

Artículo

# Interacción entre sustratos y *Trichoderma harzianum* en la germinación de *Pseudosamanea guachapele* bajo condiciones de vivero

## *Interaction between substrates and Trichoderma harzianum on the germination of Pseudosamanea guachapele under nursery conditions*

Dayanara Lisbeth Alcívar-Lara <sup>1,\*</sup>, Mercedes Susana Carranza-Patiño <sup>2</sup> y Melissa Lisbeth Zambrano-Jaime <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0009-5611-2953>

<sup>2</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>; [mcarranza@uteq.edu.ec](mailto:mcarranza@uteq.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0002-9735-2266>; [melissa.zambrano2017@uteq.edu.ec](mailto:melissa.zambrano2017@uteq.edu.ec)

\* Correspondencia: [dayanara.alcivar2017@uteq.edu.ec](mailto:dayanara.alcivar2017@uteq.edu.ec)

**Cita:** Alcívar-Lara, D. L., Carranza-Patiño, M. S., & Zambrano-Jaime, M. L. (2025). Interacción entre sustratos y *Trichoderma harzianum* en la germinación de *Pseudosamanea guachapele* bajo condiciones de vivero. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(3), 30-57. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/68>

**Recibido:** 27/05/2025  
**Revisado:** 08/07/2025  
**Aceptado:** 16/07/2025  
**Publicado:** 20/07/2025



**Copyright:** © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/68>

**Resumen:** El uso de microorganismos benéficos como *Trichoderma harzianum* y la selección de sustratos adecuados representan estrategias clave para mejorar la propagación de especies forestales nativas. Este estudio evaluó el efecto de tres sustratos (100 % tierra de monte, tierra de monte + turba, y tierra de monte + biochar) combinados con cuatro niveles de *T. harzianum* ( $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$  y un control) sobre la germinación y crecimiento inicial de *Pseudosamanea guachapele* en vivero. El mayor porcentaje de germinación (30,37 %) se registró con la mezcla de turba + tierra de monte y *T. harzianum* a  $10^{-7}$ , mientras que el más bajo (18,52 %) se observó con biochar y la concentración  $10^{-8}$ . En cuanto al crecimiento, el tratamiento con biochar a  $10^{-6}$  promovió mayor altura (7,02 cm) y peso seco aéreo (0,42 g), mientras que la turba favoreció la longitud radicular (15,32 cm) y el índice de robustez (3,11). Aunque no todas las variables mostraron diferencias estadísticas, se identificaron combinaciones sustrato-inóculo efectivas para potenciar el desarrollo de plántulas. Los resultados respaldan el uso de *T. harzianum* y sustratos enriquecidos como herramientas para fortalecer la producción en viveros y contribuir a programas de reforestación con especies nativas.

**Palabras clave:** germinación, sustratos orgánicos, producción de plántulas, turba.

**Abstract:** The use of beneficial microorganisms such as *Trichoderma harzianum* and the selection of appropriate substrates are key strategies to enhance the propagation of native forest species. This study evaluated the effect of three substrates (100% forest soil, forest soil + peat, and forest soil + biochar) combined with four *T. harzianum* inoculation levels ( $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ , and a control) on the germination and early growth of *Pseudosamanea guachapele* under nursery conditions. The highest germination rate (30.37%) was recorded with the peat + forest soil mixture and *T. harzianum* at  $10^{-7}$ , while the lowest (18.52%) occurred with biochar and the  $10^{-8}$  concentration. Regarding growth, the treatment with biochar at  $10^{-6}$  promoted greater height (7.02 cm) and shoot dry weight (0.42 g), while peat favored root length (15.32 cm) and robustness index (3.11). Although not all variables showed statistical differences, effective substrate-inoculant combinations were identified for improving seedling development. The results support the use of *T. harzianum* and enriched substrates as tools to strengthen seedling production in forest nurseries and contribute to reforestation programs using native species.

**Keywords:** germination, organic substrates, seedling production, peat.

## 1. Introducción

La propagación eficiente de especies forestales nativas es esencial para programas de reforestación y restauración ecológica en regiones tropicales (De Jesús-Velázquez et al., 2023) *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms, conocida comúnmente como guachapelí, es una especie leguminosa de rápido crecimiento, valorada por su madera de calidad, capacidad de fijación de nitrógeno y uso en sistemas agroforestales (Yaakobi et al., 2023). Sin embargo, su propagación enfrenta desafíos debido a la baja tasa de germinación y la variabilidad en la emergencia de plántulas, lo que limita su producción en viveros (Álvarez et al., 2022).

En América Latina, los programas de restauración ecológica han priorizado el uso de especies nativas por su adaptabilidad y función ecosistémica. Más del 30 % de las iniciativas recientes de reforestación han incluido especies autóctonas tropicales en sus planes de restauración, como indica la (FAO, 2023). En este contexto, *P. guachapele* se ha convertido en una opción estratégica para sistemas silvopastoriles y proyectos de recuperación ecológica por su capacidad

para mejorar la fertilidad del suelo y promover la biodiversidad (Castañeda-Garzón et al., 2024).

El sustrato de germinación desempeña un papel crucial en el éxito de la emergencia de semillas. En este sentido, los sustratos orgánicos como la turba y el biochar mejoran las propiedades físicas y químicas del medio de cultivo, favoreciendo la retención de humedad, aireación y disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo y potasio, indispensables para el crecimiento radicular (Picca et al., 2024; Norda Catro et al., 2023). La turba, por su alta capacidad de retención hídrica y estructura fibrosa, promueve la emergencia, mientras que el biochar, además de aportar porosidad, contribuye con compuestos bioactivos y mejora la microbiota del suelo (Zulfiqar et al., 2022; Karlanián & Barbaro, 2020).

Además, la aplicación de microorganismos benéficos como *Trichoderma harzianum* ha ganado atención debido a su capacidad para promover el crecimiento vegetal y mejorar la germinación de semillas (Cortés Hernández et al., 2023) *T. harzianum* actúa mediante la producción de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y la inducción de resistencia sistémica en las plantas, contribuyendo a una mayor vigorosidad y tolerancia al estrés en las (Harrison et al., 2023). Diversos estudios han demostrado que la inoculación con *T. harzianum* puede aumentar significativamente la tasa de germinación y el crecimiento inicial de diversas especies forestales y agrícolas (Grady & Axelsson, 2023).

Sin embargo, la interacción entre diferentes tipos de sustratos y la aplicación de *T. harzianum* en la germinación de *P. guachapele* no ha sido ampliamente estudiada. Comprender cómo estos factores influyen en la emergencia de semillas es fundamental para optimizar las prácticas de propagación en viveros y mejorar la producción de plántulas de esta especie.

En este contexto, el presente estudio evalúa la interacción entre diferentes tipos de sustrato y la aplicación de *T. harzianum* en la germinación de *P. guachapele* bajo condiciones de vivero tropical. Los resultados pueden ser aplicados en viveros comunitarios o institucionales que trabajan con especies nativas,

contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible de plántulas para restauración ecológica (Kozlov et al., 2023). Finalmente, esta investigación se enmarca dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), ODS 13 (Acción por el clima) y ODS 12 (Producción y consumo responsables), al proponer alternativas sostenibles para la producción vegetal y conservación de especies nativas (Omer & Noguchi, 2020).

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1. Localización de la Investigación**

El experimento se llevó a cabo en la Finca Experimental La María, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador (1°04'49" S, 79°32'42" O), a 66 m s.n.m. El área se caracteriza por un clima de bosque húmedo tropical, con una temperatura media anual de 24,87 °C, humedad relativa del 85,48 % y una precipitación promedio de 2.223,85 mm.

### **2.2. Tratamientos**

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3 × 4, correspondiente a tres tipos de sustrato (100 % tierra de monte; 40 % turba + 60 % tierra de monte; y 40 % biochar + 60 % tierra de monte) y cuatro niveles de inoculación con *T. harzianum* ( $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$  y un control sin aplicación). Las concentraciones  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$  hacen referencia al número de esporas viables por mililitro (esporas/mL), aplicadas en suspensión acuosa. Se evaluaron 12 tratamientos con tres repeticiones cada uno. Cada unidad experimental consistió en una funda de polietileno con tres semillas, totalizando 180 semillas en el experimento.

### **2.3. Procedimientos Para la Selección de Semillas y Preparación de Sustratos**

La tierra de monte fue recolectada en el sitio experimental, la turba se adquirió comercialmente (Plankton, Santo Domingo), y el biochar se elaboró con cáscara de arroz en el cantón Jujan. Todos los materiales fueron tamizados y mezclados manualmente para garantizar la homogeneidad. Las semillas de *P. guachapele*

fueron recolectadas en la provincia de Manabí, seleccionadas por sanidad y tamaño uniforme, y escarificadas mecánicamente con lija fina para superar la dormancia. La siembra se realizó a una profundidad aproximada de 0.5 cm.

El riego se efectuó de forma manual una tres veces por semana, lo que permitió mantener una humedad adecuada en los sustratos sin generar encharcamientos, favoreciendo condiciones homogéneas entre los tratamientos. No se aplicaron fertilizantes ni productos fitosanitarios durante el ensayo. Las suspensiones de *T. harzianum* se prepararon a partir de una cepa pura cultivada en medio PDA, y fueron diluidas en agua estéril hasta alcanzar las concentraciones requeridas. Se aplicaron 2 mL por unidad experimental a los 15 días después de la siembra y una segunda dosis a los 30 días.

#### **2.4. Variables Evaluadas**

Se evaluaron variables de germinación y crecimiento. En la fase inicial (1 a 3 días después de la siembra), se registró el porcentaje de germinación, día y final de germinación. Se realizó un período de observación inicial de tres días para capturar este comportamiento acelerado. En la etapa de crecimiento, a los 15, 30 y 45 días después de la siembra, se midió la altura de la plántula, el diámetro del tallo y el número de hojas. Al finalizar el ensayo, se evaluaron la longitud de raíz, el volumen y área radicular, el índice de robustez (altura/diámetro), así como el peso fresco y seco de la parte aérea y radicular. Las mediciones se realizaron con regla milimétrica, calibrador digital y balanza analítica de precisión.

#### **2.5. Análisis Estadísticos**

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) para el modelo factorial  $3 \times 4$ , y se aplicó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para la comparación de medias. El análisis estadístico se efectuó utilizando el software InfoStat.

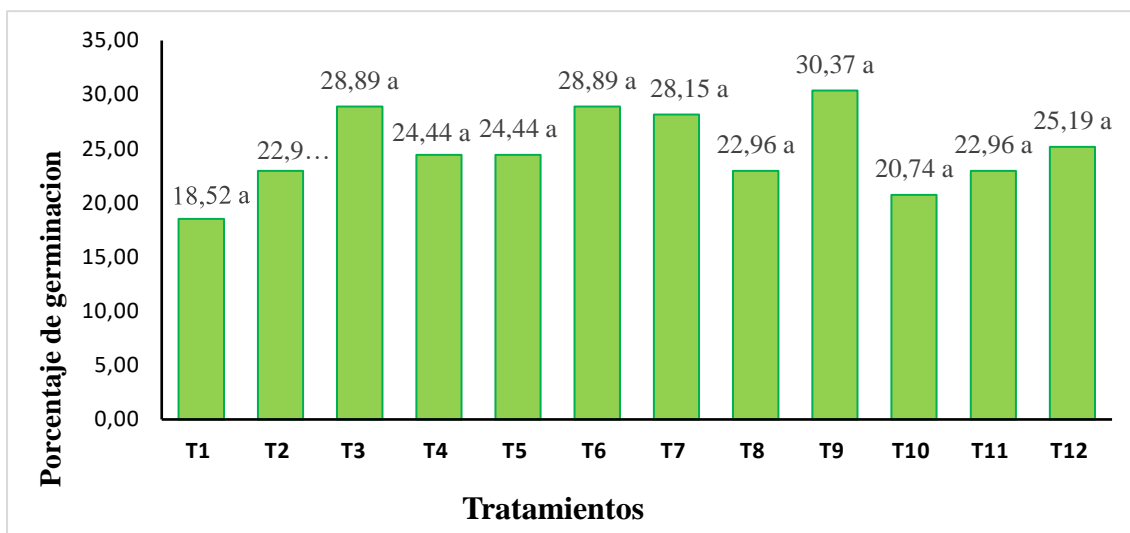
### **3. Resultados**

#### **3.1. Estrategias de germinación y crecimiento de *P. guachapele***

##### **3.1.1. Porcentaje de germinación**

Los porcentajes de germinación variaron significativamente según el tipo de sustrato empleado. Las combinaciones con turba y tierra de monte

(especialmente el tratamiento T9) presentaron los valores más altos, alcanzando hasta un 30,37%, mientras que los tratamientos con biochar y tierra de monte fueron menos efectivos, siendo T1 el más bajo con 18,52%. Esto sugiere que la inclusión de turba mejora notablemente el proceso germinativo.



**Nota:** Las barras representan el porcentaje de germinación promedio de las 12 combinaciones de tratamientos evaluados. Letras iguales indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 3.1.2. Efecto simple sobre el crecimiento de plántulas de *P. guachapele*

La germinación comenzó de manera uniforme al segundo día en todos los tratamientos. Sin embargo, los tratamientos T3, T4 y T5 concluyeron el proceso en el día 3, a diferencia del resto que lo hizo al día siguiente. Esto sugiere que ciertas combinaciones con biochar pueden acelerar la emergencia de plántulas. Sin embargo, *T. harzianum* no generó diferencias significativas en altura del hipocótilo, diámetro del tallo, número de hojas ni en el índice de robustez, lo que indicando una respuesta homogénea y sin impacto destacado en el desarrollo inicial (Tabla 1).

#### Tabla 1.

Efecto de *T. harzianum* en diferentes sustratos en Ah,D, Nh,Ir. de *P. guachapele*

**Nota 1:** La tabla presenta los valores promedio de altura del hipocótilo (AH),

Factor A	AH 45 (cm)		D 45 (cm)		NH (mm)		IR	
	Promedio		Promedio		Promedio		Promedio	
1	5,26	a	1,33	a	7,83	a	2,50	A
2	5,33	a	1,25	a	7,88	a	2,48	A
3	5,42	a	1,32	a	7,82	a	2,43	A
Factor B	Promedio		Promedio		Promedio		Promedio	
1	5,41	a	1,29	a	7,73	a	2,43	A
2	5,33	a	1,31	a	7,78	a	2,55	A
3	5,55	a	1,32	a	7,93	a	2,48	A
4	5,05	a	1,28	a	7,93	a	2,42	A
CV%	7,76		8,5		13,69		12,15	

número de hojas (NH), índice de robustez (IR) y diámetro del tallo (DT) en plántulas de *P. guachapele*, evaluadas bajo la influencia de distintos tipos de sustrato (Factor A) y concentraciones de *T. harzianum* (Factor B). Las letras asignadas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 3.1.3. Efecto sobre volumen, altura y longitud de raíz

Aunque no se detectaron diferencias significativas en volumen ni longitud radicular, se observaron variaciones en la altura radicular en función de la combinación de sustrato y concentración del hongo. Esto indica que estos factores podrían influir de manera específica sobre ciertos aspectos del desarrollo radicular, como la altura de la raíz (Tabla 2).

**Tabla 2.**

Efecto de *T. harzianum* en diferentes sustratos en el Vr, Ar, y Lr. de *P. guachapele*

Factor A	VR (cm <sup>3</sup> )		AR (cm)		LR (mm)	
	Promedio		Promedio		Promedio	
1	0,05	a	14,01	a	11,66	a
2	0,06	a	8,13	b	11,94	a
3	0,06	a	11,2	a	12,19	a
Factor B	Promedio		Promedio		Promedio	
1	0,06	a	15,43	a	12,61	a
2	0,05	a	11,2	b	10,37	a

3	0,06	a	7,17	b	12,69	a
4	0,06	a	10,68	c	12,06	a
CV%	19,1		27,55		13,69	

**Nota:** La tabla muestra los valores promedio del volumen radical (VR), altura de raíz (AR) y longitud de raíz (LR) de *P. guachapele*, obtenidos bajo la influencia de distintos tipos de sustrato (Factor A) y concentraciones de *T. harzianum* (Factor B). Las letras asignadas reflejan diferencias significativas entre tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 3.1.4. Efecto sobre peso seco y fresco

En términos generales, no se observaron diferencias estadísticas en el peso seco y fresco, tanto aéreo como radicular. Sin embargo, el peso fresco de raíz presentó diferencias significativas atribuibles al tratamiento, lo que sugiere que ciertas combinaciones podrían favorecer la formación de raíces (Tabla 3).

**Tabla 3.**

Efecto de *T. harzianum* en diferentes sustratos en Peso s, y Fresco de *P. guachapele*

Factor A	PSA (g)		PSR(g)		PFA(g)		PFR(g)	
	Promedio		Promedio		Promedio		Promedio	
1	0,34	a	0,1	a	1,35	a	0,4	a
2	0,34	a	0,09	a	1,24	a	0,32	b
3	0,32	a	0,09	a	1,32	a	0,35	a
Factor B	Promedio		Promedio		Promedio		Promedio	
1	0,3	b	0,09	a	1,34	a	0,37	a
2	0,33	a	0,1	a	1,33	a	0,36	a
3	0,37	a	0,09	a	1,3	a	0,36	a
4	0,32	a	0,08	a	1,25	a	0,33	a
CV%	13,83		16,81		10,88		18,54	

**Nota.** La tabla presenta los promedios de peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR), peso fresco aéreo (PFA) y peso fresco de raíz (PFR) de *P. guachapele*, evaluados en función de distintos tipos de sustrato (Factor A) y concentraciones de *T. harzianum* (Factor B). Las letras asignadas indican diferencias significativas entre tratamientos conforme a la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ).

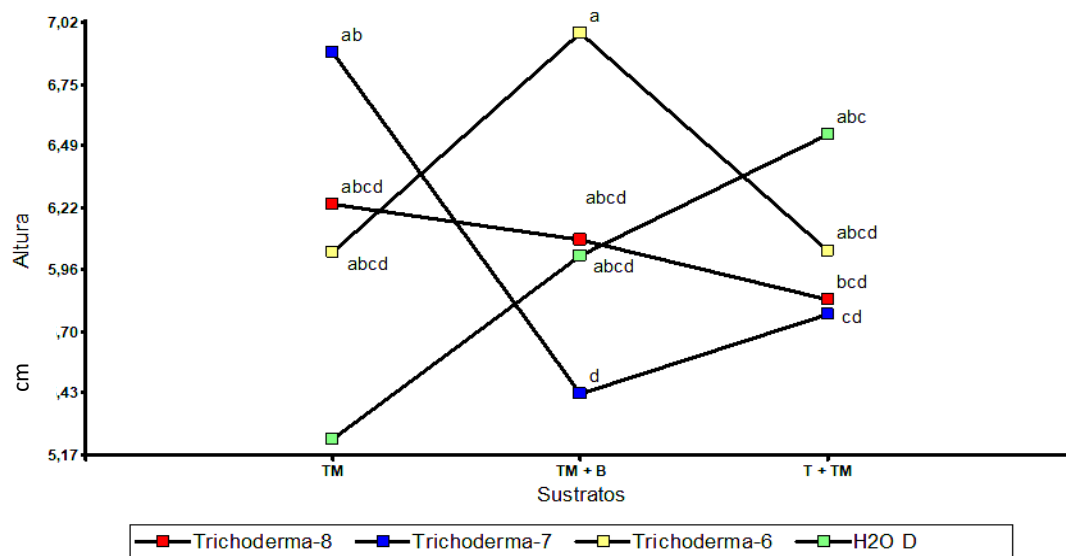
## 4.1. Interacciones Entre Tratamiento

### 4.1.1. Altura de plántulas de *P. guachapele* a los 15 días

La altura de las plántulas de *Pseudosamanea guachapele* mostró diferencias significativas según el tipo de sustrato y la concentración de *Trichoderma harzianum*. La combinación más efectiva fue tierra de monte con biochar (TM+B) y *T. harzianum* a  $10^{-6}$ , alcanzando 7.02 cm. En contraste, las menores alturas se observaron en TM con agua destilada (5.17 cm) y TM+B con *T. harzianum* a  $10^{-7}$  (5.43 cm). Esto indica que la altura inicial depende tanto del sustrato como de la concentración del hongo, siendo la mezcla TM+B y  $10^{-6}$  la más beneficiosa, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

Altura promedio de plántulas a los 15 días según tratamiento



**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

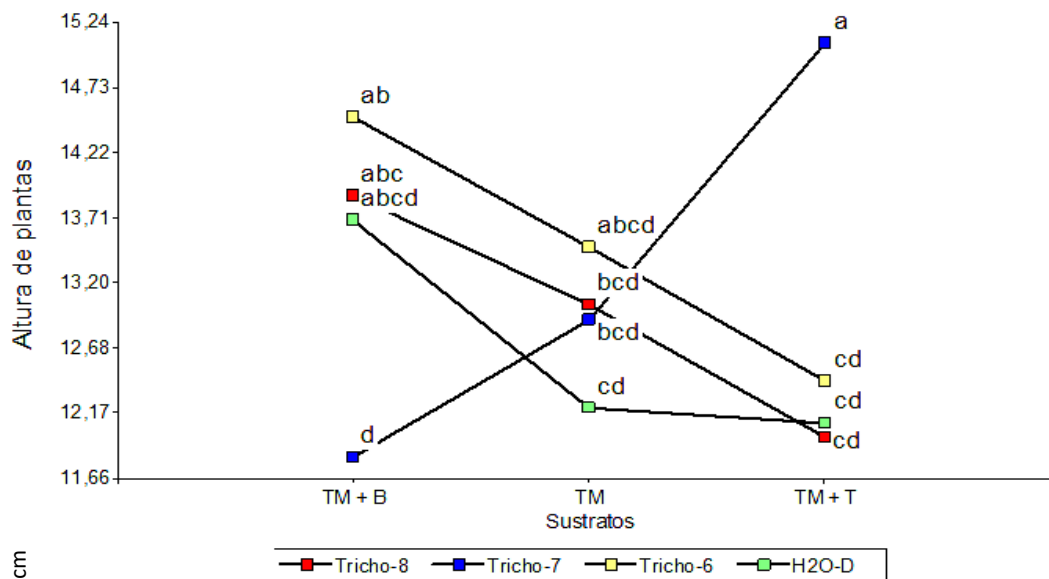
### 4.1.2. Altura de plántulas de *P. guachapele* a los 45 días

A los 45 días, se mantuvo la influencia significativa de los tratamientos sobre la altura. El mayor crecimiento (15.24 cm) se logró con tierra de monte y turba

(TM+T) y *T. harzianum* a  $10^{-7}$ , mientras que el menor valor (11.66 cm) correspondió a TM+B con *T. harzianum* a  $10^{-7}$ . Estos resultados reflejan que, a medida que avanza el desarrollo, la respuesta de las plántulas continúa dependiendo del equilibrio entre el tipo de sustrato y la concentración del hongo, como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2.**

*Altura promedio de plántulas a los 45 días según tratamiento*



**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

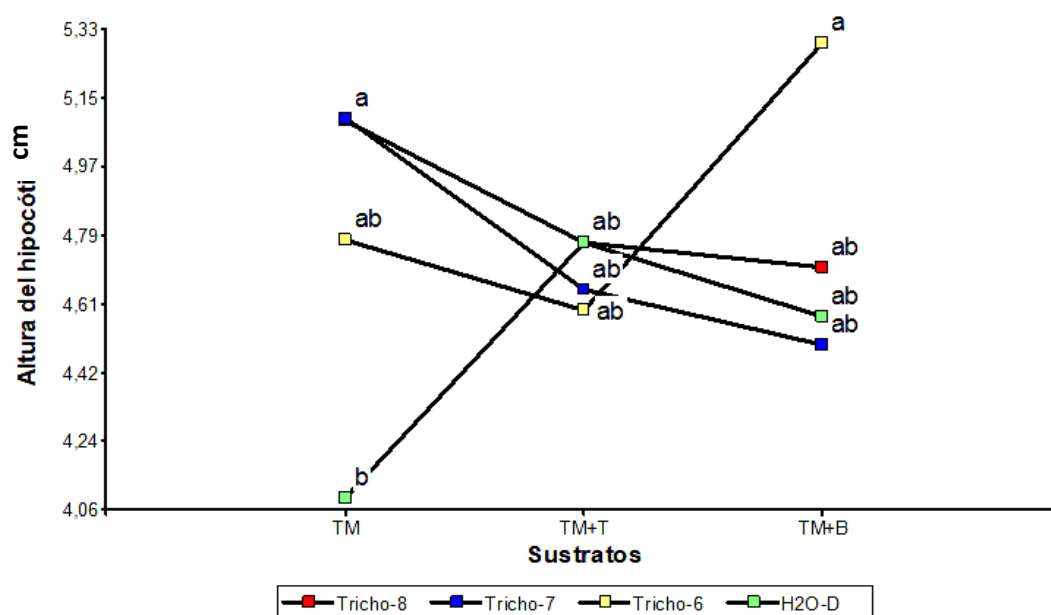
#### 4.1.3. Altura de hipocótilo de plántulas de *P. guachapele* a los 15 días

El desarrollo del hipocótilo también varió significativamente con los tratamientos. El valor más alto (5.33 cm) se obtuvo con TM+B y *T. harzianum* a  $10^{-6}$ , mientras que el más bajo (4.06 cm) correspondió a TM con agua destilada. Esto sugiere que la presencia de biochar y la dosis adecuada del hongo favorecen el crecimiento inicial del hipocótilo, contribuyendo a un establecimiento vigoroso de las plántulas, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.**

*Altura promedio del hipocótilo a los 15 días de plántulas según el tratamiento*

aplicado.



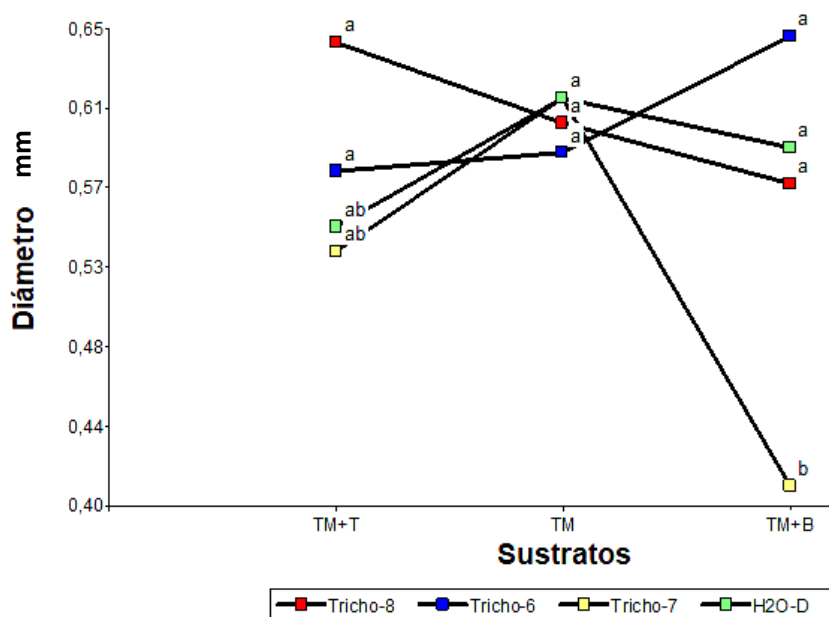
**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

#### 4.2. Diámetro de plántulas de *P. guachapele* a los 15 días

El diámetro del tallo varió entre 0.40 y 0.65 cm, siendo más elevado en tratamientos con TM+B y *T. harzianum* a  $10^{-6}$ , así como TM+T con *T. harzianum* a  $10^{-8}$ . El menor diámetro se registró con TM+B y *T. harzianum* a  $10^{-7}$ . Estos resultados evidencian que, además del tipo de sustrato, la concentración del hongo influye directamente en el desarrollo radial, clave para la resistencia estructural de las plántulas, como se muestra en la Figura 4.

#### Figura 4.

*Diámetro del tallo a los 15 días por tratamiento*



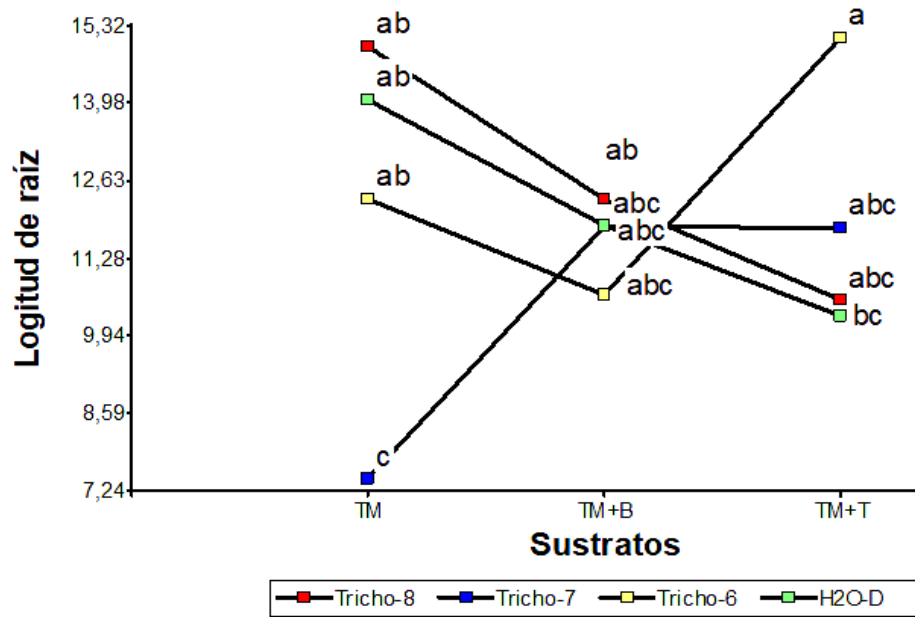
**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

#### 4.2.1. Longitud de raíz de plántulas de *P. guachapele* a los 45 días

La longitud de la raíz fue mayor (15.32 cm) en el tratamiento con TM+T y *T. harzianum* a  $10^{-6}$ , lo que sugiere una mayor capacidad de absorción. El valor más bajo (7.24 cm) se observó en TM con *T. harzianum* a  $10^{-7}$ . Esto demuestra que los componentes del sustrato, como la turba, en combinación con una concentración adecuada de *Trichoderma*, mejoran significativamente el desarrollo del sistema radical, como se muestra en la Figura 5.

#### Figura 5.

Longitud total promedio a los 45 días de acuerdo con el tratamiento aplicado.



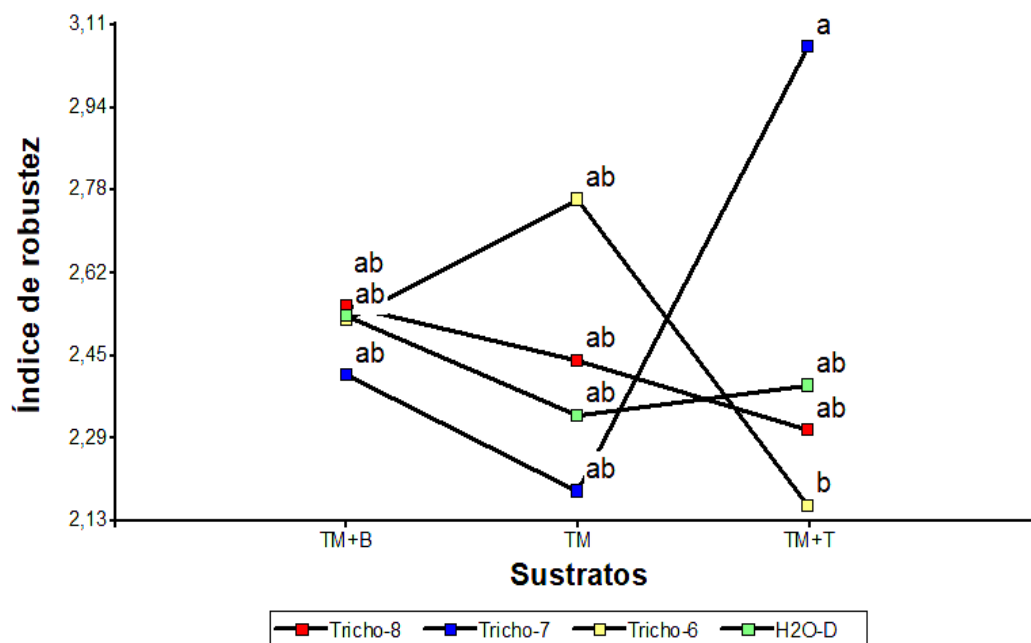
**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

#### 4.2.2. Índice de robustez

El índice de robustez varió significativamente, siendo el mayor (3.11) para TM+T con *T. harzianum* a  $10^{-7}$  y el menor (2.13) para TM+T con *T. harzianum* a  $10^{-6}$ . Este índice refleja el equilibrio entre altura y diámetro del tallo, indicando que ciertas combinaciones promueven un crecimiento más compacto y resistente, ideal para el establecimiento exitoso en campo, como lo indica la Figura 6.

**Figura 6.**

*Indicé de robustez en función del tratamiento*



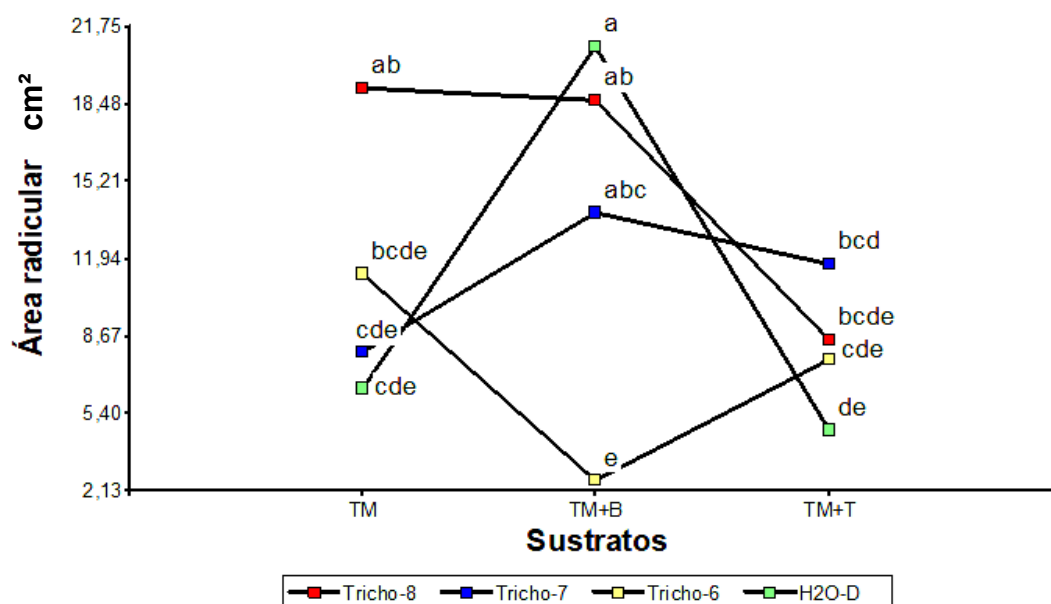
**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

#### 4.2.3. Área radicular

El área radicular más amplia ( $21.75 \text{ cm}^2$ ) se registró con TM+B sin inoculación, mientras que la más reducida ( $2.13 \text{ cm}^2$ ) correspondió a TM+B con *T. harzianum* a  $10^{-6}$ . Esto sugiere que el biochar puede potenciar el desarrollo radicular en ausencia del hongo, aunque ciertas concentraciones de *Trichoderma* pueden interferir negativamente con su efecto, dependiendo del sustrato, como se muestra en la Figura 7.

#### Figura 7.

*Área radicular en función del tratamiento*



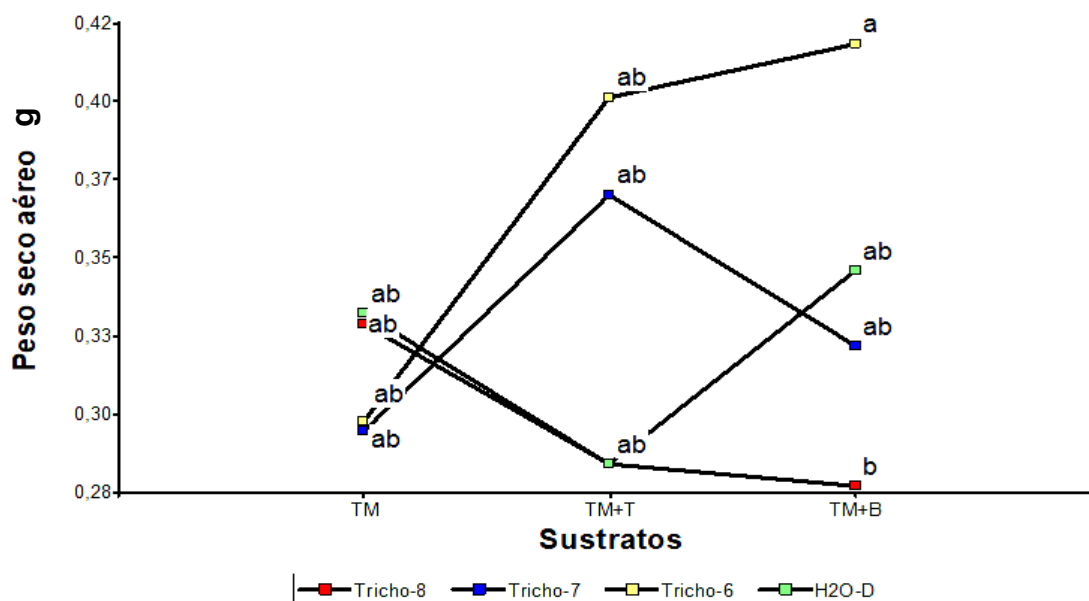
**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ )

#### 4.2.4. Peso seco aéreo

El peso seco de la parte aérea fue mayor (0.42 g) en TM+B con *T. harzianum* a  $10^{-6}$ , lo que indica una buena acumulación de biomasa bajo esta combinación. El menor valor (0.28 g) se observó en TM+B con *T. harzianum* a  $10^{-8}$ . Aunque estas diferencias numéricas sugieren una posible tendencia, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para esta variable. Por tanto, los resultados deben interpretarse con cautela. Esta leve variación podría indicar que la combinación de ciertos sustratos con concentraciones específicas del hongo tiene el potencial de influir en el crecimiento aéreo en la etapa inicial, como lo muestra en la Figura 8.

#### Figura 8.

*Peso seco aéreo promedio según el tratamiento*



**Nota:** Las letras indican grupos estadísticos significativos donde tratamientos que tienen las mismas letras no difieren significativamente entre sí según la prueba de comparación múltiple ( $P > 0,05$ ).

#### 4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la integración de sustratos adecuados con la inoculación de *Trichoderma harzianum* puede potenciar significativamente la germinación y el desarrollo inicial de *Pseudosamanea guachapele* bajo condiciones de vivero. Esta combinación de prácticas mejora la calidad de las plántulas sin recurrir a insumos químicos, alineándose con enfoques de restauración ecológica que privilegian la sostenibilidad y el uso de especies nativas (Cortés Hernández et al., 2023). En el entorno del bosque húmedo tropical del occidente ecuatoriano, donde *P. guachapele* es una especie valiosa para la reforestación y sistemas silvopastoriles, estas estrategias podrían acelerar el establecimiento de plántulas y contribuir a una recuperación más eficiente de ecosistemas degradados. Los hallazgos enfatizan el papel de los microorganismos benéficos y enmiendas orgánicas del suelo como herramientas para mejorar la producción en vivero, incrementando la resiliencia de las plántulas y disminuyendo la dependencia de agroquímicos (Rodríguez et al., 2024).

En términos de germinación, se observaron diferencias notables asociadas al tipo de sustrato. Las semillas sembradas en mezclas con biochar completaron la germinación más rápidamente (en aproximadamente 3 días) que aquellas en otros sustratos más convencionales (4 días), lo cual sugiere que el biochar mejora la aireación y la temperatura del sustrato, creando condiciones más favorables para la germinación temprana. Resultados similares se reportaron en *Tectona grandis* (teca), donde sustratos enriquecidos con materia orgánica redujeron significativamente el tiempo de germinación respecto a suelos tradicionales (Villacis, 2019). Por otra parte, la tasa final de germinación de *P. guachapele* fue mayor con la incorporación de turba en el sustrato (mezcla de tierra de monte + turba), superando el 30% de plántulas germinadas, en contraste con valores cercanos al 18-20% en tratamientos sin turba. Este incremento confirma el rol de la turba como mejorador del sustrato, dado que optimiza la retención hídrica y la aireación, proporcionando un ambiente más constante para la imbibición y la activación metabólica de la semilla. De hecho, la adición de turba u otros componentes orgánicos ha demostrado aumentar la capacidad germinativa en numerosas especies forestales nativas al mejorar las condiciones de humedad alrededor de la semilla (Álvarez et al., 2022).

En línea con ello, estudios en especies leguminosas arbóreas reportan incrementos sustanciales (del orden de 30-40%) en los porcentajes de germinación cuando se utilizan sustratos con alta materia orgánica en comparación con suelos minerales pobres (de Faria-Ferreira et al., 2021). Estos patrones coinciden con observaciones en otras especies nativas de bosques secos y húmedos, donde la disponibilidad de humedad y nutrientes en el sustrato es un factor crítico para superar posibles latencias y asegurar una germinación uniforme (De Jesús-Velázquez et al., 2023). En conjunto, nuestros resultados sugieren que la selección de sustratos enriquecidos (especialmente con turba) puede mejorar la germinación de *P. guachapele*, lo cual es relevante para producciones a gran escala en viveros de restauración.

El crecimiento inicial de las plántulas reflejó claramente la influencia positiva de *T. harzianum*, particularmente cuando su inoculación se combinó con sustratos mejorados. A nivel de la parte aérea, las plántulas en sustratos con biochar inoculados con *T. harzianum* desarrollaron tallos más altos y gruesos en

comparación con los tratamientos sin hongo. Por ejemplo, durante las primeras semanas se registró una ventaja notable en altura en los tratamientos con *Trichoderma* respecto al control, evidenciando el efecto bioestimulante de este hongo. Este resultado concuerda con investigaciones en cacao (*Theobroma cacao*), donde la inoculación con cepas de *Trichoderma* incrementó el crecimiento de las plántulas al mejorar la absorción de nutrientes y estimular el desarrollo foliar (de Sousa et al., 2021). De manera similar, en plantaciones bajo condiciones de replante (suelo cansado) de manzano silvestre (*Malus hupehensis*), la aplicación de *T. harzianum* logró aumentar el diámetro basal de las plantas en aproximadamente 25-30% en comparación con plántulas no inoculadas (Zhang et al., 2021). Estos incrementos en altura y grosor del tallo son indicativos de una mejor salud y vigor de las plántulas, atributos fundamentales para que las plántulas sobrevivan al trasplante en campo (Harrison et al., 2023). Es importante resaltar que no todas las variables morfológicas mostraron diferencias significativas a corto plazo; en nuestro estudio, por ejemplo, el número de hojas no varió sustancialmente entre tratamientos. Este hecho podría atribuirse al periodo relativamente corto de evaluación, insuficiente para manifestar diferencias en ciertos órganos de crecimiento más lento, o a que *P. guachapele* tiende a invertir inicialmente más en estructuras de soporte (tallos, raíces) que en área foliar. No obstante, la tendencia general fue de mayor biomasa aérea en presencia de *Trichoderma*, lo que sugiere un pronóstico de crecimiento superior a mediano plazo. En consonancia, se ha documentado en hortalizas como la lechuga que *T. asperellum* incrementa significativamente la biomasa foliar y el índice de robustez de las plantas (Lima et al., 2022), respaldando la idea de que las especies vegetales bajo la influencia de hongos benéficos desarrollan una arquitectura aérea más robusta y equilibrada.

El desarrollo del sistema radicular presentó mejoras aún más marcadas con la aplicación de *T. harzianum*, un resultado de gran relevancia ecológica dado que las raíces determinan la capacidad de absorción de agua y nutrientes y la tolerancia al estrés hídrico de las plantas jóvenes. En nuestros tratamientos, las plántulas inoculadas mostraron raíces más largas y con mayor volumen en comparación con las no inoculadas, especialmente cuando el sustrato contenía

componentes orgánicos (turba o biochar) que facilitan la colonización del hongo. Esta interacción benéfica hongo sustrato parece haber estimulado la exploración del sustrato por las raíces, aumentando la cantidad de raíces finas y la superficie de absorción.

Hallazgos similares se reportaron en coníferas de zonas semiáridas; por ejemplo, en plántulas de pino (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*), la inoculación con *T. harzianum* elevó en torno a un 20% el volumen radical en el primer año de crecimiento, acompañado de mejoras en la ramificación de raíces y en la captación de nutrientes del suelo (Halifu et al., 2019). Asimismo, en especies tropicales de rápido crecimiento como *Jacaranda mimosifolia*, se observó que la asociación con *Trichoderma* promovió incrementos significativos en la longitud de las raíces primarias y secundarias (de Faria-Ferreira et al., 2021), lo cual coincide con nuestro registro de raíces más largas en *P. guachapele* bajo los tratamientos con turba inoculada.

Un sistema radicular extenso y bien desarrollado es un indicador clave de plántulas de alta calidad; estudios de restauración han demostrado que aquellas plántulas con raíces voluminosas y abundantes pelos radicales tienen mayores probabilidades de sobrevivir y establecerse al ser transplantadas en campo, debido a su eficiencia superior en la exploración del suelo y obtención de recursos (Harrison et al., 2023; Yaakobi et al., 2023). Adicionalmente, cabe destacar que *T. harzianum* posee mecanismos bioquímicos (producción de sideróforos, ácidos orgánicos y fitohormonas) que solubilizan nutrientes como fósforo y hierro, poniéndolos a disposición de la planta (Cortés Hernández et al., 2023; Murtaza et al., 2023).

Esta nutrición mejorada, a una da a la estimulación de un mayor desarrollo radical, se traduce en plántulas más robustas y autónomas, capaces de mantener un crecimiento sostenido con menos requerimientos de fertilización química (Khoshmanzar et al., 2020). De hecho, *T. harzianum* y otros hongos del género no solo favorecen el crecimiento en condiciones óptimas, sino que también inducen tolerancia al estrés en las plantas hospederas; por ejemplo, se ha documentado que su inoculación puede mejorar la resistencia a la sequía al optimizar el uso de agua en el suelo y activar respuestas de defensa en las raíces

(Khoshmanzar et al., 2020; Yaakobi et al., 2023). Este aspecto es particularmente relevante para la restauración en el contexto del cambio climático, donde las plántulas pueden enfrentar periodos de déficit hídrico incluso en bosques húmedos estacionales.

Desde una perspectiva de aplicación práctica en viveros de restauración, nuestros hallazgos tienen varias implicaciones. En primer lugar, identificar el tratamiento más eficiente (en este caso, la mezcla de turba con tierra de monte inoculada con *T. harzianum* a concentraciones óptimas) permite acortar el ciclo de producción de plántulas, ya que se alcanza antes un tamaño y condición adecuados para la plantación. Una germinación más rápida y uniforme significa que un mayor número de plantas estará listo para trasplante en menos tiempo, lo cual resulta en ganancias de eficiencia y costo para los programas de reforestación. Además, las plántulas producidas bajo estos tratamientos presentaron rasgos morfológicos deseables (tallos más gruesos, altas relaciones raíz/vástago, mayor peso seco) que se asocian con mayor supervivencia post-trasplante (Harrison et al., 2023). Esto sugiere que el uso de *Trichoderma* y sustratos enriquecidos no solo acelera la producción, sino que también mejora la calidad “plantable” de las plántulas, incrementando la probabilidad de éxito en el establecimiento en campo.

Cabe resaltar que *P. guachapele*, al ser una leguminosa arbórea nativa, cumple roles ecológicos importantes (fijación de nitrógeno atmosférico, provisión de sombra y forraje, etc.), por lo que el facilitar su incorporación en programas de restauración aporta múltiples beneficios al ecosistema. Al optimizar su propagación en vivero, se contribuye a que estas plantas alcancen más rápido la etapa en que pueden brindar servicios ecosistémicos como protección de suelos y captura de carbono (Grady & Axelsson, 2023). De igual manera, estrategias similares podrían extrapolarse a otras especies nativas con dificultades de propagación, adaptando el tipo de hongo benéfico o enmienda según las necesidades de cada especie. La literatura reciente destaca la importancia de considerar la variación interespecífica en el rendimiento de plántulas en los planes de restauración (Yaakobi et al., 2023), por lo que es valioso generar conocimiento para cada especie clave. En este sentido, nuestros resultados con *P. guachapele* aportan una referencia para especies de

características semejantes (por ejemplo, otras Fabáceas arbóreas), aunque futuras investigaciones deberían confirmar si especies codistribuidas responden de forma análoga a estas intervenciones biotecnológicas.

Un aspecto fundamental es cómo estas prácticas inciden en la reducción del uso de agroquímicos en vivero y en etapas posteriores. La inoculación con *Trichoderma harzianum* se perfila como una alternativa biológica eficaz frente al uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos. En nuestro estudio, las plántulas vigorosas obtenidas en sustratos enriquecidos con biochar o turba requirieron mínimos insumos externos; *T. harzianum*, al establecerse en la rizósfera, actúa como biofertilizante (libera nutrientes gradualmente) y como agente de biocontrol al antagonizar patógenos del suelo (Rodríguez et al., 2024). Ello implicaría que, durante la crianza en vivero, se podrían disminuir aplicaciones de fungicidas químicos para prevenir enfermedades como la “damping-off”, dado que *Trichoderma* compite exitosamente contra hongos fitopatógenos (Rodríguez et al., 2024). Asimismo, la mejora nutricional propiciada por el hongo reduce la necesidad de fertilizaciones frecuentes con fuentes minerales convencionales, aportando a una producción más limpia.

Por su parte, el uso de biochar como componente del sustrato ofrece beneficios adicionales en línea con la sostenibilidad: el biochar tiene capacidad de retener nutrientes y agua, minimizando lixiviación, y a la vez secuestra carbono, contribuyendo a mitigar emisiones (Zulfiqar et al., 2022). Además, su estructura porosa sirve de hábitat para microorganismos benéficos como *T. harzianum*, potenciando la actividad microbiana beneficiosa en la rizósfera. En conjunto, la combinación de enmiendas orgánicas y agentes de control biológico en vivero coadyuva a reducir los efectos negativos del uso excesivo de agroquímicos, promoviendo una producción de plantas verdaderamente ecológica. Esta orientación concuerda con las tendencias actuales de la agroforestería sostenible, donde se busca minimizar insumos sintéticos y aprovechar interacciones biológicas positivas (Cortés Hernández et al., 2023).

Finalmente, es importante reconocer algunos vacíos de conocimiento y futuras líneas de investigación derivadas de este estudio. Si bien se identificaron tratamientos promisorios para *P. guachapele*, sería valioso evaluar el desempeño

a largo plazo de estas plántulas una vez reintroducidas en su hábitat natural. Investigaciones que hagan un seguimiento de la supervivencia y crecimiento en campo de plántulas inoculadas vs. no inoculadas aportarían evidencias directas del beneficio en programas de restauración (Harrison et al., 2023).

Adicionalmente, queda abierta la interrogante sobre cuán generalizables son estos efectos a otras especies nativas: la respuesta a los bioinsumos puede variar entre especies, e incluso diferentes cepas de *Trichoderma* pueden ejercer efectos dispares en una misma especie vegetal (Halifu et al., 2019). Por ello, sería recomendable ampliar estudios comparativos con especies arbóreas de distintos grupos funcionales (p. ej., especies de rápido vs. lento crecimiento, de diferentes familias botánicas) para diseñar protocolos de vivero específicos por especie. También es pertinente explorar combinaciones sinérgicas de múltiples microorganismos benéficos; por ejemplo, la coinoculación de *T. harzianum* con micorrizas arbusculares o con rizobios fijadores de nitrógeno podría amplificar los beneficios observados, creando una microbiota promotora del crecimiento más completa (Grady & Axelsson, 2023).

En cuanto al manejo del hongo, futuros estudios podrían optimizar la dosis y forma de aplicación de *Trichoderma* (p.ej., tratamiento de semillas vs. riego post-siembra) para maximizar su eficacia, ya que en nuestro experimento la concentración  $10^{-7}$ , mostró mejores resultados de germinación que la  $10^{-6}$  o  $10^{-8}$ , indicando que existe un intervalo óptimo de densidad de inóculo. Comprender los mecanismos detrás de esta dosis respuesta y la interacción con cada sustrato permitirá refinar las recomendaciones prácticas.

Por último, sería valioso realizar análisis económico y ambiental de estas prácticas: cuantificar el costo beneficio de usar turba o biochar y bioinsumos en lugar de fertilizantes convencionales, así como evaluar el impacto en la huella de carbono del proceso de producción de plantas. Abordar estos vacíos fortalecerá la base científica para impulsar estrategias de restauración más eficientes y sostenibles, donde la producción de plantas de calidad va de la mano con la conservación del entorno.

Los resultados obtenidos evidencian que la integración de sustratos adecuados con la inoculación de *Trichoderma harzianum* puede potenciar significativamente la germinación y el desarrollo inicial de *Pseudosamanea guachapele* bajo condiciones de vivero. Esta combinación de prácticas mejora la calidad de las plántulas sin recurrir a insumos químicos, alineándose con enfoques de restauración ecológica que privilegian la sostenibilidad y el uso de especies nativas (González Tamayo, 2022). En el entorno del bosque húmedo tropical del occidente ecuatoriano, donde *P. guachapele* es una especie valiosa para la reforestación y sistemas silvopastoriles, estas estrategias podrían acelerar el establecimiento de plántulas y contribuir a una recuperación más eficiente de ecosistemas degradados.

Los resultados obtenidos en este estudio tienen una aplicabilidad directa en contextos reales de restauración ecológica, especialmente en viveros comunitarios, institucionales o de organizaciones no gubernamentales que trabajan con presupuestos limitados y requieren técnicas eficientes y de bajo impacto. La combinación de sustratos enriquecidos con biochar y la inoculación con *T. harzianum* puede replicarse en otras especies nativas adaptadas al trópico húmedo, lo cual representa una oportunidad para estandarizar protocolos de producción de plántulas más resilientes y vigorosas (Di Sacco et al., 2021).

Una de las variables clave observadas en este estudio fue el desarrollo del sistema radicular, el cual ha sido ampliamente reconocido como un predictor confiable del éxito en la fase post-trasplante. Diversos estudios han confirmado que plántulas con sistemas radicales bien desarrollados presentan una mayor capacidad de absorción hídrica, mejor anclaje y mayor supervivencia en condiciones de estrés abiótico (Domenico, 2019; Molina-Lores et al., 2022; Salinas et al., 2022). En este sentido, la respuesta positiva observada en los tratamientos con *T. harzianum* y biochar no solo implica un mayor rendimiento en vivero, sino también un potencial superior de establecimiento y persistencia en campo.

## 5. Conclusión

El tipo de sustrato ejerció un efecto significativo sobre la tasa de germinación de *Pseudosamanea guachapele*, evidenciándose que la combinación de turba y tierra de monte permitió alcanzar el porcentaje más elevado de germinación (30,37%). En contraste, los tratamientos con biochar presentaron los valores más bajos, lo que sugiere que este material podría limitar la disponibilidad de humedad y nutrientes esenciales durante la fase de germinación. Asimismo, la velocidad de emergencia de las plántulas varió en función del sustrato, indicando que, si bien el biochar puede acelerar el inicio de la germinación, su eficacia en el establecimiento de plántulas resulta limitada.

La inoculación con *Trichoderma harzianum* promovió un crecimiento inicial más vigoroso en *P. guachapele*, reflejado en aumentos en la altura y el vigor de las plántulas. Las concentraciones de  $10^{-6}$  y  $10^{-7}$ , en combinación con tierra de monte y turba, fueron particularmente efectivas, alcanzando los mayores valores de altura a los 45 días. Estos resultados evidencian que la asociación con *T. harzianum* mejora la absorción de nutrientes y estimula el crecimiento, favoreciendo un desarrollo inicial más eficiente en la especie.

El desarrollo del sistema radicular también fue significativamente mejorado por los tratamientos con *T. harzianum*, registrándose incrementos notables en la longitud y el volumen de raíces. Las mejores respuestas radiculares se obtuvieron en las combinaciones de tierra de monte, biochar y agua. En función de los resultados alcanzados, se confirma la hipótesis de esta investigación, dado que la aplicación de ciertos tratamientos y sustratos contribuyó de manera significativa al fortalecimiento del desarrollo inicial de las plántulas.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, MSC-P.; metodología, MSC-P. y DLA-L.; software, DLA-L.; validación, MSC-P.; análisis formal, DLA-L. y MLZ-J.; investigación, DLA-L. y MLZ-J.; recursos, DLA-L. y MLZ-J.; redacción del borrador original, DLA-L.; redacción, revisión y edición, MSC-P.; visualización, DLA-L. y MLZ-J.; supervisión, MSC-P. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no ha recibido financiación externa.

**Agradecimiento:** A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Facultad de Posgrados y a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), programa de becas.

**Declaración de disponibilidad de datos:** Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: [dayanara.alcivar2017@uteq.edu.ec](mailto:dayanara.alcivar2017@uteq.edu.ec)

**Conflicto de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

### Referencias bibliográficas

Álvarez, F., Sterling, A., & Parra, P. A. R. (2022). Germinative capacity of native plant species with forage potential under tropical rainforest conditions at the mountain-foot. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 21(3), 238–246.

Castañeda-Garzón, S. L., Cervera Bonilla, D. C., Zuluaga Peláez, J. J., & Argüelles Cárdenas, J. H. (2024). Rasgos morfológicos de árboles de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms en el municipio El Espinal, Tolima, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(3), 14. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol25\\_num3\\_art:3622](https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num3_art:3622)

Cortés Hernández, F. del C., Alvarado Castillo, G., & Sanchez Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 62–76. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>

de Faria-Ferreira, N. C., Rocha, E. C., Rodrigues, F., dos Santos, S. X., de Oliveira, T. A. S., Duarte, E. A. A., & Carvalho, D. D. C. (2021). *Trichoderma* spp. in Growth Promotion of *Jacaranda Mimosifolia* D. Don. *Journal of Agricultural Studies*, 9(2), 335–346.

De Jesús-Velázquez, J., Cisneros-Villaseñor, A., Tamayo-Bustamante, R. A., Girón-Gutiérrez, D., Luna-Soria, H., & Cambrón-Sandoval, V. H. (2023). Effect of pre-germinative treatments on eight priority native species for reforestation in the tropical deciduous forest. *Conservation*, 3(2), 277–290.

de Sousa, W., Brito, N., Felseburgh, C., Vieira, T., & Lustosa, D. (2021). Evaluation of *Trichoderma* spp. isolates in cocoa seed treatment and seedling production. *Plants*, 10(9), 1964.

Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H. S., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Chomba, S., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith, R. J., & Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328–1348. <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>

Domenico, P. (2019). *Trichoderma harzianum*: biocontrol to *Rhizoctonia solani* and biostimulation in *Pachyphytum oviferum* and *Crassula falcata*. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 3(3), 011–018. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.3.3.0066>

FAO. (2023). América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, 84–87. <https://doi.org/10.18356/515d02d7-es>

González Tamayo, L. K. (2022). Efecto de *Trichoderma* spp. para el crecimiento de tres especies forestales a nivel de vivero en la provincia de Pichincha. <https://doi.org/https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16120>

Grady, K. C., & Axelsson, E. P. (2023). Using intraspecific molecular and phenotypic variation to promote multi-functionality of reforestation during climate change—A review of tropical forest case studies in South-east Asia. *CABI Reviews*, 2023.

Halifu, S., Deng, X., Song, X., & Song, R. (2019). Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients, and fungal community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* annual seedlings. *Forests*, 10(9), 758.

Harrison, M. E., Bruges Sintes, P., Kusin, K., Katoppo, D. R., Marchant, N. C., Morrogh-Bernard, H. C., Nasir, D., Ripoll Capilla, B., Salahudin, & Suppan, L. (2023). Accounting for seedling performance from nursery to outplanting when reforesting degraded tropical peatlands. *Restoration Ecology*, 31(8), e13984.

Khoshmanzar, E., Aliasgharzag, N., Neyshabouri, M., Khoshru, B., Arzanlou, M., & Asgari Lajayer, B. (2020). Effects of *Trichoderma isolates* on tomato growth and inducing its tolerance to water-deficit stress. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 869–878.

Kozlov, A., Saleh, A., Kalashnikova, E., & Kirakosyan, R. (2023). Evaluating the effect of culture filtrate of *Trichoderma harzianum* on the seed germination and seedling growth of *Pinus sylvestris*. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342001017>

Lima, R., Cabral, C., Silva, L., De Melo, L., Muniz, P., & Mello, S. (2022). Response of Lettuce Cultivars to Inoculation with *Trichoderma* spp. *Journal of Scientific Research and Reports*, 7–14. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2022/v28i230496>

Molina-Lores, L. B., Lussón-Puncet, J. A., Ávila-Góngora, Y., Cutiño-Mendoza, A., & Bell-Mesa, T. D. (2022). Efecto de *Trichoderma harzianum* y *Glomus cubense* en la producción de plántulas de tomate. *Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos*, 2(3), 42–48. <https://doi.org/10.58594/rtest.v2i3.54>

Omer, M. A. B., & Noguchi, T. (2020). A conceptual framework for understanding the contribution of building materials in the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs). *Sustainable Cities and Society*, 52, 101869. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101869>

Picca, G., Goñi-urtiaga, A., Sosa, L. L. De, Plaza, C., & Panettieri, M. (2024). Sustratos mejorados con biochar para agricultura en azoteas : aumentando la productividad y la sostenibilidad. *Jornadas de La Red Española de Compostaje.*, 2–4. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/369422/1/Picca,G\\_Sustratos\\_mejorados\\_2024\\_Com\\_Congreso.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/369422/1/Picca,G_Sustratos_mejorados_2024_Com_Congreso.pdf)

Rodríguez, Y., Torres, N., Castellanos, L., & Perez, Y. (2024). Antagonistas comerciales para el manejo de enfermedades fúngicas del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 8–11.

Salinas, M., Hakim, G., Gandolfo, E., De Lojo, J., Giardina, E., & Di Benedetto, A. (2022). Involvement of auxins in *Impatiens walleriana* plants grown in different plug tray systems during nursery. *Ornamental Horticulture*, 28(3), 347–358. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i3.2511>

Villacis, J. K. (2019). Evaluación de la germinación y crecimiento de Teca (*Tectona grandis*) de cuatro fuentes semilleras. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*.

Yaakobi, A., Livne-Luzon, S., Marques, F., Mariani, B., Stern, R., & Klein, T. (2023). Growth and drought resilience of four native tree species suitable for reforestation of Brazil's Atlantic Forest. *Forestry*, 96(4), 530–546.

Zhang, R., Yan, Z., Wang, Y., Chen, X., Yin, C., & Mao, Z. (2021). Effects of *Trichoderma harzianum* fertilizer on the soil environment of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *HortScience*, 56(9), 1073–1079.

Zulfiqar, F., Moosa, A., Nazir, M. M., Ferrante, A., Ashraf, M., Nafees, M., Chen, J., Darras, A., & Siddique, K. H. M. (2022). Biochar: An emerging recipe for designing sustainable horticulture under climate change scenarios. *Frontiers in Plant Science*, 13(December). <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1018646>