

Rizobacterias y Trichodermas antagonistas al control de nematodos fitoparásitos en plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.)

Rhizobacteria and Trichodermas antagonistic to the control of phytoparasitic nematodes in Barraganete plantain (*Musa paradisiaca* L.)

Jefferson Alexander Castillo Castillo¹, Hayron Canchignia Martínez², Francisco Javier Arteaga Alcívar¹, Diana Alexandra Álava Cruz³

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

³Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Autor de correspondencia: jcastillo9011@utm.edu.ec

Recibido: 11/11/2024. Aceptado: 14/06/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

El Carmen es considerada la capital mundial de la producción de plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.). Sin embargo, la falta de investigaciones limita el desarrollo de este cultivo, este estudio evaluó el efecto de la aplicación sinérgica de *Trichoderma* spp. y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal como estrategias de biocontrol contra nematodos fitopatógenos. Con el objetivo de mejorar el rendimiento del cultivo, el control y reducción de este patógeno. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, midiendo variables de crecimiento y caracterización radicular. Los resultados mostraron una emisión foliar de 3,42 hojas/mes y una densidad poblacional de *Radopholus similis* de 1.105 individuos. Las plantas tratadas con *Trichoderma* spp. y rizobacterias mostraron un aumento significativo en el número de raíces sanas (15,96) y el porcentaje de raíces funcionales (58,49 %). Además, el tratamiento con rizobacterias incrementó el diámetro del pseudotallo a 1,75 cm y la altura de la planta a 36,31 cm. En el tratamiento químico, se obtuvo el mayor peso de raíces (147,7 g), mientras que en el testigo se observaron las raíces con mayor lesión (13,29) y el menor porcentaje de raíces funcionales (49,44 %). Estos hallazgos destacan el potencial del uso combinado de *Trichoderma* spp. y rizobacterias como una alternativa eficaz para el biocontrol de nematodos y el fortalecimiento del cultivo de plátano barraganete en El Carmen.

Palabras clave: Nematodos fitopatógenos, biocontrol, sinérgica, producción.

Abstract

El Carmen is considered the world capital of barraganete plantain (*Musa paradisiaca* L.) production. However, the lack of research limits the development of this crop. This study evaluated the effect of the synergistic application of *Trichoderma* spp. and plant growth-promoting rhizobacteria as biocontrol strategies against phytopathogenic nematodes. The aim was to improve crop yield and the control and reduction of this pathogen. The experiment was carried out under a completely randomized design (CRD) with five treatments and four replications, measuring growth and root characterization variables. The results showed a foliar emission of 3.42 leaves/month and a population density of *Radopholus similis* of 1,105 individuals. Plants treated with *Trichoderma* spp. and rhizobacteria showed a significant increase in the number of healthy roots (15.96) and the percentage of functional roots (58.49 %). Furthermore, rhizobacteria treatment increased pseudostem diameter to 1.75 cm and plant height to 36.31 cm. The chemical treatment yielded the highest root weight (147.7 g), while the control treatment showed the most damaged roots (13.29 g) and the lowest percentage of functional roots (49.44 %). These findings highlight the potential of using *Trichoderma* spp. in combination with rhizobacteria as an effective alternative for nematode biocontrol and strengthening plantain cultivation in El Carmen.

Keywords: Phytopathogenic nematodes, synergistic, production.

Introducción

A nivel mundial la producción de plátano se distribuye en África (60,60 %), América (26,50 %), Asia (12,80 %) y Oceanía (0,10 %) (Avellán-Vásquez *et al.*, 2020). Ecuador las provincias productivas están ubicadas en el denominado triángulo platanero; Manabí con 52.612 ha, Santo Domingo 14.249 has y los Ríos 13.376 ha de esta musácea (Cobena-Loor *et al.*, 2020). En Manabí el cantón El Carmen están ubicadas las mayores áreas cultivadas y su reducción en producción está relacionado a la falta de tecnificación y variaciones climáticas (Ugando Peñate *et al.*, 2023). La fruta presenta un porcentaje nutricional del 21,4 % donde contiene minerales como el magnesio, hierro, manganeso y potasio (Morel *et al.*, 2021).

En climas subtropicales la producción de plátano barraganete se ve amenazada por un sin número de entes negativos que generan diferentes lesiones en distintas partes del tejido (López y Jansson, 2001). La existencia de nematodos fitoparásitos como *Radopholus similis*, *Pratylenchus* spp y *Meloidogyne* spp, con ayuda de su estilete ingresan en la zona cortical de las raíces provocando la destrucción de la pared celular (Becker *et al.*, 1988). La destrucción del sistema radicular por nematodos ocasiona el volcamiento de las plantas de plátano (Casas *et al.*, 2015).

La reproducción de estos nematodos se da en el interior de las raíces donde empieza con la ovoposición de entre unos 8.000 huevecillos aproximadamente en un lapso de 20 a 25 días (López y Jansson, 2001). Para el control de nematodos en plantaciones se emplean nematicidas tóxicos como avamectina, organofosforados y carbofurados que reduce un 10 % sus poblaciones (Palomares-Rius *et al.*, 2014). Como consecuencia de estos productos se tienen las deficiencias nutricionales, disminuye el porcentaje de materia orgánica y afecta la microfauna del suelo creando el ingreso a otros tipos de problemas graves e infecciosos (Orlando *et al.*, 2020a).

En la actualidad, el empleo de medidas alternativas al control de nematodos, tienen un rol importante en disminuir la dependencia de nematicidas tóxicos (Lilley *et al.*, 2011). El efecto sinérgico de *Trichoderma* spp y rizobacterias son consideradas agentes de control biológico, que generan un efecto nematicida de amplio espectro (Kálmán *et al.*, 2024). Otra alternativa de biocontrol hacia los nematodos son las rizobacterias (PGPR's), de sus siglas en inglés "Plant Growth Promoting Rhizobacteria" que en combinación con *Trichoderma* spp, amplían el mecanismo de protección y mejor desdoblamiento de minerales en el suelo, dándole así protección al cultivo (Etesami y Maheshwari, 2018).

Las rizobacterias de género *Pseudomonas* spp tienen la habilidad de inhibir el crecimiento del nematodo y mejorar el sistema de resistencia de las plantas para tolerar ciertos ataques de patógenos en el suelo (Siddiqui y Shaukat, 2003), *Serratia marcescens* promueve el crecimiento en plantas mediante la inducción de resistencia contra nematodos (De Queiroz y De Melo, 2006). La producción de sustancias antagonistas y la

solubilización de fosfatos, por *Acinetobacter* spp que mejoran la asimilación de aminoácidos y dando resistencia al cultivo sobre el ataque de nematodos (Wulandari *et al.*, 2021).

Las rizobacterias generan sustancias que promueven el crecimiento, como hormonas y vitaminas, que se asocian con un efecto nematicida (Martínez *et al.*, 2013). El alto nivel de eficiencia al biocontrol y bioestimulante mantienen un efecto similar a productos químicos (Kolombia *et al.*, 2021). La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la actividad sinérgica de PGPR antagonista con *Trichoderma* spp sobre nematodos fitoparásitos en Plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Finca Tres Hermanos ubicada en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. Sus coordenadas geográficas -0,262655 S y -79,427579 O, zona que se caracteriza por poseer un clima de trópico húmedo. Ubicada a 263 m s.n.m., su temperatura promedio es de 24 °C, con precipitación anual de 2.806 mm, su humedad relativa de 86 %, exposición solar de 1.026, horas luz al año y evaporación anual de 1.064 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017).

Preparación del bioformulado bacteriano de PGPR

Las cepas de PGPR se seleccionaron del Banco de Germoplasma del Laboratorio de Microbiología de la UTEQ. Del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), situada en el kilómetro 7,5 de la carretera Quevedo – El Empalme, en el Cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

El bioformulado está constituido por las rizobacterias: (*Acinetobacter calcoaceticus* BM2-12, *Serratia Marcescens* PM3-8, *Pseudomonas protegens* CHA0, *Pseudomonas veronii* R4, *Enterobacter asburiae* PM3-14) (Tabla 1). Se incubaron de manera individual en 500 mL de KBL [(g/L): peptona 20,0; glicerol, 15 mL; K₂HPO₄, 1,5; MgSO₄ x 7H₂O, 1,5; agua destilada (pH 7,2)], suplementado con chloramphenicol (13 µg/mL), ampicilina (40 µg/mL) por 48 h.

Se recuperó del pre-inoculo 500 mL de las rizobacterias a (1x10⁸ UFC·mL⁻¹) e incubados en 40 L de manera individual en el medio alternativo BIO M3 [(g/L): melaza, 20,0; harina de maíz, 20,0; sal en grano, 5,0; glicerina: 7 mL (pH 6,5)]. Los fermentadores se mantuvieron en agitación con una presión de aire de 0,007 MPa durante 24 h. Además, cada fermentador contenía filtro de nitrocelulosa de 0,45 micras x 47 mm a entrada y salida del flujo de aire.

Tabla 1. Características de las rizobacterias con producción de metabolitos antagónicos

Organismo	Cepas	Metabolitos antagónicos				Sideróforos	Producción de AIA	Cultivo de procedencia
		PR	HCN	Prn	DAPG			
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	BMR2-12			+		+		Banano
<i>Serratia Marcescens</i>	PM3-8	+	+			+		Banano
<i>Pseudomonas protegens</i>	CHA0	+	+	+	+	+	+	Tabaco
<i>Pseudomonas veronii</i>	R4	+		+		+	+	Uva
<i>Enterobacter asburiae</i>	PM3-14	+	+	+		+		Banano

PR: proteasa **HCN:** cianuro de hidrogeno **Prn:** Pirrolnitrina **DAPG:** 2,4-diacetilfloroglucinol. Cepas bacterianas del banco de germoplasma de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Aplicación de rizobacterias y *Trichoderma* spp en plátano barraganete

Se empleó un total de 400 plantas meristemáticas de plátano barraganete las mismas que se establecieron en fase de vivero. A los 7 días se realizó el trasplante y se ubicaron estas plantas en sus respectivos contenedores. El sustrato empleado en vivero contenía la mezcla de suelo, incorporando cascarilla de arroz y materia orgánica (Biocompost) teniendo como resultado el sustrato final.

Las plantas se ubicaron en contenedores de 12 x 16 centímetros que contenían el sustrato. A los 30 días después del trasplante se adicionó de forma edáfica la combinación del Tratamiento 1: (50 ml de PGPR's de suspensión celular del consorcio bacteriano (OD_{600} : 1.000 a 1×10^8 UFC/mL) y 10 ml de *Trichoderma* spp 1×10^8 esporas/mL); Tratamiento 2: (50 ml de PGPR's); Tratamiento 3: 25 ml de nematocida biológico (TrichoMet), los productos biológicos se aplicaron 30 y 60 días. Tratamiento 4: químico (RUGBY 10 G), una aplicación de 10 g por planta en los 60 días. Tratamiento 5: Control (agua). La aplicación de nematodo fitoparasitario se aplicó 200 mL de solución donde contenían 2.000 nematodos fitopatógenos dicho proceso se realizó al tercer día del trasplante para cada planta de plátano.

Todas las plantas tuvieron una fertilización de 5 g de fertilizante granulado; esta labor se realizó a los 20, 30, 40 días luego de la inoculación de las rizobacterias con la finalidad que la planta tenga un mejor aprovechamiento del fertilizante. Se aplicaron dos riegos por semana debido a las altas temperaturas en el Carmen durante el tiempo de la investigación.

Ritmo de emisión foliar: Este valor se estimó evaluando el número de hojas que emiten entre los diferentes intervalos de evaluación, dados en el trabajo experimental. Para aquello en esta variable se contabilizó el número de hojas, que cada planta emitió de forma mensual obteniendo así los promedios establecidos.

Altura de planta (cm): Con ayuda de una cinta métrica cada 10 días se tomó las medidas de altura de cada planta durante el tiempo de investigación, mismos datos que nos permitieron visualizar los promedios consecutivos desde el inicio hasta el final de la investigación.

Diámetro de pseudotallo (cm): Su evaluación se realizó cada 10 días, con el uso de un calibrados o vernier digital se tomó las medidas del diámetro de pseudotallo, desde el inicio hasta el final de la investigación. Esta variable se calculó mediante los datos obtenidos en cada uno de los intervalos de evaluación en las medidas tomadas en el pseudotallo de las plantas, el inicio de esta recopilación de información se dio 7 días después de la aplicación de los tratamientos.

Número total de raíces: Se evaluó al final de la investigación donde las plantas fueron sacrificadas para el conteo de raíces, se contabilizó el número de raíces de cada una de las plantas correspondientes a la investigación teniendo así un único dato al final de la investigación.

Porcentaje de raíces funcionales: Se contabilizó raíces que no tengan lesiones, necrosis avanzada o algún tipo de daño causado por nematodos, se evaluó al final de la investigación cuando las plantas fueron sacrificadas, Para determinar el porcentaje de raíces funcionales se utilizó la siguiente Fórmula 1.

$$\frac{\text{número de raíces sanas}}{\text{número de raíces tortales}} \times 100 \quad (1)$$

Porcentaje de raíces no funcionales: Se contabilizó las raíces que tuvieron lesiones, necrosis avanzada o algún tipo de daño causado por nematodos, se la evaluó al final de la investigación cuando las plantas fueron sacrificadas. Para determinar el porcentaje de raíces no funcionales se utilizó la Fórmula 2.

$$\frac{\text{número de raíces dañadas}}{\text{número de raíces tortales}} \times 100 \quad (2)$$

Densidad poblacional de nematodos fitopatógenos: Se determinó a partir de los resultados obtenidos de las muestras enviadas al laboratorio NemaLab S.A. Cada una de estas muestras contenían 100 g de raíces de cada planta, tomadas entre 10 a 30 cm de profundidad, cada muestra contenía una ficha de información en la que constaba el número de cada planta y su lugar de procedencia, fueron transportadas en bolsas de plástico, totalmente cerradas para mantener la humedad a una temperatura entre 10 a 20 °C evitando la exposición directa al sol.

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) al 5 % de significancia, para la comparación se aplicará una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), con la ayuda de un paquete estadístico InfoStat.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con cuatro repeticiones, donde cada unidad experimental estaba compuesta de veinte plantas meristemáticas en fase de vivero. Los valores a cada condición están representados con la desviación estándar promedio individual ($\pm$), los tratamientos fueron sujetos al análisis de varianza por ANOVA, y separados por procedimiento de comparación múltiple de Tukey SD, al nivel de significancia de ($p \leq 0,05$), empleando Statgraphics Centurion™ V.18.

Resultados y discusión

Efecto promotor vegetal de la actividad sinérgica de PGPRs y Trichoderma

Ritmo de emisión foliar: Se reportó diferencia estadística entre los tratamientos evaluados sobre la variable ritmo de emisión foliar bajo la aplicación de productos biológicos, en este caso el producto comercial (TrichoMet) y PGPRs + *Trichoderma* spp, presentan mayores promedios de emisión de hojas semanales con 3,42 y 3,33 respectivamente en plantas de plátano barraganete (Figura 1A). Logrando mantener la viabilidad de crecimiento de las plantas inoculadas con nematodos. Si bien el empleo de medidas alternativas de bajo impacto ecológico marca un transcurso diferente, surgen nuevos productos biológicos que se asemejan al manejo tradicional (Santoyo *et al.*, 2021). Las aplicaciones continuas de riego en plantas de barraganete son condiciones favorables a las aplicaciones de rizobacterias son aceptables que depende de la humedad del suelo y programas de fertilización. No obstante, cuando las condiciones no se vuelven favorables las complicaciones se observa una reducción de hasta 2 hojas

emitidas por semana (Ali Siddiqui y Ehteshamul-Haque, 2001).

Incremento del sistema radicular: A pesar de no encontrar diferencias estadísticas significativas en el peso de raíces entre tratamientos, estos resultados sugieren ciertas tendencias. El tratamiento con RUGBY 10G (nematicida químico) presentó el mayor peso de raíces con 147,7 g (Figura 1B). Este resultado se asemeja con la aplicación de los productos Biológicos (TrichoMet y PGPRs + *Trichoderma* spp), reduciendo el daño ocasionado por los nematodos en el sistema radicular, aunque se conoce que estas alternativas biológicas deben ser evaluadas con cautela al exponerlas en espacios abiertos o en zonas de plantación porque sus efectos pueden ser escasos (Rueda *et al.*, 2017).

Los tratamientos con nematicidas químicos reducen el impacto de los nematodos sobre el desarrollo radicular al limitar el daño directo en el tejido de las raíces (Casas *et al.*, 2015). Los resultados de peso de raíces están correlacionados con las variables de salud radicular, como el número de raíces sanas y el porcentaje de raíces funcionales. En estudios similares, se ha observado que los nematodos reducen significativamente la masa radicular al afectar las raíces funcionales, limitando la capacidad de absorción de nutrientes y agua (Orlando *et al.*, 2020b).

Por lo tanto, la ligera superioridad en el peso de las raíces observada en el tratamiento con RUGBY 10G mejora la preservación de las raíces sanas y funcionales en comparación con el testigo. Esto permite el aumento del peso promedio del sistema radicular de estas en comparación con el testigo.

Diámetro del pseudotallo: No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la variable diámetro de pseudotallo. Sin embargo, la aplicación de PGPRs + *Trichoderma* spp incrementó el diámetro de pseudotallo con 1,75 cm (Figura 2). Esto verifica un mínimo margen de diferencia con la aplicación autónoma de PGPRs con 1,74 cm de diámetro (Figura 2). Cuando las rizobacterias se encuentran presentes en el suelo empieza una constante actividad sinérgica para que la planta obtenga beneficios de la actividad funcional, en labores como la fertilización esta rizobacterias colaboran en la mejor absorción de nutrientes disminuyendo algún tipo de competencia con nematodos (Ugando Peñate *et al.*, 2023). Por otra parte, Cobeña-Loor *et al.* (2020), hacen mención a que la fertilización es básicamente una de las soluciones hacia un equilibrio en el suelo, creando una interacción con el desarrollo de la planta y complementarlo con el uso de nematicidas químicos brinda una protección más duradera sobre estos nematodos y así no interfiera en el desarrollo del cultivo.

Altura de planta: Las aplicaciones de PGPRs + *Trichoderma* spp lograron evidenciar un promedio más elevado, con una altura de 36,31 cm. Esto mostró un efecto positivo sobre las

características de las plantas de plátano barraganete (Figura 3). En ciertas ocasiones las condiciones secundarias en una investigación como son los factores ambientales (temperatura, luminosidad y humedad) llegan a generar variaciones en los trabajos experimentales (Morel *et al.*, 2021). Los productos de origen biológico en el campo de manera foliar mejoraron las características agronómicas del plátano barraganete y logrando reducir el efecto fitoparasitario de *R. similis* sobre el sistema radicular. Mientras tanto, Orlando *et al.* (2020a) argumentan que el correcto accionar de la aplicación de microorganismos antagonistas se relacionan con la cantidad de materia orgánica en el suelo, pero esto no quiere decir que el desarrollo agronómico dependa directamente de ellos. Al protegerse el área radicular de las plantas, se activan mecanismos de fijación del nitrógeno, producción de metabolitos antifúngicos y de protección a plagas (Ugando Peñate *et al.*, 2023). Las PGPRs generaron un apoyo primordial en la interacción con el suelo, principalmente con la materia orgánica allí existente (Santoyo *et al.*, 2021).

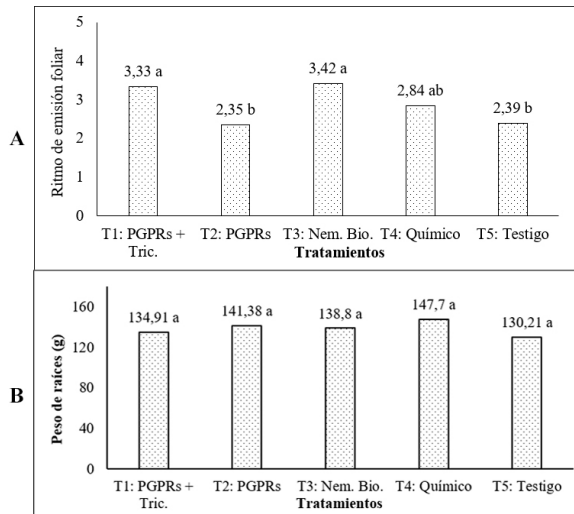


Figura 1. A) Ritmo de emisión foliar, B) Peso de raíces. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

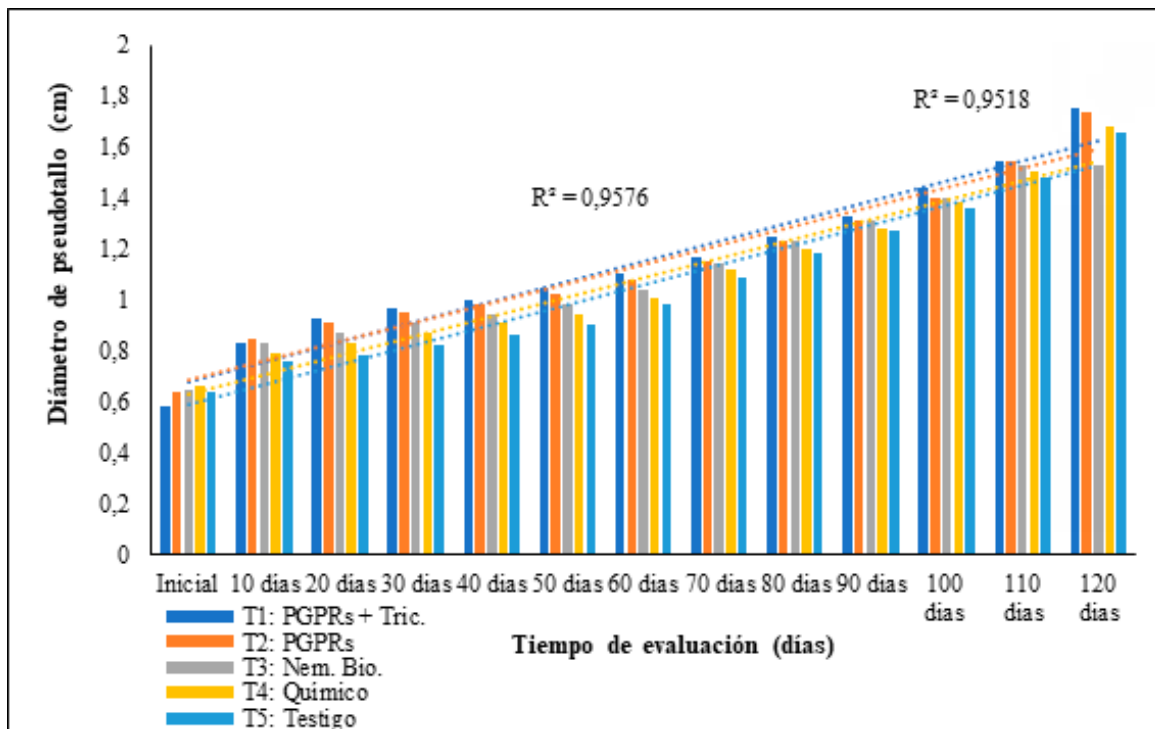


Figura 2. Promedios de diámetro de pseudotallo (cm) en los distintos tratamientos en función del tiempo de investigación. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

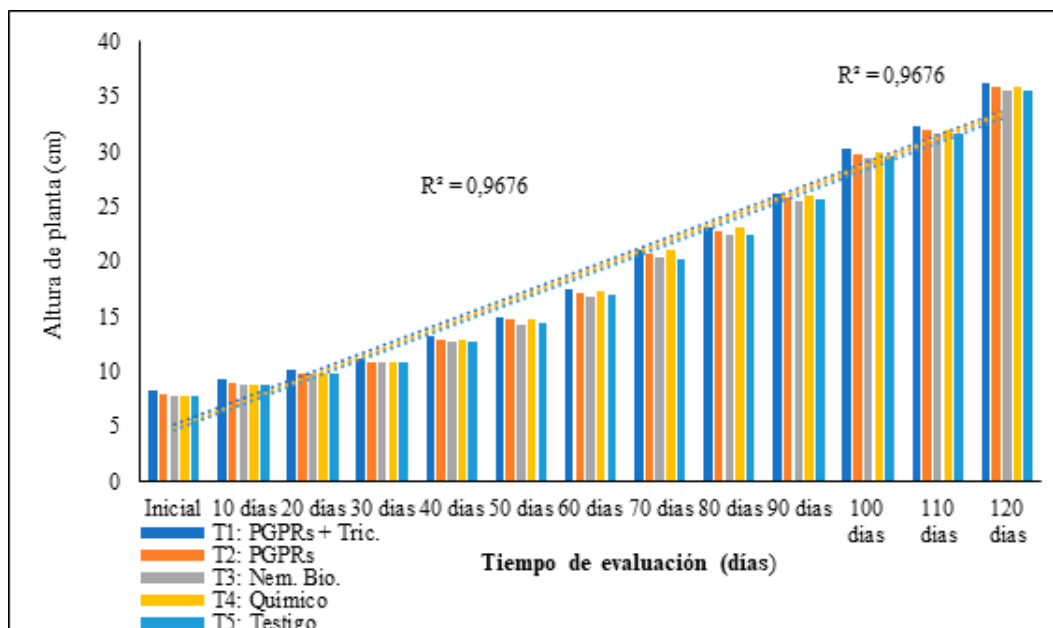


Figura 3. Promedios de altura de planta (cm) en los distintos tratamientos en función del tiempo de investigación. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

Efecto de protección y respuesta de PGPRs en combinación con *Trichoderma* spp en la zona radicular de las plántulas

Número de raíces sanas: Al mecanismo de protección de rizobacterias y *Trichoderma* spp a raíces sanas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, al número de raíces sanas por aplicación conjunta del consorcio de PGPR + *Trichoderma* spp ejerce un mecanismo protector al sistema radicular de 15,96 raíces sanas, con similar respuesta en plantas de plátano tratadas con nematicida químico (Figura 4A). Disminuyen el sistema radicular para raíces sanas en plantas de plátano barraganete no tratadas (Figura 4A). En estudios previos se ha demostrado que las aplicaciones en conjunto de PGPRs y *Trichoderma* spp mejoran la resistencia de las raíces contra patógenos existentes en el suelo donde se incluyen a los nematodos (Maziah *et al.*, 2010). Esto surge al inducir mecanismos de defensa en las plantas y promover la actividad microbiana en los suelos (Lilley *et al.*, 2011).

Número de raíces lesionadas: Al número de raíces lesionadas, no se encontraron diferencias estadísticas entre los productos de origen biológico y químicos al control de nematodos. Donde las plantas no tratadas se incrementan las lesiones del sistema radicular con 13 raíces, a la par se encuentra el producto comercial (Trichomet) con 12,89 raíces lesionadas (Figura 4B). Finalmente, se reduce el número de raíces lesionadas por la aplicación de PGPRs + *Trichoderma* spp con 11,09 (Figura 4B). Lo que nos permite comprobar que las raíces que no reciben una completa protección con la aplicación de medidas sanitarias ya que el área radicular tendrá un elevado nivel de

afectación (Rodríguez-Romero *et al.*, 2008). Pero así mismo Kumar *et al.* (2012), manifiestan que el empleo de productos cuyo origen sea convencional o biológico generan protección contra especies de nematodos fitopatógenos, ayudando a la resistencia de las raíces, incremento de su longitud y diámetro.

Porcentaje de raíces funcionales: Consecuentemente el porcentaje de raíces funcionales se relaciona con los resultados obtenidos en las anteriores variables, no se reportaron diferencias estadísticas significativas, obteniendo un 58,49 % de raíces funcionales en las aplicaciones de PGPRs + *Trichoderma* spp, también se obtuvo una respuesta cercana al primer valor con la aplicación del nematicida químico (Figura 4C). Esto respalda la efectividad potencial de este tratamiento en la mejora de la calidad y protección del sistema radicular (Kálmán *et al.*, 2024).

Además, la aplicación de los productos de origen biológico mejoró las características del plátano barraganete sin ocasionar daños sobre el microbiota del suelo. Las rizobacterias tiene la capacidad de mantener la absorción de nutrientes y agua que es fundamental para el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales (Tyśkiewicz *et al.*, 2022).

Asimismo la capacidad de resistencia contra el ataque de estos nematodos fitopatógenos, aumentando la actividad microbiana y reduciendo los niveles de daño en las plantas (Morel *et al.*, 2021). No obstante Cobeña-Loor *et al.*, (2020), aseguran que la aplicación de productos convencionales brinda un mejor control sobre nematodos en comparación a productos orgánicos o alternativos, esto también relacionado al manejo que se emplee en el cultivo.

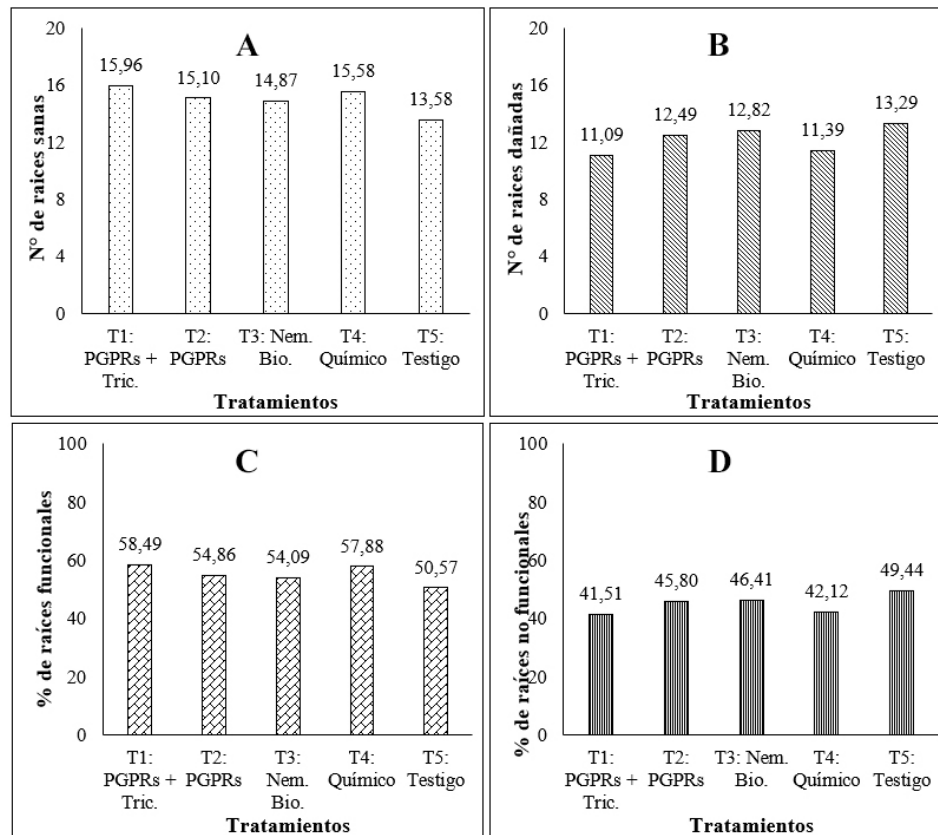


Figura 4. Resultados obtenidos en el área radicular a lo largo de la investigación. A) Número de raíces sanas, B) Número de raíces dañadas o lesionadas, C) Porcentaje de raíces funcionales, D) Porcentaje de raíces no funcionales. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$). Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

Porcentaje de raíces no funcionales: No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los productos biológicos y químicos al control de nematodos. Las plantas tratadas con PGPRs + *Trichoderma* spp y nematicida Químico reducen las poblaciones de nematodos, ejerciendo la disminución de raíces dañadas entre (41,51 % y 42,12 %). En plantas no tratadas con nematicidas se incrementa a 49,44 % de raíces no funcionales, de manera circunstancial donde se observaron raíces con un elevado margen de daño (Figura 4D). Los resultados permiten demostrar que al no aplicar medidas de protección en la zona radicular de las musáceas las afectaciones serán contundentes y en ciertos casos severas (Morel *et al.*, 2021).

Las complicaciones se presentan cuando las especies de nematodos ingresan a las raíces, una vez que estos nematodos ingresan dejan al descubierto estas heridas en las raíces mismas que también actúan para generar una afectación secundaria en el área radicular (Rueda *et al.*, 2017). La afectación secundaria ocurre cuando ciertas plagas y enfermedades aprovechan las vías de ingreso generadas por los nematodos incrementando de esta forma el porcentaje de daño (Silva-Valenzuela *et al.*, 2020). Asimismo, condiciones como temperatura y humedad en el suelo causan afectación en las raíces en el peor de los

casos estas condiciones conllevan a una pérdida total de estas raíces (Putridión) (Arévalo *et al.*, 2016).

Efecto antagonista de la actividad sinérgica de las PGPRs a *Radopholus similis*

La aplicación combinada de PGPRs + *Trichoderma* spp y únicamente de PGPRs, reducen el índice de poblaciones de nematodos en promedios de 1.105 y 2.000 nematodos por cada 100 g de raíz (Figura 5). El empleo del producto comercial biológico (Trichomet) y Nematicida químico (RUGBY 10 G) no ejercen una actividad biocontroladora a la reducción de poblaciones de nematodos, estos sobrepasan los niveles esperados por cada 100 g de raíz (López Llorca y Jansson, 2001).

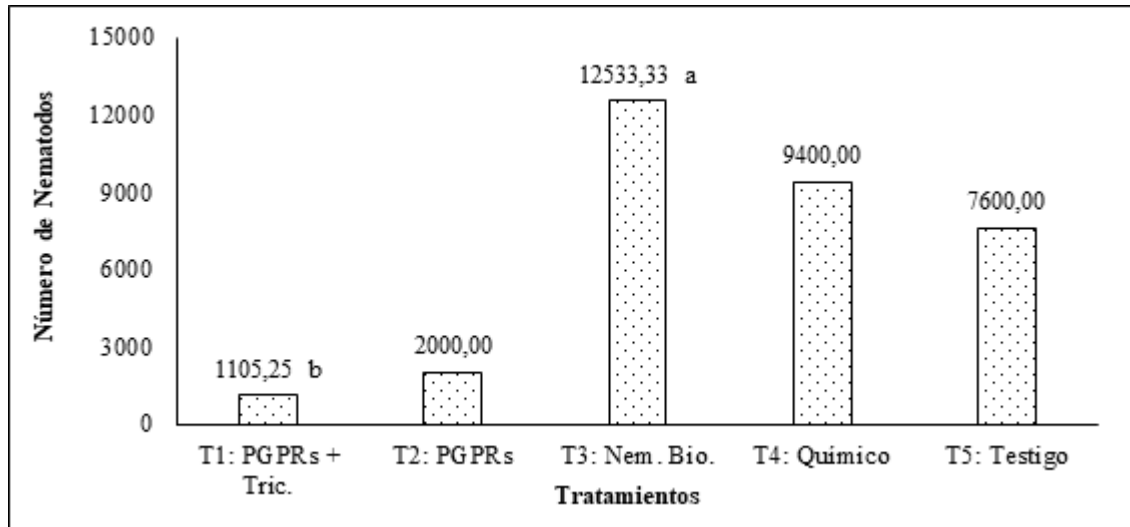


Figura 5. Promedios de número de *Radopholus similis* en los distintos tratamientos en la investigación. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$). Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

El producto comercial de Nematicida Biológico (Trichomet), permitió la proliferación de nematodos en el sistema radicular del plátano con la reproducción y movimiento libre en el tejido vegetal, donde se contabilizó 12.533 nematodos/100 g de raíz (Figura 5). El empleo de las PGPRs asegura una amplia protección al desarrollo radicular de plátano barraganete, colaborando en la permanencia del microbiota, gracias a que se produce compuestos bioactivos para el control de problemas de carácter fitopatógenos en este caso como *Radopholus similis* (Kálmán *et al.*, 2024).

Las aplicaciones de TrichoMet y RUGBY 10 G mostraron un margen de control muy inferior al esperado, teniendo así 9.400 nematodos cada 100 g de raíz, valor incluso mayor que el tratamiento testigo (agua) (Figura 5). Donde los productos biológicos comerciales al control de nematodos deben ser monitoreados para la protección contra nematodos. Publicaciones como la de Santoyo *et al.* (2021), definen que las aplicaciones de consorcios bacterianos de rizobacterias (PGPRs) aumentan la actividad nematicida por la secreción de metabolitos antagónicos como Proteasa, Cianuro de hidrogeno y Pirrolnitrina. Asimismo, Ugando Peñate *et al.* (2023) argumentan el empleo de medidas alternativas de uso no convencional posee propiedades antagonistas sobre especies de nematodos fitopatógenos y de manera específica sobre *Meloidogyne* spp, *M. javanica* y *R. similis*, en el caso de las primeras especies mencionadas ayuda en reducir la eclosión de sus huevos.

Conclusiones

La combinación de PGPRs + *Trichoderma* spp, y PGPRs como tratamiento individual favorecen la actividad antagonista hacia el nematodo fitopatógeno *R. similis*, cuyas características como incremento celular, evidencian la capacidad de brindar

mayores efectos promotores de control, generando una equidad celular para la protección requerida. El uso de los nematicidas Trichomet y RUGBY 10G no proporcionaron diferencias en el efecto de promotor vegetal.

Sin embargo, sus aplicaciones mostraron mejores promedios en el ritmo de emisión foliar y peso de raíces evaluados a los 120 días después del inicio de la investigación teniendo así contrariedad al sinergismo presentado por las rizobacterias. La abstención de aplicaciones de protección hacia nematodos fitopatógenos presenta consecuencias irreversibles en el área radicular de las plantas, presentando raíces totalmente lesionadas y aumentan rotundamente la disminución del porcentaje de funcionamiento de la zona radicular

Referencias bibliográficas

- Ali Siddiqui, I. y Ehteshamul-Haque, S. (2001). Suppression of the root rot-root knot disease complex by *Pseudomonas aeruginosa* in tomato: The influence of inoculum density, nematode populations, moisture and other plant-associated bacteria. *Plant and Soil*, 237(1), 81-89. <https://doi.org/10.1023/A:1013313103032>
- Arévalo Gardini, E., Zúñiga, C. L., Baligar, V. C., Bailey, B. y Canto, M. (2016). *Dinámica poblacional de nemátodos asociados al sistema de cultivo tradicional de cacao en la Amazonía peruana*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.3187695.v2>
- Avellán-Vásquez, L., Cobeña-Loor, N., Estévez-Chica, S., Zamora-Macias, P., Vivas-Cedeño, J., González-Ramírez, I., y Sánchez-Urdaneta, A. B. (2020). EXPORTACIÓN Y EFICIENCIA DEL USO DE FÓSFORO EN PLÁTANO 'BARRAGANETE' (*Musa paradisiaca* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1).

- <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.25>
- Becker, J. O., Zavaleta-Mejía, S. F., Colbert, M.N., Schroth, A. R., Weinhold, J. G., Hancock, y Van Gundy, S. D. (1988). Effects of Rhizobacteria on Root-Knot Nematodes and Gall Formation. *Phytopathology*, 78(11), 1466-1469. <https://doi.org/10.1094/phyto-78-1466>
- Casas, M., Pérez, J., Piñón, D., Bernal, A., Zardón, M. y Torres, J. (2015). Sesión: Control biológico de plagas con microorganismos. *Fitosanidad*, 19(2), 101-107. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209149784009.pdf>
- Cobeña-Loor, N. V., Espinosa-Marroquin, J. A., Avellán-Vásquez, L. E., Cedeño-Zambrano, J. R., Vaca-Sotelo, D. A., Chica-Chica, D. M., Rodríguez-Zambrano, B. M., Zambrano-Aveiga, R. H., Sánchez-Urdaneta, A. B. y López-Mejía, F. X. (2020). *Nutrición vegetal: exportación y eficiencia del uso de nutrientes en plátano. In Nutrición vegetal: exportación y eficiencia del uso de nutrientes en plátano.* <https://doi.org/10.17993/ingytec.2020.60>
- De Queiroz, B. P. V. y De Melo, I. S. (2006). Antagonism of *Serratia marcescens* towards *Phytophthora* parasitica and its effects in promoting the growth of citrus. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(4). <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000400008>
- Etesami, H. y Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156, 225-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017) *Anuario Meteorológico*: No. 53-2013. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Quito, Ecuador. 150 p. <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/>
- Kálmán, C. D., Nagy, Z., Berényi, A., Kiss, E. y Posta, K. (2024). Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. *Cereal Research Communications*, 52(1), 129-150. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00388-0>
- Kolombia, Y.A., Ogundero, O., Olajide, E., Viaene, N., Kumar, P. L., Coyne, D. L. y Bert, W. (2021). Morphological and molecular characterization of *Pratylenchus* species from yam (*Dioscorea* spp.) in West Africa. *Journal of Nematology*, 52(1), 1-25. <https://doi.org/10.21307/JOFNEM-2020-126>
- Kumar, A. R., Kumar, N., Poornima, K. y Soorianathasundaram, K. (2012). Screening of in-vitro derived mutants of banana against nematodes using biochemical parameters. *African Journal of Biotechnology*, 11(88). <https://doi.org/10.5897/AJB08.587>
- Lilley, C. J., Wang, D., Atkinson, H. J. y Urwin, P. E. (2011). Effective delivery of a nematode-repellent peptide using a root-cap-specific promoter. *Plant Biotechnology Journal*, 9(2), 151-160. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2010.00542.x>
- Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Protección Vegetal*, 28(1), 1-11. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522013000100001
- Maziah, M., Zuraida, A. R., Halimi, M. S., Zulkifli, H. S. y Sreeramanan, S. (2010). Influence of boron on the growth and biochemical changes in plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculated banana plantlets. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(5), 933-944. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0256-3>
- Morel, M., García, S., Castillo, Y., Moya, J. de D., Rengifo, D., Reinoso, T. y Martínez Monegro, N. (2021). Aislamiento y selección de hongos endófitos nativos con potencial antagónico a nematodos fitoparásitos en plantaciones de banano en Valverde y Montecristi. *APF*, 10(1), 11-24. <https://sodiasf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/126>
- Orlando, V., Edwards, S. G., Neilson, R., Prior, T., Roberts, D. y Back, M. (2020a). Comparing the efficiency of six common methods for DNA extraction from root-lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.). *Nematology*, 23(4), 415-423. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10049>
- Orlando, V., Grove, I. G., Edwards, S. G., Prior, T., Roberts, D., Neilson, R. y Back, M. (2020b). Root-lesion nematodes of potato: Current status of diagnostics, pathogenicity and management. *Plant Pathology*, 69(3), 405-417. <https://doi.org/10.1111/ppa.13144>
- Palomares-Rius, J. E., Cantalapiedra-Navarrete, C. y Castillo, P. (2014). Cryptic species in plant-parasitic nematodes. *Nematology*, 16(10), 1105-1118. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002831>
- Rodríguez-Romero, A. S., Badosa, E., Montesinos, E., y Jaizme-Vega, M. C. (2008). Growth promotion and biological control of root-knot nematodes in micropropagated banana during the nursery stage by treatment with specific bacterial strains. *Annals of Applied Biology*, 152(1), 41-48. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00189.x>
- Rueda Puente, E. O., Holguín-Peña, R. J., Preciado Rangel, P., Fortis Hernandez, M., Hernández Montiel, L. G. y Ruiz Espinoza, F. H. (2017). Identificación y dinámica poblacional de nemátodos fitoparásitos asociados a la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 707-720. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.613>
- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. D. C. y Glick, B. R. (2021). Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (Pgpr). *Biology*, 10(6), 475. <https://doi.org/10.3390/biology10060475>

- Siddiqui, I. A. y Shaukat, S. S. (2003). Suppression of root-knot disease by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in tomato: Importance of bacterial secondary metabolite, 2,4-diacetylphloroglucinol. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(12), 1615-1623. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.08.006>
- Silva-Valenzuela, M., Rojas-Martínez, R. I., Manzanilla-López, R. H., Macías-Rubalcava, M. L., Aranda-Ocampo, S. y Zavaleta-Mejía, E. (2020). Hongos endófitos: Una alternativa biológica para el manejo de nematodos fitoparásitos. *Nematropica*, 50(1), 101-117. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/126284>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E. y Jaroszek-Ścisł, J. (2022). *Trichoderma*: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Ugando Peñate, M., Sabando García, Á. R., Armas Herrera, R., Higuerey Gómez, Á. A. y Villalón Peñate, A. (2023). Modelización econométrica aplicada y pronósticos de niveles exportables para el plátano barraganete en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Revista de La Universidad Del Zulia*, 14(39). <https://doi.org/10.46925/rdluz.39.08>
- Wulandari, S., Netty, S. y Suriyanti, S. (2021). Pengaruh konsentrasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan pupuk KCl terhadap pertumbuhan dan produksi pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal AGrotekMAS*, 2(3). <https://jurnal.fp.umi.ac.id/index.php/agrotekmas/article/view/216>

