

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,  
Volumen 9, Número 4.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2)

# **EFICIENCIA DEL ANTAGONISTA TRICHODERMA SPP., SOBRE FUSARIUM OXYSPORUM R1 EN LABORATORIO Y VIVERO**

**EFFICIENCY OF THE ANTAGONIST TRICHODERMA SPP.,  
ON FUSARIUM OXYSPORUM R1 IN THE LABORATORY  
AND NURSERY**

**Andrea Daniela Veloz Castillo**

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Edgar Elian Echeverria Espinoza**

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**José Nicasio Quevedo Guerrero**

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Ivanna Gabriela Tuz-Guncay**

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i4.19112](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19112)

## Eficiencia del antagonista *Trichoderma* Spp., sobre *Fusarium Oxysporum* R1 en Laboratorio y Vivero

Andrea Daniela Veloz Castillo<sup>1</sup>  
[aveloz1@utmachala.edu.ec](mailto:aveloz1@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0005-9835-2833>  
Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

José Nicasio Quevedo Guerrero  
[jnquevedo@utmachala.edu.ec](mailto:jnquevedo@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>  
Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

Edgar Elian Echeverría Espinoza  
[eecheverr3@utmachala.edu.ec](mailto:eecheverr3@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-0451-5318>  
Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

Ivanna Gabriela Tuz-Guncay  
[itutuz@utmachala.edu.ec](mailto:itutuz@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0085-3495>  
Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

### RESUMEN

La marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* R1 es una de las principales limitantes fitosanitarias del cultivo de banano, provocando considerables pérdidas productivas y económicas. Ante este problema, el uso de microorganismos antagonistas como *Trichoderma spp.* surge como una alternativa ecológica sostenible dentro del manejo integrado de enfermedades. En esta investigación se evaluó la eficiencia de *Trichoderma spp.* para inhibir el desarrollo de *Fusarium oxysporum* R1 bajo condiciones controladas de laboratorio y vivero. Se establecieron cuatro tratamientos con diferentes estrategias de inoculación: aplicación preventiva de *Trichoderma spp.*, antes del patógeno *Fusarium oxysporum* R1 (T1); aplicación posterior de *Trichoderma spp.*, al establecimiento de *Fusarium oxysporum* R1., (T2); aplicación simultánea de ambos microorganismos (T3) y un testigo absoluto sin inoculación (T4). Los resultados demostraron que la aplicación simultánea de *Trichoderma spp.*, con *Fusarium oxysporum* R1., presentó la mayor efectividad del antagonista, reduciendo significativamente la severidad de la enfermedad y favoreciendo el crecimiento vegetativo de las plantas. La aplicación preventiva de *Trichoderma spp.*, también mostró resultados positivos, mientras que la aplicación posterior de *Trichoderma spp.*, resultó menos efectiva debido a la instalación previa del patógeno. Se concluye que *Trichoderma spp.*, constituye una herramienta viable para mitigar la marchitez vascular del banano, contribuyendo a la sostenibilidad del cultivo y reduciendo la dependencia de fungicidas.

**Palabras Clave:** trichoderma, fusarium, control, biológico, marchitez

---

<sup>1</sup> Autor principal  
Correspondencia: [aveloz1@utmachala.edu.ec](mailto:aveloz1@utmachala.edu.ec)

# Efficiency of the Antagonist *Trichoderma* Spp., on *Fusarium Oxysporum* R1 in the Laboratory and Nursery

## ABSTRACT

Vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* R1 is one of the main phytosanitary limitations of banana crops, causing considerable production and economic losses. Faced with this problem, the use of antagonistic microorganisms such as *Trichoderma* spp. emerges as a sustainable ecological alternative within integrated disease management. In this research, the efficiency of *Trichoderma* spp. in inhibiting the development of *Fusarium oxysporum* R1 was evaluated under controlled laboratory and nursery conditions. Four treatments with different inoculation strategies were established: preventive application of *Trichoderma* spp., before the pathogen *Fusarium oxysporum* R1 (T1); subsequent application of *Trichoderma* spp., after the establishment of *Fusarium oxysporum* R1., (T2); simultaneous application of both microorganisms (T3); and an absolute control without inoculation (T4). The results demonstrated that the simultaneous application of *Trichoderma* spp. with *Fusarium oxysporum* R1. presented the greatest effectiveness of the antagonist, significantly reducing disease severity and promoting vegetative growth of the plants. Preventive application of *Trichoderma* spp. also showed positive results, while subsequent application of *Trichoderma* spp. was less effective due to the prior establishment of the pathogen. It is concluded that *Trichoderma* spp. constitutes a viable tool for mitigating vascular wilt in banana, contributing to crop sustainability and reducing dependence on fungicides.

**Keywords:** trichoderma, fusarium, biological control, wilt

*Artículo recibido 05 julio 2025*

*Aceptado para publicación: 25 julio 2025*



## INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano (*Musa × paradisiaca*) especialmente del grupo Cavendish, representa una actividad estratégica para la economía y seguridad alimentaria de Ecuador. Este país es uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, y su producción continua durante todo el año lo convierte en un pilar del desarrollo agrícola nacional (FAO, 2004). No obstante, esta industria se ve amenazada por enfermedades devastadoras como el “Mal de Panamá”, causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), que compromete seriamente la sostenibilidad del cultivo.

La raza 1 (R1) de este patógeno ha tenido un impacto histórico sobre variedades como Gros Michel y aún representa un riesgo importante para algunas variedades Cavendish cultivadas en condiciones favorables para el desarrollo del hongo. Esta cepa provoca marchitez progresiva, necrosis del cormo y colapso vascular, lo que lleva a la pérdida total de las plantas afectadas (Stover y Waite, 1960). Una de las principales dificultades en su manejo radica en su persistencia en el suelo, puede sobrevivir durante años incluso en ausencia del hospedero, haciendo ineficaces muchas prácticas convencionales de control.

Ante esta problemática, el uso de hongos antagonistas como *Trichoderma* spp., surge como una alternativa sostenible y ecológica. *Trichoderma* spp., es un hongo filamentoso saprófito que actúa mediante diversos mecanismos como el micoparasitismo, la competencia por nutrientes y espacio, y la producción de metabolitos antifúngicos (Harman et al., 2004; Vinale et al., 2008). Además, se ha comprobado que ciertas especies como *Trichoderma asperellum* son capaces de colonizar las raíces del banano, inducir respuestas de defensa sistémica y mejorar el crecimiento vegetal, reduciendo significativamente la severidad de los síntomas causados por *Fusarium oxysporum* R1 (Zhang et al., 2002).

En este contexto, el estudio de la interacción entre *Trichoderma* spp. y *Fusarium oxysporum* R1 en plantas de banano Cavendish bajo condiciones de laboratorio y vivero es fundamental para validar su eficacia como herramienta de control biológico. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la Eficiencia del antagonista *Trichoderma* spp., sobre *Fusarium oxysporum* R1 en laboratorio y vivero



## METODOLOGIA

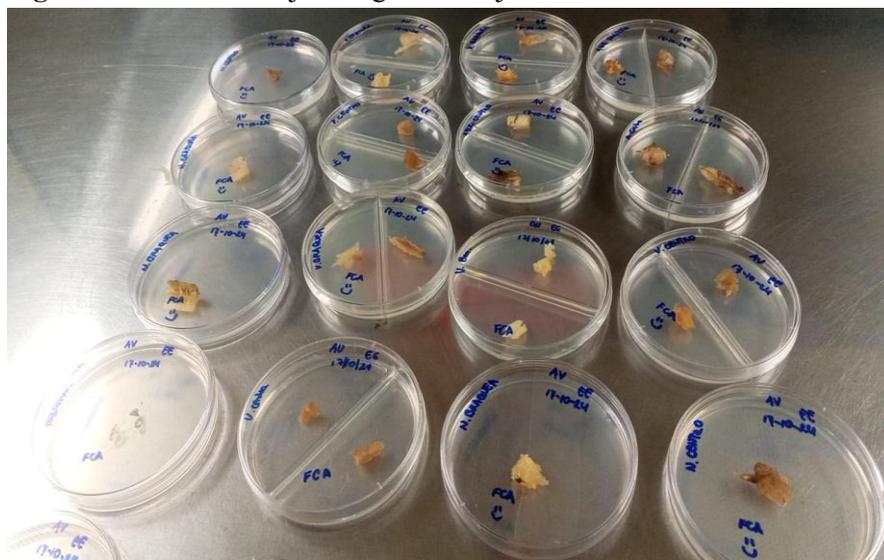
**Ubicación del ensayo.** Este ensayo se realizó en el laboratorio de sanidad vegetal y vivero de la Granja Experimental Santa Inés de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5.5 vía al Cambio, perteneciente a la parroquia El Cambio, provincia de El Oro, Ecuador, entre las siguientes coordenadas geográficas 79° 54' 05'' W y 03° 17' 16'' S, con una altitud de 6 msnm.

**Recolección de muestras.** Se identificó las plantas con síntomas de *Fusarium oxysporum* RI en la bananera de la FCA, dichos síntomas fueron amarillamiento en hojas viejas, coloración marrón dentro del pseudotallo y mal formación del racimo, luego se clasificaron tres plantas y se hizo un corte en el medio del pseudotallo a una altura de 50cm del cormo. Se cortó un disco de aproximadamente 15cm de ancho de las 3 plantas y se las clasificó en diferentes empaques para llevarlas a laboratorio

**Siembra de tejido vegetal en laboratorio.** Como primer paso se preparó el medio de cultivo, papa-dextrosa-agar (PDA), según Sigma-Aldrich (s. f.), la preparación del medio PDA requiere 200 g de papa, 15 g de dextrosa y 15 g de agar más antibiótico, con posterior esterilización en autoclave.

Una vez desinfectado el material que se va a trabajar, se cortaron varios segmentos del tejido infectado de 1cm<sup>2</sup> para sembrarlo en el centro de la caja Petri con PDA. Posteriormente, se tomaron con una pinza estéril y se colocaron sobre el medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), para luego ser incubados durante ocho días a una temperatura de 22°C (Corrales Ramírez et al., 2023).

**Figura 1.** Siembra de tejido vegetal en cajas Petri



### **Purificación de Hongo *Fusarium oxysporum* R1 en medio de PDA**

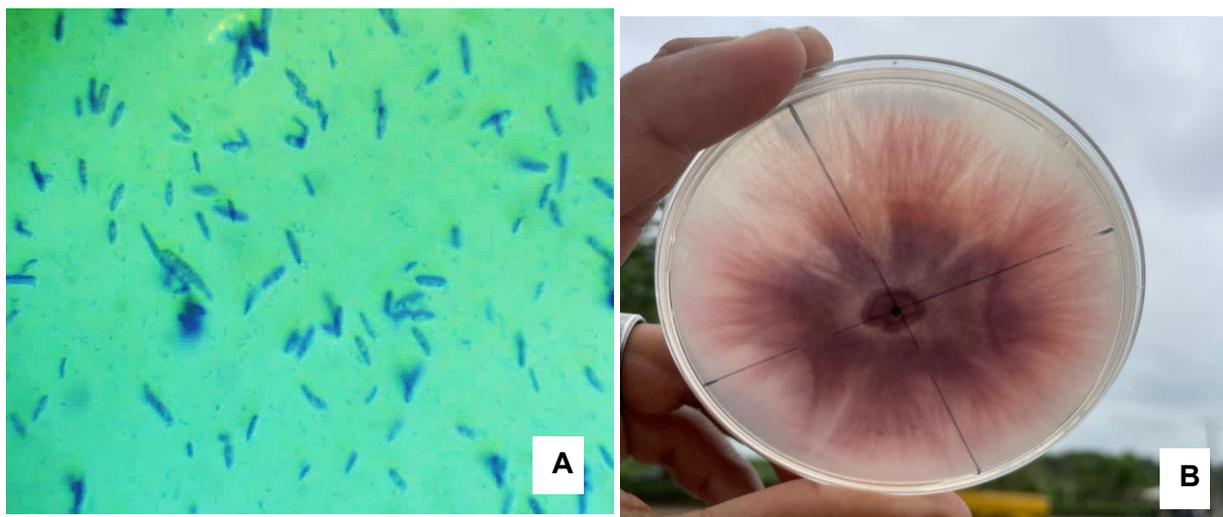
Según la metodología de Figueroa Vasconez (2020) la purificación de Foc se realizó a los ocho días después de la siembra de las muestras vegetales, donde una vez obtenido el crecimiento del micelio de *Fusarium oxysporum* R1., en la caja Petri, se procedió a traspasar las hifas del micelio del hongo Foc hacia las nuevas cajas que contenían medio de cultivo PDA con antibiótico, donde se obtuvieron colonias del patógeno totalmente purificadas, es decir, libres de otro tipo de organismo.

Para identificar el hongo de Foc, se colocó una muestra con un asa en un cubreobjetos en el cual se puso una gota de tinción azul de lactofenol para poder observar en el microscopio e identificar los conidios del hongo (Figura 2).

### **Multiplicación de *Fusarium oxysporum* R1**

El cultivo y multiplicación de Foc consistió en diseccionar pequeños fragmentos del micelio del hongo de las colonias puras a nuevas cajas Petri que contenían el medio de cultivo PDA, luego cada caja fue rotulada, registrada y sellada con Parafilm, y se las llevó a la incubadora durante 8 días a temperatura de 22°C (Figueroa Vasconez,2020).

**Figura 2.** (A) Conidios de *Fusarium* (B) Desarrollo de *Fusarium* en caja Petri en 8 días



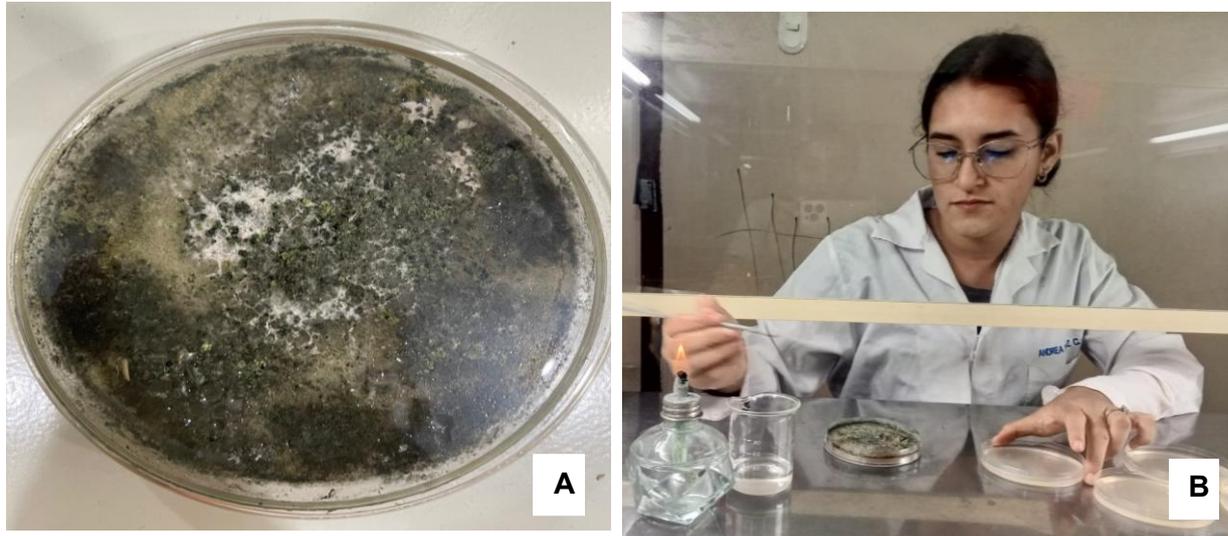
### **Multiplicación de *Trichoderma* spp.**

Sánchez-Espinosa et al., (2021) describen un protocolo para aislar *Trichoderma* spp., desde pseudotallo de banano usando medio PDA. Se identificó un micelio blanco de rápido crecimiento, proveniente de una de las cajas Petri de la siembra de tejido vegetal, se transfirió con ayuda de un asa microbiológica

a las placas de PDA frescas. Tras una semana, el micelio se tornó verde oscuro y se formó un anillo concéntrico debido a la producción de conidios.

Una vez que el hongo se desarrolló, se procedió a multiplicarlo, tomando una pequeña muestra del micelio y se colocó en nuevas cajas, se las etiquetó y se las selló con plástico film y se incubó durante siete días (Figura 3).

**Figura 3.** (A) Cepa de *Trichoderma* spp., aislada (B) Multiplicación de *Trichoderma* spp.



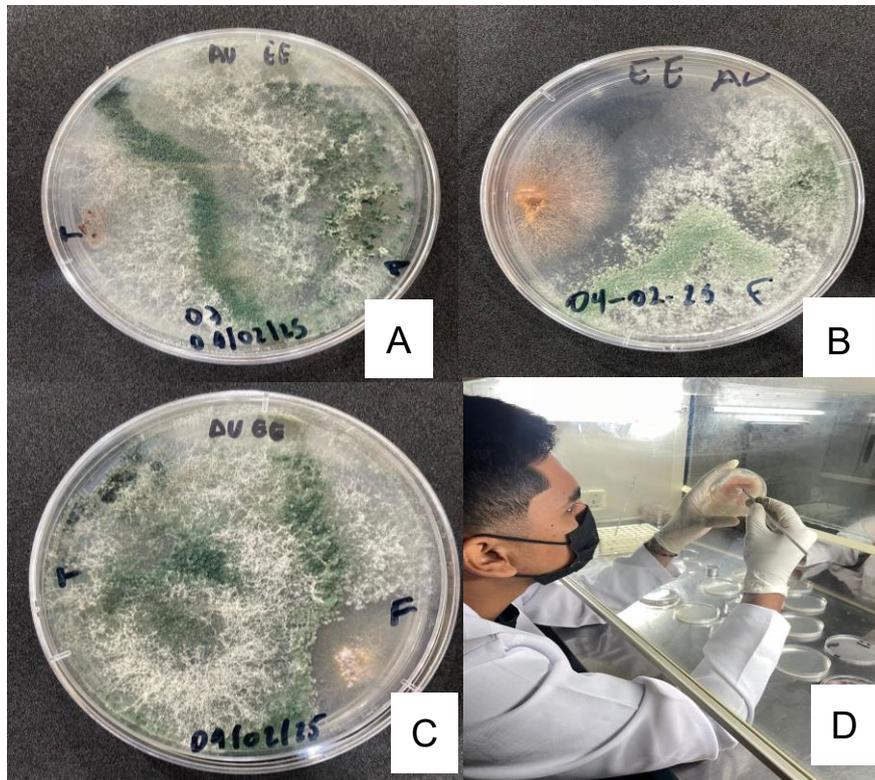
### Antagonismo en cajas Petri

Se evaluó el potencial antagonista *Trichoderma* spp. *in vitro* contra *Fusarium oxysporum* R1., a través de una prueba de cultivo dual como lo describen (Tian et al., 2016). La capacidad observada de *Trichoderma* spp. para limitar el crecimiento de *Fusarium oxysporum* R1 en condiciones *in vitro* podría estar relacionada con la producción de compuestos volátiles de naturaleza antifúngica, los cuales han sido documentados como inhibidores directos del desarrollo fúngico (Ramírez-Valdespino et al., 2019). Los discos miceliales de *Fusarium oxysporum* R1., y *Trichoderma* spp. de colonias en crecimiento activo se colocaron en una placa de Petri de 9 cm de diámetro llena con medio de dextrosa de papa (PDA) Los aislados se colocaron a 5.5 cm de distancia en la misma placa y se incubaron durante 72 h a 22 °C (Li et al., 2020).

Se realizaron 15 cajas de antagonismo, se las dividió en tres tratamientos, los cuales consisten en, Tratamiento 1: Primero se sembró *Trichoderma* spp., y luego de 72 horas *Fusarium oxysporum* R1.,

(A), Tratamiento 2: Primero *Fusarium oxysporum* R1., y después de 72 horas *Trichoderma* spp. (B), y el Tratamiento 3: Se sembró los dos hongos simultáneamente (C) (Figura4).

**Figura 4.** (A) Tratamiento 1, (B) Tratamiento 2, (C) Tratamiento 3, (D) Recolección de micelio del hongo *Fusarium oxysporum* R1.



### Preparación de inóculo de *Fusarium oxysporum* R1

Para preparar la dosis de *Fusarium* se tomó de referencia el procedimiento descrito por Lara (2009) con modificaciones.

Se utilizaron cultivos de *Fusarium oxysporum* R1 con 14 días de incubación, a cada caja se le adicionaron 5 ml de agua destilada estéril, y se removió suavemente la superficie del cultivo con un asa de Drigalski esterilizada, con el fin de desprender los conidios presentes. La suspensión obtenida se recolectó en un matraz Erlenmeyer estéril y se aforó con agua destilada estéril hasta alcanzar un volumen total de 100 ml.

Posteriormente, se tomaron 3 ml de la suspensión madre y se diluyeron con 2 ml de agua destilada estéril, obteniendo un volumen final de 5 ml.

La concentración de conidios se determinó mediante el conteo en cinco cuadros centrales de la cámara de Neubauer, empleando un microscopio óptico con aumento de 40x (Figura5). Se obtuvo un promedio de 6 conidios por cuadro. Considerando que cada cuadro de la cámara tiene un volumen de 0.0001 ml, se utilizó la siguiente fórmula para calcular la concentración

$$\text{Concentración (conidios/ml)} = \frac{\text{Promedio de conidios por cuadro}}{\text{Volumen del cuadro (ml)}}$$

$$\text{Concentración} = \frac{6}{0.0001} = 60000 \text{ conidios/ml}$$

Luego se tomó en cuenta el factor de dilución y se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Concentración real} = \text{Concentración observada} \times \text{Factor de dilución}$$

$$\text{Concentración real} = 60000 \times \frac{5}{3} = 100200 \text{ conidios/ml}$$

$$\text{Conidios aplicados} = 100200 \text{ conidios/ml} \times 3\text{ml} = 300600 \text{ conidios.}$$

#### **Preparación del inóculo de *Trichoderma spp.***

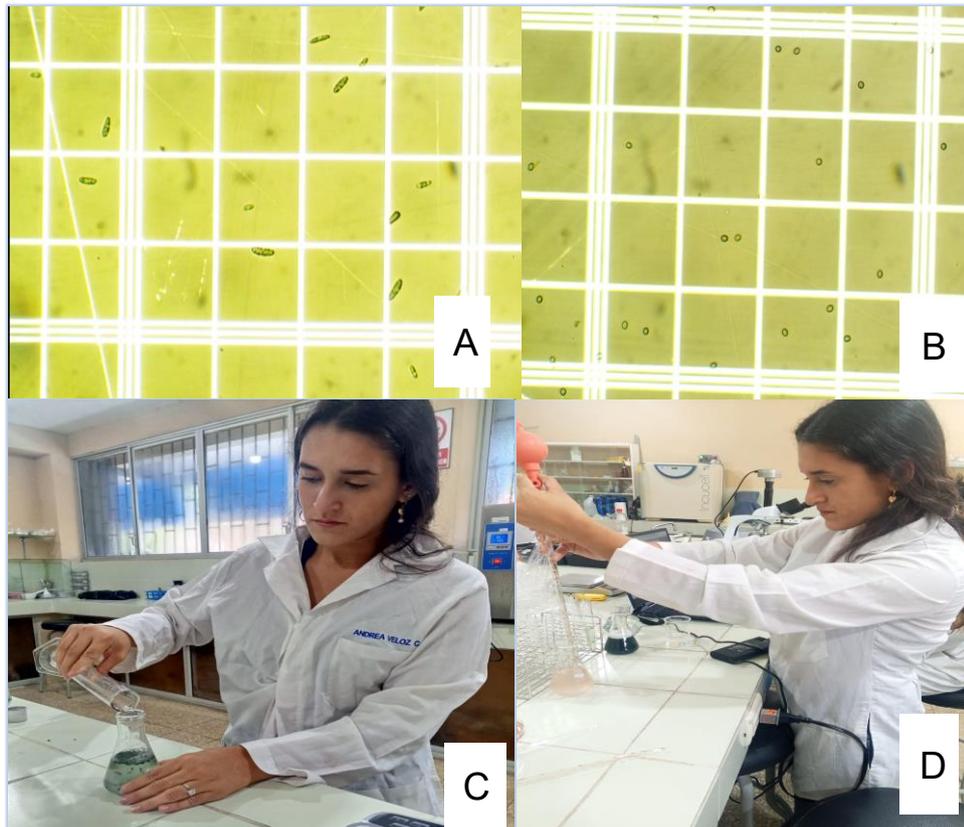
Se empleó la cepa de *Trichoderma asperellum*, proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Para determinar la concentración de unidades formadoras de colonia (UFC), se preparó la solución madre en relación 1:100. Tras agitar la mezcla para separar las esporas del sustrato, se tomó una gota y se la colocó sobre la cámara de Neubauer y se la cubrió con un cubreobjetos.

El conteo se realizó en cinco cuadros centrales en forma de zigzag, obteniéndose un promedio de 8 UFC. Considerando que el volumen de cada cuadro es de 0.0001 ml, se estimó una concentración de 80,000 UFC/ml en la dilución.

Finalmente, ajustando por el factor de dilución (100), se calculó una concentración real de  $8 \times 10^6$  UFC/ml en la suspensión original.



**Figura 5.** (A) Conteo de conidios de *Fusarium oxysporum* R1, (B) Conteo de conidios de *Trichoderma asperellum*., (C) Preparación de dilución de *Trichoderma asperellum*., (D) Preparación de dilución de *Fusarium oxysporum* R1.



### Diseño Experimental

El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA) para evaluar la eficiencia de *Trichoderma* spp., como agente de control biológico frente a *Fusarium oxysporum* R1 en plantas de banano. Se establecieron cuatro tratamientos basados en diferentes estrategias de aplicación (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tratamientos aplicados a las unidades experimentales

Tratamientos	Aplicación	Hongo	Dosis
<b>Tratamiento 1</b>	Se aplicó primero <i>Fusarium oxysporum</i> R1., y luego de 72 horas se aplicó <i>Trichoderma asperellum</i> .	<i>Trichoderma</i>	5ml de inoculo con $8 \times 10^6$ ufc/ml
		<i>Fusarium</i>	5ml de inoculo con 300600 conidios
<b>Tratamiento 2</b>	Se aplicó primero <i>Trichoderma asperellum</i> ., y luego de 72 horas se aplicó <i>Fusarium oxysporum</i> R1	<i>Trichoderma</i>	5ml de inoculo con $8 \times 10^6$ ufc/ml
		<i>Fusarium</i>	5ml de inoculo con 300600 conidios
<b>Tratamiento 3</b>	Se aplicó los dos hongos simultáneamente	<i>Trichoderma</i>	5ml de inoculo con $8 \times 10^6$ ufc/ml
		<i>Fusarium</i>	5ml de inoculo con 300600 conidios
<b>Tratamiento 4</b>	No se aplicó nada	T4: Testigo	No se aplicó nada

Cada tratamiento contó con cinco unidades experimentales, sumando un total de 20 plantas evaluadas. Las unidades experimentales consistieron en plantas de banano ubicadas en vivero bajo condiciones controladas.

Durante el periodo experimental se realizaron mediciones periódicas de variables morfológicas (altura de planta y número de hojas) y fitopatológicas (severidad de la enfermedad).

### **Inoculación de plantas**

Se inoculó las plantas de banano con el hongo patógeno y el hongo benéfico respectivamente por cada tratamiento (Figura 6), esto se realizó con ayuda de dos jeringas esterilizadas.

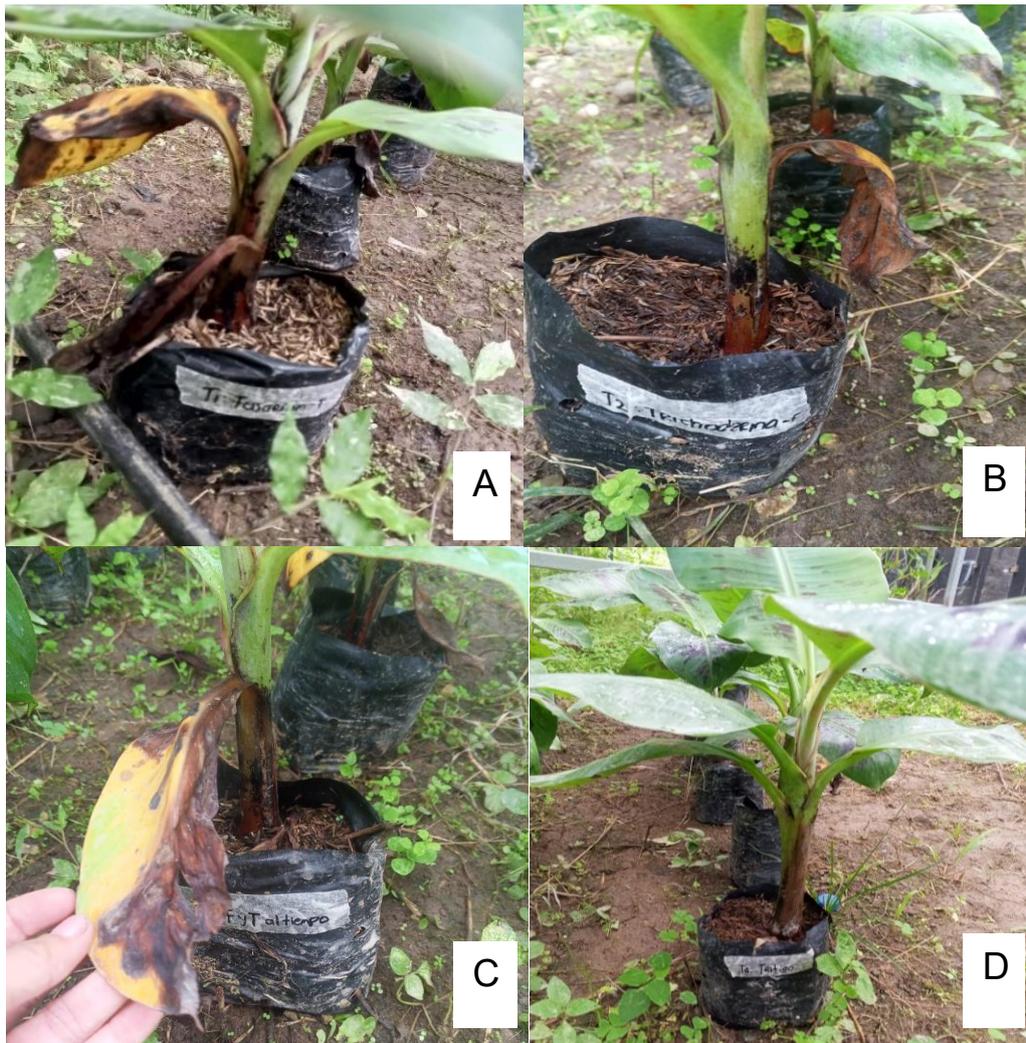
**Figura 6.** (A) Aplicación de dilución del hongo patógeno (B) Plantas inoculadas con hongos patógeno y benéfico



### **Recolección de datos**

Una vez inoculadas las plantas con los hongos, se realizó una toma de datos inicial, con ayuda de una cinta métrica se midió la altura de la planta desde la base hasta la inserción de la hoja más joven, también se realizó conteo del total de hojas visibles por planta, considerando únicamente las hojas sanas y la hoja cigarro, y el grado de la enfermedad se determinó de acuerdo al daño e infección expresados en las plantas provocados por *Fusarium*, bajo la escala de severidad (Tabla 2). Estos datos se los tomaron semanalmente, durante cuatro semanas.

**Figura 7.** Síntomas en las plantas inoculadas después de 28 días. (A) Tratamiento 1, (B) Tratamiento 2, (C) Tratamiento 3, (D) Tratamiento 4.



**Tabla 2.** Escala para la evaluación de severidad provocada por *Fusarium oxysporum* R1.

Grado de enfermedad	Sintomatología
Grado 1	Sin síntomas
Grado 2	10–20% de decoloración inicial del cormo
Grado 3	20–40% ligera decoloración del cormo
Grado 4	40–60% de decoloración del cormo
Grado 5	60–80% de decoloración completa del cormo

### Análisis Estadístico

Los datos obtenidos para las variables altura de planta, número de hojas y grado de la enfermedad fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) factorial intergrupos, considerando como factores la estrategia de inoculación (*Trichoderma spp.* y *Fusarium oxysporum* R1) y el momento de aplicación

(preventiva, simultánea, posterior y testigo). Se trabajó con cuatro tratamientos, cada uno conformado por cinco unidades experimentales, distribuidas bajo un diseño completamente al azar. Se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar cuáles tratamientos difirieron entre sí. El procesamiento y análisis de los datos se realizaron mediante el software IBM SPSS Statistics versión 25.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los parámetros morfológicos y fitosanitarios evaluados durante cuatro semanas evidenció diferencias significativas entre los tratamientos aplicados para determinar la efectividad de *Trichoderma* spp. como agente de control biológico frente a *Fusarium oxysporum* R1 en plantas de banano.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos del ANOVA factorial intergrupos.

Semana	Tratamientos	Altura (cm)	Número de hojas	Grado de enfermedad
1	T1	18,20	6,80	1,00
	T2	18,00	6,12	1,00
	T3	18,50	6,40	1,00
	T4	20,66	5,68	1,00
2	T1	19,12	6,40	2,40
	T2	18,64	6,08	2,40
	T3	18,98	6,56	1,20
	T4	20,90	6,12	1,00
3	T1	19,72	6,08	3,60
	T2	19,06	6,72	1,80
	T3	19,52	6,04	1,40
	T4	21,78	6,20	1,00
4	T1	20,04	6,24	4,80
	T2	19,36	7,00	2,40
	T3	19,88	6,20	1,40
	T4	22,04	6,60	1,00
<b>Sig</b>		0,00	0,57	0,00

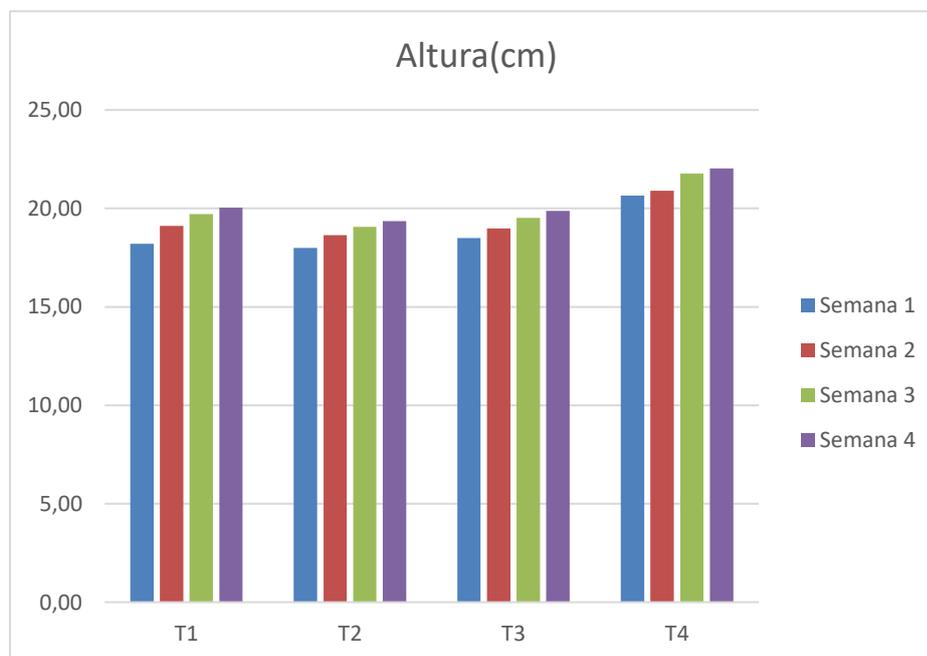
En cuanto a la altura de planta, se observó un incremento gradual en todos los tratamientos a lo largo del periodo de evaluación (Figura 8). El testigo absoluto (T4) presentó la mayor altura promedio, alcanzando 22.04 cm en la cuarta semana, reflejando un desarrollo vegetativo sin restricción fitopatológica.

El tratamiento T3 (*Fusarium* + *Trichoderma*) mostró alturas intermedias, con 18.50 cm en la primera semana y 19.88 cm en la última, lo que evidencia la capacidad de *Trichoderma* para contrarrestar el efecto patogénico de *Fusarium* cuando ambos se aplican simultáneamente.

En contraste, T1 (*Fusarium* seguido de *Trichoderma*) y T2 (*Trichoderma* seguido de *Fusarium*) presentaron menores alturas, finalizando en 20.04 cm y 19.36 cm respectivamente, sugiriendo que la secuencia de aplicación influye directamente en la eficacia del biocontrolador para proteger el crecimiento vegetal.

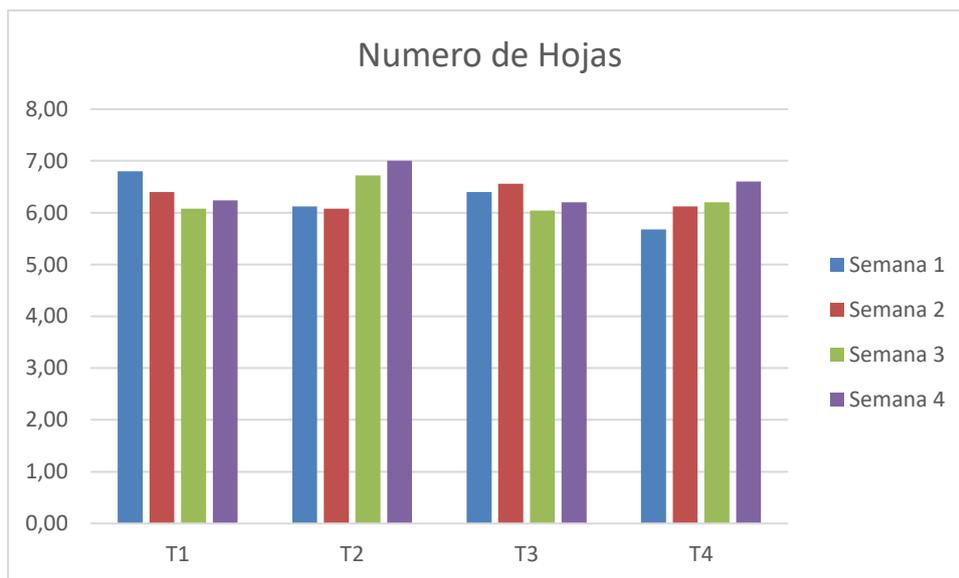
Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Hermosa et al. (2012), quienes destacan que especies como *Trichoderma harzianum* y *T. viride* poseen mecanismos de mico parasitismo y producción de metabolitos antifúngicos que limitan la colonización de patógenos del suelo. En este contexto, el tratamiento T3 evidenció un efecto benéfico al mantener una altura promedio cercana al testigo absoluto, lo que concuerda con lo señalado por Hoyos-Carvajal et al. (2009), quienes demostraron que la aplicación conjunta promueve competencia directa y rápida ocupación de la rizosfera, restringiendo el establecimiento de *Fusarium*. Resultados similares se han reportado en tomate, donde *Trichoderma harzianum* logró reducir significativamente los síntomas causados por *Fusarium oxysporum* en condiciones de vivero (Domínguez et al., 2015)

**Figura 8.** Altura promedio de las plantas según los tratamientos aplicados



Respecto al número de hojas, se observaron ligeras fluctuaciones entre tratamientos (Figura 9), sin diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.57$ ). Todos los tratamientos mantuvieron un rango de entre 5.6 y 7 hojas, sin evidenciar un patrón claro atribuible a la acción de *Trichoderma* o la presencia de *Fusarium*. Este resultado sugiere que, a corto plazo, esta variable no constituye un indicador sensible para evaluar la efectividad del biocontrol, en concordancia con Contreras-Cornejo et al. (2009), quienes argumentan que parámetros foliares suelen requerir mayor tiempo de exposición para reflejar cambios notables, a diferencia de variables como biomasa radicular o contenido de clorofila.

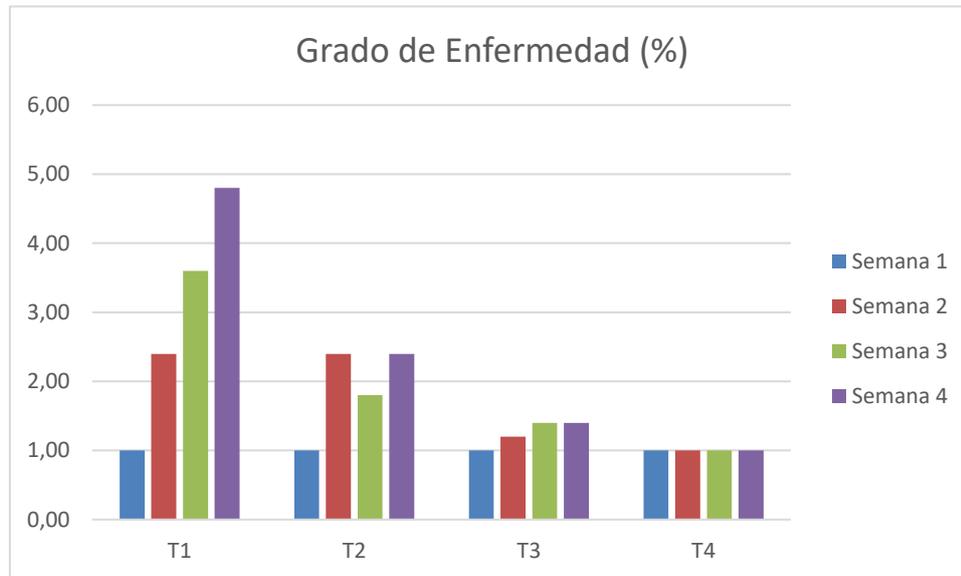
**Figura 9.** Promedio de número de hojas según tratamientos.



El grado de enfermedad fue el parámetro más determinante, mostrando diferencias altamente significativas (Figura 10). El testigo absoluto (T4) mantuvo un nivel mínimo de severidad (1.0) durante todo el ensayo. Entre los tratamientos con presencia de *Fusarium*, T3 presentó la menor severidad, con un leve aumento de 1.0 a 1.4 en cuatro semanas, demostrando un control efectivo de la enfermedad mediante la aplicación simultánea del biocontrolador. En contraste, T1 alcanzó la mayor severidad (4.8), lo que evidencia que la aplicación posterior de *Trichoderma* no logra suprimir totalmente la colonización de un patógeno ya establecido, tal como señalan Rubio et al. (2017), quienes advierten que la efectividad del biocontrol disminuye cuando el patógeno ha formado estructuras de resistencia. T2 presentó una severidad intermedia (2.4 al final del ensayo), indicando que la aplicación preventiva de *Trichoderma* brinda cierta protección, aunque inferior a la estrategia combinada.

Este patrón se alinea con Hermosa et al. (2012) y Woo et al. (2014), quienes resaltan la importancia de la colonización temprana para inducir resistencia sistémica y establecer barreras físicas y químicas contra patógenos vasculares.

**Figura 10.** Grado de la enfermedad según los tratamientos aplicados



En conjunto, estos resultados confirman que la eficacia de *Trichoderma* spp. depende considerablemente de la estrategia y momento de aplicación, factores que deben ser optimizados para maximizar su acción biocontroladora en cultivos de banano. De igual manera, se ratifica su potencial como alternativa ecológica para mitigar el impacto de enfermedades vasculares, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas tropicales (Harman et al., 2004; Mukherjee et al., 2013).

## CONCLUSIÓN

El estudio confirmó que *Trichoderma* spp. es un agente de control biológico eficaz para reducir la severidad de la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* R1 en plantas de banano. Su aplicación simultánea con el patógeno mostró los mejores resultados, manteniendo un mejor desarrollo de las plantas y niveles bajos de enfermedad, lo cual evidencia su capacidad de competencia efectiva en la rizósfera. Este comportamiento sugiere que la interacción directa entre ambos microorganismos favorece la colonización temprana de *Trichoderma*, limitando el establecimiento del patógeno y disminuyendo significativamente el impacto de la enfermedad.

Además, se observó que cuando el hongo benéfico se aplicó de forma preventiva, también logró reducir los síntomas de la marchitez, aunque en menor medida, lo cual refuerza su potencial como medida anticipada en programas de manejo integrado de enfermedades.

En contraste, la aplicación posterior resultó menos eficiente, lo que indica que el tiempo de intervención es determinante para el éxito del biocontrolador.

Estos hallazgos resaltan la importancia de aplicar *Trichoderma* spp., de forma oportuna, ya sea como tratamiento preventivo o combinado, para maximizar su acción antagonista. Además, puede inducir respuestas de defensa sistemática en la planta, fortaleciendo su resistencia frente a enfermedades vasculares como la marchitez por *Fusarium oxysporum* (Shoresh et al., 2010). Su implementación no solo permite el control efectivo del patógeno, sino que también promueve cultivos más sanos, vigorosos y sostenibles, reduciendo la dependencia de agroquímicos y aportando a la salud del agroecosistema.

#### **AGRADECIMIENTO**

Un profundo agradecimiento a esta institución por brindar las facilidades técnicas, logísticas y el acceso a sus recursos, los cuales fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., & López-Bucio, J. (2009).

*Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*.

Corrales Ramírez, L. C., Sánchez Leal, L. C., Cuervo Andrade, J. L., Joya, J. A., & Márquez, K. (2012).

Efecto Biocontrolador de “*Bacillus*” spp., frente a “*Fusarium*” sp., Bajo Condiciones de Invernadero en Plantas de Tomillo (*Thymus vulgaris* L.). *Revista Nova: Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*.

Domínguez, S., Martínez, M., & Peña, R. (2015). Evaluación de *Trichoderma harzianum* frente a

*Fusarium oxysporum* en plántulas de tomate. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 24–33.

FAO. (2004). *Bananas: ¿Is there a crisis?* FAO Commodity and Trade Policy Research Working Paper.



- Figueroa Vásconez, W. G. (2020). *Capacidad de infección de Fusarium oxysporum f. sp. cubense raza 1 en el cultivar de banano Gros Michel (Musa AAA)* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Machala].
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma species—opportunistic, avirulent plant symbionts*. *Nature Reviews Microbiology*.
- Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., & Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology*.
- Hoyos-Carvajal, L., Orduz, S., & Bissett, J. (2009). Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropic regions. *Fungal Genetics and Biology*.
- Lara, F. D. (2009). *Aislamientos y pruebas in vitro de Fusarium oxysporum f. sp. cubense (FOC) en banano*.
- Li, C., Shi, L., Han, Q., Hu, H., Zhao, M., Wang, H., Chen, S., Shao, J., & Zhang, K. (2020). Manejo biológico de la marchitez fusariosis del banano causada por *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raza tropical 4 utilizando el hongo antagonista aislado CSR-T-3 (*Trichoderma reesei*). *Frontiers in Microbiology*.
- Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Herrera-Estrella, A., Schmoll, M., & Kenerley, C. M. (2013). *Trichoderma* research in the genome era. *Annual Review of Phytopathology*.
- Poveda, J. (2020). Use of *Trichoderma* spp. against soilborne pathogens: Biological control and plant growth promotion. *Plants*, 9(6), 752.
- Ramírez-Valdespino, C. A., Rodríguez, J. A., & García-Pedraza, L. G. (2019). Volatile organic compounds produced by *Trichoderma* spp. in the biocontrol of plant pathogens. *Microbiological Research*, 223–225, 36–43.
- Rubio, M. B., Hermosa, R., Keck, E., & Monte, E. (2017). Secondary metabolites from *Trichoderma* spp. and their role in biocontrol. *Journal of Fungi*.
- Shoresh, M., Harman, G. E., & Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 21–43.
- Sigma-Aldrich. (s. f.). *Potato Dextrose Agar: Technical Data Sheet*. Sigma-Aldrich technical documentation.



- Stover, R. H., & Waite, B. H. (1960). Studies on Fusarium wilt of bananas. V. Pathogenicity and distribution of *F. oxysporum* f. sp. *cubense* races 1 and 2. *Canadian Journal of Botany*.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1–10.

