

Artículo

Sustratos ecológicos y *Trichoderma* spp. en la germinación y desarrollo inicial de *Theobroma cacao* L.

Ecological substrates and Trichoderma spp. in the germination and initial development of Theobroma cacao L.

Mercedes Susana Carranza-Patiño ^{1,*}, Yosselin Ariana Castro-Mena ², Joselyn Nohelia García-Conza ³, Rommel Arturo Ramos-Remache ⁴ y Robinson J. Herrera-Feijoo ⁵

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0006-5900-8279>, yosselin.castro2016@uteq.edu.ec

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0003-5664-5609>, joseelyn.garcia2016@uteq.edu.ec

⁴ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0002-3574-9156>, rrosamos@uteq.edu.ec

⁵ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo <https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>, rherreraf2@uteq.edu.ec

* Correspondencia: mcarranza@uteq.edu.ec

Cita: Carranza Patiño, M. S., Castro-Mena, Y. A., García-Conza, J. N., Ramos-Remache, R. A., & Herrera-Feijoo, R. J. (2025). Sustratos ecológicos y *Trichoderma* spp. en la germinación y desarrollo inicial de *Theobroma cacao* L. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(4), 178-204. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n4/98>

Recibido: 03/10/2025

Revisado: 05/12/2025

Aceptado: 17/12/2025

Publicado: 20/12/2025



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/n4/98>

Resumen: El uso de sustratos ecológicos constituye una estrategia eficaz para obtener plantas de cacao vigorosas y saludables desde las primeras fases del cultivo. Esta investigación se evaluó la influencia de sustratos ecológicos y *Trichoderma* spp. en la germinación y desarrollo inicial de *Theobroma cacao* L. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA). En la fase de germinación se establecieron cuatro tratamientos (*Trichoderma*: EDC-E1, EDC-Q1, EDC-S1 y un control) con cinco repeticiones (semillas). Para el crecimiento inicial se empleó un diseño DCA con arreglo factorial 3x4 (tres sustratos x cuatro tratamientos de *Trichoderma*) y tres repeticiones. Se evaluaron de germinación: porcentaje, tiempo, longitud, peso fresco y seco de raíz e hipocótilo; y variables de crecimiento: altura, número de hojas, diámetro de tallo, peso fresco y seco foliar, longitud y volumen radicular, así como índice de robustez. Se observaron diferencias significativas en peso fresco radicular (0,50 g) y longitud de hipocótilo (12,06 cm) con EDC-E1. En crecimiento, el sustrato turba + tierra de monte con EDC-E1 mostró interacción significativa, obteniendo mayor diámetro de tallo (2,77 mm), volumen radicular (6,5 cm³) y biomasa foliar. La cepa EDC-E1 combinada con turba + tierra de monte mejoró significativamente la calidad fisiológica de las plántulas.

Palabras clave: perlita, turba, tierra de monte, microorganismo, sostenibilidad

Abstract: The use of ecological substrates is an effective strategy for obtaining vigorous and healthy cocoa plants from the early stages of cultivation. This research evaluated the influence of ecological substrates and *Trichoderma* spp. on the germination and initial development of *Theobroma cacao* L. A completely randomised design (CRD) was applied. In the germination phase, four treatments (*Trichoderma*: EDC-E1, EDC-Q1, EDC-S1 and a control) were established with five replicates (seeds). For initial growth, a CRD with a 3x4 factorial arrangement (three substrates x four *Trichoderma* treatments) and three replicates was used. The following germination variables were evaluated: percentage, time, length, fresh and dry weight of root and hypocotyl; and growth variables: height, number of leaves, stem diameter, fresh and dry leaf weight, root length and volume, as well as robustness index.

Significant differences were observed in root fresh weight (0.50 g) and hypocotyl length (12.06 cm) with EDC-E1. In terms of growth, the peat + forest soil substrate with EDC-E1 showed significant interaction, obtaining greater stem diameter (2.77 mm), root volume (6.5 cm³) and leaf biomass. The EDC-E1 strain combined with peat + forest soil significantly improved the physiological quality of the seedlings.

Keywords: perlite, peat, mountain soil, microorganism, sustainability

1. Introducción

En los sistemas de producción de cacao, el éxito agronómico no comienza en el campo, sino en la calidad fisiológica de las plántulas establecidas en vivero (Puig et al., 2021). La producción mundial de cacao superó los 5 millones de toneladas anuales. África occidental lidera la producción global, siendo Costa de Marfil y Ghana responsables de más del 60% del total mundial (Huda-Shakirah et al., 2022). América Latina mantiene una participación significativa en este mercado, destacando Brasil y Ecuador como productores clave (Chuncho et al., 2021). La industria del chocolate representa el principal destino del cacao; este cultivo encuentra aplicaciones en los sectores cosmético y farmacéutico. La diversificación de usos del cacao incrementa su demanda global y asegura su posición como un cultivo estratégico a nivel internacional (Valarezo et al., 2023).

Ecuador se posiciona como uno de los principales productores de cacao en América Latina y ostenta el título de mayor exportador mundial de cacao fino de aroma. La producción nacional alcanza aproximadamente 370,000 toneladas anuales, lo que representa el 7% de la producción mundial (Auhing et al., 2021). Las provincias de Los Ríos, Guayas y Manabí lideran la producción ecuatoriana, aportando conjuntamente más del 70% del total producido en el país (Anzules et al., 2022). Este cultivo resulta fundamental para la economía ecuatoriana, ya que genera empleo directo e indirecto en el sector agrícola y contribuye significativamente a las exportaciones no petroleras (Abad et al., 2020).

Los productores enfrentan diversos problemas fitosanitarios y nutricionales durante el establecimiento de plántulas de cacao en condiciones de invernadero. Las enfermedades causadas por patógenos como *Phytophthora* spp. y *Fusarium* spp. afectan severamente el desarrollo inicial de las plantas (Perrine-Walker, 2020). La nutrición inadecuada derivada del uso de sustratos deficientes en propiedades físico-químicas limita significativamente el crecimiento de las plántulas (Puig et al., 2021). Estas dificultades generan baja tasa de germinación, plántulas débiles y desarrollo inicial lento. En regiones tropicales productoras como Ecuador, el establecimiento inicial del cacao continúa limitado por sustratos poco eficientes y prácticas de manejo que no garantizan un sistema radicular funcional ni un crecimiento temprano vigoroso (Kongtragoul et al., 2021).

El uso de sustratos ecológicos tales como perlita, turba y tierra de monte mejora el establecimiento de plántulas en condiciones controladas de invernadero (García-Muñoz et al., 2023). Estos materiales orgánicos e inorgánicos destacan por su capacidad de retención hídrica, lo que asegura la disponibilidad constante de agua

para las raíces. Los sustratos proporcionan adecuada aireación del sistema radicular y aportan nutrientes esenciales para el metabolismo vegetal (Pimentel et al., 2023). La turba proporciona materia orgánica de alta calidad que mejora la estructura del sustrato, la perlita optimiza la porosidad y la aireación del medio de cultivo, y la tierra de monte aporta microorganismos benéficos y nutrientes naturales. La combinación de componentes crea un ambiente edáfico favorable para el desarrollo óptimo del sistema radicular (Camacho et al., 2021).

El uso de agentes biológicos como *Trichoderma* spp. ha ganado relevancia creciente en los sistemas de producción agrícola sostenible. *Trichoderma* constituye un género de hongos que actúan simultáneamente como promotores de crecimiento vegetal y agentes de control biológico contra fitopatógenos (Sood et al., 2020). El mecanismo de acción de *Trichoderma* incluye la competencia por espacio y nutrientes con patógenos del suelo, limitando su establecimiento. Este hongo produce enzimas hidrolíticas que degradan las paredes celulares de hongos fitopatógenos, ejerciendo antagonismo directo (Poveda et al., 2020). *Trichoderma* induce resistencia sistémica en las plantas, lo que activa mecanismos de defensa endógenos. *Trichoderma* es un microorganismo benéfico que estimula la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas al promover la absorción de nutrientes y mejorar las propiedades físicas y biológicas del sustrato (Mukhopadhyay & Kumar, 2020).

La aplicación combinada de sustratos ecológicos y promotores biológicos de crecimiento como *Trichoderma* representa una estrategia biotecnológica prometedora para superar los problemas de establecimiento en el cultivo de cacao bajo condiciones de invernadero (Adetunji et al., 2022). La estrategia integrada asegura una producción inicial más eficiente y plantas de mayor vigor, lo que contribuye al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y ambientalmente responsables. Se hipotetizó que la aplicación combinada de sustratos ecológicos y cepas específicas de *Trichoderma* spp. incrementaría significativamente tanto el porcentaje de germinación como el desarrollo morfofisiológico inicial de plántulas de *T. cacao* L. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la germinación y crecimiento de plantas de *T. cacao* mediante la aplicación de cepas seleccionadas de *Trichoderma* spp. en diferentes combinaciones de sustratos ecológicos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización

Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de Biotecnología y en el ecoinvernadero del Campus La María, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el kilómetro 7½ de la vía Quevedo–El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos. Su posición geográfica está determinada de la siguiente manera: Latitud 1° 5' 1,81" S; Longitud 79° 29' 53,77" O. Eco-invernadero UTEQ: Coordenadas UTM: Zona 17N; 666603.32 m E; 9880503.61 m S. Coordenadas geográficas: Latitud 1° 5' 1,81" S; Longitud 79° 29' 53,77" O; altitud: 66 m s. n. m.

2.2. Diseño experimental

2.2.1. Fase de germinación

En este estudio se implementó un Diseño Completamente al Azar (DCA) que incluyó cuatro tratamientos, cada uno con cinco observaciones. Cada observación estuvo formada por cinco plantas, lo que fue un total de veinte observaciones por tratamiento. En la Tabla 1 se detalla la descripción de los tratamientos que se utilizaron en la investigación. La dosis empleada se basó a los reportado por Gándara & Gutiérrez (2023).

Tabla 1.

Tratamientos empleados en la germinación de semillas de cacao CCN-51

Tratamiento	Descripción (1X10 ⁸ UFC)
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	Control H2O destilada

Nota. Las cepas fueron proporcionadas por el banco de cepas del Laboratorio de biotecnología las cuales han sido caracterizadas morfológicamente. Las siglas corresponden al sitio de recolección de las muestras. E (El Empalme), Q (Quevedo) y S (Santo Domingo).

2.2.2. Fase de crecimiento inicial de plantas

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial de 3 X 4, con tres repeticiones por cada tratamiento. El Factor A estuvo constituido por tres niveles de sustratos ecológico: perlita + tierra de monte, turba + tierra de monte y tierra de monte sola. El Factor B correspondió a las cepas de *Trichoderma* spp., aplicadas a una concentración de 1X10⁸ UFC. El control fue inoculado con agua destilada. Los tratamientos resultantes del arreglo factorial se presentan en la Tabla 2. La dosis de *Trichoderma* empleada se basó a los reportado por Gándara & Gutiérrez (2023), para la dosis de sustrato se tomó lo propuesto por Česonienė et al. (2023); Lu et al. (2024) y Moreira et al. (2021).

Tabla 2

Tratamientos para la aplicación de Trichoderma spp. en plantas de cacao

T	Factor A y B	Descripción
T1	A1 B1	Perlita 40% + Tierra de monte 60% + <i>Trichoderma</i> EDC-E1(2 mL)
T2	A1 B2	Perlita 40% + Tierra de monte 60%+ <i>Trichoderma</i> EDC-Q1(2 mL)
T3	A1 B3	Perlita 40% + Tierra de monte 60% + <i>Trichoderma</i> EDC-S1(2 mL)
T4	A1 B4	Perlita 40% + Tierra de monte 60% + Control H2O destilada
T5	A2 B1	Turba 40% + Tierra de monte 60% + <i>Trichoderma</i> EDC-E1(2 mL)
T6	A2 B2	Turba 40% + Tierra de monte 60% + <i>Trichoderma</i> EDC-Q1(2 mL)

T7	A2 B3	Turba 40% + Tierra de monte 60% + <i>Trichoderma</i> EDC-S1(2 mL)
T8	A2 B4	Turba 40% + Tierra de monte 60% + H2O destilada
T9	A3 B1	Tierra de monte 100% + <i>Trichoderma</i> EDC-E1(2 mL)
T10	A3 B2	Tierra de monte 100% + <i>Trichoderma</i> EDC-Q1(2 mL)
T11	A3 B3	Tierra de monte 100% + <i>Trichoderma</i> EDC-S1(2 mL)
T12	A3 B4	Tierra de monte 100% + Control H ₂ O destilada

2.3. Manejo del experimento

Este estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología y en el ecoinvernadero ubicado en el Campus La María, donde se mantuvo condiciones controladas para el cultivo. Se analizó la germinación de semillas durante 15 días y el desarrollo inicial de las plántulas de cacao en 45 días.

2.3.1. Aplicación de *Trichoderma* spp. en la germinación de semillas de cacao

Colecta de materiales de cacao

Se obtuvo semillas de mazorcas de cacao del clon CCN-51 producto de polinización libre de la Finca La Ponderosa, del Recinto La Ercilia, Cantón Ventanas, provincia de Los Ríos, en las coordenadas 1° 13' 46.02" S, 79° 25' 22.00" W.

Obtención de las *Trichoderma* spp

Las cepas de *Trichoderma* utilizadas en este estudio fueron proporcionadas por el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se preparó un medio de cultivo a base de Agar Dextrosa de Patata (PDA) disolviendo 19,5 g del medio en 500 ml de agua destilada estéril. Esta formulación se esterilizó mediante autoclave a 120 °C durante 40 minutos con el objetivo de eliminar posibles contaminantes microbiológicos y garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de hongos u otros microorganismos de interés. Luego se colocó 100 µL en el medio de cultivo y se dejó en un agitador magnético por 72 horas.

Lavado y desinfección de semillas de cacao

Se realizó el lavado de las mazorcas luego el retiro de la testa de las semillas (Randy et al., 2024) posteriormente fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% durante 3 minutos. Se realizó dos enjuagues con agua destilada estéril (Gui et al., 2023).

Inoculación de *Trichoderma* spp. en semillas durante la fase de germinación

Se colocaron en unas bandejas germinadoras durante quince días con una solución de *Trichoderma* (Gui et al., 2023), con una concentración celular de 1×10^8 UFC. A cada semilla se le aplicó una dosis de 200 µL del inóculo con la micropipeta garantizando una distribución homogénea del microorganismo en los diferentes tratamientos (Bošnjak et al. 2024). El riego se llevó a cabo tres veces por semana con un atomizador con 10 ml de agua destilada por tratamiento.

2.3.2. Desarrollo inicial del cultivo de cacao en respuesta a diferentes sustratos ecológicos y *Trichoderma* spp

Formulación de los sustratos

Se realizó la recolección de la tierra de monte de la Finca La Ponderosa con alta densidad de vegetación entre árboles de guaba y frutales. Se separó los restos de vegetales de mayor tamaño, incluyendo ramas, raíces entre otros. La formulación de sustratos constó en 60 % de tierra de monte y 40% de los sustratos a evaluar. Se esterilizó la tierra de monte en autoclave 120°C durante 40 minutos (Manea et al., 2024).

Germinación y siembra de semillas de cacao

Se llevó a cabo la germinación de las semillas en bandejas germinadoras. Después de dos días, se sembraron en vasos de plásticos de 32 onzas de 946 g con sustrato, en perlita y turba se utilizaron 378 g y en tierra de monte 568 g. Los contenedores fueron cubiertos con película plástica durante tres días posteriores al trasplante para mantener condiciones de humedad y temperatura favorables para el establecimiento de las plántulas (Gamboa et al., 2020).

Condiciones de crecimiento

Las plantas se conservaron en un invernadero con temperaturas variables entre 24 y 27 °C. El riego se llevó a cabo de manera manual en vasos de 7 onzas que equivale a 200 ml de agua corriente cada 48 horas.

Aplicación de *Trichoderma* spp

La trichoderma se aplicó en dos ocasiones: a los 15 días después de la siembra y 30 días nuevamente. Se atomizaron 2 mL de la suspensión directamente en el suelo por cada planta en cada ocasión (Vera-Cruz et al., 2023).

2.4. Variables evaluadas

2.4.1. Fase de Germinación (15 días)

El porcentaje de germinación se determinó mediante observación diaria de las semillas dispuestas en bandejas con papel toalla humedecido, registrando el número de semillas germinadas hasta el día 15 posterior a la siembra. El cálculo se realizó mediante la fórmula: % germinación = (semillas germinadas/número total de semillas) × 100 (Hollman-Aragón et al., 2023). El tiempo de germinación se registró como el período desde la siembra hasta la emergencia radicular de cada semilla.

En las plántulas germinadas se evaluó la longitud de raíz e hipocótilo (cm) mediante regla milimétrica, midiendo desde el cuello radicular hasta el ápice y desde la base hasta la zona de transición aérea, respectivamente (Tamayo-Ramirez et al., 2022; Sarti et al., 2023). El peso fresco radicular e hipocotiledonar (g) se determinó inmediatamente tras la extracción mediante balanza analítica de precisión 0,01 g (Kaboli et al., 2021; Santos-Díaz et al., 2022). El peso seco (g) se obtuvo tras

deshidratación en estufa a 65°C durante 24 h hasta peso constante, utilizando balanza de precisión (Pachajoa et al., 2023; Ceccarelli et al., 2024).

2.4.2. Variables del crecimiento inicial

Las variables morfométricas incluyeron: altura de planta (cm), medida desde la base del tallo hasta el ápice foliar con regla milimétrica (Vargas et al., 2024); diámetro de tallo (mm), determinado con calibrador digital a 2 cm de la base (Reyes-Pérez et al., 2021); y número de hojas, mediante conteo directo (Reyes-Pérez et al., 2020). El índice de robustez se calculó como el cociente altura/diámetro de tallo (Paulo et al., 2024).

Las variables de biomasa aérea comprendieron peso fresco foliar (g), cuantificado inmediatamente tras el corte, y peso seco foliar (g), obtenido tras secado en estufa a 65°C hasta peso constante (de Sousa et al., 2021).

A nivel radicular se evaluaron: peso fresco y seco de raíz (g), siguiendo la metodología descrita previamente (Chavez-Jalk et al., 2022); longitud radicular (cm), medida desde la base del tallo hasta el extremo de la raíz principal con regla graduada (Saleh et al., 2022); y volumen radicular (cm³), mediante el método de desplazamiento de agua en probeta graduada con 500 ml de agua destilada (Saleh et al., 2022).

2.5. Análisis estadístico

La variable porcentaje y tiempo de germinación fueron analizadas de manera descriptiva. Para las demás variables se efectuó un análisis de varianza (ANOVA), complementado con la prueba de Tukey para comparaciones múltiples al nivel de significancia del 5 %. El procesamiento de los datos se llevó a cabo empleando el software estadístico InfoStat, versión 2020.

3. Resultados

3.1. Viabilidad de la aplicación de *Trichoderma* spp en la germinación de semillas de cacao

3.1.1. Porcentaje de germinación (%)

En la etapa de germinación de las semillas de cacao (var. CCN-51) se alcanzó un 100 % de germinación en todas las observaciones evaluadas. Esto incluye tanto a las semillas tratadas con las diferentes cepas de *Trichoderma* (EDC-E1, EDC-Q1 y EDC-S1) como a las semillas del tratamiento control sin inoculación (agua destilada). En consecuencia, la presencia de *Trichoderma* spp. no alteró el porcentaje final de germinación de las semillas, ya que todas germinaron por completo en condiciones controladas.

3.1.2. Tiempo de germinación (TG)

De modo similar al porcentaje, el tiempo de germinación (TG) fue equivalente para todas las observaciones. Todas las semillas germinaron en el mismo intervalo de tiempo de dos días independientemente de la cepa de *Trichoderma* aplicada o de la

ausencia de ésta. Esto confirma que la incorporación de agentes de biocontrol como *Trichoderma* spp. no afectó la rapidez ni la eficiencia del proceso germinativo, manteniéndose uniforme en todas las condiciones evaluadas.

3.1.3. Longitud de la raíz, peso fresco radicular y peso seco radicular

En las plántulas recién germinadas, el peso fresco radicular (PFR) fue la única variable de raíz que mostró diferencias significativas con un coeficiente de variación de 13,94% entre tratamientos con *Trichoderma*. La inoculación del T1 con la cepa EDC-E1 dio el mayor PFR promedio (0,50 g), seguida por el T2 cepa EDC-Q1 y el control, con valores intermedios (~0,46–0,40 g). En contraste, la aplicación del T3 cepa EDC-S1 resultó en el menor PFR (0,36 g), este valor fue significativamente inferior al obtenido con el tratamiento 1 EDC-E1. Por otro lado, la longitud de la raíz (LR) y el peso seco radicular (PSR) no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Todos los tratamientos mostraron longitudes de raíz similares ($\approx 5,5$ – $6,3$ cm) y acumulación comparable de biomasa seca radical (~0,07–0,09 g) durante la germinación, lo que indica que la aplicación de distintas cepas de *Trichoderma* spp. no alteró de forma notable estos parámetros iniciales (Tabla 3).

Tabla 3

Efecto de los tratamientos sobre la longitud de la raíz, peso fresco radicular y peso seco radicular

Tratamientos	LR	PFR	PSR
T1 <i>Trichoderma</i> spp. (EDC-E1)	6,35 ± 1,00 a	0,50 ± 0,09 a	0,09 ± 0,01 a
T2 <i>Trichoderma</i> spp. (EDC-Q1)	5,78 ± 0,66 a	0,46 ± 0,05 ab	0,08 ± 0,02 a
T3 <i>Trichoderma</i> spp. (EDC-S1)	5,24 ± 1,29 a	0,36 ± 0,06 b	0,07 ± 0,02 a
T4 Control H2O	5,89 ± 1,55 a	0,40 ± 0,04 ab	0,07 ± 0,01 a
CV%	22,6	13,94	18,02

Nota: LR (longitud de raíz), PFR (Peso fresco radicular), PSR (Peso seco radicular), CV% (Porcentaje de coeficiente de variación). Resultados presentados en medias aritmética ± desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

3.1.4. Longitud del hipocótilo, peso fresco de hipocótilo y peso seco hipocótilo

Tanto la longitud del hipocótilo (LH) como el peso fresco del hipocótilo (PFH) mostraron diferencias significativas con un coeficiente de variación de 9,09% y 5,56% entre tratamientos. La cepa del T1(EDC-E1) generó plántulas con el hipocótilo más largo, registrando en promedio 12,06 cm, seguida de cerca por las plántulas tratadas con la cepa del T2 (EDC-Q1) con 11,80 cm. Estos valores fueron superiores al observado en el control sin *Trichoderma* (10,28 cm). Por su parte, el T3 con la cepa de *Trichoderma* spp. EDC-S1 presentó una LH intermedia (10,64 cm, similar al control). En cuanto a la masa fresca del hipocótilo, las plántulas inoculadas de T1 con EDC-E1 alcanzaron el mayor PFH (4,29 g), seguidas por el T2 tratadas con EDC-Q1 (3,78 g); ambos tratamientos presentaron pesos superiores al T4 control (3,51 g). En

cambio, el T3 con cepa EDC-S1 no mejoró este atributo, mostrando un PFH (3,55 g) prácticamente igual que el T4 control. Finalmente, el peso seco del hipocótilo (PSH) no evidenció diferencias significativas debidas al tratamiento. La acumulación de materia seca en el hipocótilo permaneció uniforme en todas las plántulas ($\approx 1,1-1,2$ g), independientemente de la cepa de *Trichoderma* aplicada (Tabla 4).

Tabla 4

Efecto de los tratamientos sobre la longitud del hipocótilo, peso fresco de hipocótilo y peso seco hipocótilo

Tratamientos	LH	PFH	PSH
T1 <i>Trichoderma</i> spp. (EDC-E1)	12,06 \pm 1,04 a	4,29 \pm 0,40 a	1,20 \pm 0,12 a
T2 <i>Trichoderma</i> spp. (EDC-Q1)	11,80 \pm 0,59 ab	3,78 \pm 0,27 ab	1,08 \pm 0,13 a
T3 <i>Trichoderma</i> spp. (EDC-S1)	10,64 \pm 0,48 ab	3,55 \pm 0,17 b	1,07 \pm 0,13 a
T4 Control H2O	10,28 \pm 1,36 b	3,51 \pm 0,31 b	1,07 \pm 0,09 a
CV%	9,09	5,56	10,32

Nota: LH (longitud del hipocótilo), PFH (Peso fresco del hipocótilo), PSH (Peso seco del hipocótilo), CV% (Porcentaje de coeficiente de variación). Resultados presentados en medias aritmética \pm desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0.05$).

3.2. Desarrollo inicial del cultivo de cacao en respuesta a diferentes sustratos ecológicos y *Trichoderma* spp.

3.2.1. Efecto simple de la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, índice de robustez, peso fresco y seco foliar de las plantas

En la Tabla 5 se presentan los resultados del efecto simple de los factores sobre variables morfológicas de las plantas de cacao, luego de comprobar que no existieron diferencias estadísticas significativas en la interacción entre los factores A y B. Se procedió al análisis del efecto simple para las variables altura de las plantas (AP), diámetro de tallo (DT), índice de robustez. Los resultados indican que no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para ninguna de las variables analizadas ($p > 0,05$), tanto en el factor A (sustratos) como en el factor B (cepas de *Trichoderma* y control). La altura promedio de las plantas osciló entre 21,07 cm y 22,17 cm; el diámetro de tallo se mantuvo constante alrededor de 0,39 a 0,40 cm; el índice de robustez presento valores entre 5,48 y 5,71.

Tabla 5

Efecto simple de los factores sobre las variables altura y diámetro de tallo, índice de robustez de las plantas.

Factor A	AP	DT	IR
P40%+TM60%	21,62 \pm 1,93 a	0,39 \pm 0,50 a	5,65 \pm 0,49 a

TU40%+TM60%	21,07 ± 1,56 a	0,40 ± 0,00 a	5,55 ± 0,32 a
TM 100%	22,17 ± 1,12 a	0,40 ± 0,00 a	5,51 ± 0,37 a
Factor B	AP	DT	IR
<i>Trichoderma</i> spp. (EDC-E1)	21,56 ± 1,65 a	0,41 ± 0,03 a	5,71 ± 0,21 a
<i>Trichoderma</i> spp. (EDC-Q1)	21,94 ± 1,80 a	0,39 ± 0,03 a	5,61 ± 0,45 a
<i>Trichoderma</i> spp. (EDC-S1)	21,56 ± 1,56 a	0,39 ± 0,03 a	5,48 ± 0,42 a
Control H ₂ O	21,41 ± 1,55 a	0,40 ± 0,00 a	5,48 ± 0,48 a
CV%	7,74	7,27	6,81

Nota: Factor A Sustratos (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B Cepas (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O), AP (altura de las plantas), DT (diámetro de tallo), IR (índice de robustez), Resultados presentados en medias aritmética. Letras iguales denotan igualdad significativa entre tratamientos según Tukey (p>0.05).

En la Tabla 6 se muestran los resultados del efecto individual de los factores sobre las variables morfológicas de las plantas de cacao no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los factores A y B. Se realizó el análisis del efecto individual para las variables número de hojas (NH), peso fresco foliar (PFF) y peso seco foliar (PSF). Los resultados muestran que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en ninguna de las variables analizadas (p>0,05), tanto en el factor A (sustratos) como en el factor B (cepas de *Trichoderma* y control). el número de hojas varió levemente entre 8,43 y 9,11 unidades, sin diferencias estadísticas. Asimismo, el peso fresco foliar presentó valores entre 7,86 y 8,39 g, mientras que el peso seco foliar osciló entre 5,11 y 5,46 g, sin evidenciar superioridad de algún tratamiento específico.

Tabla 6.

Efecto simple de los factores sobre las variables número de hojas, peso fresco y seco foliar de las plantas

Factor A	NH	PFF	PSF
P40%+TM60%	8,63 ± 0,80 a	7,86 ± 0,68 a	5,11 ± 0,45 a
TU40%+TM60%	8,53 ± 1,15 a	8,36 ± 0,87 a	5,43 ± 0,55 a
TM 100%	8,78 ± 1,10 a	8,32 ± 1,19 a	5,42 ± 0,77 a
Factor B	NH	PFF	PSF
<i>Trichoderma</i> spp. (EDC-E1)	8,43 ± 0,82 a	8,09 ± 1,23 a	5,27 ± 0,78 a
<i>Trichoderma</i> spp. (EDC-Q1)	8,48 ± 0,77 a	8,39 ± 1,08 a	5,46 ± 0,70 a
<i>Trichoderma</i> spp. (EDC-S1)	9,11 ± 1,41 a	8,02 ± 0,74 a	5,22 ± 0,49 a
Control H ₂ O	8,56 ± 0,89 a	8,21 ± 0,73 a	5,33 ± 0,48 a
CV%	11,72	11,98	11,95

Nota: Factor A sustratos (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B Cepas (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O), NH (número de hojas), PFF (peso fresco foliar), PSF (Peso seco foliar), CV% (Porcentaje de coeficiente de variación). Resultados presentados en medias aritmética. Letras iguales denotan igualdad significativa entre tratamientos según Tukey (p>0.05).

3.2.2. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de las plantas de cacao altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, índice de robustez, peso fresco y seco foliar de las plantas

Los resultados obtenidos en la Tabla 7 evidenciaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para las variables de altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas (p>0.05). Sin embargo, en la altura de planta, el mayor valor se registró en el tratamiento A3B2 (*Trichoderma* EDC-Q1 en TM 100%) con 23,30 cm. Para el diámetro de tallo, todos los tratamientos oscilaron alrededor de 0,40 cm, sin una diferencia marcada. Respecto al número de hojas, el tratamiento A3B3 (*Trichoderma* EDC-S1 en TM 100%) presentó el mayor promedio con 9,90 hojas.

Tabla 7

Efecto de los tratamientos de la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas

Tratamientos		Promedios		
Sustratos	<i>Trichoderma</i> spp.	AP	DT	NH
A1 (P 40% + TM 60%)	B1 (<i>Trichoderma</i> EDC-E1)	21,73 ± 2,60 a	0,43 ± 0,65 a	8,63 ± 0,58 a
A1 (P 40% + TM 60%)	B2 (<i>Trichoderma</i> EDC-Q1)	21,17 ± 2,02 a	0,37 ± 0,03 a	8,90 ± 0,38 a
A1 (P 40% + TM 60%)	B3 <i>Trichoderma</i> EDC-S1	21,13 ± 1,65 a	0,37 ± 0,02 a	8,23 ± 0,96 a
A1 (P 40% + TM 60%)	B4 (Control H ₂ O destilada)	22,43 ± 2,25 a	0,40 ± 0,01 a	8,77 ± 1,35 a
A2 (TU 40% + TM60%)	B1 (<i>Trichoderma</i> EDC-E1)	20,53 ± 0,77 a	0,40 ± 0,01 a	7,77 ± 0,51 a
A2 (TU 40% + TM 60%)	B2(<i>Trichoderma</i> EDC-Q1)	21,37 ± 1,98 a	0,40 ± 0,01 a	8,43 ± 1,02 a
A2 (TU 40% + TM 60%)	B3 (<i>Trichoderma</i> EDC-S1)	21,87 ± 2,41 a	0,40 ± 0,01 a	9,20 ± 1,83 a
A2 (TU 40% + TM 60%)	B4 (Control H ₂ O destilada)	20,50±1,02 a	0,40 ± 0,02 a	8,70 ± 1,00 a
A3 (TM 100%)	B1 (<i>Trichoderma</i> EDC-E1)	22,40± 1,14 a	0,40 ± 0,02 a	8,90 ± 1,02 a
A3 (TM 100%)	B2 (<i>Trichoderma</i> EDC-Q1)	23,30± 0,90 a	0,40 ± 0,02 a	8,10 ± 0,84 a
A3 (TM 100%)	B3 (<i>Trichoderma</i> EDC-S1)	21,67± 0,80 a	0,40 ± 0,00 a	9,90 ± 1,34 a
A3 (TM 100%)	B4 (Control H ₂ O destilada)	21,30± 0,81 a	0,40 ± 0,04 a	8,20 ± 0,19 a
CV%		7,74	7,27	11,72

Nota: Factor A Sustratos (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B Cepas (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O), AP (altura de las plantas), DT (diámetro de tallo), IR (índice de robustez), Resultados presentados en medias aritmética. Letras iguales denotan igualdad significativa entre tratamientos según Tukey (p>0.05).

En la Tabla 8 se indica que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para las variables de índice de robustez (IR), peso fresco foliar (PFF) y peso seco foliar (PSF) ($p > 0.05$). A pesar de ello, se observaron diferencias numéricas. El mayor valor de IR se obtuvo en el tratamiento A1B3 (*Trichoderma* EDC-S1 en P 40% + TM 60%) con 6,10. En cuanto al peso fresco foliar, el tratamiento A3B2 (*Trichoderma* EDC-Q1 en TM 100%) alcanzó el mayor promedio con 9,07 g. Para el peso seco foliar, el tratamiento A3B2 destacó con 5,90 g, sugiriendo que el uso de tierra de monte al 100% en combinación con *Trichoderma* EDC-Q1 podría tener un efecto positivo en la acumulación de biomasa foliar.

Tabla 8

Efecto de los tratamientos de índice de robustez, peso fresco y seco foliar de las plantas

Tratamientos		Promedios		
Sustratos	<i>Trichoderma</i> spp.	IR	PFF	PSF
A1 (P 40% + TM 60%)	B1 (<i>Trichoderma</i> EDC-E1)	5,36 ± 0,48 a	8,23 ± 0,91 a	5,37 ± 0,59 a
A1 (P 40% + TM 60%)	B2 (<i>Trichoderma</i> EDC-Q1)	5,12 ± 0,10 a	7,37 ± 0,61 a	4,80 ± 0,40 a
A1 (P 40% + TM 60%)	B3 <i>Trichoderma</i> EDC-S1	6,10 ± 0,29 a	7,67 ± 0,69 a	4,97 ± 0,44 a
A1 (P 40% + TM 60%)	B4 (Control H ₂ O destilada)	6,03 ± 0,09 a	8,17 ± 0,33 a	5,30 ± 0,22 a
A2 (TU 40% + TM60%)	B1 (<i>Trichoderma</i> EDC-E1)	5,36 ± 0,55 a	8,47 ± 1,19 a	5,50 ± 0,77 a
A2 (TU 40% + TM 60%)	B2 (<i>Trichoderma</i> EDC-Q1)	5,73 ± 0,29 a	8,73 ± 0,50 a	5,67 ± 0,32 a
A2 (TU 40% + TM 60%)	B3 (<i>Trichoderma</i> EDC-S1)	5,81 ± 0,24 a	7,97 ± 0,53 a	5,20 ± 0,35 a
A2 (TU 40% + TM 60%)	B4 (Control H ₂ O destilada)	5,14 ± 0,58 a	8,27 ± 1,27 a	5,37 ± 0,82 a
A3 (TM 100%)	B1 (<i>Trichoderma</i> EDC-E1)	5,72 ± 0,25 a	7,57 ± 1,73 a	4,93 ± 1,12 a
A3 (TM 100%)	B2 (<i>Trichoderma</i> EDC-Q1)	5,99 ± 0,54 a	9,07 ± 1,30 a	5,90 ± 0,84 a
A3 (TM 100%)	B3 (<i>Trichoderma</i> EDC-S1)	5,22 ± 0,42 a	8,43 ± 0,93 a	5,50 ± 0,61 a
A3 (TM 100%)	B4 (Control H ₂ O destilada)	5,28 ± 0,29 a	8,20 ± 0,65 a	5,33 ± 0,42 a
CV%		6,81	11,98	11,95

Nota: Factor A sustratos (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B Cepas (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O), NH (número de hojas), PFF (peso fresco foliar), PSF (Peso seco foliar), CV% (Porcentaje de coeficiente de variación). Resultados presentados en medias aritmética. Letras iguales denotan igualdad significativa entre tratamientos según Tukey ($p > 0.05$).

3.3. Influencia de diferentes sustratos ecológicas y *Trichoderma* spp. en el crecimiento radicular de las plántulas de cacao CCN-51.

3.3.1. Efecto simple del volumen, longitud, peso fresco y seco radicular de las plántulas (g)

En la Tabla 9 se presentan los efectos del factor A (combinaciones de sustratos) y el factor B (cepas de *Trichoderma* y control) sobre la longitud radicular (LR) y variables asociadas al desarrollo de plántulas de cacao. Respecto al factor A, se observó que las combinaciones P40%+TM60% y TU40%+TM60% favorecieron el desarrollo de

raíces, con longitudes radiculares promedio de $22,84 \pm 3,73$ cm y $24,98 \pm 2,52$ cm respectivamente, sin diferencias significativas entre ellas ($p > 0,05$). No obstante, estas combinaciones superaron al tratamiento con solo tierra de monte (TM), el cual registró una menor longitud radicular ($22,16 \pm 2,71$ cm), aunque estadísticamente similar. En cuanto al volumen radicular (VR), el tratamiento P40%+TM60% presentó el mayor valor ($2,78 \pm 0,55$ cm³), siendo estadísticamente superior al TM ($1,96 \pm 0,63$ cm³). En el análisis del factor B, la aplicación de *Trichoderma* EDC-E1 generó los mejores resultados en la longitud radicular ($22,1 \pm 2,83$ cm), volumen radicular ($2,91 \pm 0,62$ cm³), peso fresco radicular ($2,16 \pm 0,51$ g) y peso seco radicular ($1,41 \pm 0,34$ g), con diferencias significativas frente a las cepas EDC-S1 y el control.

Tabla 9

Efecto del efecto simple de los tratamientos sobre la longitud radicular de las plántulas de cacao

Factor A	VR	LR	PFR	PSR
P40%+TM60%	$2,78 \pm 0,55$ a	$22,84 \pm 3,73$ a	$1,90 \pm 0,54$ a	$1,24 \pm 0,37$ a
TU40%+TM60%	$2,48 \pm 0,63$ a	$24,98 \pm 2,52$ a	$1,83 \pm 0,32$ a	$1,18 \pm 0,22$ a
TM	$1,96 \pm 0,63$ b	$22,16 \pm 2,71$ a	$1,48 \pm 0,35$ b	$0,96 \pm 0,23$ b
Factor B	VR	LR	PFR	PSR
T (EDC-E1)	$2,91 \pm 0,62$ a	$22,1 \pm 2,83$ a	$2,16 \pm 0,51$ a	$1,41 \pm 0,34$ a
T (EDC-Q1)	$2,62 \pm 0,33$ ab	$24,9 \pm 4,06$ a	$1,89 \pm 0,14$ a	$1,23 \pm 0,10$ a
T (EDC-S1)	$2,01 \pm 0,77$ c	$23,40 \pm 3,22$ a	$1,44 \pm 0,27$ b	$0,94 \pm 0,17$ b
Control H ₂ O	$2,09 \pm 0,58$ bc	$22,91 \pm 2,22$ a	$1,44 \pm 0,32$ b	$0,92 \pm 0,22$ b
CV%	17,81	12,80	14,00	14,63

Nota: Factor A (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O), CV% (Porcentaje de coeficiente de variación). Resultados presentados en medias aritmética \pm desviación estándar. Letras iguales denotan igualdad significativa entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

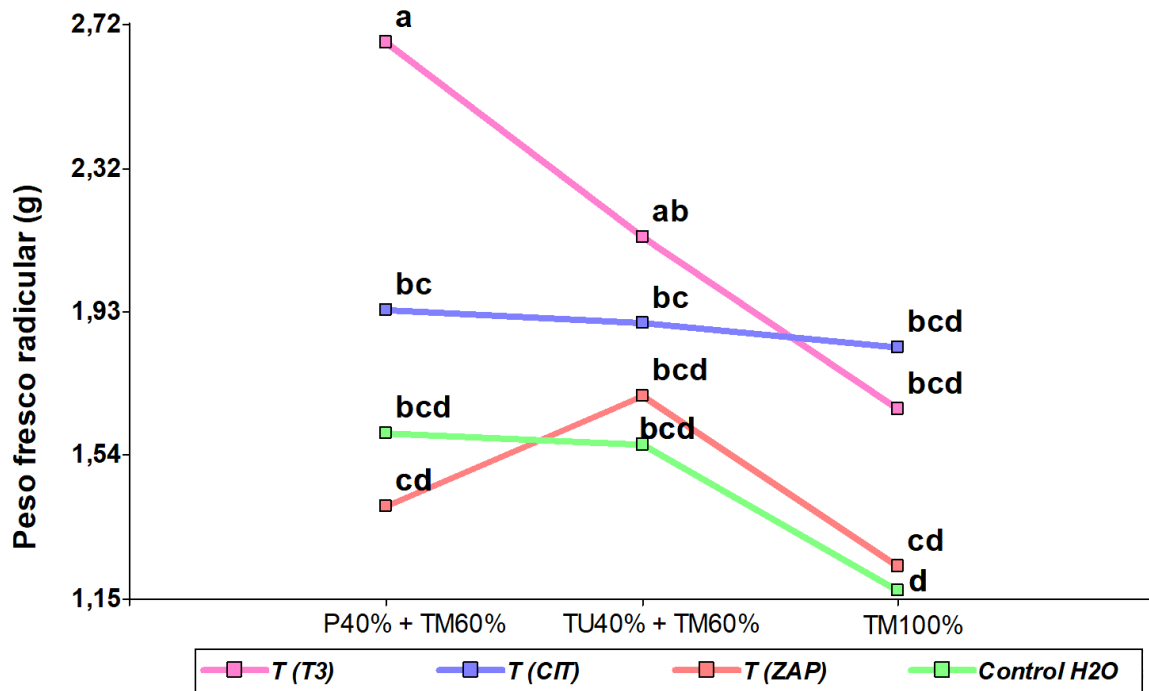
3.3.2. Efecto de los tratamientos sobre el peso fresco de raíz de las plantas de cacao

Se detectó una respuesta significativa entre los factores A (tipo de sustrato) y B (cepa de *Trichoderma*) en relación con el peso fresco radicular con coeficiente de variación de 14,00 %, lo que evidencia que la respuesta del sistema radicular varió de acuerdo con la combinación específica de sustrato e inoculante. El tratamiento A1B1 (Perlita + Tierra de monte con *Trichoderma* EDC-E1) presentó el mayor peso (2,67 g). En cambio, las demás combinaciones del mismo sustrato (Perlita + Tierra de monte con *Trichoderma* EDC-Q1, Perlita + Tierra de monte con *Trichoderma* EDC-S1 y Perlita + Tierra de monte con Control H₂O destilada) mostraron pesos considerablemente menores, entre 1,40 y 1,93 g. En el sustrato A2 (Turba + Tierra de monte), el tratamiento con EDC-E1 (A2B1) generó un mayor peso (2,13 g), estadísticamente similar a A1B1, lo que confirma la efectividad de esta cepa en diferentes condiciones

edáficas. Sin embargo, los otros tratamientos del mismo sustrato mantuvieron pesos entre 1,57 y 1,90 g, sin diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, en el sustrato A3 (solo Tierra de monte), fueron inferiores, fluctuando entre 1,17 y 1,83 g, con el tratamiento A3B4 (control H₂O destilada) registrando el menor peso (Figura 2).

Figura 2

Efecto de la interacción de los tratamientos sobre el peso fresco de raíz de las plántulas de cacao.



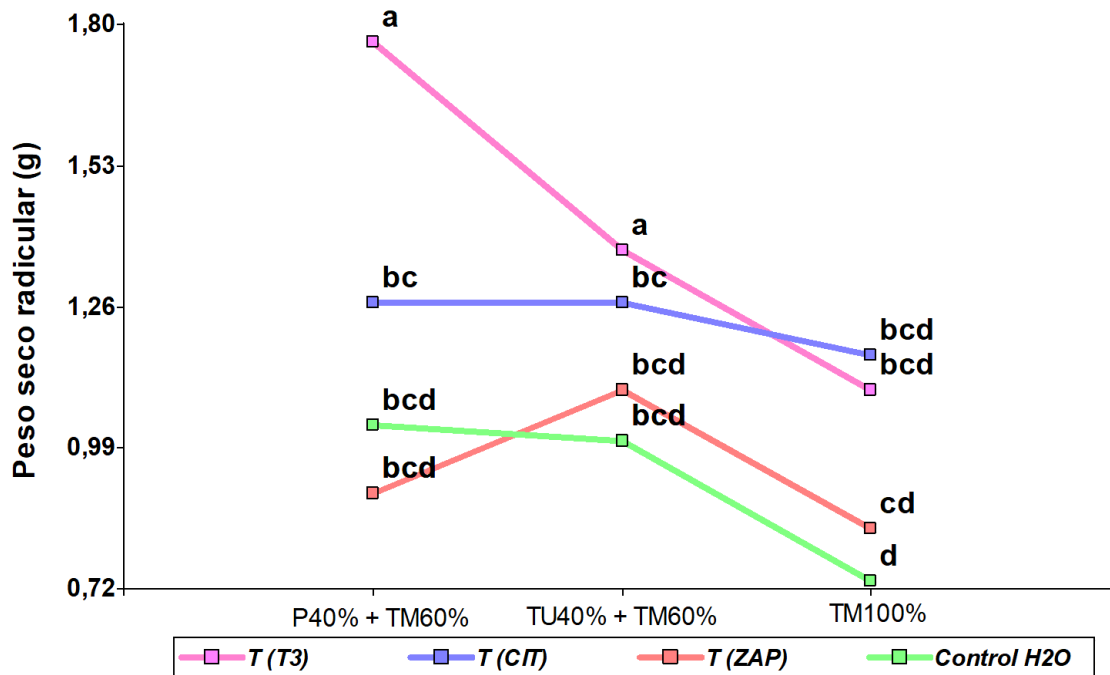
Nota: Factor A (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0.05$).

3.3.3. Efecto de los tratamientos sobre el peso seco de raíz de las plantas de cacao.

Se observó una respuesta significativa con un coeficiente de variación de 14,63% entre el tipo de sustrato (Factor A) y la cepa de *Trichoderma* o control (Factor B) en cuanto al peso seco de raíz. El mayor peso se registró en el tratamiento A1B1 (Perlita + Tierra de monte con *Trichoderma* EDC-E1), con 1,77 g. Seguido de la combinación A2B1 (Turba + Tierra de monte con EDC-E1), con 1,37 g. En contraste, los tratamientos A3B3 (tierra de monte con *Trichoderma* EDC-S1) y A3B4 (Tierra de monte con control H₂O destilada) mostraron peso seco radicular inferiores, con 0,83 y 0,73 g. Las demás combinaciones presentaron pesos que oscilaron entre 0,9 y 1,27 g (Figura 3).

Figura 3

Efecto de la interacción de los tratamientos sobre el peso seco de raíz de las plántulas de cacao



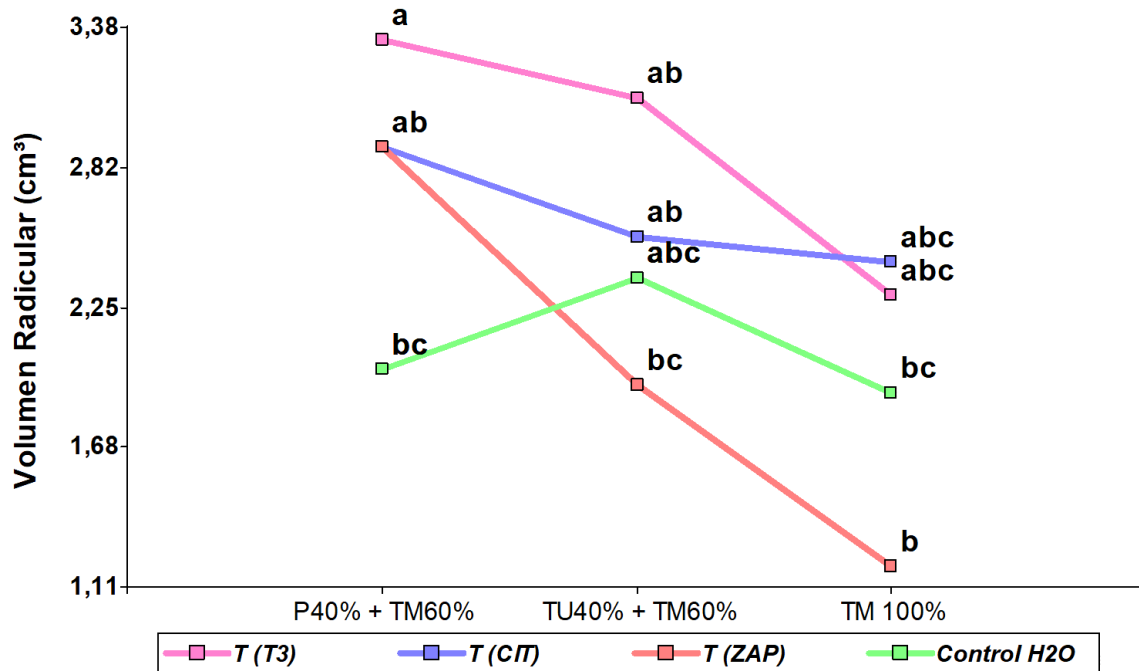
Nota: Factor A (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

3.3.4. Efecto de los tratamientos del volumen radicular (cm³)

Se observó una diferencia significativa en el volumen del sistema radicular ($p < 0,05$), con un coeficiente de variación de 17,81%. El mayor volumen se registró en el tratamiento con perlita + tierra de monte y *Trichoderma* EDC-E1 (3,33 cm³), seguido por las combinaciones de perlita + tierra de monte con *Trichoderma* EDC-Q1 y EDC-S1, que lograron volúmenes cercanos a 2,90 cm³. El sustrato de turba con tierra de monte + EDC-E1 también presentó un volumen destacado de 3,10 cm³, mientras que la combinación turba + tierra de monte con EDC-Q1 alcanzó 2,53 cm³. En contraste, los tratamientos con tierra de monte 100% sin *Trichoderma* (H₂O destilada) y con la cepa EDC-S1 mostraron los volúmenes más bajos con 1,90 y 1,20 cm³, respectivamente, evidenciando una reducción considerable en el volumen radicular en la ausencia de *Trichoderma* (Figura 4).

Figura 4

Efecto de la interacción de los tratamientos sobre el volumen radicular de las plántulas de cacao



Nota: Factor A (Perlita 40 % + Tierra de monte 60%, Turba 40% + Tierra de monte 60% y Tierra de monte 100%) Factor B (*Trichoderma* EDC-E1, *Trichoderma* EDC-Q1, *Trichoderma* EDC-S1 y Control H₂O). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

4. Discusión

4.1. Viabilidad de la aplicación de *Trichoderma* spp en la germinación de semillas de cacao

La aplicación de *Trichoderma* spp. durante la etapa de germinación de semillas de cacao mostró un efecto positivo en diversas variables asociadas al desarrollo inicial de las plántulas. Se observó una mejora en la viabilidad y vigor de las semillas tratadas, lo que sugiere que la incorporación de cepas específicas de este hongo benéfico puede ser una herramienta eficaz para optimizar el proceso de establecimiento del cultivo en vivero. Este resultado es coherente con la capacidad reconocida de *Trichoderma* spp. para estimular procesos fisiológicos relacionados con la germinación (González-León et al., 2023).

Desde el punto de vista fisiológico, *Trichoderma* spp. actúa estimulando la producción de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas, las cuales regulan el crecimiento y la diferenciación celular (Abdulla et al., 2023). En el contexto de la germinación, estas hormonas juegan un papel fundamental en la activación del metabolismo de la semilla, promoviendo la elongación del hipocótilo y el crecimiento

radicular (Lee et al., 2023). Este efecto se traduce en una emergencia más rápida y vigorosa de las plántulas, como se evidenció en el experimento.

Además de su acción hormonal, *Trichoderma* spp. mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales en la rizosfera mediante la solubilización de fósforo y la movilización de micronutrientes como hierro y zinc (de Sousa et al., 2021). Estos elementos son clave en el proceso de germinación, ya que están involucrados en la síntesis de enzimas y proteínas necesarias para el desarrollo inicial (Lee et al., 2023). La mayor absorción de nutrientes facilita un crecimiento equilibrado de la raíz y la parte aérea, lo cual se reflejó en el mayor desarrollo observado en las plántulas tratadas (Asrofi et al., 2020).

Otro mecanismo importante es la acción antagonista de *Trichoderma* spp. frente a patógenos del suelo (Sui et al., 2022). Durante la germinación, las semillas son especialmente vulnerables a infecciones fúngicas, y la presencia de *Trichoderma* en la rizosfera actúa como una barrera biológica al competir por espacio y nutrientes, además de producir compuestos antimicrobianos que inhiben el desarrollo de microorganismos fitopatógenos (de Lima et al. 2022). Este efecto indirecto contribuye a mejorar la sanidad del sistema radicular y aumenta la probabilidad de una germinación exitosa (Arsyadmunir et al., 2023).

El presente hallazgo concuerda con lo reportado por de Sousa et al. (2021), quienes observaron un mayor vigor en plántulas de cacao CCN-51 tratadas con cepas de *Trichoderma*, destacándose mejoras en el crecimiento foliar y la colonización de pelos radiculares. De forma similar, Chavez-Jalk et al. (2022), indicaron que cepas como *T. breve* incrementaron el número de hojas y el contenido de clorofila en ecotipos de cacao nativo, lo que respalda el efecto bioestimulante observado también en esta investigación.

Asimismo, Chóez-Guaranda et al. (2023) demostraron que la aplicación de *T. harzianum* no solo ayudó a controlar enfermedades como la moniliasis, sino que también mejoró la nutrición y fisiología de los clones de cacao, incrementando su rendimiento. Estos resultados coinciden con la presente investigación, donde se evidenció que las cepas de *Trichoderma* utilizadas influyeron positivamente desde la fase de germinación, estableciendo una base sólida para el desarrollo posterior de las plántulas.

4.2. Desarrollo inicial del cultivo de cacao en respuesta a diferentes sustratos ecológicos y *Trichoderma* spp.

El desarrollo inicial del cultivo de cacao no estuvo influenciado por la interacción entre los diferentes sustratos ecológicos y las cepas de *Trichoderma* spp. aplicadas. Se observó que ciertos tratamientos favorecieron un mayor crecimiento en variables como el diámetro del tallo, volumen radicular y biomasa aérea, lo que indica que los microorganismos benéficos pueden ser determinante para mejorar la calidad fisiológica de las plantas bajo condiciones de invernadero (López et al., 2022).

Este efecto puede atribuirse al papel sinérgico entre los componentes del sustrato ecológico y los metabolitos secundarios producidos por *Trichoderma* spp (Patiño et al., 2022). La turba y la tierra de monte, por su parte, ofrecieron un entorno rico en materia orgánica, aireación y retención de humedad, condiciones que favorecen la actividad microbiana beneficiosa y el desarrollo de un sistema radicular robusto, esencial durante las primeras fases de crecimiento (Botello et al., 2022).

Trichoderma spp. actuó como bioestimulante en las plantas al inducir cambios en la arquitectura radicular y favorecer la absorción de nutrientes (Guo et al., 2022). Este hongo es capaz de producir fitohormonas como auxinas, ácido abscísico y ácido indolacético, que regulan la elongación celular y la formación de raíces laterales, contribuyendo así a una mayor exploración del suelo y eficiencia en la toma de agua y minerales (Poveda, 2021). Este efecto se ve potenciado cuando el hongo coloniza adecuadamente un sustrato ecológico compatible (Vera-Cruz et al., 2023).

Además del efecto hormonal, *Trichoderma* spp. participa en la solubilización de fosfatos insolubles y en la movilización de micronutrientes esenciales, lo que incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Campos et al., 2020). En consecuencia, se favorece el desarrollo de la biomasa foliar, un indicador directo del estado nutricional de la planta (Chaghouri et al., 2024). La interacción entre la turba, rica en materia orgánica, y las cepas más activas del hongo permitió una nutrición más equilibrada y un crecimiento sostenido (Yao et al., 2023).

Investigaciones previas en cacao, como las realizadas por Vargas et al. (2024), mostraron que combinaciones de turba y tierra de monte promovieron un crecimiento radicular significativamente superior al control, lo que coincide con los hallazgos de este estudio. Por otro lado, Ortega et al. (2020) observaron que, la aplicación de *Trichoderma harzianum* en clones de cacao no solo ayudó en el control de enfermedades, sino que también mejoró variables de rendimiento y vigor vegetal, incluyendo el grosor del tallo y el índice de robustez. Estos resultados discrepan de lo observado en el presente estudio, donde ciertos tratamientos con cepas seleccionadas y sustratos ecológicos mejoraron la morfología estructural de las plantas.

4.3. Influencia de diferentes sustratos ecológicas y *Trichoderma* spp. en el crecimiento radicular de las plantas de cacao CCN-51.

Los resultados obtenidos en la presente investigación demostraron que el crecimiento radicular del cacao CCN-51 estuvo influenciado por la interacción entre los diferentes sustratos ecológicos y las cepas de *Trichoderma* spp. El efecto simple el desarrollo vigoroso del sistema radicular puede atribuirse a la mejora de las condiciones físicas y biológicas del sustrato, así como a los efectos bioestimulantes inducidos por *Trichoderma* spp (López-Valenzuela et al., 2022).

Trichoderma spp. ha sido ampliamente reconocido por su capacidad para estimular el crecimiento radicular a través de la producción de fitohormonas como auxinas y ácido indolacético (AIA), que promueven el alargamiento celular y la formación de raíces

laterales (Guzmán-Guzmán et al., 2023). Esta estimulación directa sobre los tejidos radiculares mejora la capacidad exploratoria del sistema de raíces, permitiendo un mayor acceso a nutrientes y agua, fundamentales en las primeras etapas del desarrollo de las plantas 3

Adicionalmente, este hongo actúa como solubilizador de compuestos minerales, liberando nutrientes que normalmente se encuentran en formas no disponibles para las plantas (Cano, 2011). A través de la producción de enzimas como fosfatasas y sideróforos, *Trichoderma* spp. mejora la disponibilidad de fósforo y micronutrientes como hierro y zinc (Rodríguez y Vargas 2022), esenciales para la formación de tejidos radiculares funcionales y vigorosos (Harni et al., 2020). Esto se traduce en una mayor biomasa radicular y una mejor relación entre raíz y parte aérea (Cuenca et al. 2022).

En cambio, Malca-Cerna et al. (2025) demostraron que, el uso de *Trichoderma* spp. en combinación con biochar en plantas de cacao promovió un desarrollo radicular significativamente mayor, fortaleciendo la arquitectura de la raíz y aumentando su longitud y peso. De manera similar, Rojas et al. (2025) reportaron que, distintos aislados de *Trichoderma* incrementaron la longitud y grosor de raíces en cultivos tratados, evidenciando su potencial como bioestimulante radicular.

Así mismo, Carranza et al. (2025), en un estudio con cacao, señalaron que la inoculación con *Trichoderma* spp., en combinación con sustratos adecuados, fortalece el crecimiento inicial de las plantas de cacao, lo que aumenta su vigor y potencial productivo en sistemas agroecológicos sostenibles. Estos resultados confirman que el uso de cepas seleccionadas de *Trichoderma* spp. no solo tiene efectos positivos sobre el crecimiento aéreo, sino que también potencia significativamente el desarrollo subterráneo del cultivo de cacao.

5. Conclusiones

La aplicación de *Trichoderma* spp. (cepa EDC-E1) en plántulas de *T. cacao* L. alcanzó una tasa de germinación del 100% y promovió significativamente la longitud del hipocótilo y del sistema radicular. El sustrato compuesto por turba más tierra de monte inoculado con la cepa EDC-E1 incrementó el diámetro del tallo, el índice de robustez y la biomasa aérea de las plántulas. La combinación de *Trichoderma* spp. (EDC-E1) con sustrato de perlita más tierra de monte favoreció el volumen radicular y la acumulación de biomasa subterránea fresca y seca. Los resultados confirman que la aplicación combinada de sustratos ecológicos específicos y la cepa EDC-E1 de *Trichoderma* spp. mejora significativamente el establecimiento inicial de plántulas de cacao en invernadero. Esta estrategia biotecnológica representa una alternativa viable y sostenible para optimizar la producción de material vegetal de calidad en sistemas de propagación de *T. cacao* L. Se recomienda evaluar el desempeño de esta cepa en condiciones de campo y su efecto sobre el rendimiento productivo a largo plazo.

Contribución de los autores: M.S.C.P. y Y.A.C.M. planificaron la investigación y redactaron el manuscrito; R.A.R.R. y J.N.G.C. analizaron los datos; Y.A.C.M. y R.J.H.F. llevaron a cabo la investigación en campo; redacción del borrador original,

Y.A.C.M. y R.J.H.F.; redacción, revisión y edición, M.S.C.P., R.J.H.F., R.A.R.R. y J.N.G.C. Todos los autores contribuyeron a la discusión, comentaron los borradores y evaluaron la versión final.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Agradecimientos: Ing. Marycruz Espinoza Torres; Evelin Carbo Castro y Antonio Mendoza León.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: mcarranza@uteq.edu.ec

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

Referencias

- Abad, A., Acuña, C., y Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, 7, 59-83.
- Abdulla, G. A., Saleh, H. M., y Al-Hakeem, A. M. (2023). Effects of *Trichoderma Harzianum* and *Trichoderma Asperellum* Against Egg of *Meloidogyne Incognita* under Laboratory Condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1213(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1213/1/012011>
- Adetunji, C. O., Oloke, J. K., Osemwegie, O. O., y Ehis-Eriakha, C. B. (2022). Use of agro-wastes for *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (C1136) production with sustainable bioefficacy. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 7794-7809. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01758-6>
- Anzules Toala, V., Pazmiño Bonilla, E., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Julca-Vera, N., Castro-Cepero, V., y Julca-Otiniano, A. (2022). Incidencia de "cherelle wilt" y enfermedades fungosas en mazorcas de cacao 'CCN-51' en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Idesia (Arica)*, 40(1), 31-37.
- Arsyadmunir, A., Pawana, G., Badami, K., Sholikhah, N., y Wuryandari, Y. (2023). Effect of biopolymer composition on the viability of *Trichoderma* sp. as maize-seed coating. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 16(1). <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v16i1.16950>
- Asrofi, M., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., y Ramesh, M. (2020). Characteristic of composite bioplastics from tapioca starch and sugarcane bagasse fiber: Effect of time duration of ultrasonication (Bath-Type). *Materials Today: Proceedings*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.254>
- Auhing Arcos, J. A., Cedeño Moreira, Á. V., Saucedo Aguiar, S., Vera Benites, L. F., Macías Holguín, C. J., y Martínez, H. F. C. (2021). Biodiversidad de ecotipos y rangos de agresividad de *Moniliophthora perniciosa*, en *Theobroma cacao* L. nacional del Litoral Ecuatoriano. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 599-609.

- Bošnjak Mihovilović, A., Kereša, S., Lazarević, B., Topolovec Pintarić, S., Martinko, K., Marković, Z., Turkalj, K., y Habuš Jerčić, I. (2024). The use of sodium hypochlorite and plant preservative mixture significantly reduces seed-borne pathogen contamination when establishing in vitro cultures of wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Agriculture*, 14(4), 556.
- Botello Montoya, A., Alanís Rodríguez, E., Sigala Rodríguez, J. Á., Silva García, J. E., y Ruiz Carranza, L. D. (2022). Evaluación de sustratos y tratamientos para mitigar el estrés hídrico en una plantación de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1272>
- Camacho, O. I. M., Toro, M. C. H., y Díaz, J. S. G. (2021). Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1).
- Campos, B. F., Araújo, A. J. C., Felseburgh, C. A., Vieira, T. A., y Lustosa, D. C. (2020). *Trichoderma* Contributes to the Germination and Seedling Development of Açaí Palm. *Agriculture*, 10(10), 456. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100456>
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Carranza Patiño, M. S., Rivera Castillo, V. C., Marín Cuevas, C. V., Torres Rodríguez, J. A., y Cedeño Moreira, A. V. (2025). *Trichoderma* spp. en la propagación sostenible de *Theobroma cacao* L. bajo distintos sustratos. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 92-113. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/52>
- Ceccarelli, V., Fremout, T., Chavez, E., Argüello, D., Loor Solórzano, R. G., Sotomayor Cantos, I. A., y Thomas, E. (2024). Vulnerability to climate change of cultivated and wild cacao in Ecuador. *Climatic Change*, 177(7), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03756-9>
- Česonienė, L., Krikštolaitis, R., Daubaras, R., y Mažeika, R. (2023). Effects of Mixes of Peat with Different Rates of Spruce, Pine Fibers, or Perlite on the Growth of Blueberry Saplings. *Horticulturae*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020151>
- Chaghouri, M., Gennequin, C., Tidahy, L. H., Cazier, F., Abi-Aad, E., Veignie, E., y Rafin, C. (2024). Low cost and renewable H₂S-biofilter inoculated with *Trichoderma harzianum*. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 45(8). <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2147024>
- Chavez-Jalk, A., Leiva, S., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Arce, M., y Oliva-Cruz, M. (2022). Effect of Endophytic *Trichoderma* sp. Strains on the Agronomic Characteristics of Ecotypes of *Theobroma cacao* L. under Nursery Conditions

in Peru. *International Journal of Agronomy*, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/5297706>

- Chóez-Guaranda, I., Espinoza-Lozano, F., Reyes-Araujo, D., Romero, C., Manzano, P., Galarza, L., y Sosa, D. (2023). Chemical Characterization of *Trichoderma* spp. Extracts with Antifungal Activity against Cocoa Pathogens. *Molecules*, 28(7), 3208.
- Chuncho Juca, L., Uriguen Aguirre, P., y Apolo Vivanco, N. (2021). Ecuador: análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 8(1), 8-17.
- Cuenca Sedamanos, J. A., Quevedo Guerrero, J. N., Tuz Guncay, I. G., y Chabla Carillo, J. E. (2022). *Trichoderma* spp: Propagación, dosificación y aplicación en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia y Agricultura*, 19(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14692>
- de Lima Cruz, J. M. F., de Farias, O. R., de Moura, I. N. B. M., Linné, J. A., da Silva, L. D. R., y do Nascimento, L. C. (2022). Microbiolization of cowpea seeds with commercial strains of *Trichoderma asperellum* and *T. harzianum*. *Revista Ceres*, 69(5). <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269050015>
- de Sousa, W. N., Brito, N. F., Felseburgh, C. A., Vieira, T. A., y Lustosa, D. C. (2021). Evaluation of *Trichoderma* spp. Isolates in Cocoa Seed Treatment and Seedling Production. *Plants*, 10(9), 1964. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10091964>
- Gamboa Tabares, J. A., Rodríguez Ortiz, J. A., Gamboa Tabares, A., Durán Bautista, E. H., y Rojas Vargas, S. (2020). Evaluación agronómica de genotipos de *Theobroma cacao* L. en la Amazonia colombiana. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1). [https://doi.org/10.18684/bsaa\(19\)244-255](https://doi.org/10.18684/bsaa(19)244-255)
- Gándara Ledezma, A., y Gutiérrez Coronado, M. A. (2023). Efecto de microorganismos promotores de crecimiento vegetal y yeso agrícola en el cultivo de higo. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 12(23). <https://doi.org/10.23913/ciba.v12i23.116>
- García-Muñoz, S. A., Ramírez, F. J. P., Balderrama, M. A. P., Rodríguez, A. O., y Chávez, A. N. L. (2023). Efectos de diferentes sustratos en la germinación y desarrollo del cempasúchil (*Tagetes erecta*). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 11(1), 45-53.
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., y Mercado-Flores, Y. (2023). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25(1), 1-14.
- Gui, Y., Gu, C., Xiao, X., Gao, Y., y Zhao, Y. (2023). Microbial inoculations promoted the rice plant growth by regulating the root-zone bacterial community

- composition and potential function. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 5222-5232.
- Guo, R., Li, G., Zhang, Z., y Peng, X. (2022). Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Trichoderma harzianum*. En *Marine drugs* (Vol. 20, Número 11). <https://doi.org/10.3390/md20110701>
- Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., de los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Orozco-Mosqueda, M. del C., Fadiji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., y Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases—A Review. En *Plants* (Vol. 12, Número 3). <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Harni, R., Amaría, W., Ferry, Y., y Marhaeni, L. S. (2020). Effect of *Trichoderma* spp. and potassium fertilizer on *Phytophthora palmivora* infection in cacao seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012015>
- Hollman-Aragón, J. G., Romero-Bastidas, M., Arce-Amezquita, P. M., y Palacios-Espinosa, A. (2023). Biostimulant effect of native *Trichoderma* strains on the germination of four varieties of basil. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 42(1), 1-15. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2303-1>
- Huda-Shakirah, A. R., Mohamed Nor, N. M. I., Zakaria, L., Leong, Y.-H., y Mohd, M. H. (2022). *Lasiodiplodia theobromae* as a causal pathogen of leaf blight, stem canker, and pod rot of *Theobroma cacao* in Malaysia. *Scientific Reports*, 12(1), 8966.
- Kaboli, S. H., Ebrahimi Mohammad Abadi, N., Rejali, F., y Zolfaghari, A. (2021). Promotion of the seedling growth (*Nitraria scoberi* L.) in cultivating trays and seedling bag. *Desert*, 26(1), 43-53.
- Kongtragoul, P., Ishikawa, K., y Ishii, H. (2021). Metalaxyl resistance of *Phytophthora palmivora* causing durian diseases in Thailand. *Horticulturae*, 7(10), 375.
- Lee, J., Kandula, D. R. W., Hampton, J. G., y Hofmann, R. (2023). Increased bulb yield following seed coating of radish (*Raphanus sativus* L.) with selected isolates of *Trichoderma* species in soil naturally infested with *Rhizoctonia solani*. *New Zealand Plant Protection*, 76. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2023.76.11733>
- López Martínez, T. de los Á., Páramo Aguilera, L. A., y Delgado Silva, H. D. (2022). Reproducción masiva de hongos trichodermas previamente identificados de suelos Nicaragüenses en diferentes sustratos orgánicos. *Nexo Revista Científica*, 35(03). <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15000>
- López-Valenzuela, B., Tzintzun-Camacho, O., Armenta-Bojórquez, A., Valenzuela-Escoboza, F., Lizárraga-Sánchez, G., Ruelas-Islas, J., y González-Mendoza,

- D. (2022). Microorganismos del género *Trichoderma* spp. productores de fitohormonas y antagonistas de fitopatógenos. *Bioagro*, 34(2), 163-172.
- Lu, X., Zhou, Y., Yao, Y., Zhu, W., Hong, L., Zhu, F., Li, P., Wang, W., y Hong, C. (2024). Evaluation of the effect of a novel substrate that is composed of landfill-mined-soil-like-fractions on plant growth and heavy metal accumulation. *Chemosphere*, 352. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141336>
- Malca-Cerna, R. Y., Apolinario, C.-L. A., Israel, C.-C. J., Marielita, A.-I., y Marjory, C.-V. L. (2025). Native Strains *T. longibrachiatum* UCF17-M4 and *Trichoderma* sp. UCPF2 Reduce Cd Uptake in Cacao CCN51 Under Controlled Conditions. *Microbiology Research*, 16(6), 130. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16060130>
- Manea, A., Leishman, M. R., Geraghty, D. M., Perera, S. D., O'Hare, J. A., Gil-Fernández, M., Tabassum, S., y Le Roux, J. J. (2024). The Effects of Sterilisation on Abiotic Soil Properties and the Challenge this Poses to Untangling the Influence of Abiotic and Biotic Soil Variables on Plant Growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(3), 4929-4934.
- Moreira, F. M., Cairo, P. A. R., Borges, A. L., Silva, L. D. da, y Haddad, F. (2021). Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. *South African Journal of Botany*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.021>
- Mukhopadhyay, R., y Kumar, D. (2020). *Trichoderma*: a beneficial antifungal agent and insights into its mechanism of biocontrol potential. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1), 133-138. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00333-x>
- Ortega, M. B., Alfonso, V., Mercado, A., Corozo, J. C., Arroyo, S. C., y Morales, D. (2020). Comportamiento agroproductivo de 31 clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) Con la aplicación de un biocontrolador para moniliasis (*Moniliophthora roreri*). *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 10(2), 1-9.
- Pachajoa, L. D. E., Prato, A. I., y Fernández, J. L. (2023). Calidad de plántulas de *Cariniana pyriformis* producidas con diferentes contenedores en ambiente protegido. *Ciência Florestal*, 33(1). <https://doi.org/10.5902/1980509867616>
- Palacios, C. W. S., Sánchez, N. M. R., Rosado, J. T. P., Puga, E. P., Cumbicus, J. J., Olaya, L. A., y Párraga, A. G. D. (2023). Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular. *CIENCIA UNEMI*, 16(42), 45-54.
- Patiño Moscoso, M. A., Rodríguez Yzquierdo, G. A., y Betancourt Vásquez, M. (2022). Identificación de microorganismos asociados al suelo, sustrato y agua de un

- sistema productivo de *Cannabis sativa* L. *Temas Agrarios*, 27(1).
<https://doi.org/10.21897/rta.v27i1.3111>
- Paulo, J., Madi, S., Orso, G. A., Rodrigo, S., Oliveira, S. De, Mctague, J. P., Pelissari, A. L., Behling, A., Pádua, S. De, Carvalho, C., Arce, J. E., Florestal, D. P. E., y Federal, U. (2024). *mazonas - IF*. 501-507.
- Perrine-Walker, F. (2020). *Phytophthora palmivora*–cocoa interaction. *Journal of Fungi*, 6(3), 167.
- Pimentel, K. R., Pérez, D. M., Peña, L. E. T., Revol, M. M., y Reyes, D. M. (2023). Efecto de la utilización de estiércol porcino y caprino como sustrato en la producción de humus de lombriz *Eisenia foétida* (Lombriz roja californiana). *Ecovida: Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 13(2), 58-65.
- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. *Biological Control*, 159, 104634.
- Poveda, J., Abril-Urias, P., y Escobar, C. (2020). Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, mycorrhizal and endophytic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 11, 992.
- Puig, A. S., Keith, L. M., Matsumoto, T. K., Gutierrez, O. A., y Marelli, J. P. (2021). Virulence tests of *Neofusicoccum parvum*, *Lasiodiplodia theobromae*, and *Phytophthora palmivora* on *Theobroma cacao*. *European Journal of Plant Pathology*, 159, 851-862.
- Randy, A., Asante, E. A., Bobobee, E., y Amano, G. K. (2024). Mechanised Removal of Cocoa Beans from the Pod and Strategies to Optimize the Technique: A Review. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 8, 185-194.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E. L., Beltran-Morales, F. A., y Ruiz-Espinoza, F. H. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cutivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22(3), 156-163.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Solórzano-Cedeño, A. E., Carballo-Méndez, F. de J., Lucero-Vega, G., y Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Rodríguez García, D., y Vargas Rojas, J. (2022). Efecto de la inoculación con *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del tomate (*Solanum lycopersicum*). *Agronomía Costarricense*.
<https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52045>
- Rojas Flores, G., Quispe Rodríguez, J., Paytan Montañez, T. C., Quispe Ramos, A., y Gastelu Retamoso, W. (2025). Producción de plantones de cacao (*Theobroma*

- cacao L.) con aplicación de *Trichoderma*, control de enfermedades en vivero. *Revista Alfa*, 9(26), 425-434. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.356>
- Saleh, A. R., Gusli, S., Ala, A., Neswati, R., y Sudewi, S. (2022). Morphological adaptation of cocoa fine roots under shaded of langsung tree in exploring stony soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1083(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1083/1/012064>
- Santos-Díaz, M. del S., Martín del Campo-Macías, J. M., Arredondo-Gómez, A., y Santos-Díaz, M. de L. (2022). Efecto del medio de cultivo, cinetina y agentes osmóticos sobre la respuesta morfogenética de *Astrophytum myriostigma* (CACTACEA) in vitro. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 24(2). <https://doi.org/10.35196/rfm.2001.2.133>
- Sarti, G. C., Galelli, M. E., Arreghini, S., Cristóbal-Miguez, J. A. E., Curá, J. A., y Paz-González, A. (2023). Inoculation with biofilm of *Bacillus subtilis* promotes the growth of *Lactuca sativa*. *Sustainability*, 15(21), 15406.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, M. S., Ramakrishnan, M., Landi, M., Araniti, F., y Sharma, A. (2020). *Trichoderma*: The “secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants*, 9(6), 762.
- Sui, L., Li, J., Philp, J., Yang, K., Wei, Y., Li, H., Li, J., Li, L., Ryder, M., Toh, R., Zhou, Y., Denton, M. D., Hu, J., y Wang, Y. (2022). *Trichoderma atroviride* seed dressing influenced the fungal community and pathogenic fungi in the wheat rhizosphere. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13669-1>
- Tamayo-Ramirez, J. F., Carmona Rojas, L. M., y Urrea Trujillo, A. I. (2022). Efecto de la concentración del potasio (K⁺) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de *Theobroma cacao* L. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121(Especial 2). <https://doi.org/10.24215/16699513e094>
- Valarezo Maldonado, J. X., Carrillo Zenteno, M. D., Rubio Zapata, G. A., Peña Salazar, K. E., y García-Orellana, Y. (2023). Omisión de macronutrientes y biodisponibilidad de cadmio en suelos de Ecuador. *Acta Agronómica*, 71(3). <https://doi.org/10.15446/acag.v71n3.105855>
- Vargas Guillén, P. I., Tenesaca Sumba, W. A., Centanaro Quiróz, P. H., y Peña Haro, C. A. (2024). Efecto de tres sustratos y dos fórmulas de fertilizantes en el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), Naranjal, provincia del Guayas. *Sathiri*, 19(2), 164-177. <https://doi.org/10.32645/13906925.1287>
- Vera-Cruz, E. F., Quevedo-Guerrero, J. N., Tuz-Guncay, I. G., Chabla-Carillo, J. E., y Cuenca-Sedamano, J. A. (2023). Evaluación de *Trichoderma* en tres variedades de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Ciencia y Agricultura*, 20(1). <https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n1.2023.14691>

Yao, S., Zhou, B., Duan, M., Cao, T., Wen, Z., Chen, X., Wang, H., Wang, M., Cheng, W., Zhu, H., Yang, Q., y Li, Y. (2023). Combination of Biochar and *Trichoderma harzianum* Can Improve the Phytoremediation Efficiency of *Brassica juncea* and the Rhizosphere Micro-Ecology in Cadmium and Arsenic Contaminated Soil. *Plants*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/plants12162939>