



Aislamiento de microorganismos benéficos de la rizósfera del mango y su efecto en plántulas cultivadas en rizotrones

Isolation of beneficial microorganisms from the mango rhizosphere and their effect on seedlings grown in rhizotrons

Isolamento de microrganismos benéficos da rizosfera de manga e o seu efeito em plântulas cultivadas em rizotrons

Yoansy García^I

yogarcia@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2839-3956>

Daniel Mancero Castillo^{II}

danielmanceroc@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9644-2975>

Danilo Valdez Rivera^{III}

dvaldez@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5004-930X>

Katherine Guazhco^{IV}

katherineviviana.guazhcopachec@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1729-5787>

Correspondencia: yogarcia@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 26 de octubre de 2024 * **Aceptado:** 11 de noviembre de 2024 * **Publicado:** 05 de diciembre de 2024

- I. Instituto de Investigación, Escuela de Posgrado “Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, Ph.D”, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- II. Facultad de Ciencias Agrarias, Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, Ph.D, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- III. Estudiante de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias “Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, Ph.D, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

El mango es un cultivo de gran importancia en Ecuador; comprender la microbiota asociada a esta planta y su potencial uso como biofertilizante representa un interés significativo para la comunidad científica y agrícola. En este contexto, se aislaron e identificaron microorganismos presentes en la rizosfera del mango, y se evaluó su efecto bioestimulante mediante el uso de rizotrones. Los muestreos se realizaron en la rizosfera de plantas de mango criollo que no estuvieran bajo sistemas de producción convencional. Durante el estudio, se identificaron el hongo *Trichoderma virens* y bacterias del género *Pseudomonas spp.* El efecto bioestimulante se evaluó en un diseño completamente al azar con los siguientes tratamientos: *Trichoderma virens*, *Pseudomonas spp.*, la combinación de *T. virens* + *Pseudomonas spp.*, y un tratamiento Control. El hongo *Trichoderma virens* mostró un crecimiento micelial agresivo en medio PDA, comparable al de *Trichoderma harzianum*, alcanzado en un período de tres días. En términos de crecimiento de las plantas, *T. virens* incrementó el crecimiento radicular en un 219%, la altura de las plantas en un 181%, el diámetro del tallo en un 81.6% y el número de hojas en un 185%, en comparación con el Control a lo largo de 45 días. Sin embargo, la combinación de *T. virens* y *Pseudomonas spp.* no mostró efectos significativos, lo que sugiere posibles interacciones antagónicas entre ambos microorganismos, limitando su eficacia en conjunto como bioestimulantes. Por otro lado, *Pseudomonas spp.* no presentó un impacto destacado en ninguna de las variables evaluadas de manera individual. Se puede concluir que *Trichoderma virens* tiene un alto potencial para ser utilizado como biofertilizante, contribuyendo de manera significativa al crecimiento del cultivo de mango.

Palabras clave: Biofertilizantes; *Trichoderma virens*; *Pseudomonas spp.*; Desarrollo vegetal; Rizosfera.

Abstract

Mango is a very important crop in Ecuador; understanding the microbiota associated with this plant and its potential use as a biofertilizer represents a significant interest for the scientific and agricultural community. In this context, microorganisms present in the mango rhizosphere were isolated and identified, and their biostimulant effect was evaluated using rhizotrons. Sampling was carried out in the rhizosphere of native mango plants that were not under conventional production

systems. During the study, the fungus *Trichoderma virens* and bacteria of the genus *Pseudomonas* spp. were identified. The biostimulant effect was evaluated in a completely randomized design with the following treatments: *Trichoderma virens*, *Pseudomonas* spp., the combination of *T. virens* + *Pseudomonas* spp., and a Control treatment. The fungus *Trichoderma virens* showed aggressive mycelial growth in PDA medium, comparable to that of *Trichoderma harzianum*, achieved in a period of three days. In terms of plant growth, *T. virens* increased root growth by 219%, plant height by 181%, stem diameter by 81.6%, and leaf number by 185% compared to the Control over 45 days. However, the combination of *T. virens* and *Pseudomonas* spp. did not show significant effects, suggesting possible antagonistic interactions between both microorganisms, limiting their effectiveness together as biostimulants. On the other hand, *Pseudomonas* spp. did not present a significant impact on any of the variables evaluated individually. It can be concluded that *Trichoderma virens* has a high potential to be used as a biofertilizer, contributing significantly to the growth of mango crops.

Keywords: Biofertilizers; *Trichoderma virens*; *Pseudomonas* spp.; Plant development; Rhizosphere.

Resumo

A manga é uma cultura de grande importância no Equador; Compreender a microbiota associada a esta planta e a sua potencial utilização como biofertilizante representa um interesse significativo para a comunidade científica e agrícola. Neste contexto, foram isolados e identificados microrganismos presentes na rizosfera da manga e avaliado o seu efeito bioestimulante através da utilização de rizotrons. A amostragem foi realizada na rizosfera de plantas de manga crioula que não se encontravam sob sistemas de produção convencionais. Durante o estudo foram identificados o fungo *Trichoderma virens* e bactérias do género *Pseudomonas* spp. O efeito bioestimulante foi avaliado em delineamento inteiramente casualizado com os seguintes tratamentos: *Trichoderma virens*, *Pseudomonas* spp., combinação de *T. virens* + *Pseudomonas* spp., e tratamento Controlo. O fungo *Trichoderma virens* apresentou um crescimento micelial agressivo em meio BDA, comparável ao de *Trichoderma harzianum*, atingido num período de três dias. Em termos de crescimento das plantas, o *T. virens* aumentou o crescimento das raízes em 219%, a altura das plantas em 181%, o diâmetro do caule em 81,6% e o número de folhas em 185%, em comparação com o Controlo ao longo de 45 dias. Contudo, a combinação de *T. virens* e *Pseudomonas* spp. não

apresentaram efeitos significativos, o que sugere possíveis interações antagônicas entre ambos os microrganismos, limitando a sua eficácia global como bioestimulantes. Por outro lado, a *Pseudomonas* spp. Não apresentou impacto assinalável em nenhuma das variáveis avaliadas individualmente. Pode concluir-se que o *Trichoderma virens* apresenta um elevado potencial para ser utilizado como biofertilizante, contribuindo significativamente para o crescimento da cultura da manga.

Palavras-chave: Biofertilizantes; *Trichoderma virens*; *Pseudomonas* spp.; Desenvolvimento vegetal; Rizosfera.

Introducción

El cultivo de mango tiene una importancia global por los beneficios económicos asociados con la comercialización de su fruta, además, contribuye a la mitigación del cambio climático y la sostenibilidad ambiental. Este cultivo desempeña un papel importante al disminuir la acumulación de CO₂ en la atmósfera y almacenar carbono tanto en la biomasa de las plantas como en el suelo (Gelaye & Getahun, 2024).

Sin embargo, en los últimos años, el cambio climático ha impactado significativamente la producción de mango a nivel mundial. Fenómenos como sequías, inundaciones, altas temperaturas y lluvias erráticas han afectado negativamente el crecimiento, el establecimiento y la calidad de la fruta cosechada (Asare-Nuamah et al., 2022). Estas variaciones climáticas generan estrés en las plantas, lo que ocasiona cambios bioquímicos, morfológicos y fisiológicos que, a su vez, reducen la producción y la calidad de los frutos (Antwi-Boasiako et al., 2024).

Además, el deterioro de los suelos agrícolas debido al uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas en sistemas agrícolas convencionales ha comprometido la sostenibilidad de los cultivos. Esto ha resultado en una disminución de los rendimientos, un deterioro en la calidad de las cosechas y pérdidas económicas significativas para el sector agrícola (Aguilar-Paredes et al., 2023).

A pesar de los beneficios demostrados, el uso de consorcios microbianos en la agricultura sigue siendo limitado. Los consorcios microbianos ofrecen ventajas significativas frente a los inoculantes microbianos individuales debido a la sinergia entre los microorganismos presentes en el suelo (Aguilar-Paredes et al., 2020). Estos consorcios, presentes en la rizosfera de las plantas, han despertado un creciente interés en la comunidad científica, ya que su actividad está directamente

relacionada con el incremento de la biomasa y la salud de las plantas, aspectos esenciales para un desarrollo agrícola sostenible (Singh et al., 2019).

Por ejemplo, la aplicación de biofertilizantes enriquecidos con *Trichoderma sp.* ha demostrado aumentar la fertilidad del suelo y la diversidad del microbioma, lo que a su vez se traduce en mayores rendimientos y concentraciones de antioxidantes y minerales en cultivos como el tomate. Además, se ha concluido que el uso de estos biofertilizantes puede reducir significativamente la necesidad de fertilizantes químicos (Khan et al., 2017).

Estudios realizados en el Líbano con plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y pimiento (*Capsicum annuum*) han evidenciado que los consorcios microbianos nativos, capturados en bosques vírgenes, tienen un efecto positivo en el desarrollo vegetativo, la floración y el llenado de frutos. Estos microorganismos aumentaron la productividad de los cultivos incluso en ausencia total de fertilizantes sintéticos, lo que sugiere que la combinación de consorcios microbianos nativos con compuestos orgánicos representa una estrategia prometedora para desarrollar biofertilizantes esenciales en una agricultura sostenible (Makhlouf et al., 2023).

En este contexto, el presente estudio abordó la necesidad de explorar alternativas sostenibles para enfrentar los retos que el cambio climático y el deterioro del suelo plantea ante la producción de mango. Para ello se aislaron e identificaron microorganismos presentes en la rizosfera del mango, y se evaluó su efecto bioestimulante mediante rizotrones. Los resultados destacan el potencial de microorganismos nativos como biofertilizante, y su contribución al crecimiento de las plántulas de mango, lo que sugiere una estrategia prometedora en el manejo sustentable y sostenible de este cultivo.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y muestreo

Se realizaron muestreos en plantaciones de mango criollo ubicadas en la costa ecuatoriana, en cada lugar se seleccionaron cinco plantas con buen vigor y en el área radicular se tomaron dos muestras a 20, 40 y 60 cm de profundidad. Las muestras se llevaron al laboratorio de Biotecnología de la Universidad Agraria del Ecuador en un recipiente oscuro a una temperatura aproximada de 4⁰C.

Siembra y aislamiento de microorganismos monospóricos

Se suspendieron 30 gramos de suelo obtenido del muestreo en campo en 1 litro de agua destilada. La mezcla se agitó hasta eliminar por completo cualquier grumo de suelo compactado. El líquido se filtró a través de tamices granulométricos. El contenido retenido en el tamiz de 130 μm se transfirió a un tubo de ensayo con 50 ml de agua destilada. Se agitó y se colectó una alícuota de 1ml y se diluyó en un tubo de ensayo con 9 ml de agua destilada estéril, esto se repitió cinco veces. De esta solución, se tomaron alícuotas de 100, 300 y 500 μl y se inocularon en placas con medio PDA. Las cajas Petri se incubaron a temperatura ambiente (25-30°C) por siete días, se monitoreó constantemente el crecimiento de los microorganismos durante este periodo de tiempo. Se observaron las características macroscópicas de los microorganismos en placa y se hizo una nueva resiembra en PDA a partir de una incisión de 1 mm de diámetro, hasta lograr crecimiento monospórico. Esto permitió aislar aquellos microorganismos con potencial beneficioso. Para cuantificar las esporas presentes, se realizó un recuento empleando la cámara de Neubauer. Las placas fueron lavadas con 10 mL de agua destilada estéril, y las esporas adheridas se desprendieron suavemente utilizando un asa estéril. El líquido recolectado se transfirió a tubos estériles y la suspensión se homogeneizó mediante agitación en un vortex. De la solución obtenida, se tomaron 10 μL y se mezclaron con 40 μL de agua destilada estéril. De esta solución, se dispensaron 0,2 μL de esta mezcla en la cámara de Neubauer utilizando una micropipeta.

Se utilizó la identificación molecular para determinar la especie de *Trichoderma* aislada. El ADN genómico se extrajo con el kit Dneasy Plant Pro y su calidad se verificó mediante espectrofotometría y gel de agarosa. Posteriormente, se diluyó a 20 ng/ μL para amplificación por PCR usando los primers ITS1 e ITS4. Los productos amplificados fueron purificados y secuenciados mediante el método Sanger. Las secuencias obtenidas se ensamblaron con el software MEGA y se compararon con GenBank para su identificación taxonómica.

Evaluación experimental en mango cultivado en rizotrones

Diseño experimental y análisis estadístico

Se evaluó el efecto de los microorganismos aislados e identificados en el cultivo de mango utilizando rizotrones. Para ello se empleó un diseño experimental completamente al azar compuesto por cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron los siguientes:

Trichoderma virens, *Pseudomonas spp.*, *Trichoderma virens* + *Pseudomonas spp.* y un Control. Se ajustó una dosis de 1×10^7 esporas mL^{-1} para *T. virens* y 1×10^9 UFC mL^{-1} para *Pseudomonas spp.* Cada tratamiento recibió dos aplicaciones con un intervalo de 15 días. La unidad experimental consistió en cada planta individual dentro de los rizotrones.

1 Las variables evaluadas incluyeron el crecimiento radicular, la cual se midió a través de la observación de los rizotrones, se registró en centímetros con una cinta métrica cada 15 días durante un periodo de 45 días. Asimismo, se midió la altura de las plántulas, desde el cuello de la raíz hasta el meristema apical, y se realizó el conteo de hojas, incluyendo las inmaduras y senescentes. El diámetro del tallo (cm) se midió en la base del tallo principal utilizando un calibrador Vernier.

Los datos de las variables analizadas se sometieron a un análisis de varianza de un factor (ANOVA unidireccional), y la comparación de las medias se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Construcción de los rizotrones

Para la construcción de los rizotrones, se utilizaron tubos de PVC redondos con un diámetro de 160 mm y una altura de 75 cm. Cada tubo fue modificado mediante un corte longitudinal para permitir la instalación de una placa de vidrio, cubriendo 2/3 de su volumen, mientras que el tercio restante se reservó para llenarlo con un sustrato compuesto por 80% de suelo y 20% de materia orgánica.

La placa de vidrio tuvo un espesor de 6 mm y dimensiones de 10 cm x 75 cm, se fijó en el espacio generado utilizando pasta de silicona. Esta modificación permitió una visualización directa del sistema radicular, facilitando la observación y medición de las raíces.

Los rizotrones se mantuvieron en condiciones controladas y equipados con pequeñas mangueras que permitieron la administración uniforme de los tratamientos a cada unidad experimental.

Resultados y Discusión

De los aislamientos de microorganismos de suelo de 100 μl , 200 μl y 500 μl microlitros se observaron ocho hongos y tipos de cuatro bacterias en el primer grupo de muestras, y en el segundo grupo seis hongos y tres bacterias (Tabla 1).

Tabla 1: Número de microorganismos aislados de muestras de la rizosfera de mango.

| Muestras | Microorganismos | 100 µl | 300 µl | 500 µl | Total de microorganismos |
|--------------|-----------------|--------|--------|--------|--------------------------|
| 1era Muestra | Hongo | 2 | 2 | 2 | 6 |
| 1era Muestra | Bacteria | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 2da Muestra | Hongo | 2 | 3 | 3 | 8 |
| 2da Muestra | Bacteria | 2 | 0 | 2 | 4 |

Para la identificación de hongos y bacterias, se observó que las características del crecimiento micelial del hongo eran consistentes con géneros como *Trichoderma spp.* y *Fusarium spp.* Durante el análisis, se seleccionaron cepas de *Trichoderma spp.* El crecimiento del micelio en cajas Petri fue homogéneo, con una coloración blanca inicial que cambió a verde oscuro tras la esporulación. A nivel microscópico, se observaron ramificaciones con fiálides largas y delgadas, junto con conidios en los extremos de las ramificaciones, lo cual es una estructura típica del género *Trichoderma*. El análisis molecular confirmó que la especie de hongo identificada fue *Trichoderma virens*, con una identidad del 100% y un número de accesión en GenBank: MH857855.1.

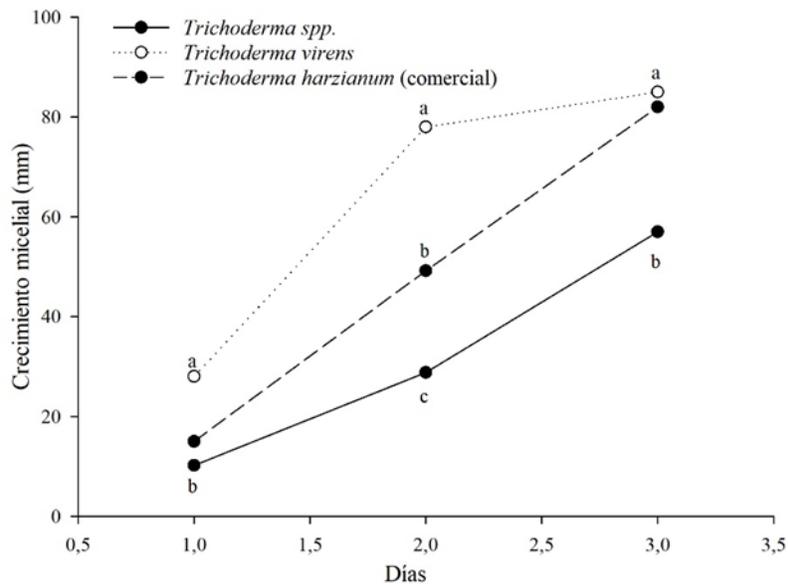
En el caso de la bacteria, las características identificadas coincidieron con las de *Pseudomonas spp.*, empleando el medio selectivo King B Agar, el cual tiene la capacidad para detectar *Pseudomonas fluorescens* bajo luz UV. Las colonias inicialmente mostraron una coloración blanquecina, que cambió a amarillenta después de 5 días, y no se evidenció producción de esporas.

Dinámica del crecimiento micelial

La Figura 1 muestra el crecimiento micelial de *Trichoderma virens*, *Trichoderma harzianum* (comercial) y *Trichoderma spp.* a lo largo de tres días. En los días 1 y 2, se evidencia que *T. virens* presentó un crecimiento significativamente mayor en comparación con los otros tratamientos, alcanzando 28,00 mm en el día 1, mientras que *T. harzianum* y *Trichoderma spp.* crecieron 15,00 mm y 10,20 mm, respectivamente. A lo largo del periodo evaluado, *T. virens* tuvo un desarrollo más rápido y sostenido, mientras que *T. harzianum* muestra un incremento más gradual. Aunque las diferencias en los días iniciales fueron significativas ($p < 0,05$), para el día 3, los tratamientos *T. virens* y *T. harzianum* alcanzaron un crecimiento cercano a 90 mm, lo que indica que las diferencias iniciales desaparecen al final del periodo evaluado. En este sentido, Etebarian et al., 2000 (2000) evaluaron el potencial de *T. virens* y *T. harzianum* para inhibir *Phytophthora*

erythroseptica en solanáceas. *T. virens* inhibió en un 100% el crecimiento micelial del patógeno, mientras que *T. harziaanum* alcanzó una inhibición entre 14 a 22%, en ensayos de placa Petri. El efecto de *T. virens* se atribuye a la producción de gliotoxina y otros metabolitos secundarios con propiedades fungicidas.

Figura 1: Dinámica del crecimiento micelial de *Trichoderma virens*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma spp.* durante tres días consecutivos. Letras distintas en el mismo intervalo de tiempo indica diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



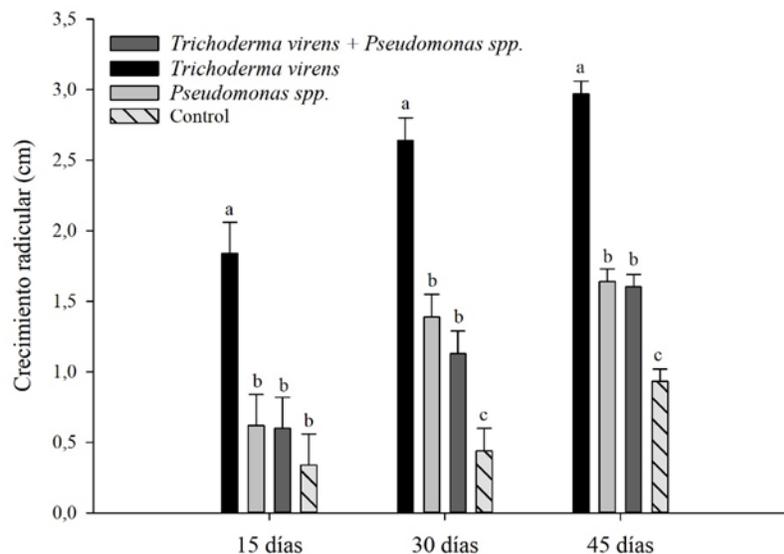
Efecto de los aislamientos sobre las plantas de mango cultivadas en rizotrón

La Figura 2 muestra el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento radicular, los resultados indican que *T. virens* promovió un crecimiento significativamente superior en comparación con los otros tratamientos en todas las mediciones ($p < 0,05$). A los 15 días, *T. virens* alcanzó 1,25 cm de crecimiento, mientras que los demás tratamientos (incluyendo el Control) mostraron valores inferiores y no significativamente diferentes entre sí. Este efecto temprano destaca la capacidad de *T. virens* para estimular el desarrollo inicial de las raíces. A los 30 días, el crecimiento promovido por *T. virens* se incrementó hasta los 2,25 cm y fue diferente al resto de los tratamientos. La combinación de *T. virens* con *Pseudomonas spp.* y el tratamiento con *Pseudomonas spp.* no mostraron diferencias entre ellos, mientras que el Control permaneció como el tratamiento con el menor crecimiento. Esta tendencia se mantuvo a los 45 días. Los resultados obtenidos están

alineados con investigaciones previas que señalan el potencial bioestimulante de *T. virens*. Jiménez-Bremont et al. (2024) describieron que especies de *Trichoderma* promueven el desarrollo radicular mediante la producción de fitohormonas y compuestos volátiles orgánicos, lo cual puede explicar los valores significativamente mayores observados en este estudio. Además, Li et al. (2018) señalaron que *Trichoderma* mejora la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera, lo que favorece el desarrollo de las raíces.

Por otro lado, los efectos menos pronunciados de *Pseudomonas spp.* coinciden con lo descrito por Rawat et al. (2020), quienes destacaron que la eficacia de estos microorganismos depende de factores como la especie vegetal y las condiciones del suelo. La combinación de *T. virens* y *Pseudomonas spp.* no mostró un efecto sinérgico claro, lo que puede explicarse por la competencia por recursos en la rizosfera (Vinale et al., 2008).

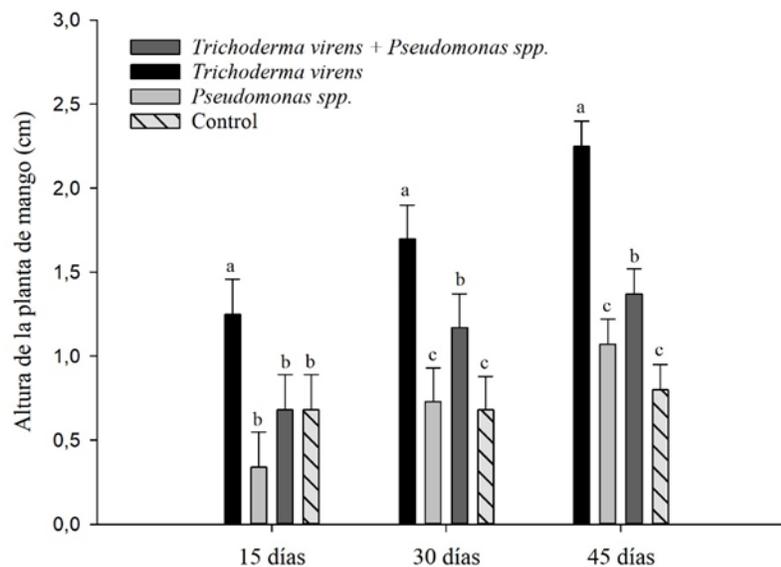
Figura 2: Efecto de *Trichoderma virens*, *Pseudomonas spp.* y su combinación en el crecimiento radicular de mango sembradas en rizotrones a los 15, 30 y 45 días. Letras distintas en la misma columna e intervalo de tiempo indica diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



La figura 3 muestra el efecto de los tratamientos sobre la altura de las plantas en un intervalo de 45 días. *Trichoderma virens* presentó los valores más elevados en cada intervalo de tiempo y fue diferente a los demás tratamientos ($p < 0,05$). A los 15 días, las plantas tratadas con *T. virens* superaron significativamente al Control y a los tratamientos con *Pseudomonas spp.* y la

combinación (*T. virens* + *Pseudomonas spp.*), estos tres no evidenciaron diferencias significativas entre ellos. A los 30 días, la altura promedio del tratamiento con *T. virens* se mantuvo superior al resto, sin embargo, la combinación (*T. virens* + *Pseudomonas spp.*) mostró un incremento superior al de *Pseudomonas spp.* y el Control. A los 45 días, se mantuvo la tendencia de los 30 días. Estos resultados coinciden con lo reportado por Rouphael et al. (2020) en el cultivo de lechuga en condiciones de invernadero al obtener un incremento significativo de la productividad en un 45%. Se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) en el diámetro del tallo de las plantas de mango en todos los intervalos de tiempo evaluados (Figura 4). A los 15 días, *T. virens* mostró un rendimiento superior en comparación con todos los tratamientos, incrementando el diámetro del tallo en un 242.5% respecto al

Figura 3: Efecto de *Trichoderma virens*, *Pseudomonas spp.* y su combinación en la altura de plantas de mango sembradas en rizotrones a los 15, 30 y 45 días. Letras distintas en la misma columna e intervalo de tiempo indica diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

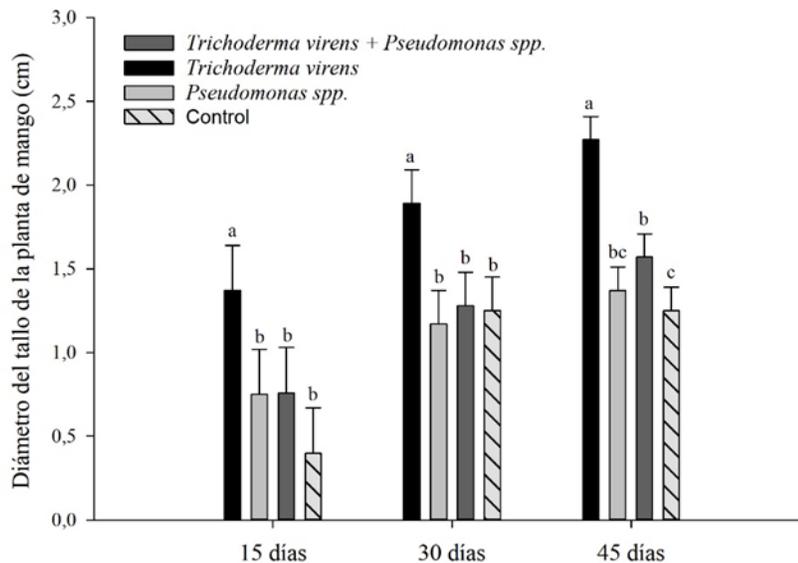


Control. A los 30 días, esta tendencia se mantuvo, aunque la diferencia se redujo a un 51.2%. A los 45 días, el efecto de *T. virens* volvió a ser significativamente mayor, con un incremento del 81.6% respecto al Control.

Por otro lado, la combinación de *T. virens* y *Pseudomonas spp.* mostró un aumento significativo en el diámetro del tallo respecto al Control a los 45 días; sin embargo, la interacción entre estos

dos microorganismos no generó un efecto superior al observado con el uso individual de *T. virens*. Esto sugiere que *T. virens* de manera individual tiene un impacto más marcado en el crecimiento del diámetro del tallo en comparación con su combinación con *Pseudomonas spp.*

Figura 4: Efecto de *Trichoderma virens*, *Pseudomonas spp.* y su combinación en el diámetro de plantas de mango sembradas en rizotrones a los 15, 30 y 45 días. Letras distintas en la misma columna e intervalo de tiempo indica diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



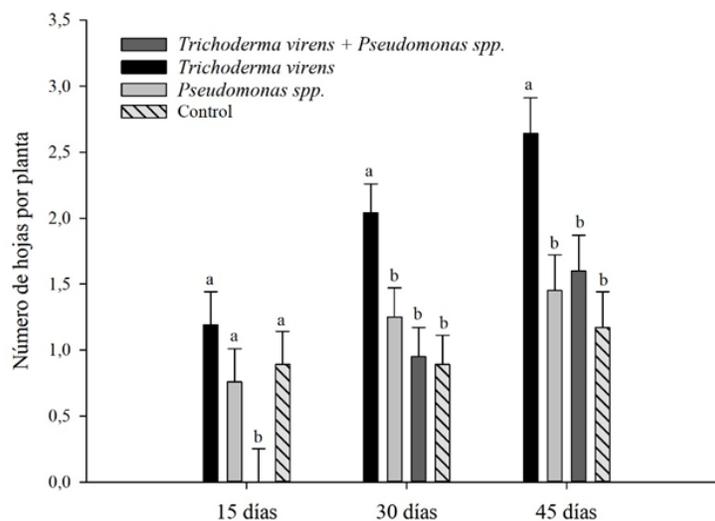
Se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) en el número de hojas por planta en todos los intervalos de tiempo evaluados (Figura 5). A los 15 días, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, excepto en el caso de *Pseudomonas spp.*, que no generó hojas durante este periodo. A los 30 días, *T. virens* mostró un incremento destacado, alcanzando un promedio de 2.04 hojas por planta, superando significativamente al Control (0.89 hojas) y a los demás tratamientos. A los 45 días, *T. virens* se mantuvo como el tratamiento más efectivo, alcanzando 2.64 hojas por planta, lo que representa una diferencia significativa respecto al Control (1.17 hojas) y a los otros tratamientos. La combinación de *T. virens* + *Pseudomonas spp.* mostró un aumento en el número de hojas (1.60), pero su efecto siguió siendo inferior al observado con el uso individual de *T. virens*, manteniéndose esta tendencia a lo largo de la evaluación. Se ha reportado que el género *Pseudomonas* tiene especies que actúan como promotoras del crecimiento vegetal, y agente de biocontrol (Roquigny et al., 2017), pero algunas especies, como *Pseudomonas*

syringae, pueden tener una acción patógena (Maldonado-Bonilla et al., 2021). En el presente estudio no se evidenció actividad patógena sobre las plantas de mango; sin embargo, la coinoculación con *T. virens* no originó un efecto satisfactorio, la evidencia sugiere que existe una actividad antagónica de esta bacteria hacia el hongo.

En este sentido, diversos estudios señalan que este género de bacteria presenta actividad antagónica contra hongos, específicamente fitopatógenos, (Dimkić et al., 2022). Un mecanismo que puede explicar los resultados de este estudio es la capacidad de algunas cepas de *Pseudomonas* de producir sideróforos, los cuales captan al hierro y lo hace menos disponibles para el resto de microorganismos (Santoyo et al., 2010). Además, generan antibióticos como la 2,4-diacetilfloroglucinol (2,4-DAPG), pioluterina y pirrolnitrina (Haas & Keel, 2003).

En términos generales, *Trichoderma virens* mostró un desempeño superior en todas las variables evaluadas, resultados que concuerdan con lo informado por otros investigadores en cultivos como la lechuga (Rouphael et al., 2020). Se ha documentado que *T. virens* tiene la capacidad de producir fitohormonas como auxinas y giberelinas, las cuales promueven el desarrollo radicular y optimizan la absorción de nutrientes esenciales, lo que repercute en un aumento significativo de la biomasa y el rendimiento en diversos cultivos (Hernández-Melchor et al., 2019). Asimismo, *T. virens* facilita la solubilización de nutrientes en el suelo, incrementa su disponibilidad para las plantas y contribuye en un mejor desarrollo de los cultivos (Rodríguez-García & Vargas-Rojas, 2022).

Figura 5: Efecto de *Trichoderma virens*, *Pseudomonas spp.* y su combinación en el número de hojas por planta de mango sembradas en rizotrones a los 15, 30 y 45 días. Letras distintas en la misma columna e intervalo de tiempo indica diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



Conclusiones

Trichoderma virens demostró un alto potencial como biofertilizante, generó incrementos significativos en el crecimiento radicular, la altura de las plantas, el diámetro del tallo y el número de hojas de plántulas de mango, con mejoras superiores al 180% en comparación con el Control. Su crecimiento micelial agresivo en medio PDA fue comparable al de *Trichoderma harzianum*, esto refuerza su capacidad para colonizar eficientemente la rizosfera. Sin embargo, la combinación de *T. virens* y *Pseudomonas spp.* no mostró efectos significativos, lo que evidencia la existencia de posibles interacciones antagónicas que limitan su eficacia conjunta. Por otro lado, *Pseudomonas spp.* no presentó un impacto destacado en las variables evaluadas de forma individual. Este estudio realza la necesidad de explorar en mayor detalle las interacciones entre microorganismos y su aplicación en estrategias de biofertilización para promover una agricultura sostenible y eficiente en el cultivo de mango.

Referencias

1. Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial Community in the Composting Process and Its Positive Impact on the Soil Biota in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>
2. Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., & Nuti, M. (2020). Ecosystem Functions of Microbial Consortia in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 10(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121902>
3. Antwi-Boasiako, A., Amponsah, P., Opoku, J. A., Coulibaly, D., Mintah, P., Antwi-Boasiako, A., Amponsah, P., Opoku, J. A., Coulibaly, D., & Mintah, P. (2024). Increasing Mango Production Efficiency under the Fast-Changing Climate. En *Abiotic Stress in Crop Plants—Ecophysiological Responses and Molecular Approaches*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112951>
4. Asare-Nuamah, P., Antwi-Agyei, P., & Dick-Sagoe, C. (2022). Mitigating the risks of climate variability and change on mango seedlings in Ghana: Evidence from mango

- seedlings producers in the Yilo Krobo Municipality. *Environmental Challenges*, 8, 100594. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100594>
5. Etebarian, H. R., Scott, E. S., & Wicks, T. J. (2000). *Trichoderma harzianum* T39 and *T. virens* DAR 74290 as Potential Biological Control Agents for *Phytophthora erythroseptica*. *European Journal of Plant Pathology*, 106(4), 329-337. <https://doi.org/10.1023/A:1008736727259>
 6. Haas, D., & Keel, C. (2003). Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. And relevance for biological control of plant disease. *Annual Review of Phytopathology*, 41, 117-153. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095656>
 7. Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). Trichoderma: IMPORTANCIA AGRÍCOLA, BIOTECNOLÓGICA, Y SISTEMAS DE FERMENTACIÓN PARA PRODUCIR BIOMASA Y ENZIMAS DE INTERÉS INDUSTRIAL. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, ahead, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
 8. Jiménez-Bremont, J. F., González-Pérez, E., Ortega-Amaro, M. A., Madrigal-Ortiz, S., Duque-Ortiz, A., & Mendoza-Mendoza, A. (2024). Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma*: Small molecules with biotechnological potential. *Scientia Horticulturae*, 325, 112656. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112656>
 9. Khan, Md. Y., Haque, Md. M., Molla, A. H., Rahman, Md. M., & Alam, M. Z. (2017). Antioxidant compounds and minerals in tomatoes by *Trichoderma*-enriched biofertilizer and their relationship with the soil environments. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(3), 691-703. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61350-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61350-3)
 10. Li, Y.-T., Hwang, S.-G., Huang, Y.-M., & Huang, C.-H. (2018). Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and *Fusarium* wilt of tomato. *Crop Protection*, 110, 275-282. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.021>
 11. Makhlof, H., Mouawad, C., Shaban, N. T., Aad, J., Sassine, L., & Samaha, H. (2023). Evaluation of the growth promoting effect of native microbial community under field conditions. *Acta Agrobotanica*, 76, 1-12. <https://doi.org/10.5586/aa/168485>
 12. Maldonado-Bonilla, L. D., Hernández-Guzmán, G., Martínez-Gallardo, N. A., Hernández-Flores, J. L., Délano-Frier, J. P., Valenzuela-Soto, J. H., Maldonado-Bonilla, L. D., Hernández-Guzmán, G., Martínez-Gallardo, N. A., Hernández-Flores, J. L., Délano-Frier,

- J. P., & Valenzuela-Soto, J. H. (2021). Cepa de *Pseudomonas syringae* causante de la mancha bacteriana en cempasúchil (*Tagetes erecta*) en México. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(3), 493-502. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2104-5>
13. Rawat, P., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2020). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: A Booster for Ameliorating Soil Health and Agriculture Production. En B. Giri & A. Varma (Eds.), *Soil Health* (pp. 47-68). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_3
 14. Rodríguez-García, D., & Vargas-Rojas, J. (2022). Efecto de la inoculación con *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del tomate (*Solanum lycopersicum*). *Agronomía Costarricense*, 46(2), 47-60.
 15. Roupheal, Y., Carillo, P., Colla, G., Fiorentino, N., Sabatino, L., El-Nakhel, C., Giordano, M., Pannico, A., Cirillo, V., Shabani, E., Cozzolino, E., Lombardi, N., Napolitano, M., & Woo, S. L. (2020). Appraisal of Combined Applications of *Trichoderma virens* and a Biopolymer-Based Biostimulant on Lettuce Agronomical, Physiological, and Qualitative Properties under Variable N Regimes. *Agronomy*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020196>
 16. Santoyo, G., Valencia-Cantero, E., Orozco-Mosqueda, M. del C., Peña-Cabriales, J. J., & Farías-Rodríguez, R. (2010). Papel de los sideróforos en la actividad antagónica de *Pseudomonas fluorescens* ZUM80 hacia hongos fitopatógenos. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 53-60.
 17. Singh, D. P., Prabha, R., Renu, S., Sahu, P. K., & Singh, V. (2019). Agrowaste bioconversion and microbial fortification have prospects for soil health, crop productivity, and eco-enterprising. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 457-472. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0243-0>
 18. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E., Marra, R., Barbetti, M., Li, H., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 72, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2008.05.005>