









**Research Article**

# Efecto de cepas de *Trichoderma* spp. sobre la eficiencia en el uso de fertilizantes edáficos en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca* L.) en condiciones de campo

## *Effect of Trichoderma spp. strains on the efficiency of soil fertilizer use in banana (Musa x paradisiaca L.) cultivation under field conditions*

 Vallejo-Moran, Freddy <sup>1</sup>  
 <https://orcid.org/0009-0009-3488-1102>  
 [Freddy.vallejo2558@utc.edu.ec](mailto:Freddy.vallejo2558@utc.edu.ec)  
 Ecuador, Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi

 Granja-Guerra, Eliana <sup>2</sup>  
 <https://orcid.org/0000-0002-7382-935X>  
 [eliana.granja@utc.edu.ec](mailto:eliana.granja@utc.edu.ec)  
 Ecuador, Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/195>

**Resumen:** El cultivo de banano demanda estrategias que mejoren su crecimiento, calidad de fruta y rendimiento bajo condiciones de campo. Esta investigación evaluó el efecto de *Trichoderma* spp. aplicado en drench y adicionado al fertilizante edáfico sobre la respuesta agronómica del cultivo. El estudio se desarrolló en El Empalme, Guayas, Ecuador, mediante un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y siete repeticiones: T1, drench + *Trichoderma* spp.; T2, fertilizante + *Trichoderma* spp.; y T3, control sin *Trichoderma*. Se evaluaron altura, fuste, emisión foliar, hojas funcionales, calidad de fruta y rendimiento. A las 41 semanas, T3 alcanzó la mayor altura con 2,51 m, seguido de T1 con 2,47 m. T1 destacó en fuste, 0,77 m; hojas funcionales, 8,25; peso de racimo, 55,00 lb; longitud de dedo, 8,30 pulgadas; y rendimiento, 33,26 t ha<sup>-1</sup>. La aplicación en drench mostró mejor desempeño productivo general.

**Palabras clave:** rizosfera, nutrición vegetal, microorganismos, productividad.



Check for updates

**Recibido:** 08/Abr/2026  
**Aceptado:** 07/May/2026  
**Publicado:** 31/May/2026

**Cita:** Vallejo-Moran, F., & Granja-Guerra, E. (2026). Efecto de cepas de *Trichoderma* spp. sobre la eficiencia en el uso de fertilizantes edáficos en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca* L.) en condiciones de campo. *Revista Científica Zambos*, 5(2), 336-352. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/195>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia  
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo  
Revista Científica Zambos (RCZ)  
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



**Abstract:**

Banana cultivation requires strategies to improve growth, fruit quality, and yield under field conditions. This study evaluated the effect of *Trichoderma* spp. applied as a drench and added to soil fertilizer on the crop's agronomic response. The study was conducted in El Empalme, Guayas, Ecuador, using a completely randomized block design with three treatments and seven replicates: T1, drench + *Trichoderma* spp.; T2, fertilizer + *Trichoderma* spp.; and T3, control without *Trichoderma*. Height, stem, leaf emergence, functional leaves, fruit quality, and yield were evaluated. At 41 weeks, T3 reached the greatest height at 2.51 m, followed by T1 at 2.47 m. T1 stood out in stem length, 0.77 m; functional leaves, 8.25; cluster weight, 55.00 lb; finger length, 8.30 inches; and yield, 33.26 t ha<sup>-1</sup>. The drench application showed better overall productive performance.

**Keywords:** rhizosphere, plant nutrition, microorganisms, productivity

## 1. Introducción

El banano es un cultivo de alta importancia productiva en regiones tropicales, cuya expresión agronómica depende en gran medida del manejo nutricional aplicado durante el ciclo de campo. Su crecimiento rápido, la emisión continua de hojas y la formación del racimo demandan una disponibilidad constante de nutrientes, especialmente nitrógeno y potasio, elementos asociados con el vigor vegetativo, el llenado del fruto y la productividad comercial (Villaseñor-Ortiz et al., 2022). En sistemas de producción intensiva, la fertilización edáfica constituye una práctica determinante para sostener el rendimiento, aunque su efectividad depende de la dosis, la fuente fertilizante, el estado químico del suelo y la capacidad de absorción de la planta (Britez et al., 2023). La respuesta del cultivo a la nutrición mineral confirma que el suministro balanceado de nutrientes puede modificar de manera significativa el crecimiento y la producción del banano (Andrade et al., 2020).

La eficiencia en el uso de fertilizantes se ha convertido en un criterio central para mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, debido a que la aplicación excesiva o desbalanceada de nutrientes puede incrementar los costos de producción y generar pérdidas por lixiviación, volatilización o fijación en el suelo (Penuelas et al., 2023). En cultivos de alta demanda nutricional, la reducción parcial de fertilizantes químicos combinada con alternativas bioorgánicas ha mostrado efectos favorables sobre la productividad, la calidad del fruto y la dinámica microbiana del suelo (Li et al., 2021). La sincronización entre la liberación de nutrientes del fertilizante y la demanda real del cultivo representa una estrategia relevante para incrementar la eficiencia de uso de nutrientes en banano (Zhang et al., 2025), mientras que los enfoques actuales de fertilización recomiendan optimizar la disponibilidad nutrimental sin depender únicamente del aumento de dosis (Barlóg, 2023).

El género *Trichoderma* agrupa hongos filamentosos ampliamente estudiados por su capacidad para colonizar la rizosfera, interactuar con las raíces y favorecer procesos vinculados al crecimiento vegetal. Estos microorganismos pueden estimular la arquitectura radical, modificar respuestas fisiológicas de la planta y activar rutas asociadas con tolerancia al estrés y defensa vegetal (Contreras-Cornejo et al., 2024). Su acción no se limita al control biológico de fitopatógenos, ya que también puede contribuir a la promoción del crecimiento mediante metabolitos secundarios, enzimas hidrolíticas y compuestos relacionados con la disponibilidad de nutrientes (Asghar et al., 2024). La amplitud de sus mecanismos de acción explica su uso creciente como agente biológico en sistemas agrícolas orientados a reducir la presión de enfermedades y fortalecer el desarrollo vegetal (Yao et al., 2023).

La incorporación de *Trichoderma* spp. en programas de manejo agronómico se relaciona con su capacidad para interactuar con el microbioma del suelo y modificar procesos biológicos que influyen en la sanidad y nutrición de las plantas. La evidencia reciente señala que estos hongos pueden participar en redes microbianas beneficiosas, mejorar la respuesta vegetal frente a condiciones adversas y favorecer una relación más equilibrada entre planta, suelo y microorganismos (Guzmán-Guzmán et al., 2025). En la agricultura sostenible, su uso se asocia con funciones bioestimulantes, antagonistas y reguladoras de procesos rizosféricos, lo que amplía su aplicación más allá del control de enfermedades (Cortés et al., 2024). Además, la aplicación de *Trichoderma* ha mostrado efectos sobre la disponibilidad de N, P y K en el suelo y sobre la absorción nutrimental en plantas cultivadas (Syamsiyah et al., 2024).

En banano, las investigaciones con microorganismos benéficos han mostrado respuestas favorables en etapas de vivero y campo, aunque los efectos pueden variar según la cepa utilizada, el tipo de sustrato, las condiciones edafoclimáticas y el manejo nutricional aplicado. La inoculación con *Trichoderma asperellum* y *Bacillus* sp. ha favorecido el crecimiento y el contenido nutrimental de plántulas de banano, lo que sugiere un efecto positivo sobre la calidad fisiológica del material vegetal (Moreira et al., 2021). En condiciones de producción familiar, el manejo nutricional combinado con *T. asperellum* ha sido evaluado como alternativa para mejorar el desempeño agroeconómico del cultivo (Maués et al., 2022). De igual forma, la aplicación de *Bacillus* sp. y *Trichoderma* spp. en vivero ha evidenciado respuestas diferenciadas en el desarrollo de plántulas de banano, lo que confirma la necesidad de evaluar cepas específicas bajo condiciones locales (Guerrero et al., 2025).

La evaluación de bioinsumos en banano debe considerar que la respuesta agronómica no depende únicamente de la presencia del microorganismo, sino de su interacción con el sistema de fertilización, el suelo y el estado nutricional del cultivo. La nutrición del banano exige estrategias que integren fuentes, momentos y formas de aplicación para mejorar la disponibilidad de nutrientes y reducir pérdidas en el sistema suelo-planta (Guimarães et al., 2020). En Ecuador, los estudios sobre rangos de suficiencia de nitrógeno y potasio en banano muestran la importancia de ajustar la fertilización a

condiciones locales de cultivo y no asumir respuestas uniformes entre zonas productoras (Villaseñor-Ortiz et al., 2022). La variabilidad en la eficiencia de uso de fertilizantes justifica evaluar alternativas biológicas que permitan mejorar el aprovechamiento de los nutrientes aplicados sin comprometer el crecimiento ni la productividad del cultivo (Bartóg, 2023).

A partir de estos antecedentes, el presente estudio aborda el efecto de cepas de *Trichoderma* spp. sobre la eficiencia en el uso de fertilizantes edáficos en el cultivo de banano bajo condiciones de campo. Esta investigación busca aportar evidencia agronómica sobre la integración de microorganismos benéficos en el manejo nutricional del cultivo, con énfasis en la respuesta de *Musa x paradisiaca* L. frente a esquemas de fertilización edáfica y aplicación de cepas con potencial bioestimulante.

## 2. Metodología

El estudio se realizó en una plantación bananera ubicada en Ecuador, provincia del Guayas, cantón El Empalme, recinto San Luis. La investigación se desarrolló bajo condiciones de campo, en un sistema de producción comercial de banano, con el propósito de evaluar el efecto de cepas de *Trichoderma* spp. sobre la eficiencia en el uso de fertilizantes edáficos, considerando la respuesta agronómica del cultivo mediante variables de crecimiento vegetativo, emisión foliar, hojas funcionales, calidad de fruta y rendimiento por hectárea.

La plantación presentó una distancia de siembra de 3,00 m entre hileras y 2,50 m entre plantas, equivalente a una densidad aproximada de 1 333 plantas ha<sup>-1</sup>. Esta densidad fue considerada para la estimación del rendimiento por hectárea, expresado en toneladas. El estudio se ejecutó en plantas establecidas bajo condiciones homogéneas de manejo agronómico, procurando reducir la variabilidad propia del lote experimental.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, con alcance experimental, y se desarrolló mediante un diseño de bloques completos al azar. Se evaluaron tres tratamientos con siete repeticiones, para un total de 21 unidades experimentales. Los tratamientos fueron: T1, Drench + *Trichoderma* spp.; T2, Fertilizante + *Trichoderma* spp.; y T3, control sin aplicación. La distribución de los tratamientos permitió comparar la respuesta del cultivo frente a la aplicación de *Trichoderma* spp. en drench, su combinación con fertilización edáfica y el comportamiento del cultivo en ausencia de aplicación.

Para efectos del estudio, la eficiencia en el uso de fertilizantes edáficos fue interpretada desde un enfoque agronómico indirecto, a partir del comportamiento de las variables vegetativas, comerciales y productivas del cultivo. En este sentido, la eficiencia no se asumió como una medición directa de absorción o recuperación nutrimental, sino como la respuesta del banano frente a los tratamientos evaluados bajo condiciones de campo.

Las variables de crecimiento vegetativo evaluadas fueron altura de planta, fuste del pseudotallo, emisión foliar y número de hojas funcionales. La altura de planta se expresó en metros y se midió desde la base del pseudotallo hasta el punto de emisión de la hoja más joven. El fuste del pseudotallo se registró mediante medición directa con cinta métrica, tomando como referencia un punto uniforme de la planta para garantizar comparabilidad entre las unidades experimentales. La emisión foliar se determinó a partir del número de hojas nuevas emitidas durante el periodo de evaluación, mientras que el número de hojas funcionales se registró considerando las hojas activas presentes en la planta al momento de cada medición.

La calidad de fruta se evaluó al momento de la cosecha mediante el registro de variables físicas y comerciales del racimo. Se consideraron el número de manos, peso de racimo, longitud del dedo y calibre. El número de manos se registró mediante conteo directo por racimo. El peso de racimo se expresó en libras, de acuerdo con el registro de campo. La longitud del dedo se expresó en pulgadas, mientras que el calibre se registró en grados, conforme a los criterios comerciales utilizados en la evaluación bananera.

El rendimiento por hectárea se calculó a partir del peso del racimo y la densidad de siembra de la plantación. Para ello, el peso de racimo registrado en libras fue transformado a kilogramos mediante el factor de conversión correspondiente. Posteriormente, el rendimiento fue expresado en toneladas por hectárea, considerando una densidad aproximada de 1 333 plantas ha<sup>-1</sup>. La estimación se realizó mediante la fórmula:  $\text{rendimiento t ha}^{-1} = \text{peso promedio del racimo kg} \times 1\,333 \text{ plantas ha}^{-1} \div 1000$ .

Los datos fueron organizados en matrices por variable, tratamiento y repetición, de acuerdo con la estructura del diseño de bloques completos al azar. Las variables vegetativas evaluadas fueron altura de planta, fuste del pseudotallo, emisión foliar y número de hojas funcionales. Para la calidad de fruta se analizaron número de manos, peso de racimo, longitud y calibre, mientras que la variable productiva correspondió al rendimiento por hectárea expresado en toneladas.

El análisis estadístico se realizó mediante el programa InfoStat. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental aplicado y, cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Los resultados fueron presentados mediante promedios por tratamiento, acompañados de las letras de significancia correspondientes, según la comparación de medias realizada.

### 3. Resultados

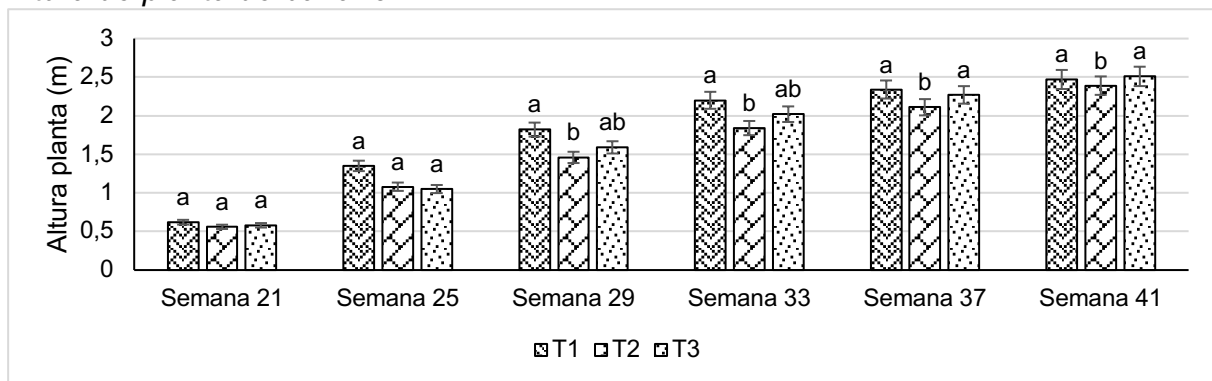
#### 3.1. Altura de planta (m)

La altura de planta presentó un incremento progresivo en todos los tratamientos durante las semanas evaluadas. En las semanas 21 y 25 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, ya que todos compartieron la misma letra estadística. En la semana 21, los promedios fueron de 0,62 m para T1, 0,56 m para T2 y 0,58 m para T3; mientras que en la semana 25 se registraron valores de 1,35 m, 1,08 m y 1,05 m, respectivamente. A partir de la semana 29 se evidenciaron diferencias significativas, donde T1 alcanzó el mayor promedio con 1,82 m, T2 presentó el menor valor con 1,40 m y T3 obtuvo 1,59 m, ubicándose en un grupo estadístico intermedio.

En la semana 33 se mantuvieron diferencias significativas entre tratamientos, con mayor altura en T1 con 2,20 m, seguido de T3 con 2,02 m y T2 con 1,84 m. En la semana 37, T1 y T3 registraron los mayores promedios, con 2,34 m y 2,27 m, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos, mientras que T2 presentó el menor valor con 2,11 m. Para la semana 41, T3 alcanzó el mayor promedio con 2,51 m, seguido de T1 con 2,47 m; ambos tratamientos compartieron el mismo grupo estadístico. El menor promedio correspondió a T2, con 2,39 m, diferenciándose significativamente de T1 y T3 (Figura 1).

**Figura 1**

*Altura de planta de banano*



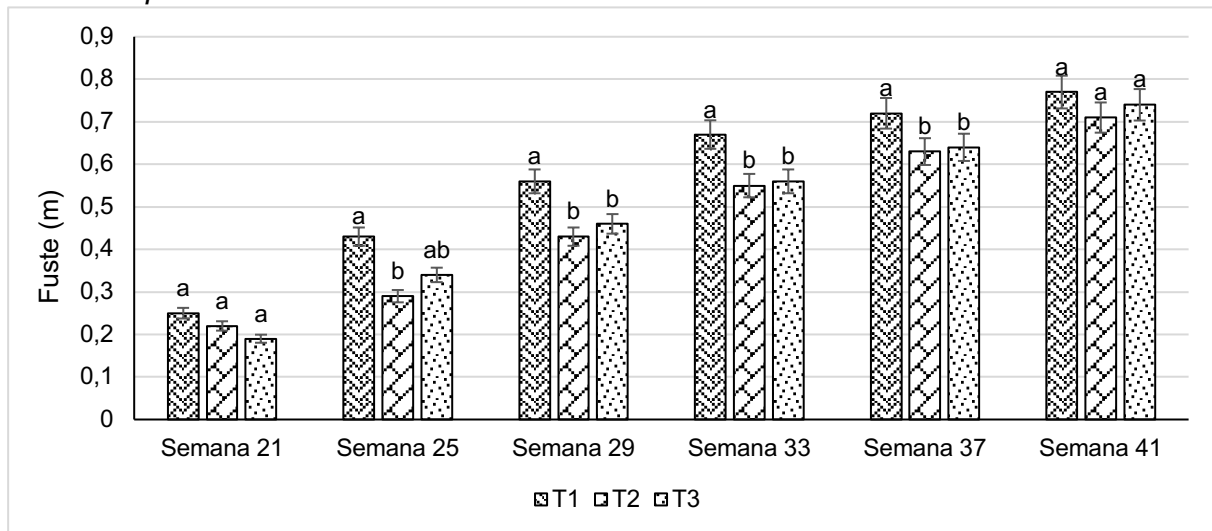
*Nota:* Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores, 2026).

#### 3.1.1. Fuste del pseudotallo (m)

El fuste del pseudotallo presentó un incremento progresivo en todos los tratamientos durante las semanas evaluadas. En la semana 21 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, con promedios de 0,25 m en T1, 0,22 m en T2 y 0,19 m en T3. En la semana 25 se registraron diferencias significativas, donde T1 alcanzó el mayor promedio con 0,43 m, mientras que T2 presentó el menor valor con 0,29 m. El tratamiento T3 obtuvo 0,34 m y se ubicó en un grupo estadístico intermedio, sin diferenciarse significativamente de T1 ni de T2.

En las semanas 29, 33 y 37 se mantuvieron diferencias significativas entre tratamientos. En estas evaluaciones, T1 registró los mayores promedios, con 0,56 m, 0,67 m y 0,72 m, respectivamente, ubicándose en el grupo estadístico superior. Los tratamientos T2 y T3 presentaron valores inferiores y compartieron el mismo grupo estadístico en dichas semanas, con promedios de 0,43 m y 0,46 m en la semana 29; 0,55 m y 0,56 m en la semana 33; y 0,63 m y 0,64 m en la semana 37. Para la semana 41 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, con promedios de 0,77 m en T1, 0,71 m en T2 y 0,74 m en T3 (Figura 2).

**Figura 2**  
Fuste del pseudotallo de banano



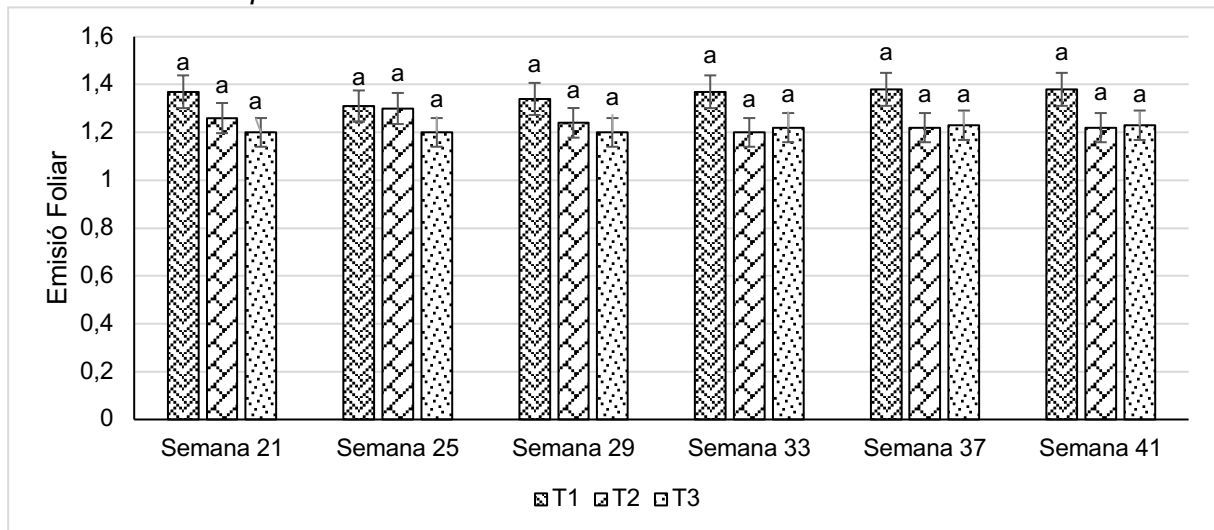
*Nota:* Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación.

### 3.1.2. Emisión foliar

La emisión foliar no presentó diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las semanas evaluadas, debido a que todos los promedios compartieron la misma letra estadística según la prueba de Tukey al 5 %. En la semana 21, los valores fueron de 1,37 para T1, 1,26 para T2 y 1,20 para T3. En la semana 25, los promedios fueron similares entre tratamientos, con 1,31 en T1, 1,30 en T2 y 1,20 en T3. Para la semana 29, T1 registró 1,34, mientras que T2 y T3 alcanzaron 1,24 y 1,20, respectivamente.

Durante las semanas 33, 37 y 41 se mantuvo el mismo comportamiento estadístico, sin diferencias significativas entre tratamientos. En la semana 33, los promedios fueron de 1,37 para T1, 1,20 para T2 y 1,22 para T3; en la semana 37 se registraron valores de 1,38, 1,22 y 1,23, respectivamente. Finalmente, en la semana 41, T1 presentó un promedio de 1,38, mientras que T2 y T3 obtuvieron 1,22 y 1,23. Aunque T1 mostró los mayores valores numéricos en la mayoría de las evaluaciones, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Figura 3).

**Figura 3**  
Emisión foliar de plantas de banano

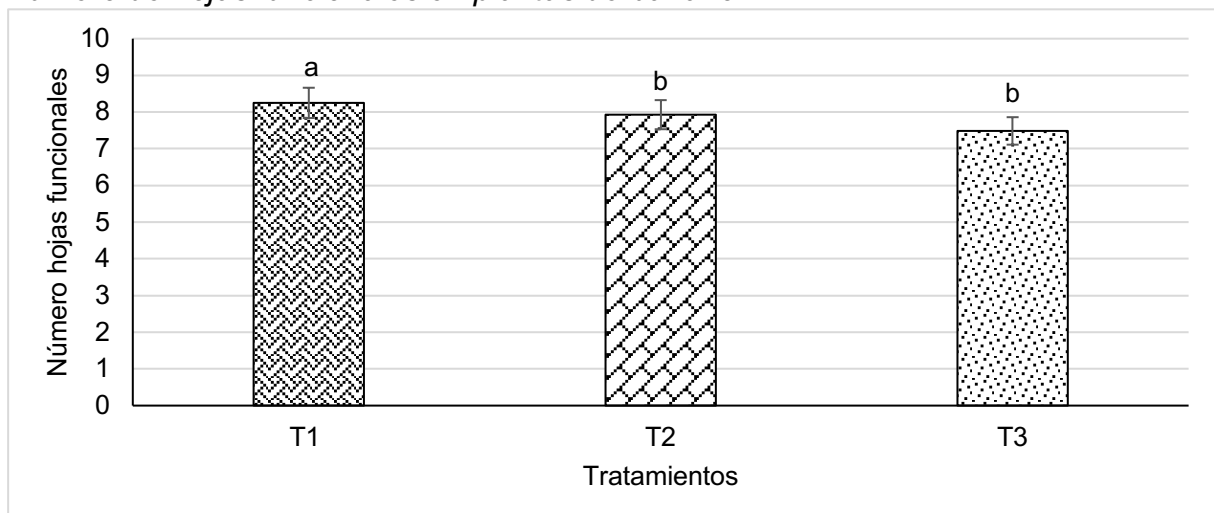


Nota: Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores, 2026).

### 3.1.3. Número de hojas funcionales

El número de hojas funcionales presentó diferencias significativas entre tratamientos. El mayor promedio se registró en T1, con 8,25 hojas funcionales, ubicándose en el grupo estadístico superior. Los tratamientos T2 y T3 mostraron valores menores, con 7,93 y 7,49 hojas funcionales, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos, ya que compartieron la misma letra estadística. Estos resultados indican que, para esta variable, T1 presentó el mejor comportamiento numérico y estadístico, mientras que T2 y T3 se mantuvieron en un grupo inferior (Figura 4).

**Figura 4**  
Número de hojas funcionales en plantas de banano



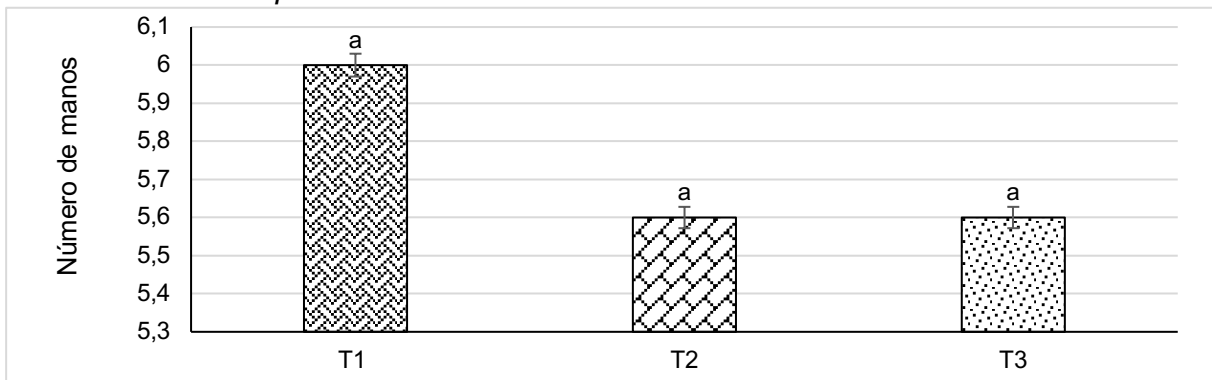
Nota: Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores, 2026).

### 3.2. Calidad de la fruta

#### 3.2.1. Número de manos

El número de manos por racimo no presentó diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 %. El mayor promedio se registró en T1, con 6,00 manos por racimo, mientras que T2 y T3 presentaron promedios iguales de 5,60 manos. Aunque T1 mostró una ligera superioridad numérica, esta diferencia no fue estadísticamente significativa frente a los demás tratamientos.

**Figura 5**  
Número de manos por racimo de banana

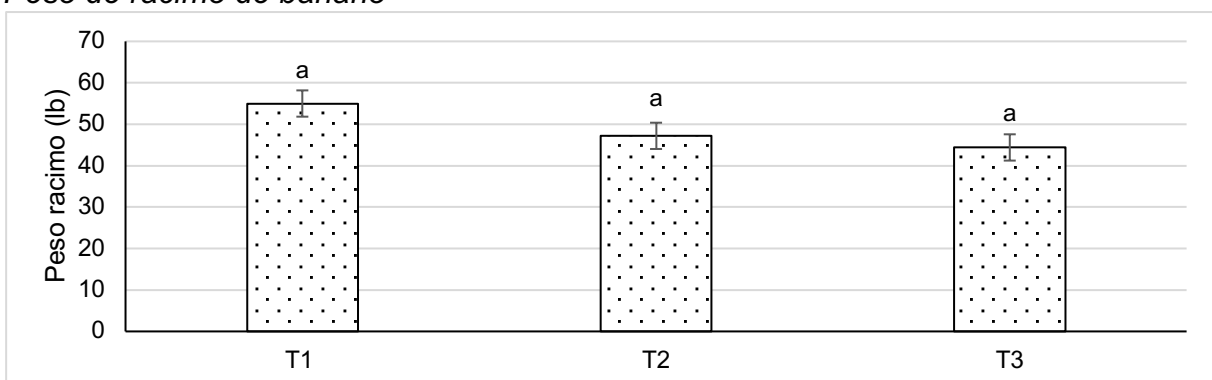


*Nota:* Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores. 2026).

#### 3.2.2. Peso de racimo (lb)

El peso de racimo no presentó diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey al 5 %. El mayor promedio se registró en T1, con 55,00 lb, seguido de T2 con 47,20 lb y T3 con 44,40 lb. Aunque T1 presentó un peso promedio superior respecto a los demás tratamientos, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Figura6).

**Figura 6**  
Peso de racimo de banana



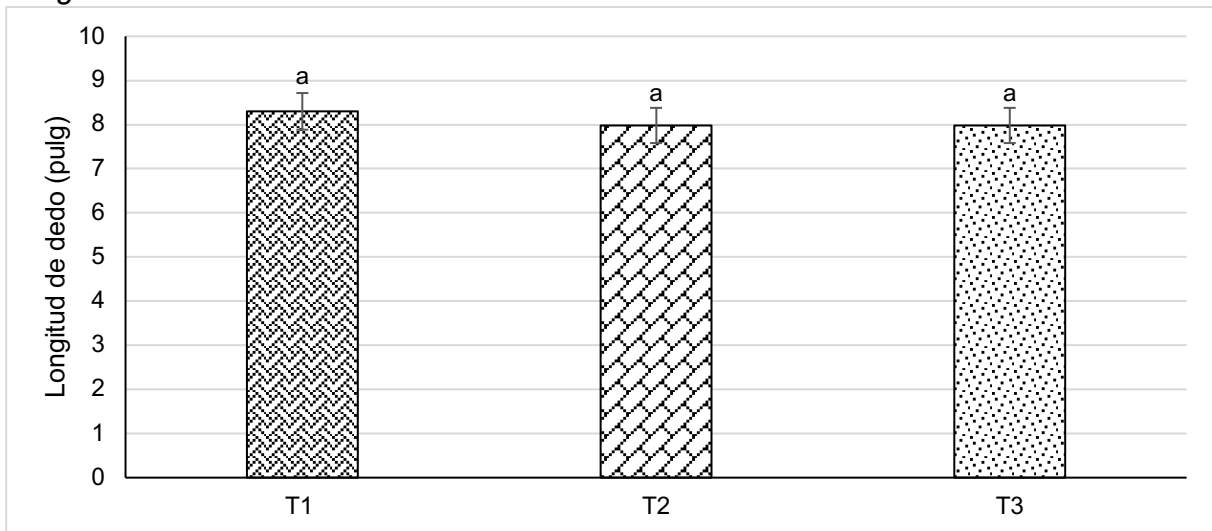
*Nota:* Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores. 2026).

### 3.2.3. Longitud de dedo (plg)

La longitud del dedo no presentó diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 %. La mayor media se registró en T1, con 8,30 pulgadas, mientras que T2 y T3 presentaron promedios iguales de 7,98 pulgadas. Aunque T1 mostró una media ligeramente superior, los tratamientos mantuvieron un comportamiento estadísticamente similar para esta variable de calidad de fruta.

**Figura 7**  
Longitud del dedo de banano

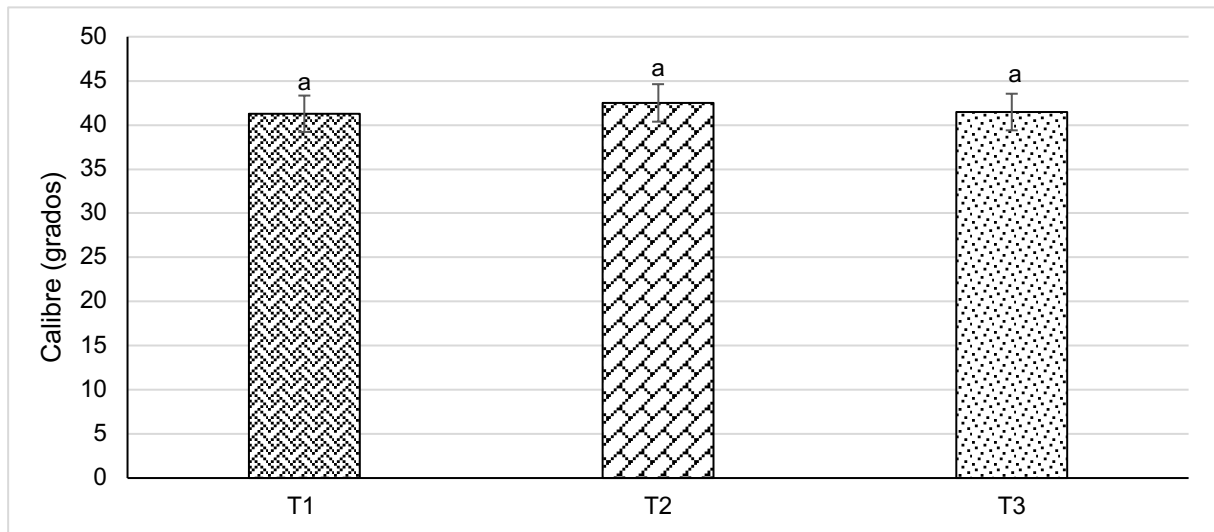


*Nota:* Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores. 2026).

### 3.2.4. Calibre (grados)

El calibre del fruto no presentó diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 %. La mayor media se registró en T2, con 42,50 grados, seguida de T3 con 41,50 grados y T1 con 41,30 grados. Aunque T2 mostró un promedio ligeramente superior, las medias se mantuvieron estadísticamente similares entre tratamientos, por lo que el calibre presentó un comportamiento uniforme en las condiciones evaluadas (Figura 8).

**Figura 8**  
Calibre del fruto de banano

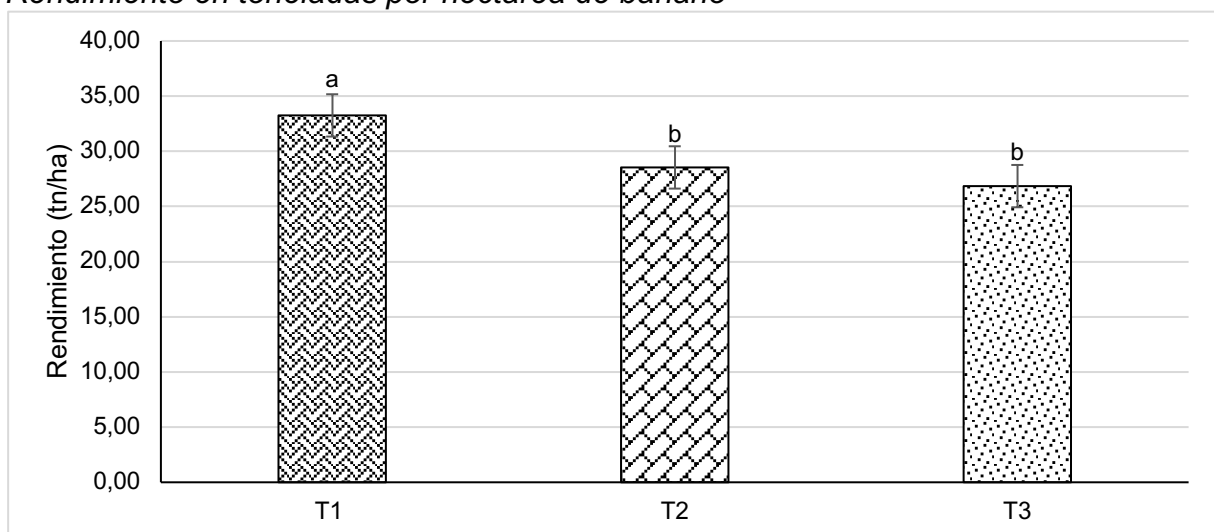


Nota: Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores. 2026).

### 3.3. Rendimiento (tn/ha)

El rendimiento por hectárea presentó diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 %. La mayor media se registró en T1, con 33,26 t ha<sup>-1</sup>, ubicándose en el grupo estadístico superior. Los tratamientos T2 y T3 presentaron medias inferiores, con 28,54 y 26,85 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. De esta manera, T1 mostró el mayor rendimiento por hectárea, mientras que T2 y T3 se mantuvieron estadísticamente en un mismo grupo.

**Figura 9**  
Rendimiento en toneladas por hectárea de banano



Nota: Medias con letras diferentes dentro de cada semana indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Las barras verticales representan el error estándar de la media. T1: Drench + *Trichoderma* spp.; T2: Fertilizante + *Trichoderma* spp.; T3: control sin aplicación (Autores. 2026).

## 4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de *Trichoderma* spp., tanto en drench como adicionada al fertilizante edáfico, favoreció la respuesta agronómica del banano frente al control sin aplicación del hongo. Este comportamiento puede atribuirse al papel de *Trichoderma* como microorganismo rizosférico con capacidad para estimular el crecimiento vegetal, mejorar la interacción planta-suelo y contribuir al equilibrio biológico del sistema radical. Zin y Badaluddin (2020) señalan que las especies de *Trichoderma* cumplen funciones relevantes en agricultura por su actividad promotora del crecimiento, su competencia con microorganismos fitopatógenos y su participación en procesos asociados con la sanidad vegetal. A su vez, Tyśkiewicz et al. (2022) destacan que la eficacia de este género depende de su actividad metabólica, de la interacción con la planta y de las condiciones del ambiente edáfico. En este estudio, la respuesta superior de T1 y T2 sugiere que la incorporación del hongo pudo favorecer el desarrollo del cultivo durante las etapas evaluadas.

En las variables de crecimiento vegetativo, los tratamientos con *Trichoderma* spp. presentaron un comportamiento más favorable que el control, especialmente en altura de planta y fuste. Terrero et al. (2025), al evaluar *Trichoderma* spp. en plantas de plátano expuestas a *Ralstonia solanacearum*, reportaron efectos positivos sobre altura y diámetro del pseudotallo, aunque la respuesta no siempre fue uniforme para el número de hojas. Este antecedente permite interpretar que el efecto del hongo puede expresarse con mayor claridad en variables estructurales de crecimiento que en indicadores de emisión foliar. De forma complementaria, Maridueña et al. (2026) observaron que la aplicación de *Trichoderma harzianum* mediante drench influyó en el desarrollo de hijuelos de banano Cavendish en condiciones de Guayas, lo que guarda relación con la respuesta observada en el tratamiento T1. Por tanto, la aplicación directa al suelo pudo favorecer una interacción más inmediata entre el hongo y la zona radical.

El mayor desarrollo del fuste y la altura en los tratamientos con *Trichoderma* también puede relacionarse con una mejor condición del sistema radical. Se han reportado que cepas de *Trichoderma* contribuyeron al anclaje y desarrollo radicular de plantas de banano, con mejoras en variables como longitud, volumen y peso seco de raíces. En este sentido, Castillo et al. (2025) indicaron que la aplicación de rizobacterias y *Trichoderma* en plátano barraganete incrementó la presencia de raíces funcionales y redujo el deterioro radical asociado a nematodos fitoparásitos. Aunque en el presente estudio no se evaluaron raíces, la mejora observada en el crecimiento aéreo podría estar vinculada con una mayor actividad radical, condición indispensable para sostener la absorción de agua y nutrientes en un cultivo de alta demanda como el banano.

La emisión foliar y el número de hojas funcionales deben interpretarse con mayor cautela, debido a que estas variables pueden estar influenciadas por la edad fisiológica de la planta, la disponibilidad hídrica, la sanidad foliar y el manejo general

del lote. Sarma et al. (2025) demostraron que el efecto de *Trichoderma asperellum* sobre el crecimiento y la supresión de marchitez por *Fusarium* en banano depende del cultivar y de la capacidad de colonización radical. Este criterio es importante porque explica por qué la respuesta a *Trichoderma* no siempre se expresa de manera uniforme en todas las variables. Así, cuando la emisión foliar presenta diferencias menores entre tratamientos, pero la altura, el fuste o el rendimiento estimado muestran mejores promedios, la interpretación más adecuada es que el hongo pudo favorecer la calidad del crecimiento y no necesariamente acelerar la producción de hojas.

En las variables de calidad de fruta, los tratamientos con *Trichoderma* spp. mostraron una tendencia favorable en componentes como peso de racimo, número de manos, longitud del dedo, calibre y rendimiento estimado. Wong et al. (2021) encontraron que la aplicación conjunta de *Pseudomonas aeruginosa* y *Trichoderma harzianum* mejoró el crecimiento y generó cambios bioquímicos favorables en plantas de banano afectadas por marchitez por *Fusarium*. Aunque dicho estudio se desarrolló bajo condiciones diferentes, sus resultados respaldan el potencial de *Trichoderma* para fortalecer la respuesta fisiológica de la planta. Andrade et al. (2024) también observaron que la incorporación de microorganismos benéficos, incluido *Trichoderma harzianum*, dentro de un proceso de transición agroecológica en *Musa x paradisiaca* favoreció variables fenológicas, productivas y económicas. Estos antecedentes permiten sostener que la mejora en la calidad del racimo puede estar asociada con una mejor condición vegetativa previa.

El tratamiento T2, correspondiente a la aplicación de *Trichoderma* spp. adicionada al fertilizante edáfico, merece una interpretación cuidadosa. Los resultados sugieren que esta combinación generó una respuesta agronómica favorable frente al control sin el hongo; sin embargo, no permiten afirmar de manera concluyente que se incrementó la eficiencia del fertilizante, debido a que no se incluyó un tratamiento con fertilización sin *Trichoderma*. Andrzejak y Janowska (2022) señalan que la respuesta de *Trichoderma* depende de la especie, la formulación, la dosis, el cultivo y el ambiente de aplicación. Por ello, en este estudio resulta más apropiado indicar que la incorporación de *Trichoderma* al fertilizante mostró potencial como estrategia complementaria del manejo edáfico, sin atribuirle un efecto directo sobre la eficiencia nutricional. Esta precisión fortalece la discusión y evita conclusiones que excedan el alcance experimental.

La superioridad de los tratamientos con *Trichoderma* también puede explicarse por mecanismos indirectos relacionados con la protección del sistema radical. Damodaran et al. (2020) demostraron que *Trichoderma reesei* puede actuar como antagonista frente a la marchitez por *Fusarium* en banano, lo que confirma su valor como agente biológico en musáceas. Long et al. (2023) reportaron que *Trichoderma parareesei* N4-3 presentó potencial de biocontrol frente a la marchitez por *Fusarium* mediante hiperparasitismo y actividad enzimática. De igual manera, Luo et al. (2023) describieron a *Trichoderma koningiopsis* Tk905 como un agente con capacidad de biocontrol, inducción de resistencia y promoción del crecimiento en banano. Aunque

el presente estudio no evaluó incidencia de enfermedades ni colonización radical, estos antecedentes ayudan a explicar por qué las plantas tratadas pudieron expresar mayor vigor y mejor comportamiento productivo.

La diferencia entre T1 y T2 confirma que la forma de aplicación puede modificar la respuesta del cultivo. En el caso del drench, el contacto directo con la zona radical pudo favorecer la colonización del entorno edáfico y una interacción más temprana con la planta. En el tratamiento adicionado al fertilizante, el hongo pudo actuar en un ambiente con mayor disponibilidad nutrimental, aunque condicionado por la fuente fertilizante, la humedad del suelo y la compatibilidad del producto aplicado. Acaro & Cevallos (2025) destacan que los hongos asociados al cultivo de banano poseen potencial biotecnológico para el desarrollo de inoculantes, pero su uso requiere considerar la identidad de las cepas, su adaptación al ambiente y su funcionalidad agronómica. Por ello, los resultados del presente estudio deben interpretarse como evidencia de respuesta bajo condiciones específicas de campo.

Los hallazgos permiten sostener que *Trichoderma* spp. favoreció el crecimiento vegetativo, la calidad de fruta y el rendimiento estimado del banano bajo las condiciones evaluadas. El tratamiento en drench mostró una respuesta destacada por su relación directa con la zona radical, mientras que la aplicación adicionada al fertilizante evidenció potencial como alternativa complementaria dentro del manejo edáfico del cultivo.

## 5. Conclusiones

La aplicación de *Trichoderma* spp. favoreció la respuesta agronómica del banano bajo condiciones de campo, con efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo, la calidad de fruta y el rendimiento estimado. Los tratamientos con incorporación del hongo presentaron mejor comportamiento frente al control sin *Trichoderma*, especialmente en variables asociadas al desarrollo de la planta, como altura, fuste, emisión foliar y hojas funcionales, así como en componentes comerciales del racimo. La aplicación en drench mostró una respuesta destacada por su contacto directo con la zona radical, mientras que la adición de *Trichoderma* al fertilizante edáfico evidenció potencial como alternativa complementaria dentro del manejo nutricional del cultivo, esto permite respaldar el uso de *Trichoderma* spp. como herramienta biológica para fortalecer el desempeño productivo del banano; no obstante, futuras investigaciones deberán incluir tratamientos con fertilización sin el hongo, análisis de suelo y foliares, evaluación radical y verificación de la colonización microbiana, con el fin de precisar su efecto sobre la absorción de nutrientes y la eficiencia del manejo edáfico.

## CONFLICTO DE INTERESES

**“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.**

## Referencias Bibliográficas

- Acaro Reyes, B. P., & Cevallos, S. (2025). Hongos asociados al cultivo de banano (*Musa* spp.) con potencial biotecnológico para el desarrollo de inoculantes. *Siembra*, 12(1), e7053. <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7053>
- Andrade García, E. O., Palma García, J. M., & Cuellar Olalde, R. (2024). Transición agroecológica en *Musa × paradisiaca* L. variedad 'Enano Gigante' en Tecomán, Colima, México. *Revista de Protección Vegetal*, 39, e03. <https://cu-id.com/2247/v39e03>
- Andrade, M. G. O., Lima, S. F., Vendruscolo, E. P., Ávila, J., Martins, J. D., & Lima, A. P. L. (2020). Nitrogen and potassium fertilization affects banana production. *Research, Society and Development*, 9(7), e227973753. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3753>
- Andrzejak, R., & Janowska, B. (2022). *Trichoderma* spp. improves flowering, quality, and nutritional status of ornamental plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15662. <https://doi.org/10.3390/ijms232415662>
- Asghar, W., Craven, K. D., Kataoka, R., Mahmood, A., Asghar, N., Raza, T., & Iftikhar, F. (2024). The application of *Trichoderma* spp., an old but new useful fungus, in sustainable soil health intensification: A comprehensive strategy for addressing challenges. *Plant Stress*, 12, 100455. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100455>
- Bartłóg, P. (2023). Improving fertilizer use efficiency: Methods and strategies for the future. *Plants*, 12(20), 3658. <https://doi.org/10.3390/plants12203658>
- Britez, P. A. R., Rasche Álvarez, J. W., & Fatecha Fois, D. A. (2023). Nitrogen and potassium fertilization in banana crop (*Musa paradisiaca* L.) in the District of Guajayvi, Department of San Pedro. *Revista Científica de la UCSA*, 10(2), 3–13. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2023.010.02.003>
- Castillo Castillo, J. A., Canchignia Martínez, H., Arteaga Alcívar, F. J., & Álava Cruz, D. A. (2025). Rizobacterias y *Trichodermas* antagonistas al control de nematodos fitoparásitos en plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.). *Revista Ciencia y Tecnología*, 18(2), 38–47. <https://doi.org/10.18779/cyt.v18i2.994>
- Contreras-Cornejo, H. A., Schmoll, M., Esquivel-Ayala, B. A., González-Esquivel, C. E., Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024). Mechanisms for plant growth promotion activated by *Trichoderma* in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research*, 281, 127621. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127621>
- Cortés Hernández, F. del C., Alvarado Castillo, G., & Sanchez Viveros, G. (2024). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: Una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 73–87. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- Damodaran, T., Rajan, S., Muthukumar, M., Gopal, R., Yadav, K., Kumar, S., Ahmad, I., Kumari, N., Mishra, V. K., & Jha, S. K. (2020). Biological management of banana Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* tropical race 4 using antagonistic fungal isolate CSR-T-3 (*Trichoderma reesei*).

- Frontiers in Microbiology*, 11, 595845.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.595845>
- Guerrero, R., Herrera-Pucha, M., Rodríguez-Castro, R., & Villamar-Torres, R. O. (2025). Effect of *Bacillus* sp. and *Trichoderma* spp. on the development of banana seedlings (*Musa* spp. AAA) in the nursery stage. *Terra Latinoamericana*, 43, e2065. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2065>
- Guimarães, G. G. F., Cantú, R. R., Scherer, R. F., Beltrame, A. B., & Haro, M. M. (2020). Banana crop nutrition: Insights into different nutrient sources and soil fertilizer application strategies. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44, e0190104. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190104>
- Guzmán-Guzmán, P., Etesami, H., & Santoyo, G. (2025). *Trichoderma*: A multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. *BMC Microbiology*, 25, 434. <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04158-2>
- Li, Z., Jiao, Y., Yin, J., Li, D., Wang, B., Zhang, K., Zheng, X., Hong, Y., Zhang, H., Xie, C., Li, Y., Duan, Y., Hu, Y., Zhu, Z., & Liu, Y. (2021). Productivity and quality of banana in response to chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer: Insight into soil properties and microbial ecology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107659. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107659>
- Long, W., Chen, Y., Wei, Y., Feng, J., Zhou, D., Cai, B., Qi, D., Zhang, M., Zhao, Y., Li, K., Liu, Y. Z., Wang, W., & Xie, J. (2023). A newly isolated *Trichoderma parareesei* N4-3 exhibiting a biocontrol potential for banana Fusarium wilt by hyperparasitism. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1289959. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1289959>
- Luo, M., Chen, Y., Huang, Q., Huang, Z., Song, H., & Dong, Z. (2023). *Trichoderma koningiopsis* Tk905: An efficient biocontrol, induced resistance agent against banana Fusarium wilt disease and a potential plant-growth-promoting fungus. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1301062. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1301062>
- Maridueña Gaibor, A. S., Páez Martínez, P. P., Duchimaza Supliguicha, J. E., Jama Aveiga, E. A., & Bermeo Pesantes, F. E. (2026). Influencia del *Trichoderma harzianum* en el desarrollo de hijuelos de banano (*Musa acuminata*) variedad Cavendish, Simón Bolívar–Guayas. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(E1), 1865–1879. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1396>
- Maués, T. M. S., Costa, R. R. da S., Santos, M. A. S. dos, & Silva, G. B. da. (2022). Agro-economic performance of banana tree under nutritional management with *Trichoderma asperellum*, in a family production system. *AIMS Agriculture and Food*, 7(2), 297–311. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2022019>
- Moreira, F. M., Cairo, P. A. R., Borges, A. L., Silva, L. D. da, & Haddad, F. (2021). Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. *South African Journal of Botany*, 137, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.021>

- Penuelas, J., Coello, F., & Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, 12, 5. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
- Sarma, M., Zorrilla-Fontanesi, Y., Uma, S., Vanderschuren, H., Swennen, R., & De Coninck, B. (2025). Suppression of Fusarium wilt in banana and growth promotion by the beneficial fungus *Trichoderma asperellum* TRC900 is cultivar-dependent. *Biological Control*, 210, 105878. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2025.105878>
- Syamsiyah, J., Hartati, S., Herdiansyah, G., Maro'ah, S., & Nurrahma, R. A. (2024). The effect of *Trichoderma* on N, P, K soil and corn plants. *Journal of Tropical Soils*, 29(3), 159–166. <https://doi.org/10.5400/jts.2024.v29i3.159-166>
- Terrero Yépez, P. I., Factos, N., Rodulfo, P., Solis, K., Molina, C., & Mayorga, K. R. (2025). *Trichoderma* spp. y su influencia en la resiliencia de plantas de plátano ante *Ralstonia solanacearum* Smith filotipo II. *Siembra*, 12(1), e7943. <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7943>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszek-Ścisiel, 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>
- Villaseñor-Ortiz, D., De Mello Prado, R., Luna-Romero, E., Jaramillo-Aguilar, E., & Agurto-Rodríguez, L. (2022). Critical nitrogen and potassium levels and sufficiency ranges for banana cultivation in Ecuador. *Fruits*, 77(1), 1–8. <https://doi.org/10.17660/th2022/002>
- Wong, C. K. F., Zulperi, D., Saidi, N. B., & Vadamalai, G. (2021). A consortium of *Pseudomonas aeruginosa* and *Trichoderma harzianum* for improving growth and induced biochemical changes in Fusarium wilt infected bananas. *Tropical Life Sciences Research*, 32(1), 23–45. <https://doi.org/10.21315/tlsr2021.32.1.2>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
- Zhang, X., Zhao, L., Huang, Q., Pang, B., Zhou, Z., & Lu, Y. (2025). Synchronized fertilization based on crop nutrient uptake and fertilizer nutrient release characteristics increases nutrient use efficiency in banana. *Scientific Reports*, 15, 34449. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17602-0>
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.09.003>