



SINERGIA ENTRE CEPAS DE *TRICHODERMA SPP.* Y COMPOSICIÓN DEL SUSTRATO: CLAVES VIGOR *HIBISCUS SABDARIFFA L*

SYNERGY BETWEEN *TRICHODERMA SPP.* STRAINS AND SUBSTRATE COMPOSITION: KEYS TO VIGOR IN *HIBISCUS SABDARIFFA L*

Mercedes Susana Carranza-Patiño ^{1*}

E-mail: mcarranza@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>

Evelin Deyaneira Carbo-Castro¹

E-mail: evelin.carbo2016@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0233-9208>

Antonio Francisco Mendoza-Leon¹

E-mail: amendoza@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5103-0152>

Paulina Zaret Palacios Sánchez¹

E-mail: paulina.palacios2016@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9374-2189>

¹Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Carranza-Patiño, M. S., Carbo-Castro, E. D., Mendoza-Leon, A. F., & Palacios-Sánchez, P. Z. (2026). Sinergia entre cepas de *Trichoderma spp.* y composición del sustrato: claves vigor *Hibiscus sabdariffa L.* *Universidad y Sociedad* 18(2). e5924.

RESUMEN:

Hibiscus sabdariffa L. posee alto potencial agroindustrial y nutracéutico, lo que demanda estrategias sostenibles para optimizar su establecimiento en vivero. El presente estudio evaluó la influencia de cepas de *Trichoderma spp.* en la germinación y el crecimiento temprano de plántulas de flor de Jamaica bajo condiciones controladas y de invernadero, considerando su interacción con diferentes mezclas de sustrato. En fase de germinación, las cepas EDC-Q1 y EDC-S1 incrementaron significativamente ($p \leq 0,05$) la altura del hipocótilo, la longitud radicular y el peso fresco de raíz, sin afectar el porcentaje ni la velocidad de germinación. En invernadero, el análisis factorial evidenció interacciones significativas cepa $\times$ sustrato en variables aéreas y radicales. La combinación EDC-S1 $\times$ turba (40 %) + tierra de monte (60 %) promovió los mayores valores de peso seco y volumen radicular, mientras que la mayor longitud de raíz se registró en EDC-Q1 $\times$ turba + tierra de monte. Los resultados confirman que la respuesta bioestimulante de *Trichoderma spp.* depende de la interacción con el sustrato, destacándose la mezcla turba + tierra de monte como la más favorable para maximizar el vigor radicular y el establecimiento inicial del cultivo.

Palabras clave: Desarrollo radicular, Turba, Producción sostenible, Bioestimulación, Combinación, Establecimiento.

ABSTRACT:

Hibiscus sabdariffa L., has high agroindustrial and nutraceutical potential, which requires sustainable strategies to optimize its establishment in nurseries. The present study evaluated the influence of *Trichoderma spp.* strains on the germination and early growth of hibiscus seedlings under controlled and greenhouse conditions, considering their interaction with different substrate mixtures. During the germination phase, strains EDC-Q1 and EDC-S1 significantly increased ($p \leq 0.05$) hypocotyl height, root length, and fresh root weight, without affecting the percentage or speed of germination. In the greenhouse, factorial analysis showed significant strain $\times$ substrate interactions in aerial and root variables. The combination EDC-S1 $\times$ peat (40%) + forest soil (60%) promoted the highest dry weight and root volume values, while the longest root length was recorded in EDC-Q1 $\times$ peat + forest soil. The results confirm that the biostimulant response of *Trichoderma spp.* depends on the interaction with the substrate, with the peat + forest soil mixture standing out as the most favorable for maximizing root vigor and initial crop establishment.

Keywords: Root development, Peat, Sustainable production, Biostimulation, Combination, Establishment.



INTRODUCCIÓN

Hibiscus sabdariffa L., conocida como flor de Jamaica o roselle, es un cultivo de creciente relevancia agroindustrial y nutracéutica debido a su elevado contenido de compuestos fenólicos y su amplia aplicación en infusiones, colorantes naturales y alimentos funcionales. La especie pertenece a la familia Malvaceae y se cultiva principalmente por sus cálices rojos carnosos, que constituyen la fracción comercial rica en antocianinas y ácidos orgánicos. Los metabolitos bioactivos presentan una marcada actividad antioxidante y efectos cardiometabólicos respaldados por estudios experimentales y clínicos. Sin embargo, la acumulación y estabilidad de estos compuestos están estrechamente influenciadas por factores ambientales y prácticas de manejo agronómico. La optimización de las etapas tempranas del cultivo resulta determinante para garantizar vigor vegetal y rendimiento funcional.

El establecimiento exitoso del cultivo depende en gran medida de la eficiencia en la germinación y del desarrollo radicular temprano, procesos que determinan la capacidad de absorción hídrica y nutricional. En los sistemas productivos convencionales, estas fases suelen apoyarse en fertilizantes sintéticos e insumos químicos que, aunque efectivos a corto plazo, generan degradación del suelo y desequilibrios ecológicos. Frente a este escenario, la agricultura sostenible promueve el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal como alternativas ecoeficientes (Kredics et al., 2024). Entre ellos, los hongos del género *Trichoderma* han adquirido especial interés por su papel multifuncional en la estimulación del crecimiento y la mejora de la salud del suelo.

Las especies de *Trichoderma* colonizan activamente la rizosfera y estimulan el desarrollo vegetal mediante la modulación de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y la mejora de la arquitectura radicular. Diversos estudios han demostrado que cepas específicas incrementan significativamente la longitud radicular, el índice de vigor y la acumulación de biomasa en diferentes cultivos (Akbari et al., 2024). Además, las interacciones sinérgicas entre *Trichoderma* y el microbioma nativo del suelo pueden potenciar la movilización de nutrientes y la eficiencia funcional del sistema radical. El uso de *Trichoderma* como un bioinóculo estratégico permite mejorar el establecimiento inicial de cultivos de alto valor.

No obstante, la eficacia de *Trichoderma* es dependiente de la cepa y está condicionada por la composición del sustrato y las condiciones ambientales. Estudios en invernadero han evidenciado que la interacción entre inoculantes microbianos y enmiendas del sustrato modifica significativamente las respuestas morfológicas y fisiológicas

de las plantas (Habte & Dobo, 2025). Asimismo, la colonización radicular puede alterar los patrones de exudación y reestructurar la comunidad microbiana del suelo, lo que favorece la tolerancia al estrés y la adquisición de nutrientes. A pesar de estos avances, existe información limitada sobre la sinergia entre cepas seleccionadas de *Trichoderma* y diferentes composiciones de sustrato en *H. sabdariffa*. En este contexto, el presente estudio evaluó la influencia de cepas seleccionadas de *Trichoderma* spp. sobre la germinación y el crecimiento temprano de *H. sabdariffa* L. en condiciones controladas y de invernadero.

La implementación de prácticas agroecológicas basadas en *Trichoderma*, para el establecimiento temprano de *Hibiscus sabdariffa* L., puede repercutir de forma significativa en comunidades rurales y en la seguridad alimentaria de regiones donde está emergiendo como cultivo de alto valor. Al favorecer un mejor establecimiento radicular y un crecimiento inicial más vigoroso, estas estrategias reducen la dependencia de insumos sintéticos, disminuyen costos de producción y promueven prácticas de manejo del suelo más sostenibles, con beneficios potenciales para la salud del ecosistema y la calidad de las cosechas. Además, al favorecer cultivos alimentarios funcionales y nutracéuticos, la investigación contribuye a la diversificación de ingresos para pequeños agricultores, mejora el acceso a productos con beneficios antioxidantes y cardiometabólicos, y puede estimular cadenas de valor locales (cultivo, procesamiento y comercialización de cálices rojos). En un contexto de cambio climático y volatilidad de precios, la adopción de bioprotectores y bioinóculos como *Trichoderma* puede aumentar la resiliencia de los sistemas productivos frente a estrés abiótico y patógeno, reduciendo pérdidas y fortaleciendo la seguridad alimentaria regional. Finalmente, este enfoque promueve la capacitación técnica de agricultores y la transferencia de conocimiento entre actores académicos, agrícolas y comunitarios, fortaleciendo la capacidad de toma de decisiones basada en evidencia para una agricultura más sostenible y socialmente equitativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Finca Experimental La María, laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en Cantón Mocache, Trópico Húmedo del Ecuador, a 66 m s.n.m, en el Ecuador. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones de cuatro semillas cada una, totalizando 80 unidades experimentales (Tabla 1). Las semillas se inocularon con una

suspensión de *Trichoderma* spp. a 1×10^8 UFC mL⁻¹, mientras que el control recibió agua destilada estéril, según lo reportado por Fróes et al. (2020).

Tabla 1. Tratamientos empleados en la germinación de semillas de flor de Jamaica.

Tratamiento	Descripción 1×10^8 UFC mL ⁻¹
T1	<i>Trichoderma</i> cepa EDC-E1 200 µl)
T2	<i>Trichoderma</i> cepa EDC-Q1 200 µl)
T3	<i>Trichoderma</i> cepa EDC-S1 200 µl)
T4	Sin <i>Trichoderma</i> spp. (control inoculado con agua destilada)

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) factorial 4×3 con cinco repeticiones por tratamiento. El Factor A correspondió a cuatro cepas de *Trichoderma* spp. y el Factor B a tres mezclas de sustrato ecológico: perlita (40 %) + tierra de monte (60 %), turba (40 %) + tierra de monte (60 %) y tierra de monte (100 %). Las cepas se aplicaron a 1×10^8 UFC mL⁻¹, mientras que el control recibió agua destilada estéril. Cada repetición incluyó cuatro plantas, totalizando 20 por tratamiento y 240 unidades experimentales en todo el experimento. Las plántulas se sembraron en fundas de vivero (29 x 25 cm) con el sustrato correspondiente y se mantuvieron bajo condiciones controladas de invernadero (Tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos para la aplicación de *Trichoderma* spp. en plántulas de Jamaica.

Trat	Factor A y B	Descripción
T1	C1 x S1	Trichoderma EDC-E1+tierra de montaña 60%+Perlita 40% (2 mL)
T2	C1 x S2	Trichoderma EDC-E1+tierra de montaña 60%+Turba 40% (2 mL)
T3	C1 x S3	Trichoderma EDC-E1+tierra de montaña 60%+Carbón activado40% (2mL)
T4	C2 x S1	Trichoderma EDC-Q1+tierra de montaña 60%+Perlita 40% (2 mL)
T5	C2 x S2	Trichoderma EDC-Q1+tierra de montaña 60%+Turba 40% (2 mL)
T6	C2 x S3	TrichodermaEDC-Q1+tierra de montaña 60%+Carbón activado40% (2mL)
T7	C3 x S1	Trichoderma EDC-S1+tierra de montaña 60%+Perlita 40% (2 mL)
T8	C3 x S2	Trichoderma EDC-S1+tierra de montaña 60%+Turba 40% (2 mL)
T9	C3 x S3	Trichoderma EDC-S1+tierra de montaña 60%+Carbón activado40% (2mL)
T10	C4 x S1	Control H ₂ O + tierra de montaña 60%+Perlita 40%
T11	C4 x S2	Control H ₂ O + tierra de montaña 60%+Turba 40%
T12	C4 x S3	Control H ₂ O + tierra de montaña 60%+Carbón activado40%

Las semillas de *Hibiscus sabdariffa* L. se recolectan manualmente de plantas maduras en la Variante Sur, Finca Javier #2, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos, Ecuador (UTM WGS 84: X = 0667093; Y = 9898932; 99 m s.n.m.). Las cepas de *Trichoderma* spp. se aislaron de muestras de suelo agrícola recolectadas en Santo Domingo, Quevedo y El Empalme, también en el Ecuador.

Las semillas se sembraron a 2 cm de profundidad en fundas de vivero (29 x 25 cm) y las plantas se mantuvieron en invernadero a 24–27 °C, con riego manual cada 48 h. Cada planta recibió 2 mL de la suspensión (1×10^8 UFC mL⁻¹) aplicada en la base del tallo a los 15, 30 y 45 días después de la siembra, realizándose las evaluaciones a los 60 días.

Durante la fase de germinación (15 días) se determinó el porcentaje de germinación, los días a emergencia de la radícula, la altura del hipocótilo y la longitud radicular. La biomasa fresca y seca de hipocótilo y raíz se obtuvo tras secado a 70 °C hasta peso constante. En la fase de crecimiento inicial (60 días) se registraron variables morfológicas de la parte aérea y del sistema radicular, incluyendo altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo, longitud y volumen

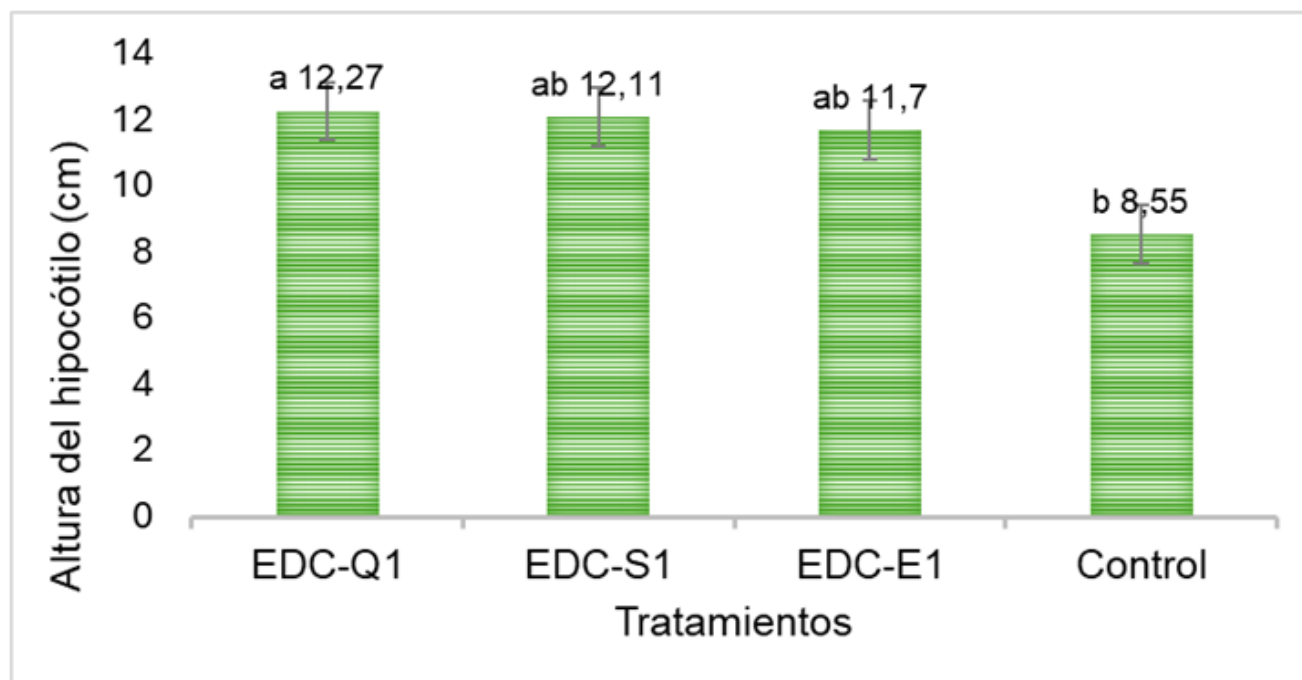


de raíces, así como biomasa fresca y seca. Los datos se analizaron mediante ANOVA bajo un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial, verificando normalidad de residuos con Shapiro–Wilk y homogeneidad de varianzas con Levene; cuando fue necesario, se aplicaron transformaciones y las medias se compararon mediante prueba de Tukey con $p \leq 0,05$, utilizando el software InfoStat versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza no muestra diferencias significativas entre los tratamientos para el porcentaje de germinación ($p > 0,05$). La comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey confirma la ausencia de diferencias estadísticas entre las cepas evaluadas y el control (datos no mostrados). No se observan diferencias significativas entre tratamientos en los días requeridos para la germinación ($p > 0,05$). Las semillas presentan emergencia radicular en un intervalo similar entre tratamientos bajo condiciones controladas (datos no mostrados).

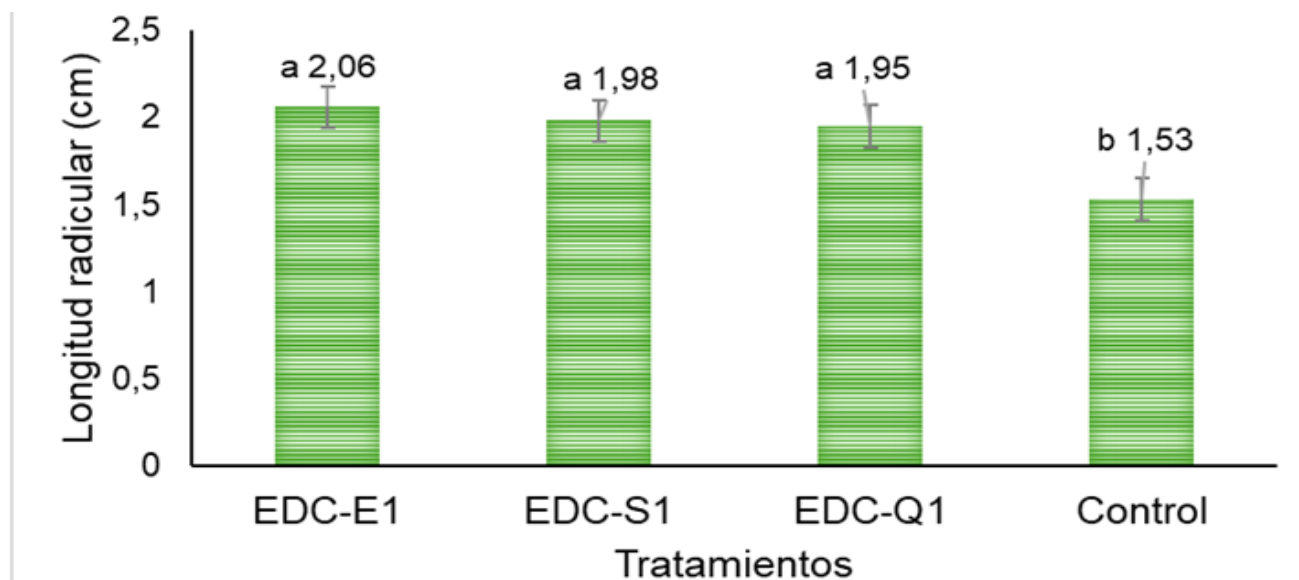
Se detectan diferencias significativas entre tratamientos en la altura del hipocótilo ($p \leq 0,05$). La cepa EDC-Q1 registra el mayor promedio (12,27 cm), seguida por EDC-S1 (12,11 cm) y EDC-E1 (11,70 cm), mientras que el control presenta el menor valor (8,55 cm) (Figura 1). De acuerdo con la prueba de Tukey, EDC-Q1, EDC-S1 y EDC-E1 no difieren estadísticamente entre sí (grupo “a” y “ab”), pero superaron significativamente al control (grupo “b”).



Nota: Las barras representan la media de altura por tratamiento: EDC-Q1, EDC-S1, EDC-E1 y T4 (control). Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Fig 1: Altura promedio de plántulas de flor de Jamaica tratadas con diferentes cepas de *Trichoderma* spp. en condiciones controladas.

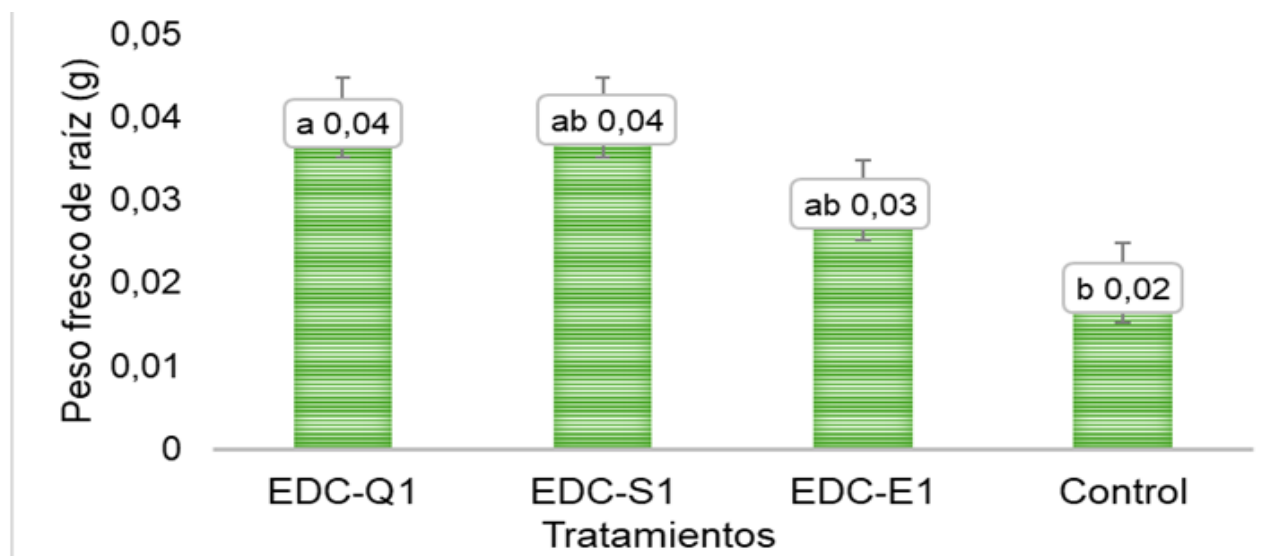
Se detectan diferencias significativas entre tratamientos en la longitud radicular ($p \leq 0,05$). Las cepas EDC-E1 (2,06 cm), EDC-S1 (1,98 cm) y EDC-Q1 (1,95 cm) presentan valores superiores al tratamiento control (1,53 cm) (Figura 2). De acuerdo con la prueba de Tukey, las tres cepas no difieren estadísticamente entre sí (grupo “a”), pero superan significativamente al control (grupo “b”).



Nota: Las barras representan la media de la longitud radicular (cm) en plántulas de flor de Jamaica tratadas con cepas EDC-E1, EDC-S1, EDC-Q1 y un control sin inoculación. Las letras sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Fig 2: Efecto de cepas de *Trichoderma* spp. en la longitud radicular bajo condiciones controladas.

Se detectan diferencias significativas entre tratamientos en el peso fresco de raíz ($p \leq 0.05$). Las plantas inoculadas con *Trichoderma* spp. presentan valores superiores al control, destacándose EDC-Q1 como el tratamiento con mayor promedio (Figura 3). De acuerdo con la prueba de Tukey, el control muestra valores significativamente inferiores respecto a EDC-Q1, mientras que EDC-S1 y EDC-E1 no difieren estadísticamente de este último.



Nota: Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Fig 3: Peso fresco de raíz en germinación según tratamientos con *Trichoderma* spp. en condiciones controladas.

No se observan diferencias significativas entre tratamientos para el peso fresco ni para el peso seco del hipocótilo durante la fase de germinación ($p > 0,05$; datos no mostrados). Los valores registrados resultan estadísticamente similares entre las unidades experimentales bajo condiciones controladas. Los coeficientes de variación resultan bajos ($CV = 2,88 \%$ y $2,04 \%$, respectivamente), lo que indica adecuada precisión experimental.

El análisis del efecto simple de las cepas de *Trichoderma* spp. no muestra diferencias significativas en la altura de planta, peso fresco aéreo ni peso seco aéreo ($p > 0,05$). En cuanto al número de hojas, la cepa EDC-S1 presenta el mayor promedio (14 hojas), valor significativamente superior al control (12 hojas) ($p \leq 0,05$). Respecto al diámetro del tallo, EDC-E1 registra el mayor valor (4,83 mm), superando significativamente al control (4,39 mm). Las demás comparaciones no muestran diferencias estadísticas.

Se observan diferencias significativas entre tipos de sustrato en todas las variables evaluadas ($p \leq 0,05$). La mezcla turba (40 %) + tierra de monte (60 %) presentó los mayores valores en altura de planta (61,15 cm), número de hojas (14), diámetro del tallo (4,98 mm), peso fresco aéreo (39,74 g) y peso seco aéreo (4,21 g), y fue significativamente superior a las demás combinaciones de sustrato (Tabla 3).

Tabla 3: Efecto de cepas de *Trichoderma* spp. Y tipos de sustrato en variables morfológicas de *H. sabdariffa* bajo condiciones de invernadero.

Factor A	AP (cm)	NH	DT (mm)	PFA (g)	PSA (g)
EDC-E1	57,29 $\pm$ 5,48 a	13,00 $\pm$ 1,60 bc	4,83 $\pm$ 0,51 a	31,55 $\pm$ 9,22 a	3,63 $\pm$ 1,01 a
EDC-Q1	57,18 $\pm$ 3,13 a	14,00 $\pm$ 1,06 ab	4,60 $\pm$ 0,28 ab	31,74 $\pm$ 5,51 a	3,74 $\pm$ 0,80 a
EDC-S1	57,17 $\pm$ 3,07 a	14,00 $\pm$ 1,60 a	4,51 $\pm$ 0,41 b	34,11 $\pm$ 7,67 a	3,54 $\pm$ 0,57 a
Control	55,97 $\pm$ 3,72 a	12,00 $\pm$ 0,81 c	4,39 $\pm$ 0,37 b	30,59 $\pm$ 6,65 a	3,17 $\pm$ 0,74 a
Factor B	AP (cm)	NH	DT (mm)	PFA (g)	PSA (g)
Per40%+TM60%	54,83 $\pm$ 2,58 b	12 $\pm$ 0,77 b	4,46 $\pm$ 0,37 b	28,56 $\pm$ 5,55 b	3,27 $\pm$ 0,67 b
Tur40%+TM60%	61,15 $\pm$ 2,72 a	14 $\pm$ 1,06 a	4,98 $\pm$ 0,32 a	39,74 $\pm$ 4,37 a	4,21 $\pm$ 0,67 a
Car40%+TM60%	54,73 $\pm$ 2,20 b	12 $\pm$ 0,88 b	4,30 $\pm$ 0,31 b	27,69 $\pm$ 4,62 b	3,08 $\pm$ 0,58 b
Cv (%)	2,04	2,63	2,73	7,05	7,66

Nota: La tabla presenta los promedios de altura de la planta (AP), número de hojas (NH), diámetro del tallo (DT) peso fresco aéreo (PFA) y peso seco aéreo (PSA) en plantas de *H. sabdariffa*, evaluadas bajo diferentes cepas de *Trichoderma* spp. (Factor A) y combinaciones de sustrato (Factor B) en invernadero. Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

El análisis factorial muestra una interacción significativa entre las cepas de *Trichoderma* spp. y el tipo de sustrato para las variables altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo y peso fresco aéreo ($p \leq 0,05$). En altura de planta, la combinación EDC-E1 $\times$ turba (40 %) + tierra de monte (60 %) presentó el mayor promedio (64,11 cm), mientras que el control $\times$ perlita (40 %) + tierra de monte (60 %) registró el menor valor (53,06 cm). Para el número de hojas, la combinación EDC-S1 $\times$ turba + tierra de monte muestra el mayor promedio (15,20 hojas), en contraste con EDC-E1 $\times$ carbón activado + tierra de monte, que presenta el menor valor (11,40 hojas). El diámetro del tallo también se muestra influenciado por la interacción entre factores ($p \leq 0,05$), observándose el mayor valor en EDC-E1 $\times$ turba + tierra de monte (5,36 mm) y el menor en el control $\times$ perlita + tierra de monte (4,08 mm). En cuanto al peso fresco aéreo, la interacción fue significativa ($p \leq 0,05$), registrándose los mayores valores en EDC-Q1 $\times$ perlita + tierra de monte (42,71 g) y en el control $\times$ turba + tierra de monte (42,57 g), mientras que los menores promedios se observan en EDC-S1 $\times$ perlita + tierra de monte y EDC-Q1 $\times$ carbón activado + tierra de monte (Tabla 4).

Tabla 4. Interacción entre cepas de *Trichoderma* spp. y tipos de sustrato en variables morfométricas aéreas de *H. sabdariffa* en invernadero.

Trat.	Cepa	Sustrato	AP (cm)	NH	DT (mm)	PFA (g)	PSA (g)
T1	EDC-E1	Per+TM	54,63 $\pm$ 1,82 e	12,05 $\pm$ 0,33 de	4,80 $\pm$ 0,20 abc	27,47 $\pm$ 2,96 cd	3,17 $\pm$ 0,43 bc
T2	EDC-Q1	Per+TM	56,03 $\pm$ 1,70 bcde	13,10 $\pm$ 0,55 bcd	4,55 $\pm$ 0,25 bcd	42,71 $\pm$ 4,45 a	4,73 $\pm$ 0,59 a
T3	EDC-S1	Per+TM	55,59 $\pm$ 2,28 bcde	11,95 $\pm$ 0,93 de	4,41 $\pm$ 0,46 bcd	24,46 $\pm$ 5,43 d	2,99 $\pm$ 0,87 bc

T4	Control	Per+TM	53,06 ± 3,71 e	11,80 ± 0,51 e	4,08 ± 0,12 d	31,82 ± 5,14 bcd	3,83 ± 0,39 abc
T5	EDC-E1	Tur+TM	64,11 ± 2,21 a	14,65 ± 0,89 ab	5,36 ± 0,21 a	36,32 ± 2,53 abc	4,23 ± 0,89 ab
T6	EDC-Q1	Tur+TM	60,36 ± 2,62 abc	14,30 ± 0,54 abc	4,81 ± 0,20 abc	27,09 ± 4,47 cd	3,16 ± 0,75 bc
T7	EDC-S1	Tur+TM	60,47 ± 1,98 ab	15,20 ± 1,08 a	5,00 ± 0,25 ab	30,63 ± 7,53 bcd	3,47 ± 0,61 abc
T8	Control	Tur+TM	59,66 ± 2,07 abcd	13,25 ± 0,77 bcd	4,77 ± 0,24 abc	42,57 ± 3,05 a	3,97 ± 0,47 ab
T9	EDC-E1	Car+TM	53,13 ± 2,85 e	11,40 ± 0,78 e	4,32 ± 0,36 cd	29,13 ± 2,09 bcd	3,18 ± 0,34 bc
T10	EDC-Q1	Car+TM	55,15 ± 2,24 de	12,40 ± 1,01 de	4,44 ± 0,29 bcd	24,33 ± 3,42 d	2,61 ± 0,67 c
T11	EDC-S1	Car+TM	55,46 ± 1,89 cde	13,05 ± 0,33 cd	4,13 ± 0,29 d	37,37 ± 3,51 ab	3,90 ± 0,52 abc
T12	Control	Car+TM	55,18 ± 1,40 de	12,55 ± 0,33 de	4,32 ± 0,31 cd	30,08 ± 4,92 bcd	3,01 ± 0,36 bc

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Per: perlita (40 %); Tur: turba (40 %); Car: carbón activado (40 %); TM: tierra de monte (60 %). AP: altura de planta; NH: número de hojas; DT: diámetro del tallo

El análisis del efecto de las cepas de *Trichoderma* spp. y los tipos de sustrato sobre la longitud radicular no evidencia un patrón consistente de diferencias entre la mayoría de las combinaciones evaluadas ($p \leq 0,05$). La combinación EDC-Q1 × turba (40 %) + tierra de monte (60 %) presenta el mayor promedio de longitud radicular (35,67 cm), diferenciándose estadísticamente de aquellas combinaciones con los valores más bajos, como EDC-E1 × carbón activado + tierra de monte (23,07 cm) y el control × carbón activado + tierra de monte (23,37 cm). Sin embargo, la mayoría de los tratamientos se agrupan en la categoría intermedia (“ab”), lo que indica una variabilidad compartida entre combinaciones.

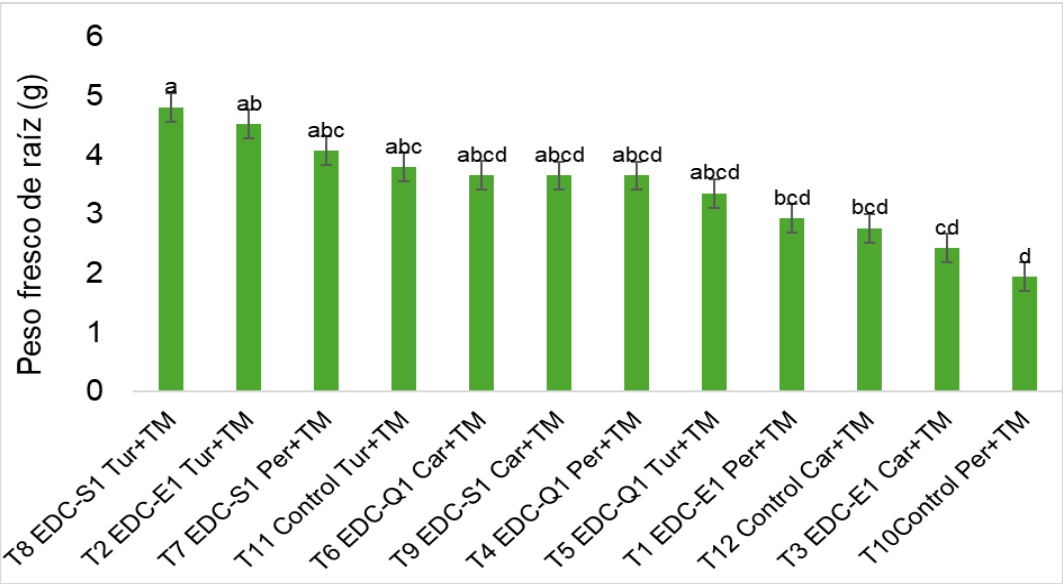
En cuanto al peso seco radicular, se observan diferencias estadísticas entre algunas combinaciones ($p \leq 0,05$). El mayor valor corresponde a la combinación EDC-S1 × turba + tierra de monte (0,52 g), mientras que el control × perlita + tierra de monte presenta el menor promedio (0,27 g). No obstante, la mayoría de los tratamientos se ubican en el mismo grupo estadístico (“ab”), reflejando una respuesta similar entre combinaciones. Los coeficientes de variación resultan de 19,30 % para longitud radicular y 28,03 % para peso seco radicular, evidenciando una variabilidad moderada entre unidades experimentales (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de cepas de *Trichoderma* spp. y tipos de sustrato sobre la longitud radicular (LR) y el peso seco radicular (PSR) de *H. sabdariffa* en invernadero.

Trat.	Cepa	Sustrato	LR (cm)	PSR (g)
T1	EDC-E1	Per+TM	29,65 ± 5,06 ab	0,36 ± 0,12 ab
T2	EDC-E1	Tur+TM	28,56 ± 2,07 ab	0,41 ± 0,14 ab
T3	EDC-E1	Car+TM	23,07 ± 5,05 b	0,33 ± 0,18 ab
T4	EDC-Q1	Per+TM	30,08 ± 6,18 ab	0,41 ± 0,06 ab
T5	EDC-Q1	Tur+TM	35,67 ± 9,07 a	0,37 ± 0,08 ab
T6	EDC-Q1	Car+TM	28,60 ± 6,29 ab	0,45 ± 0,17 ab
T7	EDC-S1	Per+TM	29,19 ± 6,59 ab	0,49 ± 0,11 ab
T8	EDC-S1	Tur+TM	26,96 ± 5,82 ab	0,52 ± 0,08 a
T9	EDC-S1	Car+TM	32,80 ± 3,21 ab	0,35 ± 0,08 ab
T10	Control	Per+TM	23,93 ± 5,95 ab	0,27 ± 0,08 b
T11	Control	Tur+TM	31,21 ± 4,93 ab	0,45 ± 0,02 ab
T12	Control	Car+TM	23,37 ± 1,62 b	0,33 ± 0,07 ab

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Per: perlita (40 %); Tur: turba (40 %); Car: carbón activado (40 %); TM: tierra de monte (60 %). LR: longitud radicular; PSR: peso seco radicular.

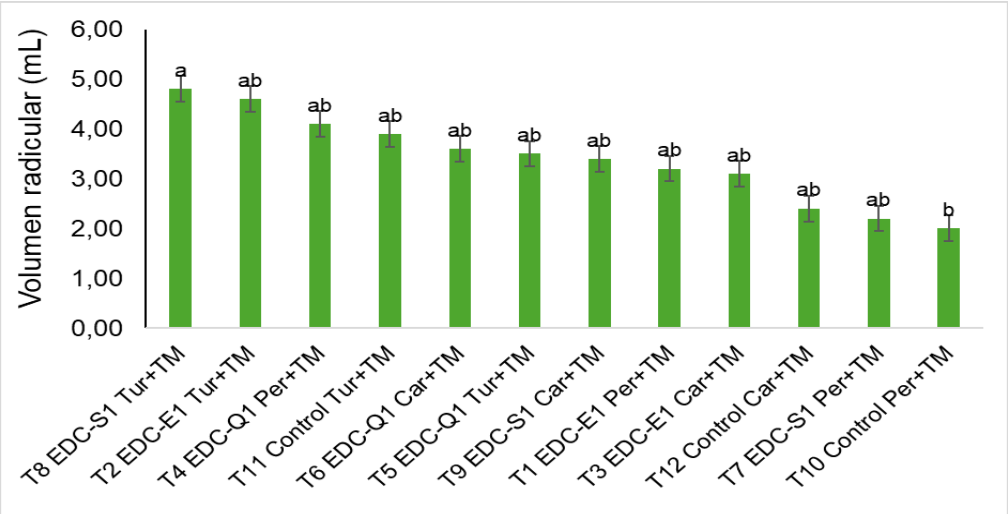
Se evidencia una interacción significativa entre las cepas de *Trichoderma* spp. y el tipo de sustrato sobre el peso fresco radicular ($p \leq 0,05$) (Figura 4). La combinación EDC-S1 × turba (40 %) + tierra de monte (60 %) presenta el mayor valor promedio ($\approx 4,8$ g), diferenciándose estadísticamente de las combinaciones con menores valores. En contraste, el control × perlita (40 %) + tierra de monte (60 %) registró el peso fresco radicular más bajo ($\approx 1,9$ g).



Nota: Datos expresados como media $\pm$ desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre combinaciones cepa $\times$ sustrato según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Tur: turba (40 %); Car: carbón activado (40 %); Per: perlita (40 %); TM: tierra de monte (60 %).

Fig 4. Interacción entre cepas de *Trichoderma* spp. y tipos de sustrato en el peso fresco radicular de *H. sabdariffa* en invernadero.

Se detecta una interacción significativa entre las cepas de *Trichoderma* spp. y el tipo de sustrato para el volumen radicular ($p \leq 0,05$) (Figura 5). La combinación EDC-S1 $\times$ turba (40 %) + tierra de monte (60 %) presenta el mayor promedio ($\approx 4,7$ mL), mientras que el control $\times$ perlita (40 %) + tierra de monte (60 %) registra el menor valor ($\approx 2,0$ mL). En general, las combinaciones establecidas en turba muestran valores superiores en comparación con aquellas formuladas con perlita o carbón activado.



Nota: Datos expresados como media $\pm$ desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre combinaciones cepa $\times$ sustrato según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Tur: turba (40 %); Car: carbón activado (40 %); Per: perlita (40 %); TM: tierra de monte (60 %).

Fig 5. Interacción entre cepas de *Trichoderma* spp. y tipos de sustrato en el volumen radicular de *H. sabdariffa* en invernadero.

invernadero.

DISCUSIÓN:

Los resultados obtenidos muestran que **no existen diferencias estadísticas significativas** en el porcentaje de germinación entre los tratamientos con cepas de *Trichoderma spp.* y el control. Este comportamiento puede atribuirse a múltiples factores, la **alta viabilidad fisiológica** de las semillas utilizadas, combinada con **condiciones ambientales óptimas** de temperatura y humedad en el laboratorio, que pueden minimizar el efecto diferencial del hongo. Contreras-Cornejo et al. (2009) señalan que el impacto de *Trichoderma* sobre la germinación puede ser limitado cuando no existe un factor de estrés abiótico que active los mecanismos de defensa o estímulo de la semilla.

En esta línea, la **ausencia de diferencias en el número de días requeridos para la germinación** indica que *Trichoderma* no acelera el proceso germinativo. Aunque algunos estudios han demostrado que el hongo puede inducir vigor en la semilla, otros como De Sousa et al. (2021) señalan que el efecto sobre la velocidad de emergencia es variable. Estos autores concluyen que algunas cepas incluso pueden retrasar levemente la aparición de la radícula, posiblemente por competencia metabólica o interacción física en la testa. En este sentido, la inocuidad observada en *H. sabdariffa* representa una ventaja tecnológica, ya que permite integrar el uso de *Trichoderma* en esquemas de producción sostenible sin afectar el establecimiento del cultivo.

En cuanto a la **altura del hipocótilo**, la cepa EDC-Q1 muestra un efecto significativo de elongación en comparación con el control. Esta respuesta sugiere que dicha cepa pudo activar la producción de **fitohormonas** como ácido indolacético (AIA) o giberelinas, responsables de estimular la expansión celular en tejidos meristemáticos. Castro et al. (2021) evidencian que la aplicación de *T. asperellum* en semillas de *Khaya ivorensis* promueve la elongación del hipocótilo sin afectar la tasa de germinación, reforzando el valor de estos hongos en la fase inicial de desarrollo.

Asimismo, los tratamientos con *Trichoderma* evidencian **una mayor longitud radicular**, especialmente con las cepas EDC-E1, EDC-S1 y EDC-Q1. Estos resultados se alinean con lo reportado por Moura et al. (2024) quienes encuentran que formulaciones con *T. harzianum* mejoraron en un 30 % el crecimiento inicial de raíces en plántulas de arroz.

Estudios recientes refuerzan este efecto bioestimulante. Por ejemplo, Mandal et al. (2023) demuestran que el **bio-priming** con cepas nativas de *Trichoderma* en tomate incrementa tanto la longitud de radícula como el índice de

vigor. En el caso del peso fresco de la raíz, el tratamiento con EDC-Q1 muestra un valor significativamente superior, lo cual indica una mayor actividad metabólica en la rizósfera inducida por el hongo. Esto se correlaciona con lo reportado por De Sousa et al. (2021), en semillas de *Theobroma cacao*, donde el uso de *Trichoderma* aumenta la biomasa radicular y aérea sin alterar la viabilidad de la semilla.

Por otro lado, no se detectan diferencias significativas en el peso fresco ni seco del hipocótilo, lo que coincide con los resultados obtenidos por Hollman-Aragón et al. (2024) quienes demuestran que el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* es más evidente en estructuras radiculares que en órganos aéreos durante las primeras etapas. Finalmente, si bien los efectos no fueron consistentes en todas las variables, este estudio confirma que las cepas de *Trichoderma spp.* evaluadas no afectan negativamente la germinación de *H. sabdariffa* y presentan potencial bioestimulante específico, particularmente sobre el crecimiento radicular y la elongación del hipocótilo.

Los resultados obtenidos muestran que las cepas de *Trichoderma spp.* evaluadas generan respuestas diferenciadas en ciertas variables morfológicas de *Hibiscus sabdariffa*, específicamente en el número de hojas y el diámetro del tallo. La cepa EDC-S1 presenta un valor significativamente superior en el número de hojas, mientras que EDC-E1 se destaca por un mayor diámetro del tallo.

Se ha descrito que *Trichoderma spp.* promueve el desarrollo vegetal mediante la producción de fitohormonas (auxinas, ácido giberélico), compuestos volátiles y enzimas que estimulan la elongación celular y el desarrollo radicular (Woo et al., 2023). Sin embargo, la magnitud de estos efectos depende en gran medida de la cepa microbiana, el genotipo de la planta y las condiciones del entorno. Coincidiendo con estos hallazgos Pittner et al. (2019) observan incrementos en biomasa radicular en trigo tratada con *T. tomentosum*, pero sin impactos relevantes en la parte aérea, lo que sugiere una respuesta parcial del sistema hormonal o una baja colonización inicial del hongo en la rizósfera.

Respecto al tipo de sustrato, se observa un efecto significativo en todas las variables evaluadas. La mezcla de turba 40 % + tierra de monte 60 % fue la más favorable, presentando los valores más altos en altura, número de hojas, diámetro del tallo y biomasa aérea. Estudios como los de Madbouly. (2021) han señalado que la composición del sustrato modula la eficacia del hongo al influir en la rizósfera y la competencia microbiana local, lo que explicaría la mayor respuesta observada en esta mezcla. Desde un enfoque de producción sostenible, la optimización

del sustrato constituye un componente estratégico para maximizar el efecto de bioinoculantes.

En cuanto al sistema radicular, la cepa EDC-S1 promueve un **mayor peso fresco de raíces** (4,19 g), lo cual concuerda con la función reconocida de *Trichoderma spp.* como promotor de crecimiento radicular por medio de mecanismos como la **solubilización de fósforo, la secreción de sideróforos y la producción de ácido indolacético (IAA)** (Woo et al., 2023).

La combinación de EDC-E1 con Tur+TM promueve un mayor engrosamiento del tallo, resultado que puede explicarse por el efecto directo de *Trichoderma spp.* sobre la fisiología vascular de la planta. Estudios recientes confirman que este hongo mejora la absorción de nutrientes clave como calcio y potasio, esenciales para el fortalecimiento de tejidos de sostén, además estimula directamente la expansión de los tejidos vasculares. Suyanto et al. (2021) muestran que la aplicación de *Trichoderma sp.* y sus metabolitos secundarios tuvo un efecto significativo en el aumento del diámetro del tallo de plantas de tomate

Asimismo Cahyaningrum et al. (2024) observan un incremento significativo en el diámetro del tallo de plantas de cacao tratadas con *Trichoderma spp.* en combinación con fertilización orgánica, reportan un aumento consistente en el diámetro del tallo en plantas de cacao tratadas con *Trichoderma spp.*, resultado atribuido a la acción directa del hongo sobre la expansión celular y la lignificación del tejido vascular, especialmente cuando se combina con sustratos nutricionalmente equilibrados.

La interacción EDC-S1 + Tur+TM presenta una respuesta favorable en biomasa aérea, lo que sugiere un efecto acumulativo de estimulación fisiológica, posiblemente relacionado con la solubilización de nutrientes y una mayor tasa fotosintética. Moya et al. (2020) evidencian que cepas nativas de *Trichoderma* pueden inducir una mayor acumulación de biomasa al optimizar el metabolismo del carbono y el transporte de nitrógeno.

Aunque no todas las variables muestran diferencias significativas en la interacción, los efectos más consistentes se observan en volumen y biomasa radicular. Este comportamiento sugiere una mejora en la arquitectura radicular, inducida por señales hormonales como el AIA y compuestos volátiles microbianos. Singh et al. (2019) encuentran que la coinoculación con *Trichoderma* y otros PGPR potencia la expansión radicular a través de mecanismos de señalización molecular.

El peso radicular más alto se registra en la combinación EDC-S1 + Tur+TM, confirmando la eficacia de esta cepa en inducir acumulación de biomasa subterránea. Según Gashash et al. (2023), cepas nativas de *Trichoderma* pueden activar enzimas como peroxidasas o aumentar la síntesis de lignina, favoreciendo un crecimiento radicular robusto, incluso sin elongación significativa.

CONCLUSIONES

Las cepas evaluadas de *Trichoderma spp.* no afectaron negativamente la germinación de *H. sabdariffa*, confirmando su inocuidad en el tratamiento de semillas bajo condiciones controladas. La cepa EDC-Q1 promovió significativamente la elongación del hipocótilo y el desarrollo radicular inicial, evidenciando su potencial bioestimulante en etapas tempranas del cultivo. En condiciones de invernadero, el sustrato compuesto por turba (40 %) + tierra de monte (60 %) favoreció el crecimiento aéreo y radicular de las plántulas, destacándose como la mezcla más adecuada para el establecimiento del cultivo. La interacción cepa × sustrato resultó determinante, ya que la combinación EDC-S1 + turba + tierra de monte produjo los mayores valores de biomasa radicular y aérea, confirmando un efecto sinérgico entre el bioinoculante y la composición del medio de crecimiento. Estos hallazgos respaldan el uso estratégico de cepas específicas de *Trichoderma spp.* en combinación con sustratos orgánicos equilibrados como alternativa sostenible para la producción de plántulas vigorosas de flor de Jamaica, contribuyendo a la reducción de insumos químicos y al fortalecimiento de prácticas agroecológicas en viveros.

La optimización del establecimiento temprano de *Hibiscus sabdariffa* L. mediante *Trichoderma spp.*, mejora parámetros agronómicos clave (germinación, desarrollo radicular y biomasa), además de representar un aporte social significativo al favorecer comunidades rurales, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad sistémica. Al reducir la dependencia de insumos sintéticos y promover prácticas agroecológicas, la investigación puede favorecer ingresos estables, la diversificación de cadenas de valor y la resiliencia ante variaciones climáticas. Además, al apoyar la producción de cálices rojos ricos en compuestos funcionales, se abren oportunidades para mercados regionales y procesos locales de valor agregado, fortaleciendo la cohesión comunitaria y la equidad social. En conjunto, estos hallazgos respaldan una transición hacia sistemas agroalimentarios, eficientes y ambientales, alineados con las necesidades de las comunidades y las prioridades de salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari, S. I., Prismantoro, D., Rossiana, N., & Doni, F. (2024). *Trichoderma* spp. isolates stimulate rice seedling growth of Sertani 13 variety. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 52(1), 45–53. <https://doi.org/10.24831/jai.v52i1.50849>
- Cahyaningrum, D. G., Siwi, K. H. M., Sugiyarto, S., Harlian-tingtyas, I., & Dinata, G. F. (2024). Growth response of cocoa seedlings (*Theobroma cacao* L.) ICCRI 06 clone with application of manure and *Trichoderma* sp. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 17(2), 55–63. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v17i2.26989>
- Castro Lustosa, D., Corrêa Araújo, A. J., Fróes Campos, B., & Almeida Vieira, T. (2021). *Trichoderma* spp. e seus efeitos na qualidade fisiológica das sementes e no desenvolvimento de mudas de mogno africano. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 15(1), 1–7. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i1a5843>
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 149(3), 1579–1592. <https://doi.org/10.1104/pp.108.130369>
- De Sousa, W. N., Brito, N. F., Felsemburgh, C., Vieira, T. A., & Lustosa, D. (2021). Evaluation of *Trichoderma* spp. isolates in cocoa seed treatment and seedling production. *Plants*, 10(9), Article 1964. <https://doi.org/10.3390/plants10091964>
- Fróes Campos, B., Corrêa Araújo, A. J., Aledi Felsemburgh, C., Almeida Vieira, T., & Castro Lustosa, D. (2020). *Trichoderma* contributes to the germination and seedling development of açai palm. *Agriculture*, 10(10), 456. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100456>
- Gashash, E. A., El-Sayed, S. A., Kamel, W. M., & Sarhan, E. A. D. (2023). Evaluation of the potential of native *Trichoderma* spp. against root-rot diseases of soybean. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 56(16), 1282–1299. <https://doi.org/10.1080/03235408.2023.2279943>
- Habte, B., & Dobo, B. (2025). The effect of compost and biochar amendments, as well as the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum*, on the control of *Fusarium oxysporum* pathogen on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the greenhouse. *International Journal of Agronomy*, 2025(1), 7330396. <https://doi.org/10.1155/iaa/7330396>
- Hollman-Aragón, J. G., Romero-Bastidas, M., Arce-Amezquita, P. M., & Palacios-Espinosa, A. (2024). Efecto bioestimulante de cepas nativas de *Trichoderma* en la germinación de cuatro variedades de albahaca. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42(1). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2303-1>
- Kredics, L., Büchner, R., Balázs, D., Allaga, H., Kedves, O., Racić, G., Varga, A., Nagy, V. D., Vágvolgyi, C., & Sipos, G. (2024). Recent advances in the use of *Trichoderma*-containing multicomponent microbial inoculants for pathogen control and plant growth promotion. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(5), 162. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03965-5>
- Madbouly, A. K. (2021). *Biodiversity of genus Trichoderma and their potential applications*. En A. M. Abdel-Azeem, A. N. Yadav, N. Yadav, & Z. Usmani (Eds.), *Industrially important fungi for sustainable development* (pp. 429–460). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67561-5_13
- Mandal, D., Pal, R., & Mohapatra, S. (2023). Biopriming of tomato seeds with native *Trichoderma* species for enhanced seedling vigour. *Research Biotica*, 5(3), 113–116. <https://doi.org/10.54083/res-bio/5.3.2023/113-116>
- Moura Rocha, T., Franco Marcelino, P. R., Fernandes Antunes, F. A., Sánchez-Muñoz, S., dos Santos, J. C., & Silverio da Silva, S. (2024). Biocompatibility of Brazilian native yeast-derived sophorolipids and *Trichoderma harzianum* as plant-growth promoting bioformulations. *Microbiological Research*, 283, 127689. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127689>
- Moya, P., Barrera, V., Cipollone, J., Bedoya, C., Kohan, L., Toledo, A., & Sisterna, M. (2020). New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina. *Biological Control*, 141, 104152. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
- Pittner, E., Marek, J., Bortuli, D., Knob, A., da Silva, P. R., Gobatto, C. R., Santos, L. A., & Faria, C. D. R. (2019). Fungi with enzymatic action against fungal diseases and growth promoting in wheat. *Bioagro*, 31(1), 55–66. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2613>
- Singh, S., Tripathi, A., Maji, D., Awasthi, A., Vajpayee, P., & Kalra, A. (2019). Evaluating the potential of combined inoculation of *Trichoderma harzianum* and *Brevibacterium halotolerans* for increased growth and oil yield in *Mentha arvensis* under greenhouse and field conditions. *Industrial Crops and Products*, 131, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.039>
- Suyanto, A., Irianti, A. T. P., Hamdani, H., Astar, I., & Nur-teto, D. (2021). The effect of *Trichoderma* sp. and its secondary metabolites on suppression of *Fusarium* sp. and growth of tomato plants (*Solanum lycopersicum* Mill.). *International Journal of Multi Discipline Science*, 4(2), 62–76. <https://doi.org/10.26737/ij-mds.v4i2.2805>
- Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). *Trichoderma*: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312–326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Autor	Roles
Mercedes Susana Carranza-Patiño	Encargado de: Conceptualización, Metodología, Supervisión, Administración de proyectos, Adquisición de financiación, Redacción - revisión y edición.
Evelin Deyaneira Carbo-Castro	Encargado de: Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Visualización, Escritura -borrador original.
Antonio Francisco Mendoza-León	Encargado de: Metodología, Validación, Análisis formal, Software, Redacción - revisión y edición.
Paulina Zaret Palacios Sánchez	Encargado de: Investigación, Curación de datos, Recursos, Visualización, Redacción - revisión y edición.

Universidad & Sociedad publica sus artículos bajo una licencia Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

