitador magnético por 5 minutos a 500 r.p.m. Finalizado ese tiempo las muestras fueron puestas en reposo por 40 minutos para que sedimente las porciones solidas de suelo.

En una placa Petri conteniendo PDA, se colocó una alícuota 0.25 ml del sobrenadante y con la ayuda de una espátula de Drigalsky estéril se extendió el inóculo en toda la superficie. Las placas se incubaron a 28

°C por cuatro días, contándose cada una de las Unidades Formadoras de Colonias (u.f.c.) que desarrollan.

### 3.2.5 Calidad de materia orgánica mediante la inoculación de *Trichoderma*.

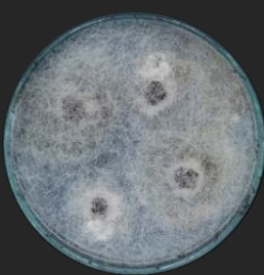

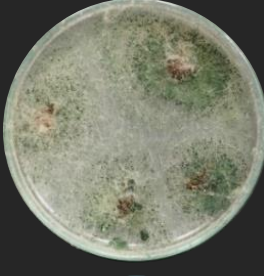


Se tomaron muestras de materia orgánica de un campo de banano orgánico; primero se retira el material vegetal, como hojas, raquis, trozos de pseudotallos, dejando la materia orgánica que queda en la superficie del suelo, de este material, se toman submuestras hasta completar una muestra de 200 g por campo, las muestras son colocadas en bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas y son llevados al laboratorio. En el laboratorio, la muestra se humedece con agua destilada estéril y se inocula con un disco de agar más *Trichoderma spp.*, se incuban por seis días a 28 °C y se homogenizan cada 24 horas. (Figura 6).



**Figura 6.** Metodología para determinar la calidad de la materia orgánica

Después de la incubación, se toman pequeñas porciones de materia orgánica y se siembran en placas Petri conteniendo medio de cultivo PDA, se incuban por espacio de cuatro días a 28 °C, la evaluación consiste en comprobar el desarrollo de la colonia de *Trichoderma spp.*, en el medio de cultivo de acuerdo con la escala propuesta. (Tabla 4).

**Tabla 4.** Escala de evaluación del desarrollo de *Trichoderma* spp, inoculado en materia orgánica.

Grado	Descriptiva	Gráfica
0	No creció <i>Trichoderma</i>	
I	<i>Trichoderma</i> creció hasta un 25% de la placa	
II	<i>Trichoderma</i> creció hasta un 50% de la placa	
III	<i>Trichoderma</i> creció hasta un 75% de la placa	
IV	<i>Trichoderma</i> creció 100%	

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### RESULTADOS

##### 4.1 Síntomas causados por las cepas inoculadas de *Fusarium*, aisladas de banano

Los síntomas desarrollados por las cepas inoculadas, en plantas de banano orgánico comercial (IC2) libres de la enfermedad, son similares a los síntomas descritos para *fusarium*; la inoculación se realizó en plantas de 2.00 m, de altura. Los síntomas se inician con estrías necróticas en los haces vasculares, hasta desarrollar grandes líneas de color marrón rojizo en las vainas afectadas, que avanzan desde el punto de inoculación hasta la parte alta; la intensidad de los daños varía con la capacidad patogénicas de las cepas en estudio.

El avance de los síntomas se realizó de afuera hacia adentro, de la vaina más externa hacia la interna, sin llegar a comprometer la parte central, que permanece sana; las zonas afectadas muestran la presencia de tilosas o bolsones gomosos de color oscuro, las plantas afectadas mostraron marchitez, sin llegar a la muerte de las hojas inferiores.

A pesar de que las plantas inoculadas no son susceptibles, la presión del inóculo aplicado permitió el desarrollo de la enfermedad en bajos niveles de infección. Las cepas inoculadas tuvieron diferente reacción frente al huésped, una mostró mayor daño que otras, pero mantuvieron las mismas características de estrías necróticas y bolsones gomosos. En ninguno de los casos se presentó muerte de las plantas inoculadas. (Figura 7).



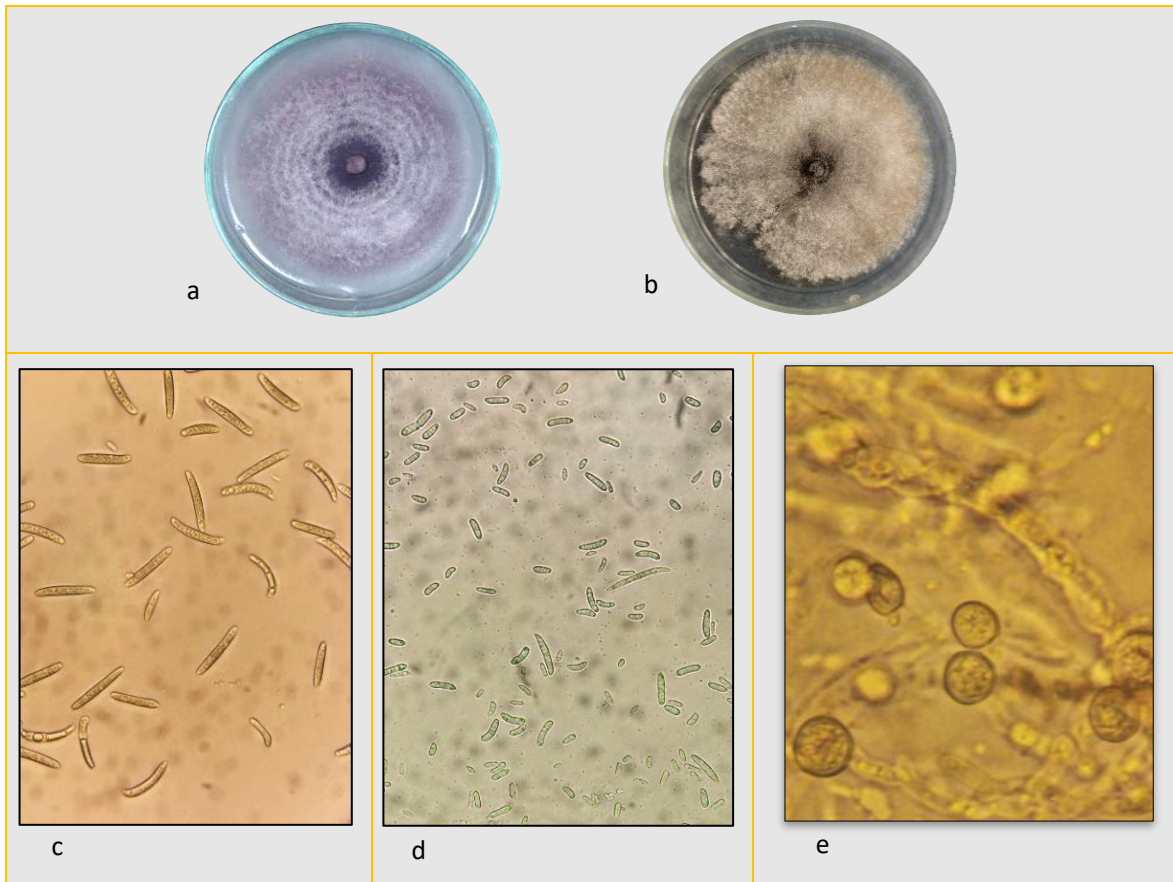
**Figura 7.** Síntomas desarrollados por Foc R2T en banano, bajo condiciones de tinglado

#### 4.2 Características morfológicas de aislamientos de *F. oxysporum* R2T.

*Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, en estado asexual o imperfecto, produce microconidios, macroconidios y clamidiosporas globosas que se forman en pares o individualmente. (Oirsa, 2018). Los microconidios de forma ovalada constituidas por una o dos células y macroconidios en forma de hoz con cuatro a ocho células, sobre monofiálides ramificadas o no ramificadas.

Las estructuras de resistencia de este hongo son las clamidiosporas, las cuales son de forma globosas, presentándose solas o en pares, intercalares o terminales, sus paredes celulares son gruesas y se presentan en forma abundante cuando la enfermedad está en estado avanzado (Lara, 2009). ProMusa, 2018., señala a los “microconidios, como estructuras de reproducción vegetativa, las cuales presentan forma ovalada o arriñonada, con paredes delgadas y pálidas, naciendo de células conidiogénicas a partir de monofiálides. Los macroconidios, son de diferentes tamaños desde cortos hasta medianos, con superficies abaxial casi recta, de color pálido y paredes delgadas y la gran mayoría con 3 septos, la célula apical es corta y ganchuda y la célula basal tiene una muesca en forma de pie, estos macroconidios se forman a partir de monofiálides en conidióforos ramificados en esporodochia o en monofiálides en hifas. Los microconidios, se encuentran en abundancia

en los vasos floemáticos de las plantas infectadas y los macroconidios, en la superficie de las plantas muertas atacadas por *Fusarium*.” (Figura 8).

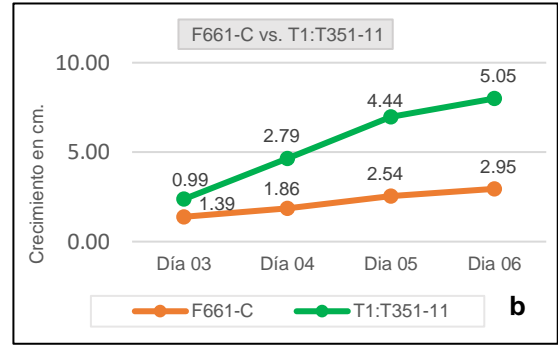
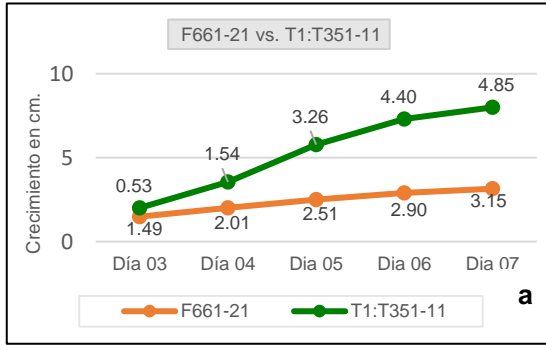


**Figura 8.** Aislamientos de *Fusarium oxysporum* f sp *cubense*, en medio de cultivo PDA.

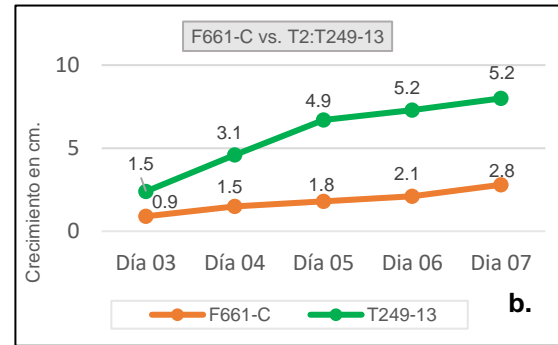
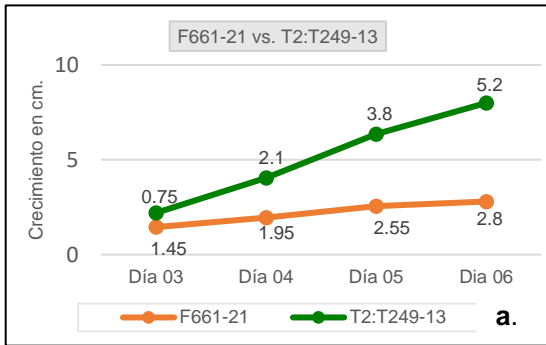
a. F661-21, b. F661C-23, c. macroconidios, d. microconidios, e. clamidosporas.

#### **4.3 Capacidad antagónica por competencia de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense* R2T.**

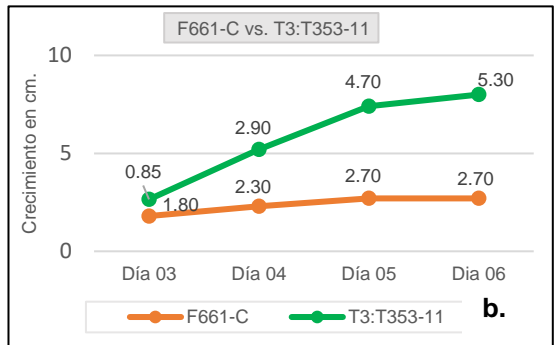
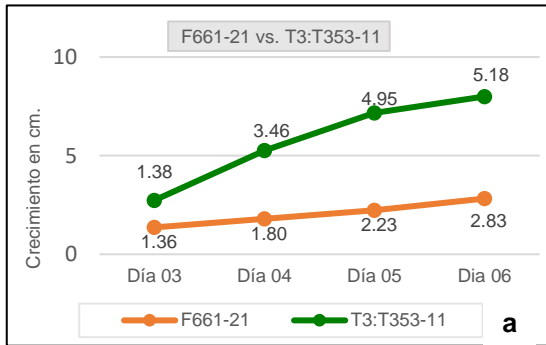
La competencia bajo condiciones *in vitro* (cultivo Dual), se da principalmente por espacio y nutrientes y, en ella intervienen la velocidad de crecimiento del antagonista y factores externos como temperatura, entre otros. (Martínez, 2013).



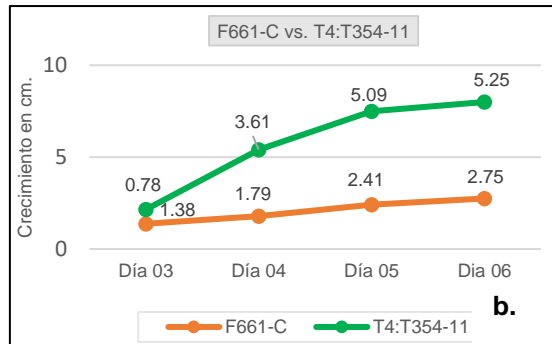
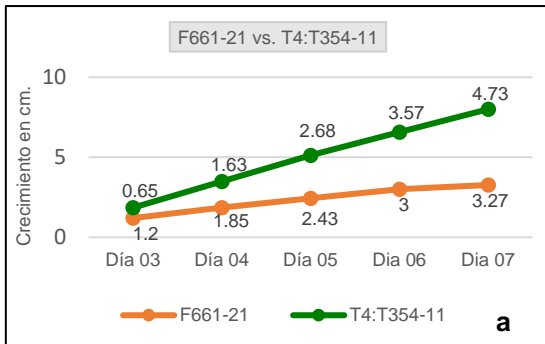
**Figura 9.** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T351-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21 y (b) F661C-23.



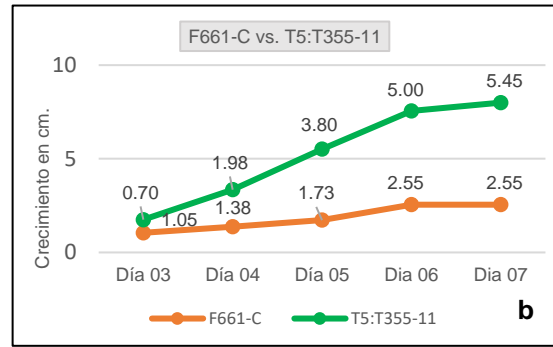
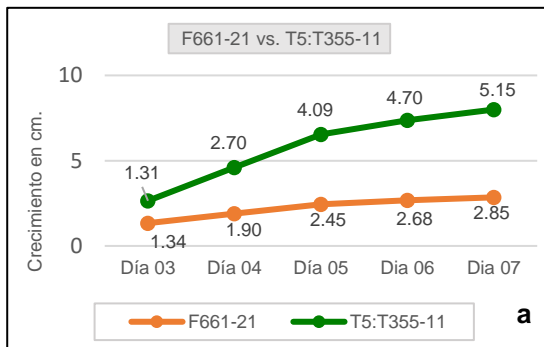
**Figura 10.** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T249-13 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21 y (b) F661C-23.



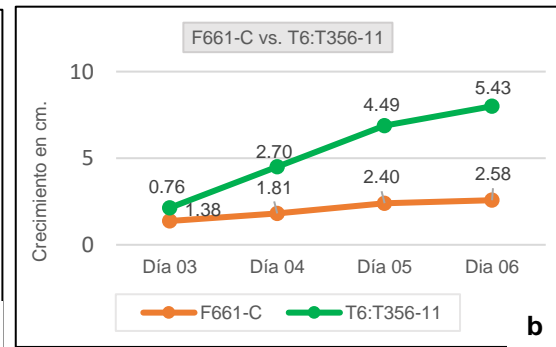
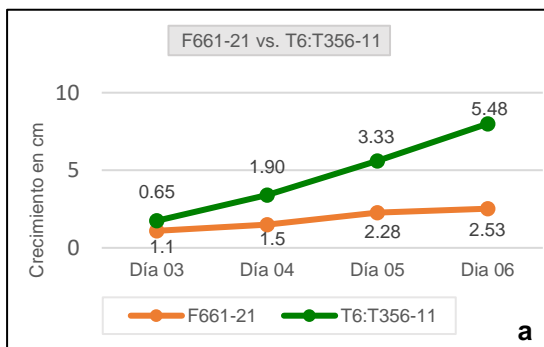
**Figura 11.** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T353-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21 y (b) F661C-23.



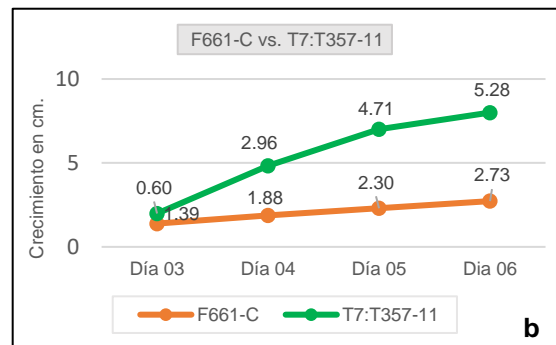
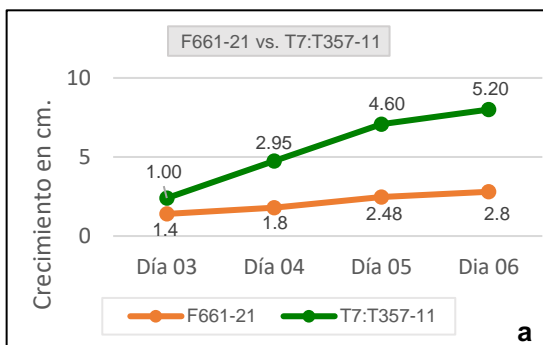
**Figura 12.** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T354-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21 y (b) F661C-23.



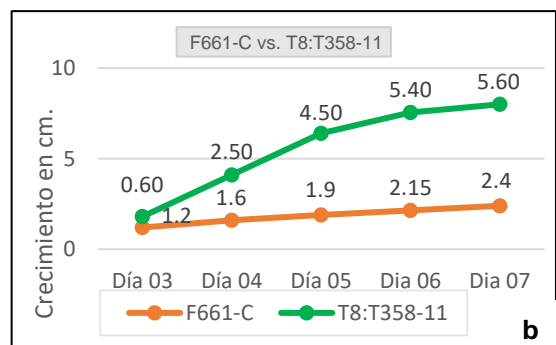
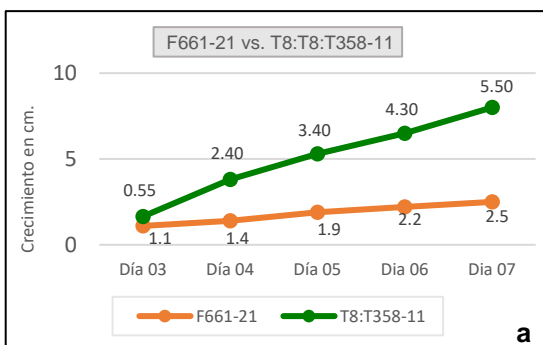
**Figura 13:** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T355-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21, (b) F661C-23.



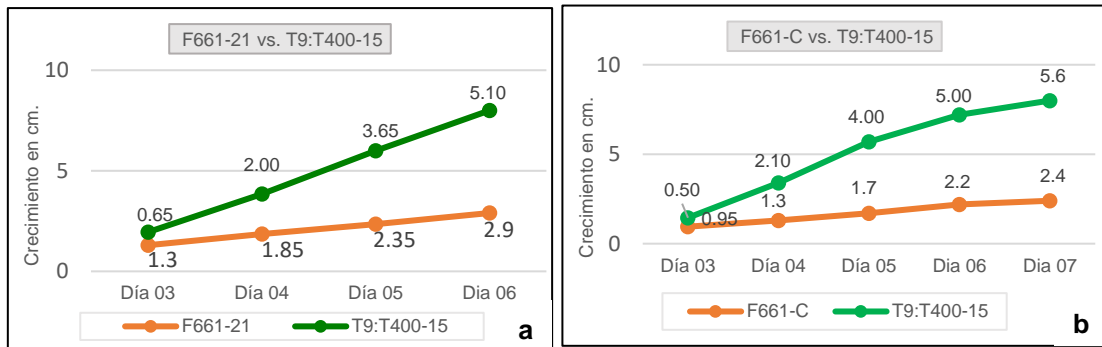
**Figura 14.** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T356-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21, (b) F661C-23.



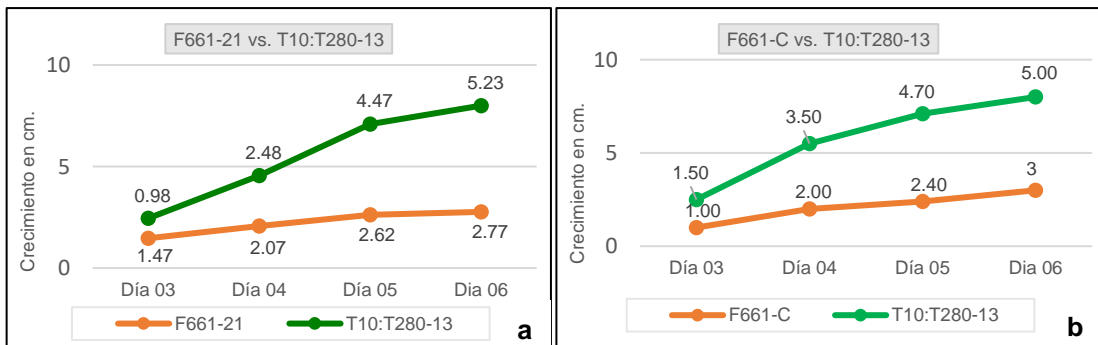
**Figura 15.** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T357-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21, (b) F661C-23.



**Figura 16:** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* T358-11 frente a *Foc* R2T:  
(a) F661-21, (b) F661C-23.



**Figura 17:** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* (T400-15) frente a *Foc* R2T: (a) F661-21, (b) F661C-23.

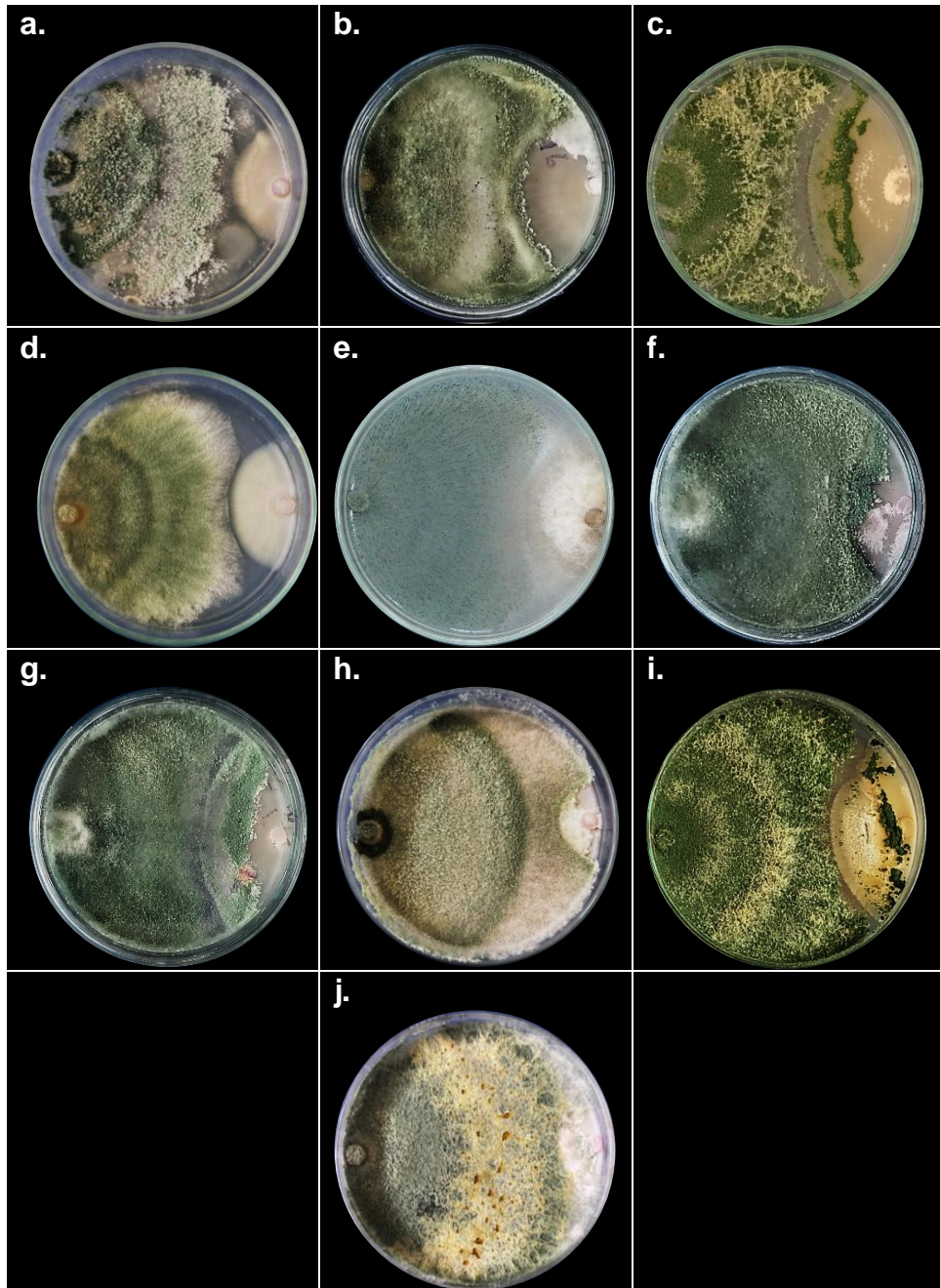


**Figura 18:** Velocidad de crecimiento de *Trichoderma* (T280-13) frente a *Foc* R2T: (a) F661-21, (b) F661C-23.

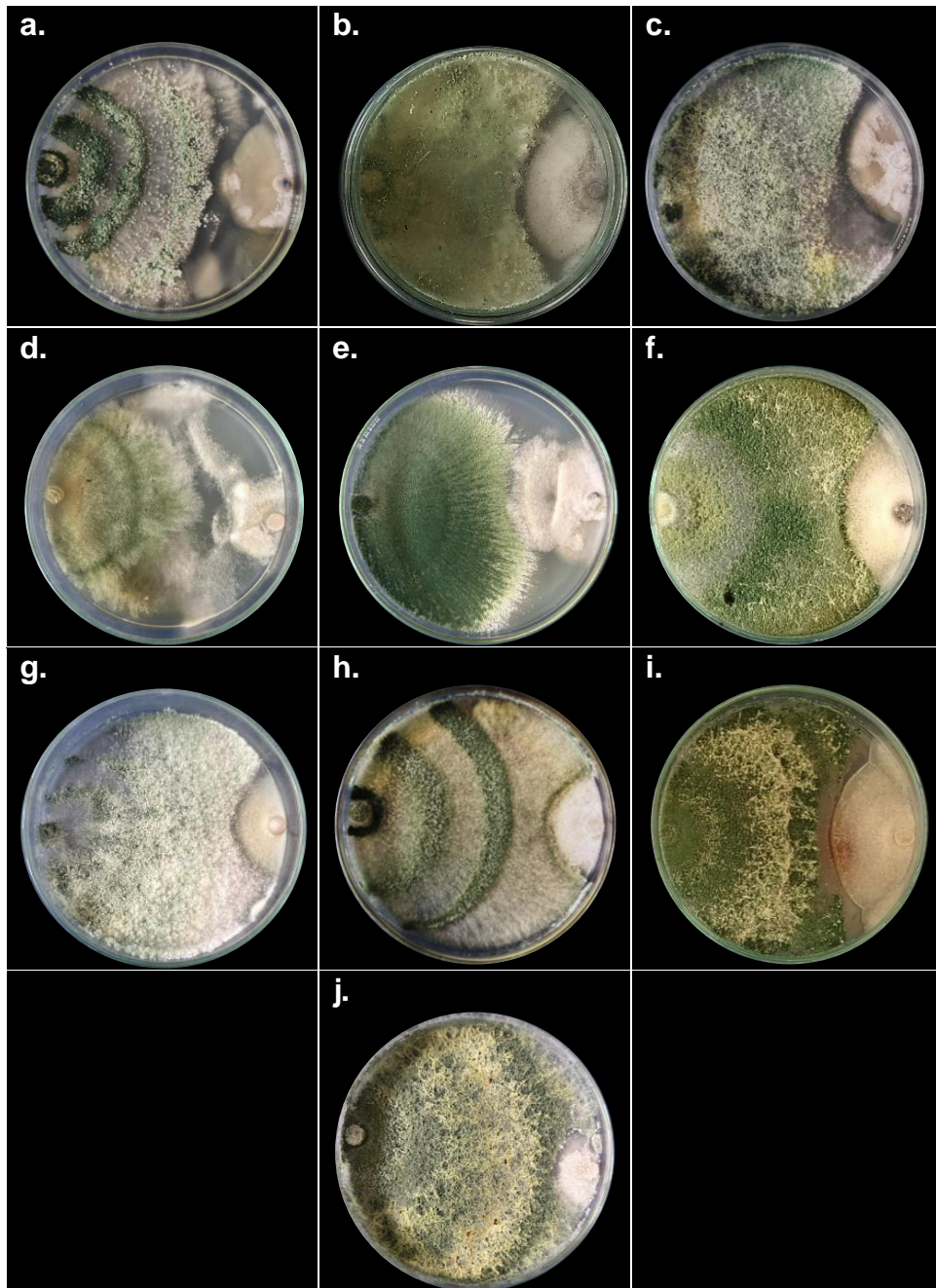
En todos los casos, *Trichoderma* spp. si muestra una mayor velocidad de crecimiento frente a las dos cepas de *Fusarium oxysporum f. sp cubense* R2T, sobresaliendo las cepas de *Trichoderma* T358-11, T280-13, T357-11, T353-11 y T355-11 frente a F661-21 y T358-11, T400-15, T355-11, T353-11, T357-11 y T354-11 frente a F661C-23.

De este grupo de cepas nativas, la T354-11 y la T400-15 compiten únicamente frente a F661-21 (Figuras, 12(a), 17(a)) y la cepa T280-15 frente a F661C- 23 (Figura 18(b)) de igual forma la cepa comercial T355-11, compite bien frente a F661-21 y F661C-23 (Figura 13).

Todas las cepas de *Trichoderma* invadieron las placas a las 216 horas después de la siembra. (Figuras 9 al 18).



**Figura 19:** Enfrentamiento *in-vitro* de *Fusarium F661-21* frente a *Trichoderma*: (a). T351-11, (b). T249-13, (d). T353, (e). T355-11, (f). T356-11, (g). T357-11, (h). T358-11, (i). T400-15, (j) T280-15.



**Figura 20:** Enfrentamiento *in-vitro* de *Fusarium* F661C-23 frente a *Trichoderma*: (a). T351-11, (b). T249-13, (d). T353, (e). T355-11, (f). T356-11, (g). T357-11, (h). T358-11, (i). T400-15, (j) T280-15.

#### **4.4 Mecanismos de acción desarrollados por diferentes cepas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense.**

Las cepas de *Trichoderma* spp., han presentado diferente mecanismo de acción frente a las dos cepas de *Fusarium*, siendo los más frecuentes la Granulación y Lisis y, en menor nivel, Fragmentación, Vacuolización,

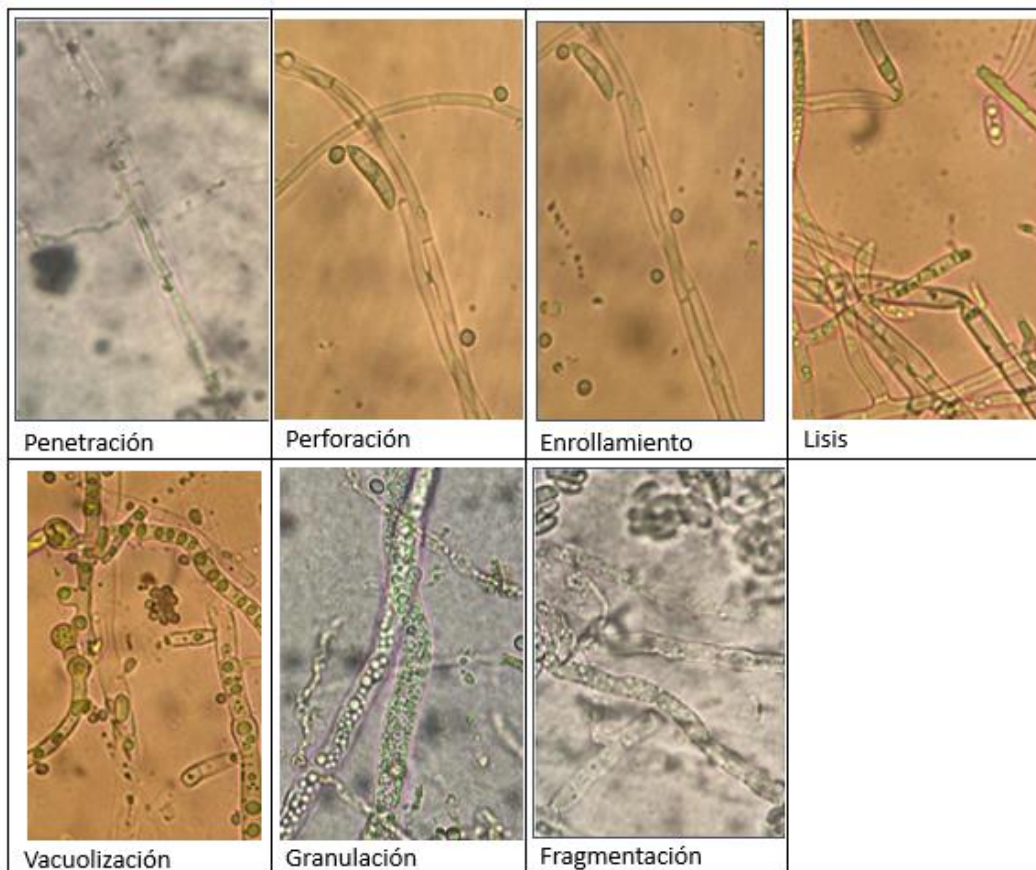
Perforación, Penetración y Enrollamiento; cada mecanismo cumple una función específica frente al fitopatógenos. (Tabla 5 y 6 y Figura 21).

**Tabla 5.** Mecanismos de acción desarrollados por 10 cepas de *Trichoderma* spp., frente a *Fusarium oxysporum* f. sp cubense. (F661C-23)

Tratamiento	MECANISMOS DE ACCIÓN						
	Granulación	Lisis	Fragmentación	Vacuolización	Perforación	Penetración	Enrollamiento
T351-11	+	++	-	-	-	-	
T249-13	-	++	-	-	++	-	+
T353-11	+	++	+	+	+	+	+
T354-11	++	+	+	-	-	-	
T355-11	++	+	-	-	-	+	+
T356-11	+	++	-	-	-	-	-
T357-11	+	+	++	-	-	-	-
T358-11	++	++	-	-	-	-	-
T400-15	++	+	+	++	-	-	-
T280-13	++	+++	+	-	-	+	+

**Tabla 6.** Mecanismos de acción desarrollados por 10 cepas de *Trichoderma* spp., frente a *Fusarium oxysporum* f. sp cubense. (F661-21).

Tratamiento	MECANISMOS DE ACCIÓN						
	Granulación	Lisis	Fragmentación	Vacuolización	Perforación	Penetración	Enrollamiento
T351-11	+	++	-	-	-	+	-
T249-13	+++	++	-	-	+	+	+
T353-11	+++	++		++	+	-	-
T354-11	-	+++	-	-	-	-	+
T355-11	+++	++	++	++	-	+	+
T356-11	+++	++	-	-	-	+	-
T357-11	-	+++	-	-	-	+	-
T358-11	++	+++	++	+	-	-	-
T400-15	+	++	++	+++	-	-	+
T280-13	-	+++	-	-	-	-	-

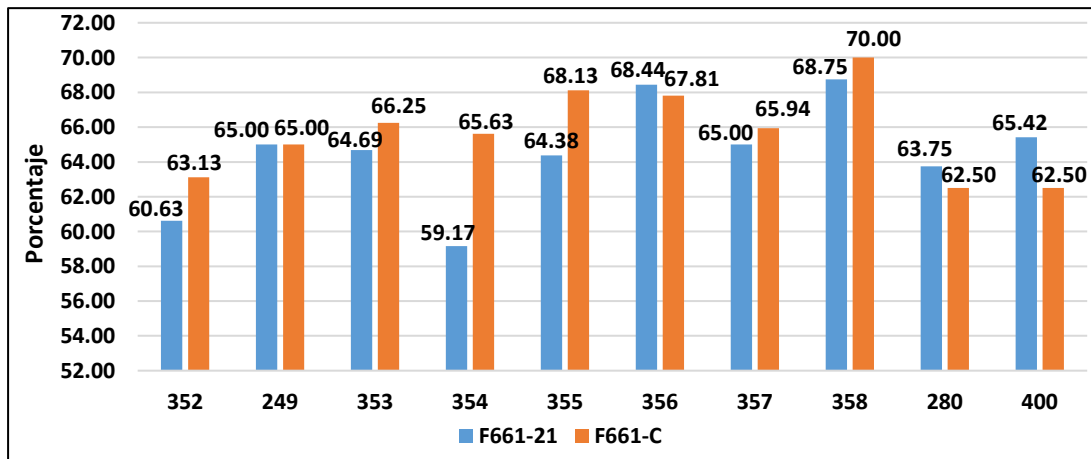


**Figura 21:** Mecanismos de acción desarrollados por *Trichoderma* spp., frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense R2T.

#### 4.5 Competencia

La competencia es un mecanismo de control desarrollado por *Trichoderma* spp., la respuesta puede variar de acuerdo con el fitopatógeno y la cepa *Trichoderma* que se evaluó, las cepas T355-11 (comercial), T356-11 y T358-11 muestran los niveles más altos de inhibición de crecimiento frente a las dos cepas de *Fusarium* Foc R2T estudiadas. (Figura 22)

Los resultados desarrollados por *Trichoderma* spp., pueden ser clasificados como de ligeramente tóxicos, al haberse presentado valores que oscilan entre 59 % y 70 % de inhibición, similares resultados fueron encontrados por Babar Khan et al., 2017, al encontrarse una inhibición de *T. harzianum* sobre *F. oxysporum* del 75 % en la técnica de cultivo dual.



**Figura 221.** Porcentaje de inhibición de crecimiento por *Trichoderma* spp., frente a dos cepas de Foc R2T.

#### 4.6 La fertilidad y la presencia de microorganismos en el suelo

En los ecosistemas naturales, los hongos y las bacterias permiten el reciclaje de los tejidos vegetales y el exoesqueleto de insectos que quedan en el suelo, transformándolos en materia orgánica; además.

Estos microorganismos tienen una función clave en la fertilidad del suelo y de las plantas, al participar en el ciclo del nitrógeno, azufre y fósforo. (Margulis y Dorian, s.f), dentro de esta diversidad biológica que vive en el suelo, varias especies de *Trichoderma* son capaces de solubilizar nutrientes del suelo que son necesarios para la planta, haciéndolos asimilables por las raíces, tal como el fósforo y micronutrientes como el hierro, cobre, zinc y magnesio (Altomare *et al.*, 1999).

Otros *Trichoderma* inducen la expresión del nitrato reductasa en plantas, enzima que convierte el nitrato en iones amonio (necesarios para el metabolismo del nitrógeno), mejorando la productividad y el crecimiento vegetal (Harman, 2000).

La investigación, se hizo sobre un suelo agrícola con bajo nivel de nitrógeno, las plantas de banano mostraron síntomas de deficiencia de nitrógeno a nivel de los peciolo y hojas. La mayor expresión de este síntoma se presentó en el testigo con peciolo finos, cortos y con bordes de color rojizo por la acumulación de antocianinas; clorosis o amarillamiento de las hojas.

La respuesta encontrada por la incorporación de cepas de *Trichoderma* spp., al suelo, permitió una disminución de estos síntomas en los tratamientos T249-13, T354-11, T358-11, T355-11 (comercial), T356-11, T400-15; mientras que los tratamientos T353-11 y T357-11, tuvieron similar respuesta que el testigo (Figura 23).



**Figura 23.** Deficiencia de nitrógeno mostradas en las vainas en banano. Nivel alto de deficiencia de nitrógeno en el peciolo: a. Testigo, b. T353-11, c. T357-11. Nivel medio a bajo: d. T249-13, e. T354-11, f. T358-11, g. T355-11, h. T356-11, i. T400-15.

Las respuestas de fertilización, observadas en las plantas por acción de las cepas incorporadas al suelo, son independientes a la acción de cada una de las cepas frente al patógeno en estudio; estos resultados dejan entrever que entre las cepas de *Trichoderma* spp., existen algunas cepas que pueden presentar más de una actividad biológica en el suelo en favor de los ecosistemas agrícolas.

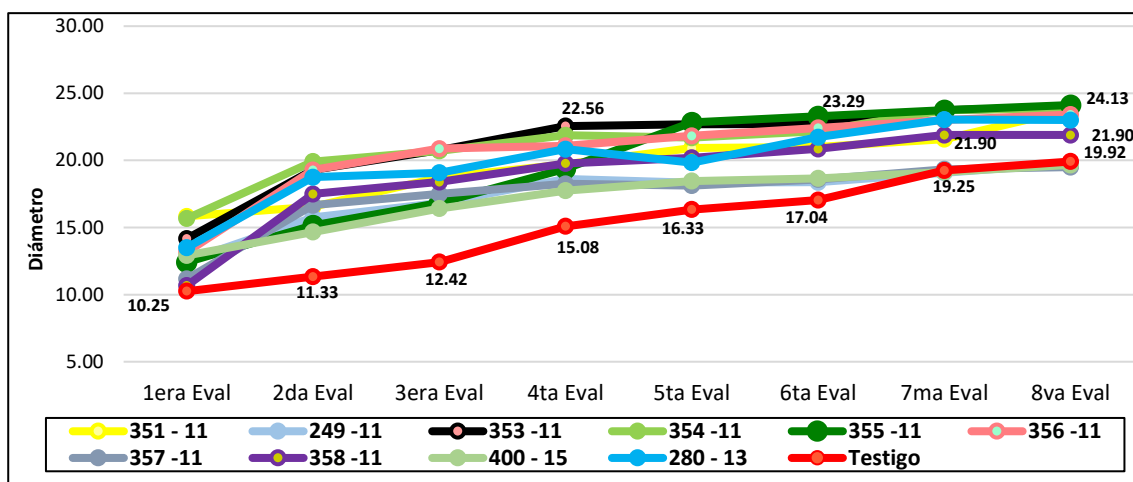
Estos resultados, bajo las condiciones que se realizó, muestran que las cepas de *Trichoderma* incorporados al suelo sobrevivieron de forma activa y que algunas cepas formaron nitrato reductasa en la planta, enzima que convierte el nitrato en iones amonio (Harman, 2000), lo cual ayudo que las plantas mejoren el uso de nitrógeno y disminuyeran los síntomas de deficiencia de en los peciolo.

Además, producen polisacáridos extracelulares (pegamentos naturales) y otros exudados celulares que mejoran la estructura del suelo y la estabilización de los agregados del suelo.

#### **4.7 Diámetro de pseudotallo y altura de planta.**

Los resultados muestran que, en todos los casos, las plantas han mostrado mayor desarrollo que el testigo, durante los 107 días de evaluación, sin embargo, los tratamientos T249-13, T357-11 y T400-15 (artesanal), alcanzan similar diámetro que el testigo.

Sobresalen los tratamientos T355-11 (comercial), T353-11, T354-11 y T356-11, al alcanzar su mayor diámetro entre la cuarta y octava evaluación; pero los tratamientos T355-11 (11.71), T358-11 (11.23) y T356-11 (10.25), muestra la mayor diferencia de diámetro entre la evaluación inicial y la final (Figura 24).

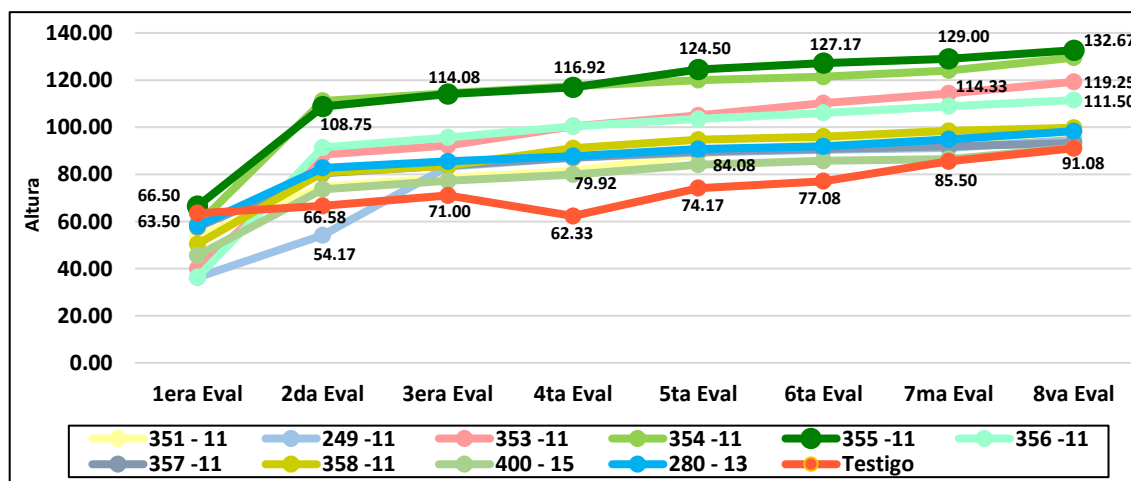


**Figura 24.** Diámetro de Pseudotallo por efecto de los tratamientos.

En los tratamientos T355-11 (comercial), T354-11, T353-11, y T356-11, el diámetro final registrado es superior a los demás tratamientos, oscilando entre 23.00 cm. y 23.75 cm., el tratamiento T355-11 y T356-11 muestran el mayor incremento de diámetro de pseudotallo con 11.33 y 9.83 cm. alcanzados a los 107 días de evaluación del experimento.

En los tratamientos, T351-11, T249-13, T357-11 y T400-15 (artesanal), el incremento de diámetro de la planta fue menor al registrado en el testigo (9.00 cm.).

El desarrollo de una planta es producto de varios factores, como sanidad, fertilidad del suelo y el desarrollo de su cabellera radicular, a más volumen de raíces mayor posibilidad de toma de agua más nutrientes. La presencia *Trichoderma* en el suelo, puede incentivar el desarrollo de una mayor cabellera radicular y el desarrollo de una mayor altura de planta, es probable que la incorporación al suelo de este antagonista esté relacionada con la altura de las plantas de banano.



**Figura 25.** Altura de planta por efecto de los tratamientos.

La mayor altura de planta se logra con los tratamientos T355-11, T354-11, T353-11, y T356-11; coincidiendo con el mayor incremento de diámetro de Pseudotallo en los tratamientos T355-11 y T356-11; de estos, el tratamiento T356-11 alcanza el mayor incremento en altura de planta, con 72.59 cm. (Figura 25).

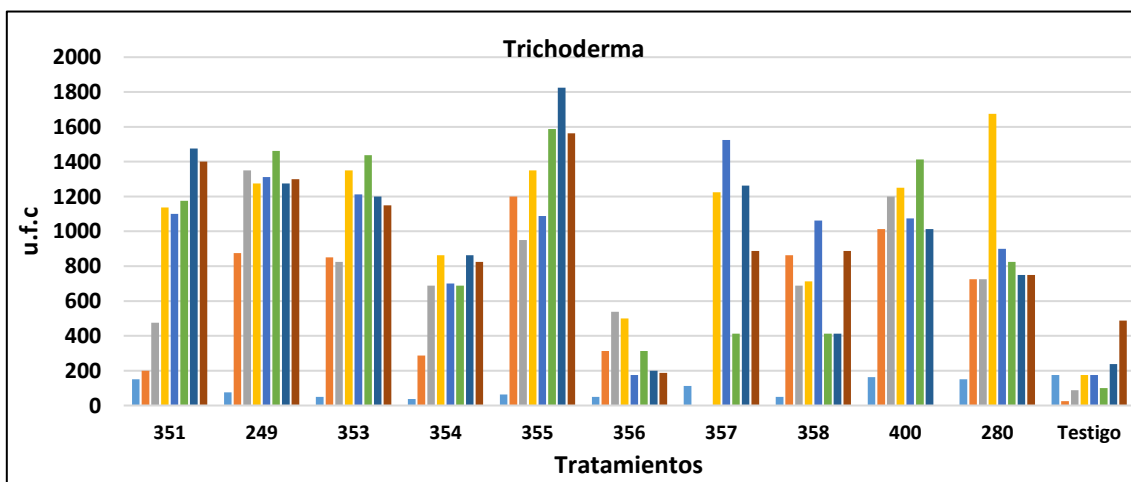
#### 4.8 Población de microorganismos, formados por efecto de los tratamientos

La población de *Trichoderma* en el suelo, está conformadas por la población nativa y la población incorporada; de los tratamientos incorporados se ha encontrado que el tratamiento T355-11 (comercial) genera una población ascendente de *Trichoderma* en el suelo (Figura 26).

Todos los tratamientos han mostrado capacidad para incentivar las poblaciones de *Trichoderma* nativos en el suelo, sobresaliendo los tratamientos T355-11 (comercial), T249-13, T400-15 (artesanal), T351-11 y el T353-11; el tratamiento T356-11 muestra la población más baja, superando al testigo.

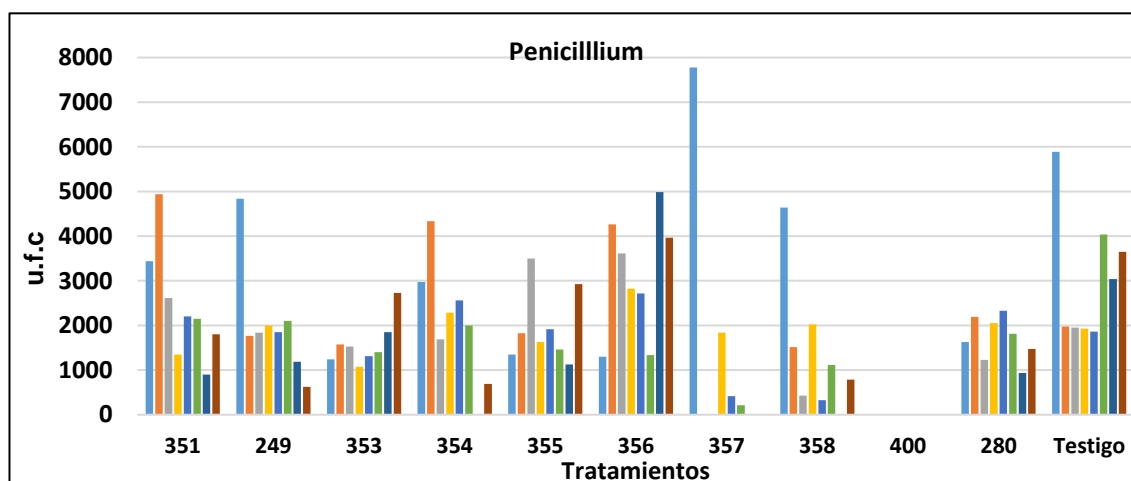
El desarrollo de *Trichoderma* en el suelo, está determinado por las condiciones del medio ambiente y la cantidad de nutrientes disponible en el suelo. La materia orgánica es la principal fuente de energía para *Trichoderma*,

la disponibilidad de los nutrientes disponibles dependerá del nivel de degradación de la materia orgánica.



**Figura 26.** Efecto de los tratamientos en la población de *Trichoderma* en el suelo.

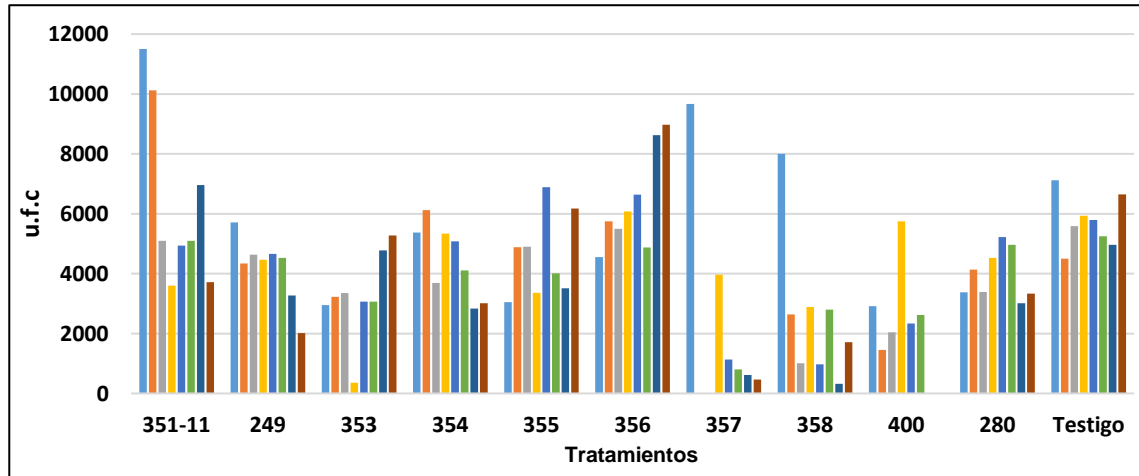
*Penicillium* junto a *Trichoderma*, tienen capacidad para afectar el desarrollo de microorganismos en el suelo, pueden fácilmente invadir el suelo y producir sustancias tóxicas producto de su metabolismo (antibiosis) que afecten a los fitopatógenos en el suelo. Los tratamientos T357-11, T358-11, T400-15 (artesanal), T353-11 y T280-13 muestran poblaciones más bajas que el testigo, no ocurre lo mismo con el tratamiento T356-11 y T351-11 que presenta mayor población que el testigo. (Figura 27).



**Figura 27.** Efecto de los tratamientos en la población de *Penicillium* en el suelo.

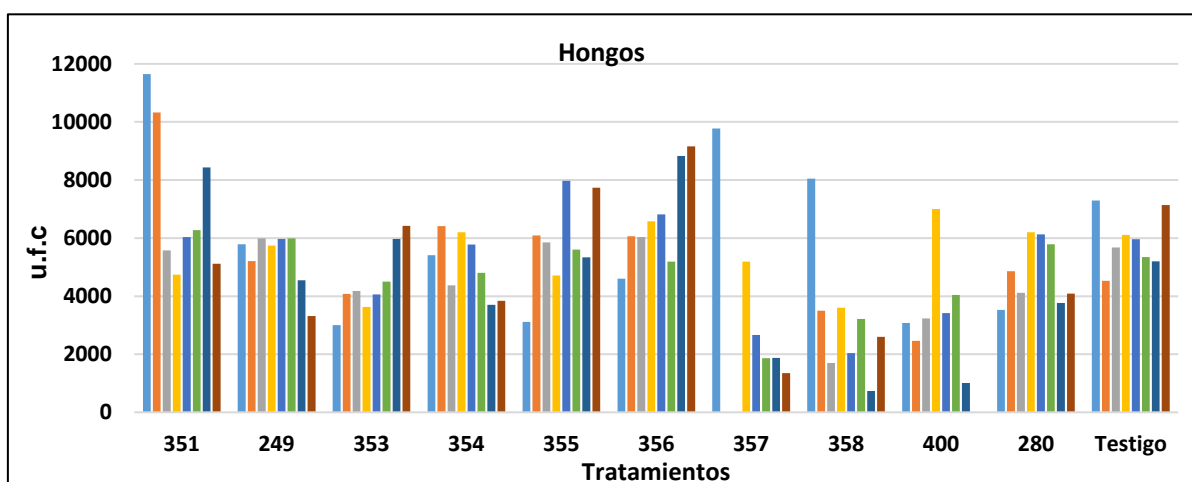
Los hongos degradadores de la materia orgánica, son un grupo de hongos que participan activamente en la degradación de los tejidos vegetales, que

caen al suelo, uno de los microorganismos que mayormente se beneficia con la actividad de estos organismos, son las cepas de Trichoderma. Los tratamientos 357-11, 358-11 y 400-15 no incentivaron las poblaciones de hongos degradadores de la materia orgánica (Figura 28).



**Figura 28.** Efecto de los tratamientos en la población de Degradadores de la materia orgánica en el suelo

La población total de hongos, registradas en este ensayo, muestran el efecto de los tratamientos aplicados al suelo, en todos los casos destacan los tratamientos T356-11, T355-11 (comercial), T351-11 y T249-13, no así, los tratamientos T357-11, T358-11, T400-15 y T280-13 (artesanal) no incentivaron la vida microbiana del suelo (Figura 29).

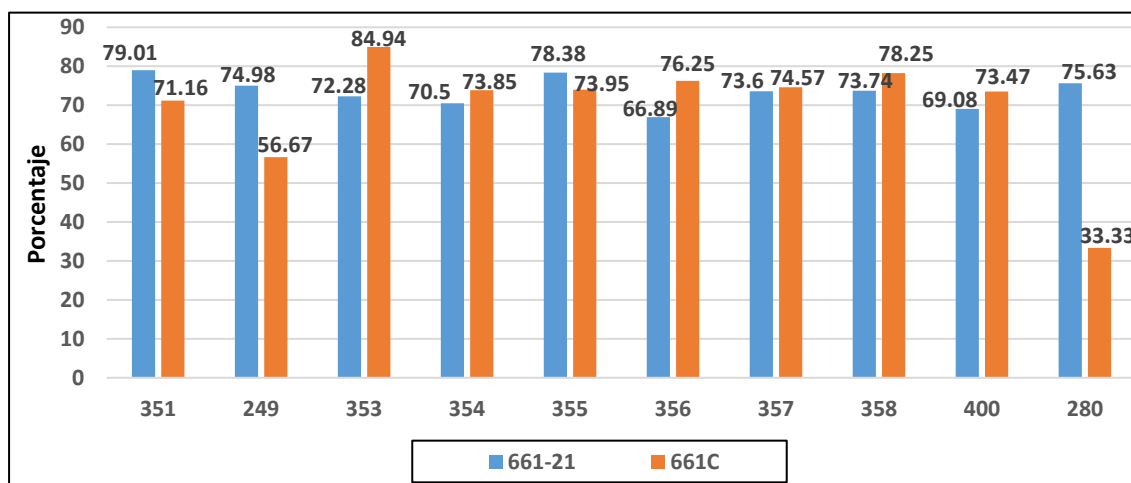


**Figura 29.** Efecto de los tratamientos en la población de Hongos en el suelo.

## DISCUSIÓN

De las 10 cepas de *Trichoderma* estudiadas, la cepa comercial de *T. harzianum* (T355-11), las cepas T351-11, T353-11, T354-11, T357-11 y T358-11, muestran un buen nivel de eficacia (71.16 % a 84.94 %) contra las dos cepas de *Fusarium oxysporum* R2T, garantizando la capacidad de biocontrol desarrollada por *Trichoderma* frente a este patógeno.

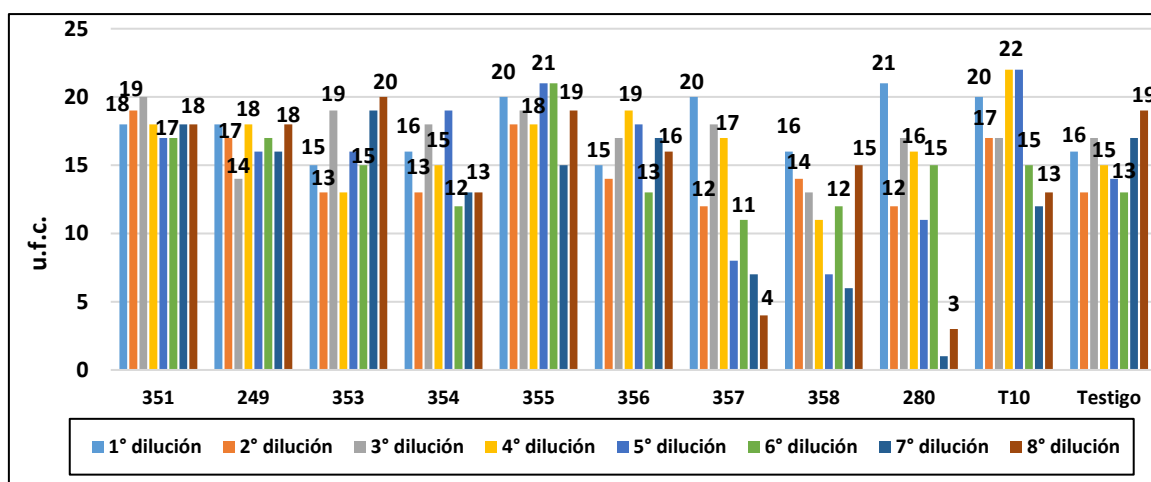
Aun cuando el número de mecanismos de acción desarrollados por las cepas sean mayor en uno que en otros, esto no garantiza la eficacia de la cepa para controlar a un fitopatógeno como *Fusarium*, de ahí que la cepa T280-13, con un solo mecanismo (Lisis), presente mayor eficacia frente la cepa de *Fusarium* F661-21 (75.63 %) que frente a la Cepa F661C-23 (33.33 %); similar respuesta se ha encontrado con la cepa T355-11 frente a la cepa de *Fusarium* F661C-23 (73.95 %) y la cepa F661-21(78.38 %) (Figura 30).



**Figura 30.** Eficacia de diez cepas de *Trichoderma* spp. frente a, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R2T).

Las cepas de *Trichoderma* pueden incentivar la vida microbiana en el suelo y su efecto es evidente con la presencia de diferentes tipos de microorganismos que cumplen funciones diferentes, en todos los casos se observó diversidad biológica en la población de hongos en el suelo; solo en la cepa T357-11 las poblaciones decrecen alcanzando las poblaciones más bajas entre la cuarta y la octava

evaluación. Las cepas T351-11 y T355-11 la diversidad biológica se mantiene altas durante todo el proceso de desarrollo del ensayo (Figura 31).



**Figura 31.** Efecto de los tratamientos en la diversidad de Hongo en el suelo

La actividad microbiana, juega un papel importante en la fertilización y en la nutrición de los suelos, la presencia de numerosas especies de microorganismos en un mismo género con características distintas, sustentan la existencia de un suelo saludable y el desarrollo de una planta sana. La respuesta observada nos indica que no todos los *Trichoderma* tienen la misma capacidad frente a un fitopatógeno o frente a un determinado ambiente, de ahí que se observan dos grupos de respuesta de *Trichoderma* en el suelo; los que han incentivado el desarrollo o los que han limitado el desarrollo de hongos.

También se ha encontrado que el crecimiento de *Trichoderma* está influenciada por la calidad de la materia orgánica en el suelo, el mayor crecimiento se da en una materia orgánica bien degradada, observándose la colonización de las cepas en el sustrato. No ocurre lo mismo en una materia orgánica poco degradada, donde *Trichoderma* compete con cepas de *Mucor* spp., *Fusarium* spp. o bacterias comprometidas con la degradación de la materia orgánica en el suelo, la mayoría de casos de los suelos evaluados estuvieron dentro de esta categoría. *Trichoderma*, además de ser un invasor de los espacios, aprovecha los nutrientes de la materia orgánica favoreciendo su desarrollo y su capacidad de antagonismo frente a un fitopatógeno como *Fusarium*.

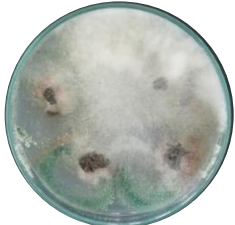
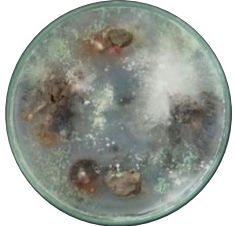
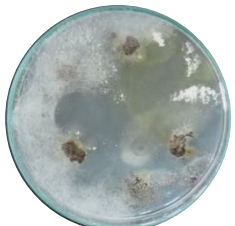

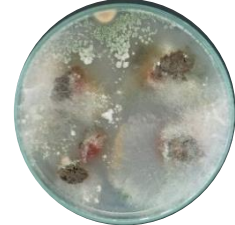
El tipo de manejo que realiza el agricultor en sus campos afecta la vida microbiana de los suelos y su capacidad de degradación. Aun cuando la fuente de agua sea la misma, al aportar cierto tipo de microorganismos al suelo, la microbiota en cada suelo dependerá del manejo del cultivo. La materia orgánica de diferentes campos agrícolas, muestran diferente grado de degradación, que se expresa con la presencia o ausencia de *Trichoderma* nativos; su presencia en el suelo, indica un grado de transformación de los residuos de cosecha en un material orgánico disponible para los microorganismos en el suelo; *Trichoderma* spp, favorece la presencia de otros microorganismos, por la acción de bio remediación que realiza al producir compuestos orgánicos que favorecen el cambio de pH en el suelo.

El mejor control frente a *Fusarium oxysporum* R2T, en el suelo, se da con la presencia de *Trichoderma* nativos, por su capacidad antagónica y colonización de los sustratos (como la materia orgánica), el desarrollo de este antagonista en el suelo depende de la cantidad de energía que obtenga de una materia orgánica bien degradada.

En una evaluación del tipo de materia orgánica existente en un suelo de un campo bananero, se encontró que, de seis campos de banano evaluados, sólo en dos de ellos desarrollo *Trichoderma* spp., cubriendo el 50% de la placa conteniendo PDA, en los demás campos *Trichoderma* spp. desarrollo sólo en un 25 %. Estos resultados dejando entrever de la escasa capacidad de antagonismo que se puede presentar en un suelo, para que compita con un fitopatógeno como *Fusarium oxysporum* R4T. (Figura 32).

*Trichoderma* ejerce un control antagónico mediante la competencia por espacio y el hiperparasitismo sobre *Fusarium* Raza 2 Tropical. Confirmándose que el micoparasitismo y la antibiosis son mecanismos clave en el biocontrol ejercido por *Trichoderma*, reforzando la idea de que estos hongos antagonistas emplean una combinación de estrategias para mitigar el avance de fitopatógenos (Mayorga et al., 2024).

**Figura 32:** Desarrollo de *Trichoderma harzianum*, en diferentes tipos de materia orgánica de campos de banano

Campo de banano	<i>Trichoderma</i> spp.	Grado
Campo PM1		I: <i>Trichoderma</i> cubre hasta un 25% de la placa
Campo PM2		II: <i>Trichoderma</i> cubre hasta un 50% de la placa
Campo PM3		I: <i>Trichoderma</i> cubre hasta un 25% de la placa
Campo PM4 Piura		I: <i>Trichoderma</i> cubre hasta un 25% de la placa.
Campo I		0: <i>Trichoderma</i> cubre hasta un 25% de la placa
Campo PM - I		II: <i>Trichoderma</i> cubre hasta un 50% de la placa

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

1. Las cepas de *Trichoderma* T355 - 11 y T358 – 11; presentaron mecanismos de acción frecuentes como Granulación y Lisis y, en menor nivel, Fragmentación, Vacuolización, Perforación, Penetración y Enrollamiento.
2. La eficacia mostrada por la cepa comercial de *T. harzianum* (T355 - 11) y las T351-11, T353-11, T354-11, T357-11 y T358-11 con 71.16 % a 84.94 %, contra las dos cepas de *Fusarium oxysporum* R2T, garantizan la capacidad de bio control de *Trichoderma* frente a este patógeno.
3. Aun cuando el número de mecanismos de acción desarrollados por las cepas sean mayor uno que en otros, esto no garantiza la eficacia de una cepa para controlar a un fitopatógeno como *Fusarium*, de ahí que la cepa T280 – 13, con un solo mecanismo (Lisis), presenta mayor eficacia frente a la cepa de *Fusarium* F661 - 21 (75.63 %) que frente a la Cepa F661C-23 (33.33 %); similar respuesta se encontró con la cepa T355 - 11 frente a la cepa de *Fusarium* F661C-23 (73.95 %) y F661 -21(78.38 %).
4. *Trichoderma* spp., incentiva la vida microbiana del suelo, sobresaliendo los tratamientos T355-11 (comercial), T249-13, T400-15 (artesanal), T351-11 y el T353-11.
5. Las cepas de *Trichoderma* spp., mostraron un buen control de *Fusarium* FOC R2T a través de diferentes mecanismos de acción, con un buen nivel de eficacia de 71.16 % a 84.94 % e incrementaron la vida microbiana del suelo; papel fundamental para el desarrollo de esta actividad en el suelo es la presencia de una materia orgánica de calidad.

## **CAPÍTULO VI**

### **RECOMENDACIONES**

1. Realizar trabajos de investigación a nivel de campo comercial que nos permita ratificar los resultados obtenidos en condiciones controladas.
2. Realizar estudios a nivel de campo con las cepas de mayor eficacia frente a *Fusarium* spp.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altomare, C., Norvell, W.A., Björkman, T. and Harman, G.E. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Appl Environ Microbiol.* 65(7):2926-33.
- Andrade-Hoyos, P.; Luna-Cruz, A.; Osorio-Hernández, E; Molina-Gayosso, E.; Landero-Valenzuela, N.; Barrales-Cureño, H. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs hongos asociados a la marchitez de Chile. *Revista mexicana de Ciencias agrícolas.* Vol.10 N°6. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-+09342019000601259&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-+09342019000601259&script=sci_arttext)
- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023). Ecological and biological benefits of the cosmopolitan fungus *Trichoderma* spp. in agriculture: A perspective in the Mexican countryside. *Revista Argentina de Microbiología.* <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Babar Khan, et al., (2017). Antagonistic potential of *Trichoderma harzianum* against fusarium oxysporum f. sp. cubense associated with panama wilt of banana. *Pak. J. Phytopathol.*, Vol. 29 (01) 2017. 111-116.
- Bubici G, Kaushal M, Prigigallo MI, Cabanás CGL and Mercado-Blanco J. (2019). Biological control agents against Fusarium wilt of banana. *Frontiers in Microbiology* 10:616. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.00616/full>.
- Buritaca, HM, Mejía, M, Álvarez, M, (2017). Aislamiento de Microorganismos en diferentes ambientes (suelo, agua y aire). Vol. 6. [https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente\\_joven.0.2017.3666](https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente_joven.0.2017.3666)
- Companioni, B., Domínguez, G., García, R. (2019). *Trichoderma*: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Biotecnología vegetal.* Vol. 19. N° 4. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-86472019000400237](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000400237) [Consultado: 06 enero 2022].
- Cortes-Hernández, F., Alvarado-Castillo, G., Sánchez-Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión.

Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. XXV, núm.2, Pag 2. Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia.

DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>

- Dennis C., Webster J. (1971). Antagonistic properties of species groups of *Trichoderma* production of volatile antibiotics. Transactions of the British Mycological Society 1:57-41
- Díaz, Y. (2019). Aislamiento y caracterización de cepas nativas de *Bacillus* spp y *Trichoderma* spp de la rizósfera de cafeto con potencial antagonista frente a *Fusarium oxysporum* del Valle de Monzón – Huánuco-Perú. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10188/Diaz\\_c\\_y.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10188/Diaz_c_y.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Dita, M.; Garming, H.; Van Den Bergh, I.; Staver, C.; Lescot, T. (2013). Banana in Latin American and the Caribbean: Current state challenges and perspectives. Acta Horticulturae. 986(986):365-380. 10.17660/ActaHortic.2013.986.39
- Dita, M., M. Barquero, D. Heck, E.S.G. Mizubuti, and C.P. Staver. (2018). *Fusarium* wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. Front. Plant Sci. 9:1468. doi:10.3389/fpls.2018.01468
- Djonovic, S., Djonovic, D., Vargas, W. A., Kolomiets, M. V, Horndeski, M., Wiest, A., & Kenerley, C. M. (2020). A Proteinaceous Elicitor Sm1 from the Beneficial Fungus *Trichoderma virens* Is Required for Induced Systemic Resistance in Maize 1[W]. <https://doi.org/10.1104/pp.107.103689>
- Ezziyyani, M., Pérez, S., Requena, M., Rubio, L., Candela, M. (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei* –Ziyani–, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. Ann. de Biol. 26:69-78
- Florencio-Anastasio JG, García-Ávila CJ, Alarcón A, Ferrera-Cerrato R, Quezada-Salinas A, Almaraz-Suárez JJ, Moreno-Velázquez M and Hernández-Ramos L. (2022). Effectiveness of antagonistic bacteria, commercial fungicides, and fourth generation quaternary ammonium salts, against *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense race “1 or 2”. European Journal of Plant Pathology 163:719–731. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02510-0>.
- French, E., Teddy, R., Herbert, T. (1980). Métodos de investigación fitopatológica y aislamiento de fitopatógenos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica).

- Takegne, E.R. (2018). Selección de cepas de *Trichoderma* y *Pseudomonas* para el control de *Alternaria solani* Sor. en papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas. Mayabeque, Cuba.
- García, S., Moya, J., Avilés, E., Andújar F., Nuñez, P. (2015). Efectividad de *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento micelial de fitopatógenos de suelo en plato Petri. Revista APF 4(2): 43-66. Disponible en: [http://www.sodiaf.org.do/revista/sodiaf/vol4\\_n2\\_2015/articulo/43\\_66\\_APF\\_V04\\_N02\\_2015.pdf](http://www.sodiaf.org.do/revista/sodiaf/vol4_n2_2015/articulo/43_66_APF_V04_N02_2015.pdf)
- García-Bastidas, F., J. Quintero-Vargas, M. Ayala-Vasquez, T. Schermer, M. Seidl, M. Santos-Paiva, A.M. Noguera, C. AguileraGalvez, A. Wittenberg, A. Sørensen, R. Hofstede, and G.H.J. Kema. (2019). First report of Fusarium wilt Tropical Race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. Plant Dis. Doi:10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN
- Garrido, R. M. & Vilela, S. N. (2019). Capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* frente a *Rhizoctonia*, *Nakatea sigmoidea* y *Sclerotium rolfsii* y su efecto en cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de cultivos de arroz. Scientia Agropecuaria, 10, 199–206. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.05>
- González M. (2024). Evaluación de la sensibilidad y el efecto sinérgico de *Trichoderma* spp. Y fungicidas sistémicos y no sistémicos para inhibir en condiciones *in vitro* el crecimiento de *Fusarium oxysporum*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador.
- González-García, H., González, A., Pineda, M., Escalante-García, H., Rodríguez-Yzquierdo, G., Soto-Bracho, A. (2021). Microbiota edáfica y lotes de plátano con vigor contrastante y su relación con propiedad del suelo. Bioagro 33(2): 143-148. Doi: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.8>
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M., Mercado-Flores, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. Universidad Nacional Autónoma de México. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25: 1-14, 2022. Doi: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- González-León, Y., Anducho-Reyes, M. A., Cartagena-Luna, A. & Mercado-Flores, Y. (2020). Capítulo 10. Agricultura sostenible: herramienta para la soberanía alimentaria. En: Marroquín, J. A., Olivares-Ramírez, J. M., Cruz-Carpio, L. E.

& Bautista-Jiménez, A. (Eds). Mujeres en la Ciencia, Handbooks T-VIII. (pp. 142-152). México: ECORFANMexico, S. C.

<http://doi.org/10.35429/H.2020.8.142.153>

Guo, L., L. Yang, C. Liang, G. Wang, Q. Dai, and J. Huang. (2015). Differential colonization patterns of bananas (*Musa* spp.) by physiological race 1 and race 4 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *J. Phytopathol.* 163:807-817. doi:10.1111/jph.12378

Guzmán-Guzmán, P., Porrás-Troncoso, M. D., Olmedo-Monfil, V. & Herrera-Estrella, A. (2019). *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109, 6–16. <http://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>

Harman, G.E. (2000). Myths and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Dis.* 84:377-93.

Ibarra-Villarreal, A.; Gándara-Ledezma, A.; Godoy-Flores, A.; Díaz-Rodríguez, A. M.; ParraCota, F. I. and De los Santos, V. S. (2021). Salt-tolerant bacillus species as a promising strategy to mitigate the salinity stress in wheat (*Triticum turgidum* subsp. durum). *J. Arid Environ.* 186:104399.

Klaram R., Jantasorn A., Dethoup T. (2022). Efficacy of marine antagonist, *Trichoderma* spp. as halo-tolerant biofungicide in controlling rice diseases and yield improvement. *Biological Control* 104985. DOI:10.1016/j.biocontrol.2022.104985

Konappa N., Arakere U.C., Krishnamurthy S., Chowdappa S., Jogaiah S. (2022). Exploring the potential role of *Trichoderma* as friends of plants foes for bacterial plant pathogens. In *Biopesticides*. pp. 383-399. *Woodhead Publishing*. DOI:10.1016/B978-0-12-823355-9.00002-X [ [Links](#) ]

Lara, F. (2009). Uso de bacterias endofíticas para el control biológico del Mal de panama (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) en el cultivar Gros Mivhael (AAA). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis de Maestría.

Li, C., J. Yang, W. Li, J. Sun, and M. Peng. (2017). Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish. *Plant Dis.* 101:2073-2078. doi:10.1094/PDIS-04-17-0467-RE




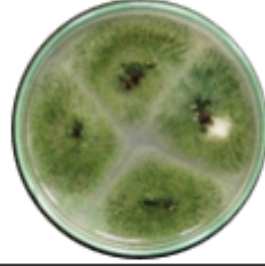
Llicahua, D. (2018). Aislamiento y efecto antagonista “in vitro” de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* sp. del cultivo de cebolla de los distritos de Santa Rita de

- Siguas y de Tiabaya- Arequipa-2018. Disponible en: <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/6775/Blllcudv.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consultado: 06 de enero 2022].
- Martínez, B., Infante, D., Peteira, B. (2015). Taxonomía polifásica y variabilidad en el género *Trichoderma*. Revista Protección vegetal Vol. 30. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v30s1/rpv004s15.pdf> [Consultado: 05 de enero 2022].
- Mayorga M, K.R., Solís H, Z.K., Terrero Y.P.I., Hoyos M, M.A. (2024). Interacciones antagónicas entre *Trichoderma* spp. y *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* R1: un estudio *in vitro* sobre competencia y antibiosis. Pro Ciencias, Revista de producción científica de producción.
- Morel, M., García, S., Castillo, Y., Moya, J., Rengifo, D., Reinoso, T., y N. Martínez. (2021). Aislamiento y selección de hongos endófitos nativos con potencial antagónico a nematodos fitoparásitos en banano en las provincias Valverde y montecristi. Revista Agropecuaria y Forestal APF-Vol 10. (01): 11: 24.
- OIRSA. (2013). Plan de contingencia ante un brote de la raza 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, en un país de la región del OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Disponible en: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/PlandecontingenciacontraFocR4TOIRSA.pdf>
- OIRSA. (2018). *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raza 4 tropical. Ficha Técnica: Categorización de plagas. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria OIRSA. 14 p.
- Pegg, K. G., Coates, L. M., O'Neill, W. T., & Turner, D. W. (2019). The Epidemiology of *Fusarium* Wilt of Banana. *Frontiers Plant Science*, 10, 1395.
- Ploetz, R.C. (2015). *Fusarium* wilt of banana. *Phytopathology* 105:1512-1521. doi:10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW
- Ploetz, R.C. (2006). *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*. *Phytopathology* (USA). 96(6):653-656. 10.1094/PHYTO-96-0653
- ProMusa. (2018). *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4 Tropical. Distribution Cycle life. Disponible en: <http://www.promusa.org/Tropical+race+4+-+TR4#Distribution>

- Reaves, J., Crawford, R. (1994). In Vitro colony interactions among species of *Trichoderma* with inference toward biological control.
- Samaniego Fernández, L. M., Harouna, M., Corbea, O., Rondón Castillo, A. J. y Placeres Espinosa, I. (2018). Aislamiento, identificación y evaluación de cepas autóctonas de *Trichoderma* spp. antagonistas de patógenos del suelo. *Revista de Protección Vegetal*, 33 (3), e02.
- Saravanakumar K., Li Y., Yu C., Wang Q., Wang M., Sun J. Chen J. (2017). Effect of *Trichoderma harzianum* on maize rhizosphere microbiome and biocontrol of *Fusarium* Stalk rot. *Scientific Reports*. 7: 1771.
- Shenouda M.L., Cox R.J. (2021). Molecular methods unravel the biosynthetic potential of *Trichoderma* species. *The Royal Society of Chemistry's* 11(6), 3622-3635. <https://doi.org/10.1039/D0RA09627J>.
- Sigüeñas, J. A., Angulo, R. C., Cruz, S. C., Díaz, J., Puelles, C. M., Alayo, G., & Muñoz, M. (2015). Especies de *Trichoderma* aislados de suelos de cultivo de *Solanum tuberosum* de Huamachuco, Perú. 2012. *Rebiol*, 34(2), 38–43.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, M. S., Ramakrishnan, M., Landi, M., Araniti, F. & Sharma, A. (2020). *Trichoderma*: The “Secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants*, 9, 762. Doi: <http://doi.org/10.3390/plants9060762>.
- Utrilla, G. (2021). *Trichoderma* como alternativa frente a los agroquímicos. [Tesis]. Universidad Científica del Sur. Lima-Perú. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1873/TB-Utrilla%20G.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ynfante-Martínez, D., Martínez-Coca, B., Peteira-Delgado, B., Reyes-Duque, Y., Gil, K., Simpson, J., Herrera-Estrella, A. (2023). Caracterización morfo – cultural y variabilidad genética *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. Volumen XXV (1): 194-203 Universidad de Sonora.  
DOI: 10.18633/biotecnica.v25i2.1890
- Zeilinger S., Atanasova L. (2020). Sensing and regulation of mycoparasitism-relevant processes in *Trichoderma*. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 39-55). Elsevier. DOI:10.1016/B978-0-12-819453-9.00002-7

## ANEXOS

Escala para determinar el desarrollo de Trichoderma en la Materia orgánica en el suelo

Grado	Descriptiva	Gráfica
0	Crecimiento extenso de microorganismos comprometidos con la degradación de la materia orgánica y presencia limitada de fitopatógenos.	
I	Crecimiento extenso de microorganismos comprometidos con la degradación de la materia orgánica, presencia de fitopatógenos y un desarrollo de Trichoderma que cubre hasta un 25% de la placa.	
II	Crecimiento de microorganismos comprometidos con la degradación de la materia orgánica, presencia de fitopatógenos y un desarrollo de Trichoderma que cubre un 50% de la placa.	
III	Crecimiento limitado de microorganismos comprometidos con la degradación de la materia orgánica, presencia de fitopatógenos y un desarrollo extenso de Trichoderma que cubre un 75% de la placa.	
IV	Desarrollo extenso de Trichoderma que cubre el 100% de la placa.	



## INFORME DE RESULTADOS

### Identificación molecular

*Atención:*  
**Srta.**  
**Nasstie Vilela**  
**Universidad Nacional de Tumbes**

---

#### Datos de las muestras

Muestras	Conservación	Presentación	Análisis
4 muestras	Cadena de frío	Medio sólido	Secuenciamiento por electroforesis capilar (región ITS)

Fecha: 09/03/2024

## 1. Procesamiento de las muestras

### 1.1 Extracción de ADN

La extracción de ADN se realizó mediante el kit Quick-DNA™ Fungal/Bacterial Miniprep (Zymo Research) de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

### 1.2 PCR y secuenciamiento

La PCR se realizó mediante la amplificación de la región ITS con los iniciadores ITS1 e ITS4 (White *et al.*, 1990), haciendo uso del ADN previamente extraído. Se usó la enzima Phusion High-Fidelity DNA Polymerase para la síntesis de productos de PCR.

Secuencia de iniciadores usados en la identificación:

<b>ITS1</b>	TCCGTAGGTGAACCTGCGG
<b>ITS4</b>	TCCTCCGCTTATTGATATGC

El producto de PCR fue secuenciado por Electroforesis Capilar por Macrogen (Chile) y su identificación fue realizada mediante comparación con la Base de datos universal de genomas del NCBI.

## 2. Resultados

### 2.1 Identificación molecular

**Tabla 1:** Datos del análisis de identificación molecular

Nº	Muestra	Cobertura (%)	Identidad (%)	E-value	Identificación Molecular	Genoma de Referencia	Observaciones
01	661-21	99	100	0.0	<i>Fusarium oxysporum</i>	MN602842.1	
02	661-C-23	99	99.81	0.0	<i>Fusarium oxysporum</i>	OM956394.1	
03	662-21	100	99.48	0.0	<i>Fusarium oxysporum</i>	ON365710.1	
04	672-22				<i>Fusarium sp.</i>	–	Re-secuenciar
05	673-22	99	100	0.0	<i>Fusarium brachygibbosum</i>	PP344799.1	

## 3. Referencias bibliográficas

White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. W. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, p. 315-322. In M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White (ed.), PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, Inc., New York, N.Y.











