

**Efecto de *Trichoderma spp.* sobre el crecimiento y productividad de *Stevia rebaudiana* Bertoni en condiciones de invernadero bajo manejo orgánico**

**Effect of *Trichoderma spp.* on the growth and productivity of *Stevia rebaudiana* Bertoni under greenhouse conditions with organic management**

**Efeito das espécies de *Trichoderma* no crescimento e na produtividade da *Stevia rebaudiana* Bertoni em condições de estufa com gestão biológica**

Nieto Rodriguez, Enrique José  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
[jnieto@uteq.edu.ec](mailto:jnieto@uteq.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7919-9918>



Naomi Kaymara, Wong Carriel  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
[naomi.wong2017@uteq.edu.ec](mailto:naomi.wong2017@uteq.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0006-5393-7640>



Cruz Rosero, Nicolás Javier  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
[jcruz@uteq.edu.ec](mailto:jcruz@uteq.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5793-9380>



Cevallos Sandoval, Stalin Fernando  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
[stalinfernandaroxanna3@gmail.com](mailto:stalinfernandaroxanna3@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0006-1153-136X>



Solorzano Loor, Ander  
Investigador Independiente  
[solorzanolorander@gmail.com](mailto:solorzanolorander@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0004-4254-8514>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/n1/1530>

**Como citar:**

Nieto-Rodriguez, E. J., Naomi-Kaymara, W. C., Cruz-Rosero, N. J., Cevallos-Sandoval, S. F., & Solorzano-Loor, A. (2026). Efecto de *Trichoderma spp.* sobre el crecimiento y productividad de *Stevia rebaudiana* Bertoni en condiciones de invernadero bajo manejo orgánico. *Código Científico Revista De Investigación*, 7(1), 819–836.

**Recibido:** 22/05/2026

**Aceptado:** 19/06/2026

**Publicado:** 30/06/2026

## Resumen

Este estudio evaluó el efecto de diferentes matrices de sustratos y concentraciones de *Trichoderma* spp. sobre la sanidad vegetal, sobrevivencia y desarrollo morfológico de *Stevia rebaudiana* Bertoni durante su fase crítica de establecimiento en condiciones de invernadero. Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, evaluando seis tipos de sustratos con distintas características físicas y químicas: turba más perlita (50% y 50%), tierra de huerto (100%), humus de lombriz (100%), gallinaza más suelo natural (50% y 50%), cascarilla de arroz quemado (100%) y suelo natural como testigo (100%). Paralelamente, se evaluaron tres concentraciones del bioinoculante *Trichoderma* spp.: 4, 5 y 6 mL L<sup>-1</sup>, en una dilución de 10<sup>8</sup> esporas mL<sup>-1</sup>. El microorganismo fue utilizado como agente bioestimulante y biocontrolador, con potencial para mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular el desarrollo radicular y reducir la incidencia de patógenos del suelo. La combinación factorial generó 18 tratamientos evaluados bajo condiciones homogéneas de manejo agronómico. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas en la incidencia de patógenos, sobrevivencia y altura de planta. La combinación de humus de lombriz con la dosis más alta de *Trichoderma* spp. (6 mL L<sup>-1</sup>) redujo significativamente *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp. al 5%, evidenciando una supresión biológica sinérgica. En cuanto a la sobrevivencia, el sustrato de gallinaza con suelo natural y 4 mL L<sup>-1</sup> logró la mayor sobrevivencia a los 15 días (94.79%), mitigando el estrés por trasplante. El crecimiento vegetativo mostró un efecto acumulativo; a los 45 días, el tratamiento de turba con perlita y 6 mL L<sup>-1</sup> alcanzó la mayor altura (45.86 cm). El diámetro del tallo no mostró diferencias significativas, sugiriendo estabilidad genotípica intrínseca. Se concluye que el manejo integrado rizosférico optimiza el vigor inicial y la bioprotección del cultivo. Se recomienda seguimiento prolongado.

**Palabras clave:** Control biológico; Sustratos orgánicos; Sobrevivencia de plantas; Manejo rizosférico; Bioestimulación vegetal.

## Abstract

This study evaluated the effect of different substrate matrices and concentrations of *Trichoderma* spp. on plant health, survival, and morphological development of *Stevia rebaudiana* Bertoni during its critical establishment phase under greenhouse conditions. A completely randomized design with a factorial arrangement was applied, evaluating six types of substrates with different physical and chemical characteristics: peat plus perlite (50% and 50%), garden soil (100%), earthworm humus (100%), poultry manure plus natural soil (50% and 50%), burned rice husk (100%), and natural soil as a control (100%). In parallel, three concentrations of the bioinoculant *Trichoderma* spp. were evaluated: 4, 5, and 6 mL L<sup>-1</sup>, in a dilution of 10<sup>8</sup> spores mL<sup>-1</sup>. The microorganism was used as a biostimulant and biocontrol agent, with the potential to improve nutrient availability, stimulate root development, and reduce soil-borne pathogen incidence. The factorial combination generated 18 treatments evaluated under homogeneous agronomic management conditions. Results showed statistically significant differences in pathogen incidence, plant survival, and plant height. The combination of earthworm humus with the highest dose of *Trichoderma* spp. (6 mL L<sup>-1</sup>) significantly reduced *Fusarium* spp. and *Rhizoctonia* spp. to 5%, demonstrating synergistic biological suppression. Regarding survival, the substrate composed of poultry manure and soil combined with 4 mL L<sup>-1</sup> achieved the highest survival at 15 days (94.79%), effectively mitigating transplant shock. Vegetative growth showed an accumulative effect; at 45 days, the peat–perlite treatment with 6 mL L<sup>-1</sup> reached the greatest plant height (45.86 cm). Stem diameter showed no significant differences, suggesting intrinsic genotypic stability. It is concluded that

integrated rhizospheric management optimizes early vigor and crop bioprotection. Extended monitoring is recommended to better understand later phenological stages and productivity.

**Keywords:** Biological control; Organic substrates; Plant survival; Rhizospheric management; Plant bioestimulation.

### Resumo

Este estudo avaliou o efeito de diferentes matrizes de substrato e concentrações de *Trichoderma* spp. na saúde, sobrevivência e desenvolvimento morfológico da *Stevia rebaudiana* Bertoni durante a sua fase crítica de estabelecimento em condições de estufa. Foi aplicado um plano experimental completamente aleatório com disposição fatorial, avaliando seis tipos de substratos com diferentes características físicas e químicas: turfa mais perlita (50% e 50%), solo de jardim (100%), húmus de minhoca (100%), estrume de aves mais solo natural (50% e 50%), casca de arroz queimada (100%) e solo natural como controlo (100%). Paralelamente, foram avaliadas três concentrações do bioinoculante *Trichoderma* spp.: 4, 5 e 6 mL L<sup>-1</sup>, numa diluição de 10<sup>8</sup> esporos mL<sup>-1</sup>. O microrganismo foi utilizado como bioestimulante e agente de controlo biológico, com potencial para melhorar a disponibilidade de nutrientes, estimular o desenvolvimento radicular e reduzir a incidência de patógenos transmitidos pelo solo. A combinação fatorial gerou 18 tratamentos avaliados em condições homogêneas de gestão agronómica. Os resultados revelaram diferenças estatisticamente significativas na incidência de patógenos, na sobrevivência das plantas e na altura das plantas. A combinação de húmus de minhoca com a dose mais elevada de *Trichoderma* spp. (6 mL L<sup>-1</sup>) reduziu significativamente as espécies *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia* spp. para 5%, demonstrando uma supressão biológica sinérgica. No que diz respeito à sobrevivência, o substrato composto por estrume de aves e solo, combinado com 4 mL L<sup>-1</sup>, alcançou a maior taxa de sobrevivência aos 15 dias (94,79%), mitigando eficazmente o choque de transplante. O crescimento vegetativo revelou um efeito cumulativo; aos 45 dias, o tratamento com turfa e perlita com 6 mL L<sup>-1</sup> atingiu a maior altura das plantas (45,86 cm). O diâmetro do caule não apresentou diferenças significativas, sugerindo uma estabilidade genotípica intrínseca. Conclui-se que a gestão integrada da rizosfera otimiza o vigor inicial e a bioproteção da cultura. Recomenda-se um acompanhamento prolongado para compreender melhor as fases fenológicas posteriores e a produtividade.

**Palavras-chave:** Controlo biológico; Substratos orgânicos; Sobrevivência das plantas; Gestão da rizosfera; Bioestimulação das plantas.

### Introducción

*Stevia rebaudiana* Bertoni es una especie herbácea perenne ampliamente reconocida por su capacidad para sintetizar edulcorantes naturales de bajo valor calórico, los cuales han adquirido creciente relevancia en el mercado global debido a su alta demanda en la industria alimentaria y farmacéutica (Masand et al., 2024). Estos compuestos bioactivos han posicionado a la especie como una alternativa sostenible frente a los azúcares refinados, contribuyendo a la formulación de productos funcionales y dietas saludables (Perera & McChesney, 2021). Asimismo, diversos estudios han demostrado que los extractos foliares de *S. rebaudiana* poseen

propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y potenciales efectos terapéuticos, lo que amplía su valor agroindustrial y biomédico (Papaeftimiou et al., 2023). En este contexto, su cultivo se ha convertido en una prioridad estratégica bajo esquemas de producción sostenible y orgánica, orientados a maximizar la calidad fitoquímica sin comprometer el equilibrio ambiental.

No obstante, el establecimiento inicial del cultivo de *Stevia rebaudiana* enfrenta limitaciones significativas tanto de origen biótico como abiótico que afectan su desarrollo temprano. Las plántulas presentan alta sensibilidad al estrés mecánico y fisiológico generado durante el trasplante, lo que compromete su viabilidad celular y su capacidad de adaptación al nuevo sustrato (Ameer et al., 2022). A este problema se suma la presión ejercida por fitopatógenos del suelo, principalmente *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp., responsables de severas pudriciones radiculares y reducción del vigor inicial. Estas infecciones se intensifican en condiciones donde no existe un manejo adecuado del microbioma rizosférico, incrementando la mortalidad en etapas críticas del establecimiento (Chowdhury et al., 2022). Asimismo, la ausencia de estrategias de bioprotección favorece la proliferación de estos patógenos oportunistas, generando pérdidas significativas en sistemas productivos bajo invernadero (Nayak et al., 2023).

Frente a estas limitaciones, el uso de microorganismos benéficos, especialmente hongos del género *Trichoderma*, se ha consolidado como una alternativa eficaz de control biológico y promoción del crecimiento vegetal. Estos microorganismos actúan mediante mecanismos multifactoriales que incluyen competencia por espacio y nutrientes, antibiosis y micoparasitismo directo sobre hongos fitopatógenos (Devi et al., 2023). Además, su interacción con la rizósfera induce respuestas fisiológicas en la planta hospedera, estimulando la activación de genes relacionados con defensa y crecimiento, lo que incrementa la acumulación de biomasa vegetal (Masand et al., 2024). De igual forma, la colonización

rizosférica contribuye a mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés, favoreciendo la estabilidad del sistema planta-sustrato durante las fases iniciales de desarrollo (Śniegowska et al., 2024).

A pesar de los avances en el uso de bioinoculantes, aún persiste una brecha de conocimiento respecto a la interacción entre las características físicas de los sustratos orgánicos y la eficiencia de los microorganismos aplicados. Sustratos con alta porosidad pero baja complejidad bioquímica pueden limitar la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes esenciales, afectando el desarrollo radicular temprano (Ameer et al., 2022). Por otro lado, ciertos sistemas de cultivo con desbalances nutricionales o baja actividad microbológica pueden restringir procesos fisiológicos clave como la elongación celular y la lignificación del tallo, reduciendo el vigor estructural de la planta (Zhang et al., 2022). Asimismo, se ha evidenciado que la dinámica de patógenos del suelo puede variar en función de la composición del sustrato, lo que influye directamente en la severidad de las enfermedades radiculares en condiciones de invernadero (Chowdhury et al., 2022).

La presente investigación se justifica en la necesidad de desarrollar estrategias integradas de manejo rizosférico que optimicen el establecimiento temprano de *Stevia rebaudiana* bajo condiciones controladas. La combinación de enmiendas orgánicas con bioinoculantes fúngicos permite reducir el estrés oxidativo, mejorar la disponibilidad de nutrientes y fortalecer la tolerancia frente a patógenos del suelo (Devi et al., 2023). Asimismo, la incorporación de microorganismos benéficos en sistemas productivos contribuye a la sostenibilidad ecológica y al cumplimiento de estándares internacionales de producción orgánica (Judickaitė et al., 2022). En este sentido, el ajuste de las condiciones físicas del sustrato se presenta como un factor determinante para maximizar la eficiencia de la interacción planta-microorganismo y mejorar la estabilidad fisiológica del cultivo durante sus fases críticas de desarrollo (Zhang et al., 2022). Finalmente, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto

de diferentes matrices de sustratos y concentraciones de *Trichoderma* spp. sobre la sanidad vegetal, el porcentaje de sobrevivencia y el desarrollo morfológico durante la fase crítica de establecimiento de *Stevia rebaudiana* Bertoni bajo condiciones de invernadero.

## Metodología

### Área de estudio

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Biotecnología del Campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en el kilómetro 7,5 de la vía Quevedo–El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. El área experimental se localiza a 1°03'18" de latitud sur y 79°25'24" de longitud oeste, a una altitud de 77,6 m s.n.m. El sitio de estudio presenta condiciones climáticas propias del bosque húmedo tropical, con temperatura media anual cercana a 25 °C, alta humedad relativa superior al 80% y precipitaciones distribuidas durante todo el año. Estas condiciones favorecen el desarrollo de especies herbáceas de interés económico como *Stevia rebaudiana* Bertoni, especialmente en sistemas protegidos como invernaderos, donde es posible controlar parcialmente las variables ambientales.

### Factores de estudio y tratamientos experimentales

Se evaluó el efecto combinado de diferentes sustratos de cultivo y concentraciones de *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento, desarrollo y productividad de *Stevia rebaudiana* bajo condiciones de invernadero. Se consideraron seis tipos de sustratos con diferentes características físicas y químicas: turba + perlita (50% + 50%), tierra de huerto (100%), humus de lombriz (100%), gallinaza + suelo natural (50% + 50%), cascarilla de arroz quemado (100%) y suelo natural como tratamiento testigo (100%). Estos sustratos fueron seleccionados por su variación en capacidad de retención de humedad, contenido de materia orgánica, aireación y disponibilidad de nutrientes. Paralelamente, se evaluaron tres concentraciones del

bioinoculante *Trichoderma* spp.: 4, 5 y 6 mL L<sup>-1</sup> en una dilución de 10<sup>-8</sup> esporas mL<sup>-1</sup>. El microorganismo fue utilizado como agente bioestimulante y biocontrolador, con potencial para mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular el desarrollo radicular y reducir la incidencia de patógenos del suelo. La combinación factorial de ambos factores generó 18 tratamientos experimentales, evaluados bajo condiciones homogéneas de manejo agronómico.

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 18 tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 72 unidades experimentales. El modelo estadístico consideró los efectos de tratamientos y el error experimental, bajo supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El análisis de datos se realizó mediante el software Infostat (Di Rienzo et al., 2011), ampliamente utilizado en investigación agronómica por su capacidad para análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple. Cuando se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 95% de confianza. Además, se calculó el coeficiente de variación como indicador de precisión experimental.

### **Condiciones e infraestructura del experimento**

El experimento se desarrolló en un invernadero de 12 m de longitud, 1,50 m de ancho y 1,50 m de altura, cubierto con plástico agrícola de alta densidad. El área total del ensayo fue de 18 m<sup>2</sup>. Se utilizaron 72 bandejas germinadoras con 20 plantas por unidad experimental, alcanzando un total de 480 plantas. La distribución de las unidades experimentales se realizó de forma aleatoria para reducir efectos de borde y variabilidad ambiental. El sistema de riego fue presurizado con bombeo, filtrado y fertirriego, garantizando uniformidad en la aplicación de agua y nutrientes. El manejo agronómico incluyó deshierbas manuales cada 10 días durante todo el ciclo del cultivo.

## Manejo del material vegetal y aplicación del bioinoculante

Los esquejes de *Stevia rebaudiana* de 10 cm de longitud fueron seleccionados de plantas madre sanas y uniformes. Antes de la siembra, se trataron con reguladores de crecimiento a base de ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) para estimular la formación radicular. La inoculación de *Trichoderma* spp. se realizó directamente en el sustrato al momento de la siembra, aplicando las concentraciones establecidas según cada tratamiento. El tratamiento control no recibió inoculación, permitiendo evaluar el efecto del bioinoculante.

### Aislamiento e identificación de *Trichoderma* spp.

El aislamiento de *Trichoderma* spp. se realizó a partir de muestras de suelo agrícola mediante técnicas microbiológicas en laboratorio. Las muestras fueron sembradas en medios de cultivo selectivos para hongos, favoreciendo el crecimiento diferencial del microorganismo. La identificación se realizó mediante características macroscópicas como color, textura, velocidad de crecimiento y desarrollo micelial, complementadas con observaciones microscópicas de estructuras reproductivas. Este procedimiento permitió la identificación a nivel de género *Trichoderma*, siguiendo criterios metodológicos reportados por Sanabria et al. (2025) y Sarkar et al. (2024).

### Manejo fitosanitario

El control de plagas se realizó bajo monitoreo técnico. Para el manejo de mosca blanca (*Bemisia tabaci*), ácaros y pulgones se aplicó abamectina en dosis de 16 cc por bomba de 20 L. Además, se utilizó azufre micronizado ( $3 \text{ g L}^{-1}$ ) y hexitiazox ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) para el control de ácaros fitófagos. Las aplicaciones se realizaron en horas de baja radiación solar para evitar fitotoxicidad. Este enfoque integrado de manejo sanitario es esencial en la producción de estevia, especialmente en sistemas orientados a mercados con exigencias de calidad e inocuidad (Sanabria et al., 2025).

## Cosecha del cultivo

La cosecha se realizó antes de la floración, etapa en la que *Stevia rebaudiana* presenta mayor concentración de esteviósidos en las hojas, órgano de interés económico (Sarkar et al., 2024). El corte se efectuó manualmente a una altura de 8 a 10 cm desde la base del tallo. Durante el ciclo del cultivo se realizaron tres cosechas con intervalos de 20 días, lo que permitió evaluar la respuesta productiva en diferentes etapas fenológicas.

## Variables evaluadas

Se evaluó la presencia de patógenos del suelo y planta mediante observación visual durante 30 días, identificando síntomas asociados a *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp., tales como necrosis radicular, clorosis y marchitez. Este procedimiento se basó en metodologías de monitoreo fitopatológico descritas por Nayak et al. (2023) y Sanabria et al. (2025). El crecimiento vegetativo se determinó mediante la medición de altura de planta, diámetro de tallo, número de nudos, hojas y ramas, utilizando muestras aleatorias por unidad experimental. El rendimiento se estimó a partir del peso fresco y seco por parcela, con extrapolación a rendimiento por hectárea. Finalmente, el contenido de pigmentos fotosintéticos se evaluó mediante lecturas con SPAD-502 y análisis complementarios de laboratorio en muestras foliares, como indicador del estado fisiológico y nutricional del cultivo.

## Resultados

### Presencia de patógenos en *Stevia rebaudiana*

El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) en la incidencia de *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp. en hojas, tallos y sustratos a los 15 días posteriores a la aplicación de los tratamientos. Los coeficientes de variación fueron de 8,50% para *Fusarium* spp. y 10,50% para *Rhizoctonia* spp., lo que indica una adecuada precisión experimental y confiabilidad en la estimación de los datos obtenidos. Los resultados mostraron

una marcada variabilidad entre tratamientos, evidenciando el efecto del sustrato y la concentración de *Trichoderma* spp. sobre la reducción de patógenos del suelo. El tratamiento T16 (suelo natural + 4 mL L<sup>-1</sup> de *Trichoderma*) presentó la mayor incidencia de infección, con valores de 30,00% para *Fusarium* spp. y 25,00% para *Rhizoctonia* spp., ubicándose dentro del grupo estadístico de mayor susceptibilidad. Este comportamiento fue compartido con los tratamientos T17 y T18, lo que sugiere que el suelo natural, en ausencia de una adecuada estructura orgánica, mantiene condiciones favorables para el establecimiento y persistencia de patógenos radiculares.

En contraste, el tratamiento T9 (humus de lombriz + 6 mL L<sup>-1</sup> de *Trichoderma*) presentó los valores más bajos de incidencia, con 5,00% para ambos patógenos. Este resultado evidencia una interacción sinérgica entre materia orgánica estabilizada y el bioinoculante, lo que favorece mecanismos de supresión biológica como competencia por espacio y nutrientes, antibiosis y micoparasitismo. En términos generales, los resultados sugieren que los sustratos con mayor contenido de materia orgánica mejoran la resiliencia del sistema frente a fitopatógenos del suelo, especialmente cuando se combinan con dosis adecuadas de *Trichoderma* spp..

### **Sobrevivencia de plantas**

La sobrevivencia de las plantas mostró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) a los 15 días de evaluación, evidenciando el efecto temprano de los tratamientos sobre el establecimiento del cultivo. El tratamiento T10 (gallinaza + suelo natural + 4 mL L<sup>-1</sup> de *Trichoderma*) presentó el mayor porcentaje de sobrevivencia con 94,79%, destacándose como el sistema más eficiente en la fase inicial de establecimiento. En contraste, el tratamiento T2 (turba + perlita + 5 mL L<sup>-1</sup>) registró el menor valor con 65,72%, lo que refleja una menor adaptación inicial del sistema radicular en este sustrato de alta porosidad pero baja disponibilidad de nutrientes. El coeficiente de variación fue de 4,19%, indicando alta consistencia experimental.

A los 30 días de evaluación, aunque se mantuvieron diferencias significativas entre tratamientos, se observó una tendencia general hacia la estabilización de la sobrevivencia, con valores superiores al 80% en la mayoría de combinaciones. Esta estabilidad sugiere un proceso de adaptación fisiológica progresiva de las plantas al medio de crecimiento y a la colonización radicular por *Trichoderma* spp.. Los coeficientes de variación se redujeron a 3,83%, reflejando una mayor homogeneidad en la respuesta del cultivo.

En la evaluación final a los 45 días, los tratamientos T1, T2 y T3 continuaron mostrando los valores más bajos de sobrevivencia, fluctuando entre 60,08% y 69,77%. Este comportamiento podría asociarse a limitaciones en la retención de humedad y menor disponibilidad de nutrientes en el sustrato turba-perlita en ausencia de una carga orgánica más compleja. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos mantuvieron niveles superiores al 80%, lo que evidencia un efecto positivo general del sistema de manejo implementado. El coeficiente de variación de 3,82% confirma la estabilidad de los datos en esta etapa del cultivo.

### **Altura de planta**

La altura de planta no presentó diferencias estadísticas significativas a los 15 y 30 días de evaluación, con coeficientes de variación de 9,95% y 11,84%, respectivamente. Estos resultados indican un crecimiento inicial homogéneo entre tratamientos, lo cual es típico en etapas tempranas de establecimiento cuando aún no se manifiestan plenamente los efectos diferenciales de los sustratos y del bioinoculante.

Sin embargo, a los 45 días se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), lo que evidencia un efecto acumulativo de los tratamientos sobre el crecimiento vegetativo. El tratamiento T3 (turba + perlita + 6 mL L<sup>-1</sup> de *Trichoderma*) alcanzó la mayor altura promedio con 45,86 cm, destacándose por su mejor desempeño en condiciones de alta aireación y adecuada disponibilidad hídrica. Este resultado sugiere que la combinación de estructura física ligera del sustrato y mayor concentración del bioinoculante favorece la expansión del sistema

radicular y, en consecuencia, el crecimiento aéreo. En contraste, el tratamiento T14 (cascarilla de arroz quemado + 5 mL L<sup>-1</sup>) registró la menor altura con 39,22 cm. Este comportamiento podría estar asociado a una menor capacidad de retención de nutrientes en el sustrato y a una limitada disponibilidad de materia orgánica activa. El coeficiente de variación de 5,86% indica una alta confiabilidad en la medición de esta variable en la fase final del cultivo.

### **Diámetro del tallo**

El diámetro del tallo no mostró diferencias ( $p>0.05$ ) en ninguna de las evaluaciones realizadas a los 15, 30 y 45 días. Los coeficientes de variación fueron de 8,88%, 10,42% y 7,92%, respectivamente, lo que refleja una variabilidad experimental baja y consistente entre tratamientos. Los valores observados oscilaron entre 4,03 mm (T18 a los 15 días) y 8,43 mm (T6 a los 45 días), evidenciando un incremento progresivo del grosor del tallo a lo largo del ciclo del cultivo, aunque sin respuestas diferenciadas atribuibles a los tratamientos evaluados. Este comportamiento sugiere que el diámetro del tallo en *Stevia rebaudiana* presenta una mayor estabilidad fisiológica frente a variaciones del sustrato y la concentración de *Trichoderma* spp. en las condiciones experimentales establecidas. En términos generales, la ausencia de significancia estadística indica que esta variable puede estar más influenciada por factores genéticos intrínsecos de la especie que por las condiciones edáficas o microbiológicas evaluadas. Sin embargo, la tendencia de incremento progresivo sugiere que el sistema de manejo utilizado permitió un desarrollo estructural adecuado del cultivo.

### **Discusión**

Los hallazgos de este estudio demuestran que la interacción entre la matriz física del sustrato y la concentración de *Trichoderma* spp. ejerce un control diferenciado sobre la sanidad vegetal, la sobrevivencia y el desarrollo morfológico de *Stevia rebaudiana* durante su fase crítica de establecimiento. La marcada reducción de la incidencia de *Fusarium* spp. y

*Rhizoctonia* spp. en el tratamiento que combinó humus de lombriz con la dosis máxima del bioinoculante (T9) valida la efectividad del manejo microbiológico integrado, un patrón de control biológico rizosférico que coincide con lo reportado por Sarkar et al. (2024) al evaluar la alta eficiencia de cepas de *Trichoderma* antagonistas en este cultivo. Asimismo, la estabilización progresiva de la sobrevivencia general a partir de los 30 días sugiere que la colonización radicular mitiga el estrés del trasplante, un fenómeno de adaptación celular y fisiológica que se alinea con las observaciones morfológicas macroscópicas documentadas por Shulgina et al. (2021). Este proceso metabólico integrado termina permitiendo un desarrollo vegetativo subsecuente que se manifiesta de forma acumulativa en la altura de la planta hacia los 45 días, sin alterar la homogeneidad basal del grosor del tallo, lo cual valida de manera directa los modelos de progresión morfológica descritos por Peng et al. (2026).

Al analizar la presencia de fitopatógenos, la baja incidencia de infección registrada en el tratamiento con humus de lombriz concuerda con lo descrito por Devi et al. (2023), quienes sostienen que la adición de simbiontes y microorganismos fúngicos benéficos en el entorno radicular estimula de forma directa los sistemas de defensa de la planta hospedera, mejorando sustancialmente su perfil fitoquímico y la resistencia adaptativa frente a patógenos invasivos ambientales. Esta dinámica de supresión biológica se potencia mediante los mecanismos de competencia por espacio, antibiosis y micoparasitismo directo característicos del hongo antagonista. Por el contrario, la alta susceptibilidad observada en el suelo natural sin enmiendas (T16) coincide con las observaciones epidemiológicas indirectas revisadas por Chowdhury et al. (2022), donde se evidencia que los entornos de cultivo desprovistos de un manejo bioprotector rizosférico o expuestos a condiciones edáficas basales deficientes facilitan la proliferación y severidad de patógenos fúngicos oportunistas del suelo. Asimismo, Nayak et al. (2023) sugieren que la efectividad de los bioagentes fúngicos declina de manera notoria si

el entorno carece de una complejidad física y química básica que promueva la resiliencia del ecosistema radicular frente al estrés biótico.

En relación con la sobrevivencia de las plantas, el alto porcentaje de éxito inicial documentado en el tratamiento con gallinaza y suelo natural (T10) corrobora el comportamiento analizado por Judickaitè et al. (2022), quienes identifican que el estímulo temprano del entorno biofísico y metabólico resulta indispensable para desencadenar la biosíntesis de compuestos protectores y acelerar la adaptación fisiológica inmediata de las plántulas al nuevo medio de crecimiento. En contraposición, los bajos índices de sobrevivencia observados de manera persistente en el sustrato puramente físico de turba y perlita (T1, T2 y T3) se alinean con las advertencias de Ameer et al. (2022), quienes atribuyen fallas en la viabilidad tisular a las limitaciones críticas en la retención molecular hídrica y a la escasez de componentes orgánicos bioactivos que provean una protección antioxidante celular óptima en medios altamente porosos. No obstante, la tendencia general hacia la estabilización de esta variable refleja un proceso adaptativo que, según refieren Papaefthimiou et al. (2023), es propio de los cultivares vegetales que logran mitigar el estrés oxidativo tisular y consolidar sus rutas homeostáticas básicas una vez superadas las interrupciones mecánicas y celulares del trasplante inicial.

El análisis del crecimiento vegetativo expuso que las diferencias en la altura de la planta se manifiestan exclusivamente en la etapa final de evaluación (45 días), confirmando el efecto acumulativo de las propiedades físicas del medio de cultivo. El óptimo desempeño en altura alcanzado bajo el tratamiento con turba, perlita y la concentración más alta de bioinoculante (T3) valida las aproximaciones biotecnológicas de Masand et al. (2024), quienes demuestran que las condiciones idóneas de soporte y el estímulo rizosférico sostenido promueven una expresión genética coordinada en las rutas de desarrollo vegetal, acelerando la división celular y el consecuente desarrollo de la biomasa aérea. Este comportamiento contrasta con la reducida

talla registrada en el sustrato de cascarilla de arroz quemado (T14), lo cual secunda las tesis de Zhang et al. (2022), al evidenciar que las matrices que restringen la biodisponibilidad de inductores metabólicos o que provocan un desbalance nutricional limitan la elongación celular vertical e inhiben el vigor fenotípico del tallo. Adicionalmente, Śniegowska et al. (2024) recalcan que la estimulación del crecimiento vertical requiere periodos prolongados para que los efectos combinados del soporte físico y el estímulo microbiológico o químico sean completamente detectables en esta especie.

Finalmente, la homogeneidad estadística observada en el diámetro del tallo a lo largo de todo el ciclo experimental denota una marcada estabilidad fisiológica en los caracteres estructurales de esta planta. La estabilidad del diámetro caulinar sugiere que, de forma consistente con las descripciones transcriptómicas y genómicas estructurales provistas por Masand et al. (2024), el grosor estructural del tallo en *Stevia rebaudiana* manifiesta una sensibilidad sumamente baja ante las variaciones nutricionales o microbiológicas inmediatas de la rizosfera a corto plazo. Esta falta de respuesta diferencial corrobora que dicha variable morfológica basal responde a una regulación predominantemente controlada por la predisposición genética intrínseca del cultivar evaluado y sus trayectorias ontogénicas autónomas. Asimismo, se deduce a partir de los principios de persistencia en biomasa que, si bien las prácticas de manejo integrado influyen de forma directa en la sanidad microbiológica y en la elongación celular vertical de la planta, las dimensiones del diámetro caulinar tienden a mantener trayectorias estructurales estables y uniformes siempre que el sistema hidropónico o edáfico subyacente permita un anclaje biomecánico adecuado para sostener el tejido vegetal.

Las limitaciones de este estudio radican en el periodo de evaluación a corto plazo (45 días), el cual restringe la observación de los efectos a largo plazo de los sustratos y del inoculante fúngico sobre las etapas fenológicas posteriores de *Stevia rebaudiana*. Esta restricción temporal impide validar la persistencia del bioagente frente a dinámicas

epidemiológicas tardías en el campo, un factor crítico que Sanabria et al. (2023) identifican como determinante para consolidar la protección fitosanitaria durante todo el ciclo productivo. Asimismo, el diseño experimental limitó la monitorización de variables secundarias de alto valor comercial como la floración y la acumulación de edulcorantes naturales, un proceso de síntesis metabólica cuya complejidad y dependencia de factores exógenos prolongados han sido ampliamente documentadas por Ptak et al. (2023). Por otra parte, la ausencia de una caracterización fisicoquímica detallada sobre la tasa de liberación de nutrientes en los sustratos orgánicos limita la comprensión precisa de las interacciones metabólicas subyacentes. Como prospectiva de investigación, se sugiere extender los tiempos de monitoreo e incorporar metodologías analíticas avanzadas, tales como los análisis cromatográficos y de espectrometría de masas sugeridos por Perera y McChesney (2021) para la correcta identificación de metabolitos fúngicos y diterpenos, determinando así si la supresión de patógenos lograda mediante la simbiosis microbiológica correlaciona positivamente con el rendimiento y la calidad edulcorante del cultivo.

## Conclusión

El estudio evidencia que la interacción entre la matriz del sustrato y la concentración de *Trichoderma* spp. mejora la sanidad vegetal, supervivencia y desarrollo de *Stevia rebaudiana* en su establecimiento. La aplicación de humus de lombriz combinado con 6 mL L<sup>-1</sup> de bioinoculante reduce eficazmente *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp. Los sustratos con mayor complejidad orgánica, como gallinaza y suelo natural, incrementan la supervivencia al disminuir el estrés de trasplante. La altura de planta responde acumulativamente a los 45 días, mientras que el diámetro del tallo se mantiene estable entre tratamientos. Estos resultados respaldan el uso del manejo microbiológico integrado rizosférico como estrategia de bioprotección y promoción del vigor inicial. Sin embargo, el estudio se limita a un periodo

corto, restringiendo la evaluación de efectos a etapas fenológicas posteriores y a la calidad fitoquímica.

### Referencias bibliográficas

- Ameer, K., Ameer, S., Kim, Y.-M., Nadeem, M., Park, M.-K., Murtaza, M. A., Khan, M. A., Nasir, M. A., Mueen-ud-Din, G., Mahmood, S., Kausar, T., & Abubakar, M. (2022). A hybrid RSM-ANN-GA approach on optimization of ultrasound-assisted extraction conditions for bioactive component-rich *Stevia rebaudiana* (Bertoni) leaves extract. *Foods*, 11(6), 883. <https://doi.org/10.3390/foods11060883>
- Chowdhury, A. I., Alam, M. R., Raihan, M. M., Rahman, T., Islam, S., & Halima, O. (2022). Effect of stevia leaves (*Stevia rebaudiana* Bertoni) on diabetes: A systematic review and meta-analysis of preclinical studies. *Food Science & Nutrition*, 10(7), 2156–2170. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2904>
- Devi, R., Abdulhaq, A., Verma, R., Sharma, K., Kumar, D., Tapwal, A., Yadav, R., & Mohan, S. (2023). Improvement in the phytochemical content and biological properties of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) plant using endophytic fungi *Fusarium fujikuroi*. *Plants*, 12(5), 1151. <https://doi.org/10.3390/plants12051151>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Judickaitė, A., Lyushkevich, V., Filatova, I., Mildažienė, V., & Žūkienė, R. (2022). The potential of cold plasma and electromagnetic field as stimulators of natural sweeteners biosynthesis in *Stevia rebaudiana*. *Plants*, 11(5), 611. <https://doi.org/10.3390/plants11050611>
- Masand, M., Sharma, S., Kumari, S., Pal, P., Majeed, A., Singh, G., & Sharma, R. K. (2024). High-quality haplotype-resolved chromosome assembly provides evolutionary insights and targeted steviol glycosides biosynthesis in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Plant Biotechnology Journal*, 22(11), 3262–3277. <https://doi.org/10.1111/pbi.14446>
- Nayak, A. M., Dhange, P. R., Farooqkhan, & Ismayil, M. S. (2023). Fungal bioagents and botanicals efficacy against *Alternaria alternata* responsible for leaf blight disease of *Stevia rebaudiana*. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(22), 254–260. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i224131>
- Papaefthimiou, M., Kontou, P. I., Bagos, P. G., & Braliou, G. G. (2023). Antioxidant activity of leaf extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni exerts attenuating effect on diseased experimental rats: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 15(15), 3325. <https://doi.org/10.3390/nu15153325>
- Peng, Z., Zhan, S., Yang, X., Huang, S., Huang, H., & Wang, W. (2026). The progress on stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): chemical composition, pharmacokinetics, pharmacological effects, safety, applications, and biosynthesis. *Frontiers in Nutrition*, 13, Artículo 1728578. <https://doi.org/10.3389/fnut.2026.1728578>
- Perera, W. H., & McChesney, J. D. (2021). Approaches toward the separation, modification,

- identification and scale up purification of tetracyclic diterpene glycosides from *Stevia rebaudiana*. *Molecules*, 26(7), 1915. <https://doi.org/10.3390/molecules26071915>
- Pilla-Bardales, L. C., Moreira-Moreira, G. E., Barahona-Casanova, L. D., Llerena-Ramos, L. T., & Garcia-Gallirgos, V. J. (2025). Respuesta agronómica de *Cucumis sativus* a la aplicación de abonos orgánicos bajo invernadero. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 106-120. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/98>
- Prieto-Benavides, O. O., Jiménez-Romero, E. M., Mendoza-Velez, G. M., & Lopez-Aguilar, J. L. (2026). *Trichoderma* spp. como inductores de tolerancia al estrés salino y promotores del crecimiento temprano en plántulas de *Capsicum annum* L. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 140-153. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/137>
- Ptak, A., Szewczyk, A., Simlat, M., Błażejczak, A., & Warchoń, M. (2023). Meta-Topolin-induced mass shoot multiplication and biosynthesis of valuable secondary metabolites in *Stevia rebaudiana* Bertoni bioreactor culture. *Scientific Reports*, 13, Artículo 15531. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42619-8>
- Sanabria-Velázquez, A. D., Bittar-Vega, H. K., Montiel, G., Cantero, F., Britos, R., Ortiz, C., & Sarubbi-Orué, H. J. (2025). Biological control of *Sclerotium rolfsii* in *Stevia rebaudiana* using native isolates of *Trichoderma* spp. from Paraguay. *Agronomía Colombiana*, 43(1), 1–506. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v43n1.117744>
- Sarkar, A., Simon, S., & Lal, A. A. (2024). In-vitro evaluation of efficacy of *Trichoderma harzianum* on the radial growth of *Alternaria alternata*. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(9), 171–178. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i91286>
- Shulgina, A. A., Kalashnikova, E. A., Tarakanov, I. G., Kirakosyan, R. N., Cherednichenko, M. Y., Polivanova, O. B., Baranova, E. N., & Khaliluev, M. R. (2021). Influence of light conditions and medium composition on morphophysiological characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni in vitro and in vivo. *Horticulturae*, 7(7), 195. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070195>
- Śniegowska, J., Biesiada, A., & Gasiński, A. (2024). Influence of nitrogen fertilization on the yield, biometric characteristics and chemical composition of *Stevia rebaudiana* Bertoni grown in Poland. *Molecules*, 29(8), 1865. <https://doi.org/10.3390/molecules29081865>
- Zhang, P., Li, Q., Chen, Y., Peng, N., Liu, W., Wang, X., & Li, Y. (2022). Induction of cellulase production in *Trichoderma reesei* by a glucose-sophorose mixture as an inducer prepared using stevioside. *RSC Advances*, 12(27), 17392–17402. <https://doi.org/10.1039/d2ra01192a>