

CAPÍTULO 4

Desarrollo de plántulas de cacao criollo, bajo diferentes tratamientos con fertilizantes orgánicos minerales y el hongo *Trichoderma spp.*

Development of Criollo cocoa seedlings under different treatments with organic mineral fertilizers and the fungus *Trichoderma spp.*

Kevyn Porras¹ ; Domenico Fabio Pavone Maniscalco² ; Diego David Moposita Vásquez³  y Arnaldo José Armado Matute^{*4} .

¹Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. kporras_1998@hotmail.com

²Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. dfpavone@gmail.com

³Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador. <https://ror.org/005cgg117>. diego.moposita@ueb.edu.ec

⁴Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. aarmado@uc.edu.ve

*Autor para correspondencia: aarmado@uc.edu.ve

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.4>

Resumen

En este estudio se evaluaron los parámetros biométricos y el porcentaje de colonización endofítica del hongo *Trichoderma spp.* en plantas de cacao en etapa de vivero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con dos fertilizantes orgánicos minerales (Agrohúmicos Plus y Agrodol) y el hongo *Trichoderma* (Producto TrichoVita compuesto por los hongos *Trichoderma asperellum* y *T. virens*) ambos suministrados por las empresas PROMIVECA y TecnoVita respectivamente. Cada fertilizante se evaluó por separado y también en mezcla con el hongo, resultando en ocho tratamientos, incluyendo un control. Los resultados mostraron que para los parámetros biométricos no hubo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, sin embargo, estos se encuentran dentro de los rangos reportados por estudios anteriores, destacando una tendencia de mejora en las plantas tratadas con Agrodol y *Trichoderma* en pre-germinación con respecto al control. Los parámetros fisicoquímicos del sustrato se encontraron dentro de los rangos esperados, lo que representa unas condiciones adecuadas para el crecimiento de las plantas de cacao. En cuanto a la colonización endofítica, el 50 % de los tratamientos mostró una relación simbiótica con el hongo *Trichoderma*.

Palabras clave: cacao; fertilización orgánica; simbiosis; *Trichoderma*.

Citación sugerida: Porras K.; Pavone D.; Moposita D. y Armado A. (2025). Desarrollo de plántulas de cacao criollo, bajo diferentes tratamientos con fertilizantes orgánicos minerales y el hongo *Trichoderma spp.*. En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 85–112). Colección seriada: Glebe, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.4>.



Recibido: 4 de abril, 2025
Revisado: 12 de mayo, 2025
Aceptado: 19 de junio 2025

Abstract

In this study, the biometric parameters and the percentage of endophytic colonization of the fungus *Trichoderma spp.* in cocoa plants at the nursery stage were evaluated. A completely randomized experimental design was used, employing two organic mineral fertilizers (Agrohúnicos Plus and Agrodol) and the fungus *Trichoderma* (TrichoVita product composed of *Trichoderma asperellum* and *T. virens*), provided by the companies PROMIVECA and TecnoVita. Each fertilizer was evaluated separately and in combination with the fungus, resulting in eight treatments, including a control. The results showed that there were no significant differences in biometric parameters among the treatments studied; however, they fell within the ranges reported in previous studies, highlighting a trend of improvement in plants treated with Agrodol and *Trichoderma* during pre-germination compared to the control. The physicochemical parameters of the substrate were within expected ranges according to various authors, reflecting adequate conditions for cocoa plant growth. Regarding endophytic colonization, 50 % of the treatments exhibited a symbiotic relationship with the fungus *Trichoderma*.

Keywords: cocoa; organic fertilization; symbiosis; *Trichoderma*.

Introducción

La planta de cacao se reproduce en bosques tropicales húmedos, usualmente su origen se relaciona en el noreste de América del Sur. En Venezuela, se cultiva en condiciones cálidas y húmedas, sin ayuda de pesticidas, lo que permite que los árboles absorban aromas del entorno y los expresen en sus frutos. El país cuenta con un banco natural de cacao fino de aroma, pero la producción se basa en prácticas tradicionales y tecnología rudimentaria, lo que resulta en bajos rendimientos de producción. En el caso de las plántulas de cacao estas requieren ser estimuladas desde temprana edad para un desarrollo adecuado [1].

El uso de fertilizantes orgánico-minerales puede aportar los nutrientes que requieren los cultivos mejorando la calidad de los frutos y la cosecha sin químicos nocivos. Además, los suelos de las plantaciones de cacao pueden albergar microorganismos beneficiosos, como el hongo *Trichoderma* [2].

El cultivo de cacao en América Latina tiene relevancia socioeconómica marcada, especialmente en países como Venezuela. Esta actividad involucra a millones de personas, muchas de ellas en la agricultura familiar, y constituye una fuente vital de ingresos y desarrollo rural. Además, el cacao ha sido una herramienta clave en procesos de paz y sustitución de cultivos ilícitos en países como Colombia y Perú. En Venezuela, el cacao es parte esencial de la identidad nacional y ha sido reconocido internacionalmente por su calidad [3].

El cacao criollo, originario de Venezuela, es altamente valorado por su sabor y aroma únicos. Este tipo de cacao se distingue por sus notas a frutas tropicales y su suavidad, lo que lo convierte en uno de los más cotizados en el mercado internacional. Sin embargo, su cultivo requiere condiciones específicas y es más susceptible a enfermedades, lo que representa un desafío para su producción sostenible [4].

Actualmente, la producción de cacao enfrenta diversos problemas, como bajos rendimientos, prácticas agrícolas tradicionales y suelos degradados. Además, enfermedades como la moniliasis, causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, afectan significativamente las cosechas. La falta de acceso a tecnologías modernas y la escasa organización de los productores limitan la capacidad de mejorar la productividad y la calidad del cacao. Estos desafíos requieren estrategias integrales que incluyan la capacitación de los agricultores, la mejora de las prácticas agrícolas y la conservación de las variedades autóctonas para asegurar la sostenibilidad del cultivo [5].

El desarrollo temprano del cultivo de cacao enfrenta múltiples desafíos que comprometen la calidad y productividad de las plantaciones. En la etapa de vivero, factores como la selección inadecuada del sustrato, deficiencias nutricionales y el uso de contenedores de tamaño insuficiente pueden limitar el crecimiento radicular y la formación de estructuras aéreas, afectando la supervivencia de las plántulas tras el trasplante [6].

El vivero es importante para garantizar plántulas sanas y vigorosas, ya que permite controlar condiciones ambientales críticas, como la humedad, la luz y la protección contra plagas y enfermedades. Un manejo adecuado en esta etapa asegura una mejor adaptación al campo y un desarrollo óptimo de las plantas. Sin embargo, prácticas tradicionales y la falta de acceso a tecnologías adecuadas pueden limitar estos beneficios [7].

Para mejorar el desarrollo de las plántulas de cacao, es esencial adoptar alternativas sostenibles. El uso de biofertilizantes, tales como, bioles y el humus de lombriz, ha demostrado mejorar significativamente el crecimiento de las plántulas, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental. Además, la incorporación de sustratos orgánicos adecuados y el uso de contenedores de mayor tamaño pueden favorecer el desarrollo radicular y la salud general de las plantas. Estas prácticas sostenibles son clave para asegurar una producción de cacao más eficiente y respetuosa con el medio ambiente [8].

Los fertilizantes orgánico-minerales desempeñan un papel crucial en la agricultura sostenible, especialmente en cultivos tropicales como el cacao. Estos fertilizantes combinan materia orgánica con minerales naturales, proporcionando una nutrición equilibrada y mejorando la salud del suelo. A diferencia de los fertilizantes químicos, los orgánico-minerales liberan nutrientes de manera gradual, lo que reduce el riesgo de lixiviación y contaminación ambiental. Además, fomentan la actividad microbiana beneficiosa,

mejoran la estructura del suelo y aumentan su capacidad de retención de agua [9].

En comparación con los fertilizantes químicos, los orgánico-minerales ofrecen ventajas importantes. Mientras que los químicos pueden causar acidificación del suelo y pérdida de biodiversidad microbiana, los orgánico-minerales ayudan a mantener el equilibrio del ecosistema del suelo. Además, al combinar nutrientes de origen orgánico e inorgánico, permiten una mayor flexibilidad y control sobre la nutrición de las plantas, adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo y tipo de suelo [10].

Diversos estudios han demostrado el impacto positivo de los fertilizantes orgánico-minerales en cultivos tropicales. Por ejemplo, en la producción de caña de azúcar, su uso ha mejorado la calidad del suelo y aumentado el rendimiento de los cultivos. En el caso del tomate, la aplicación de humus de lombriz ha duplicado la producción, mejorando la estructura del suelo y favoreciendo un crecimiento robusto de las plantas [11].

El hongo *Trichoderma spp.* se ha consolidado como un bioestimulante y agente simbiótico clave en la agricultura sostenible, especialmente en cultivos tropicales como el cacao. Su capacidad para promover el crecimiento vegetal y proteger contra patógenos lo convierte en una herramienta valiosa para mejorar la productividad y la salud de las plantas [12].

Los mecanismos de acción de *Trichoderma spp.* incluyen la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos antibióticos y enzimas hidrolíticas, y el micoparasitismo, donde el hongo ataca directamente a otros hongos patógenos. Además, estimula el crecimiento de las plantas mediante la síntesis de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y la mejora en la absorción de estos, fortaleciendo así el sistema radicular y la resistencia de las plantas a condiciones adversas [13].

En el cultivo de cacao, diversos estudios han demostrado la eficacia de *Trichoderma spp.*, por ejemplo, se ha utilizado en el tratamiento de semillas y producción de plántulas, mostrando una reducción en el uso de químicos y una mejora en el crecimiento de las plantas. Además, se ha empleado para controlar enfermedades como la moniliasis, causada por *Moniliophthora roreri*, mediante aplicaciones foliares que reducen la infección de los frutos. Estos resultados evidencian el potencial de *Trichoderma spp.* como una alternativa sostenible y eficaz en la producción de cacao y otros cultivos tropicales [14].

Los escasos estudios integrados en cacao criollo, especialmente en regiones como Venezuela, muestran la necesidad de investigaciones que evalúen la sinergia entre estos insumos. La combinación de fertilizantes orgánico-minerales y *Trichoderma spp.* podría ofrecer una estrategia sostenible para mejorar la productividad y la salud del suelo en sistemas agroforestales de cacao criollo [15].

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto combinado de fertilizantes orgánico-minerales y *Trichoderma spp.* en el desarrollo de plántulas de cacao criollo bajo condiciones de vivero. La investigación se enfocó en analizar cómo esta combinación influye en variables clave de crecimiento, como la altura de las plántulas, el diámetro del tallo y la biomasa radicular. Dado que el cacao criollo es una variedad de alto valor económico y sensorial, pero con requerimientos agronómicos específicos, la implementación de prácticas sostenibles que mejoren su desarrollo desde etapas tempranas es importante. Este enfoque busca fortalecer las estrategias agroecológicas en la producción de cacao, con énfasis en promover sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles.

Metodología

Se estableció un semillero tipo vivero, en un área de 3 x 2 m, empleando mallas de sarán que proporcionen sombra, se utilizaron semillas de cacao criollo de la variedad Canoabo, una vez pregerminadas, se plantaron en bolsas de polietileno, perforadas para su drenaje y con dimensiones de 11 cm de ancho por 26 cm de altura. Ellas se llenaron con sustrato, en donde germinó la semilla y se evaluó su crecimiento durante 120 días.

El semillero construido con bolsas está organizado en un diseño de 8 bloques, evaluando 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno (5 plantas por repetición), con un total de 120 plantas de cacao (Figura 1).

Elaboración del sustrato

Se preparó un sustrato compuesto de tierra, arena y materia orgánica en una proporción



Figura 1. Diagrama de tratamientos en el semillero de cacao.

de 3:1:1, respectivamente, teniendo en cuenta que a la tierra se le debe realizar un proceso de solarización, el cual consiste en exponer la tierra por un período de 3 a 4 días a plena exposición solar, haciendo volteos periódicos para luego cubrirla con plástico buscando así obtener una desinfección. De igual manera, la arena se debe encontrar previamente cernida con un tamiz y asegurar que no exista ninguna contaminación u objetos de gran tamaño (piedras, envases, bolsas, etc.) en cada insumo. Una vez tratados cada uno de los componentes se procedió a pesar la cantidad necesaria para la elaboración del sustrato (Tabla 1) y se mezclaron. La mezcla de los insumos se realizó con ayuda de una pala. Cuando los componentes se encuentren mezclados, se inicia la homogenización con la ayuda de una pala, dando varias vueltas a los insumos que conforman el sustrato, homogenizando todo el material, de tal manera que los rangos de las partículas no sean muy dispares logrando así una distribución del tamaño de las partículas lo más uniforme posible [16].

Ahora bien, considerando que las bolsas de polietileno tenían una capacidad de 2 Kg y son un total de 120 plantas, se prepararon aproximadamente de 240 kg de sustrato, con una composición como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del sustrato preparado.

Componente	Composición (kg)
Tierra	144
Arena	48
Materia Orgánica	48
Total	240

Limpieza y pregerminado de las semillas de cacao

El mucílago se removió frotando las semillas con arena y abundante agua, luego las semillas se sumergieron en peróxido de hidrógeno al 0,3 % durante 24 horas y se lavaron con agua potable. Una vez removido el peróxido, se sumergieron en agua durante 3 días, hasta notar el brote de la raíz.

Tratamientos realizados en el estudio

Se realizaron diferentes tratamientos empleando dos fertilizantes orgánicos minerales (Agrohúmicos Plus y Agrodol suministrados por la empresa PROMIVECA) y el hongo *Trichoderma spp* (Tricho-Vita proporcionada por la empresa TecnoVita). Cada fertilizante orgánico mineral se evaluó por separado, al mismo tiempo, se evaluó la mezcla de cada fertilizante con el hongo *Trichoderma spp*. Por otro lado, se aplicó un tratamiento de pregerminación a las semillas de cacao con el hongo *Trichoderma*, otro en donde se aplicó

este hongo al sustrato por aspersión y uno en el que se aplicó la pregerminación y la aspersión con el hongo *Trichoderma*, dando un total de nueve tratamientos, incluyendo un testigo (control), donde a la planta no se le aplicó ningún producto y las muestras del sustrato elaborado sin manipular.

El producto Tricho-Vita proveniente de la empresa TecnoVita es una formulación granulada totalmente orgánica con base en esporas, micelio y metabolitos de los hongos *Trichoderma asperellum* y *T. virens* en polisacáridos vegetales naturales, en la Tabla 2 se muestra el resumen del aporte nutritivo.

Tabla 2. Aporte nutritivo de los fertilizantes orgánico-minerales evaluados.

Componentes	Agrohúmicos Plus	Agrodol
Materia Orgánica	56 %	48 %
Ácidos Húmicos (AH)	21 %	18 %
Ácidos Fúlvicos (AF)	1 %	< 1 %
Nitrógeno (N)	3 %	3 %
Fósforo (P)	2 %	3 %
Potasio (K)	6 %	3 %
Calcio (Ca)	7 %	10 %
Magnesio (Mg)	1 %	3 %
Azufre (S)	2 %	1 %
Hierro (Fe)	2 %	2 %
Cloruro (Cl)	2 %	2 %

Los productos empleados en cada tratamiento fueron aplicados según lo recomendado por el fabricante.

A continuación, se describe cada tratamiento:

T0: Pretratamiento: muestras del sustrato preparado.

Tratamiento N° 1 (T1): Testigo: las bolsas de polietileno fueron llenadas con el sustrato preparado, luego se abrió un hueco en el medio de aproximadamente 2-3 cm y se introdujo la semilla previamente germinada, orientando la radícula hacia abajo. Posteriormente, se tapó nuevamente el hueco con el sustrato.

Tratamiento N° 2 (T2): Agrodol: se repitió el mismo procedimiento del T1, se agregaron 15 g de Agrodol por planta en la superficie y se regaron con agua.

Tratamiento N° 3 (T3): Agrohúmicos Plus: se repitió el mismo procedimiento del T1, se agregaron 15 g de Agrohúmicos Plus por planta en la superficie y se regaron con agua.

Tratamiento N° 4 (T4): Solución de Trichoderma por aspersión: se preparó una suspensión de Trichoderma 0,25 g/L con agua, agitando constantemente. Luego se repitió

el mismo procedimiento del T1, se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regó con agua.

Tratamiento N° 5 (T5): Agrodol + Solución de Trichoderma por aspersión: se repitió el mismo procedimiento del T2, luego se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regó con agua.

Tratamiento N° 6 (T6): Agrohúnicos Plus + Solución de Trichoderma por aspersión: se realizó el mismo procedimiento del T3, se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regaron con agua.

Tratamiento N° 7 (T7): Pregerminación con Trichoderma: antes de realizar la plantación de la semilla previamente germinada (procedimiento 3.3). Se sumergió la semilla germinada en la solución de Trichoderma durante 3 horas, se retiró de la solución e inmediatamente se plantó la semilla como en el T1.

Tratamiento N° 8 (T8): Pregerminación con Trichoderma + Solución de Trichoderma por aspersión: se repitió el T7 y luego se preparó una suspensión de Trichoderma 0,25 g/L con agua, agitando constantemente, luego se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regó con agua.

Método de selección de las plantas

En el caso de la medición de los parámetros biométricos, se les realizaron a todas las plantas, mientras que la determinación de la longitud radicular (LR), materia seca (MS) y el porcentaje de colonización endofítica se realizó al final del ciclo de crecimiento, tomando de manera al azar las plantas a ser analizadas, escogiendo tres (3) plantas por cada tratamiento en el caso de la LR y MS, mientras que para el porcentaje de colonización sólo se tomó una (1) planta por tratamiento para un total de 32 plantas.

Determinación de parámetros biométricos de las plantas

Para analizar el crecimiento y desarrollo del cultivo, a cada una de las plantas emergidas, se le determinó a los 30, 60, 90 y 120 días de establecido el cultivo, los parámetros biométricos: altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas, como se describe a continuación.

Altura y diámetro del tallo

Para la determinación de la altura del tallo de cada planta se utilizó una cinta métrica se midió la distancia desde la base del tallo hasta el ápice de la plántula, para el diámetro del tallo se hizo sobre el cuello de la raíz y al ras del suelo con la ayuda de un vernier [17].

Número de hojas y longitud radicular

Se registró cuantitativamente la cantidad de hojas en la planta. Para la determinar la longitud radicular se retiró con cuidado la bolsa de polietileno, para evitar dañar las raíces. Luego, se sumergieron las raíces en agua para eliminar el sustrato. A continuación, se extendieron las raíces en una superficie plana y se midió desde la base del tallo hasta la punta de la raíz más larga, utilizando una cinta métrica [18].

Determinación de la materia seca (MS)

Para la determinación de materia seca, se tomaron muestras de materia húmeda y se colocaron en una bandeja, para posteriormente ser calentada en una estufa con circulación forzada de aire a 60 - 65 °C por un lapso de 72 horas. Finalizado este periodo, se pesó nuevamente la muestra y se estimó el % MS por diferencia de peso antes y después de la colocación en estufa [19].

Parámetros fisicoquímicos en el sustrato

A cada una de las muestras pre y post tratamiento se les determinó diferentes propiedades fisicoquímicas como: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), retención de humedad, cationes intercambiables, fósforo disponible, nitrógeno amoniacal y contenido de materia orgánica, siendo estos indicadores de los cambios experimentados por el sustrato por efecto de los productos aplicados.

Porcentaje de colonización endofítica

Se evaluó la colonización endofítica y el desarrollo de pelos radicales a partir de tricomas en el tallo. En primer lugar, se tomaron porciones del tallo y raíz (aproximadamente 1 cm), se desinfectan con hipoclorito de sodio al 5 % durante tres minutos, seguido de inmersión en alcohol al 75 % durante un minuto, luego se enjuagó en agua destilada estéril y se secó con toallas de papel estériles o gasas. La inoculación de los fragmentos de raíz y tallo se realizó en cajas Petri contenidas con agua agar durante 16 horas y se incubaron en la oscuridad a 26 °C. Posteriormente, los hongos emergentes de los pelos radicales y los tricomas se colectaron con ayuda de un fórceps y un cepillo muy fino, seguidamente se inocularon en placas Petri con Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incuban a $27 \pm 0,2$ °C.

Análisis estadístico

Cada una de las variables estudiadas se sometió a un análisis estadístico en el software Past 4. Para el estudio de cada uno de los parámetros se realizó una medición a los 30, 60, 90 y 120 días después del sembrado, con excepción de la longitud radicular y el contenido de materia seca, que se realizó al finalizar los 120 días. A nivel estadístico se determinó si

los datos obtenidos por tratamiento siguen el comportamiento de una distribución normal, para esto se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Con el fin de conocer si existía diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos, para los datos no paramétricos se empleó la prueba de Kruskal – Wallis, mientras que para los datos paramétricos se realizó un análisis estadístico ANOVA de un factor.

En caso de existir una diferencia significativa entre los tratamientos fue necesario identificar entre qué tratamientos existe una diferencia significativa, para los datos paramétricos se emplea la prueba de Tukey, mientras que para los datos no paramétricos se aplicó la prueba post hoc de Dunn's para comparaciones múltiples.

Resultados y discusión

Se obtuvo un porcentaje de germinación del 93,3 %, este valor fue mayor a los rangos reportados por estudios previos.

Con un nivel de confianza del 95 %, el análisis ANOVA y Kruskal Wallis revelaron que para los parámetros biométricos no hubo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, sin embargo, estos se encuentran dentro de los rangos reportados por estudios anteriores, destacando una tendencia de mejora en las plantas tratadas con Agrodol, T2, y Trichoderma en pre-germinación, T7, con respecto al control, T1, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros biométricos para las plántulas de cacao a los 120 días de crecimiento.

Tratamientos	Estadístico	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Número de hojas	Longitud radicular (cm)	Materia seca (%)
T1	Media	33,8	6,2	17	29	29,4
	Intervalo	27 - 41	5,5 - 7	11-22	3	0,5
T2	Media	33,5	7,2	17	22	29
	Intervalo	22 - 51	5,2 - 8	9-20	2	1
T3	Media	25	6,8	15	33	30
	Intervalo	15 - 42	5,3 - 9	8-21	6	2
T4	Media	23,5	6,1	12	26	29
	Intervalo	20 - 47	5-9	8-17	2	5
T5	Media	37	7	18	23	29
	Intervalo	25,5 - 50	5,2 - 8	14 - 26	6	2
T6	Media	24,5	7	15	32	26
	Intervalo	20 - 36	6,2 - 8	10-16	9	2
T7	Media	34,8	7,1	15	34	31
	Intervalo	21 - 43	5-10	12-18	10	1

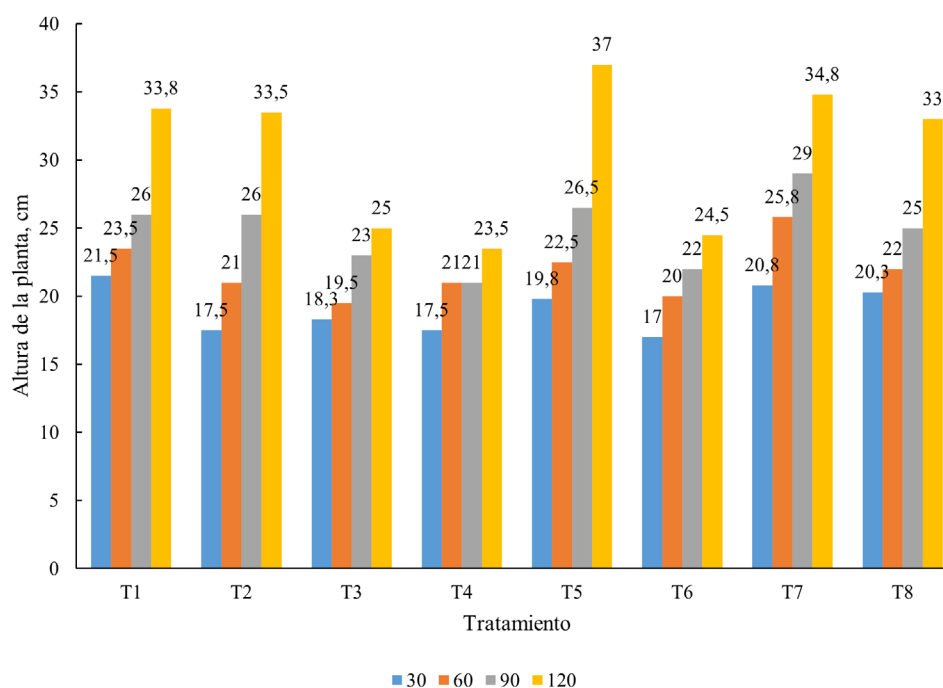
Tratamientos	Estadístico	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Número de hojas	Longitud radicular (cm)	Materia seca (%)
T8	Media	33	6,5	14	31	28
	Intervalo	22 - 41	4,7 - 8	8-21	4	4

Parámetros biométricos de las plantas de Theobroma Cacao L.

Se estudiaron los parámetros biométricos de las plantas de cacao por cada tratamiento aplicado a los 30, 60, 90 y 120 días después del sembrado, con excepción de la longitud radicular y el contenido de materia seca, que se realizó al finalizar los 120 días.

Altura de planta

Se estudió el efecto de cada tratamiento en relación con la altura de las plántulas de cacao, se presentan los resultados correspondientes a la altura de plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días, Figura 2.



A los 30 días el Tratamiento control, T1, produjo plantas de mayor altura, mientras que el tratamiento N° 6 (Agrohúnicos plus + Trichoderma por aspersión) fue el de menor altura.

Figura 2. Evolución de la altura de las plantas de cacao en función del tratamiento. A los 60 días, también se evidenció una diferencia significativa entre los datos. En este caso plantas con mayor altura fue el T7 y T3 el que obtuvo menor altura comportamiento que coincide con lo encontrado a los 30 días.

Para los 90 días, las plantas tratadas con Trichoderma en la etapa de pregerminación, T7,

fueron las que obtuvieron una mayor altura, mientras que las plantas con menor altura fueron las tratadas con Trichoderma por aspersión, T4. Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis no existe una diferencia significativa entre los tratamientos ($p>0,05$).

Por último, a los 120 días las plantas del T5 (Agrodol + Trichoderma por aspersión) fueron las de mayor altura con 37,0 cm y las plantas del T4 fueron las de menor altura, sin embargo, de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis existe una diferencia significativa entre los tratamientos. En otros trabajos proponen que la diferencia de altura de plantas de cacao puede deberse a diversos factores, como el tipo de cacao que pertenezca la semilla, el tipo de sustrato utilizado, incluso la condiciones climáticas en donde se desarrolle su crecimiento [20].

Diámetro del tallo

Se estudió el efecto de cada tratamiento con relación al diámetro del tallo de las plántulas de cacao, Figura 3.

A los 30 días, las plantas del T5 (Agrodol + Trichoderma por aspersión) obtuvieron el mayor valor con una media de 4,8 mm, por otro lado, las plantas tratadas con Trichoderma por aspersión, T8, fueron las de menor valor con 4,3 mm. Al realizar un análisis estadístico

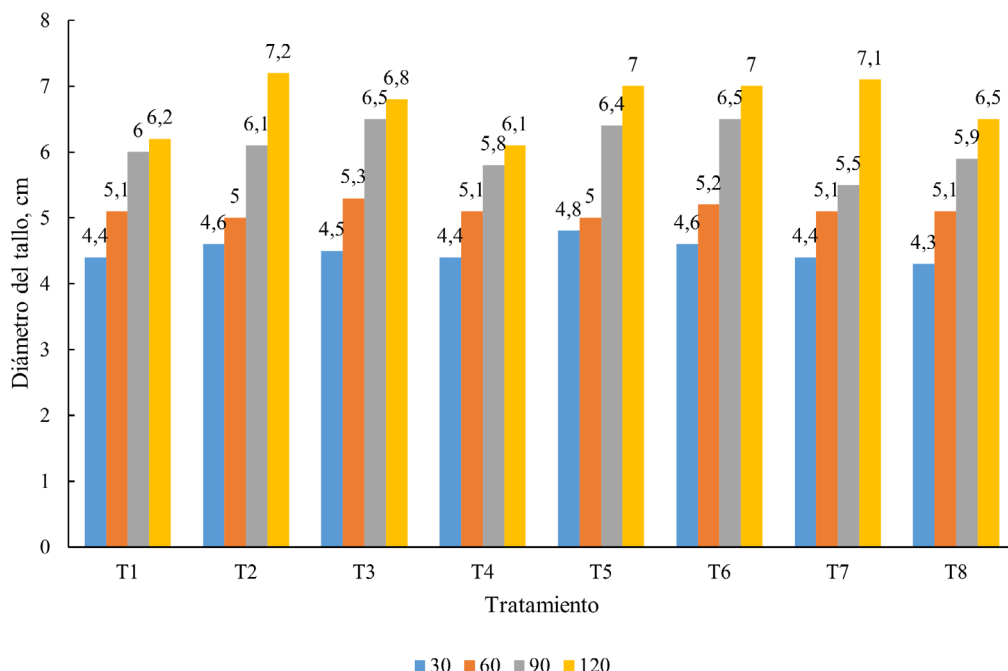


Figura 3. Diámetro del tallo de las plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días.

ANOVA se determinó que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Por otro lado, a los 60 días el mejor resultado se obtuvo de aquellas plantas tratadas con

Agrohúmicos plus, T3, con 5,3 mm y en el caso del menor valor fueron los tratamientos T2 (Agrodol) y T5 (Agrodol + Trichoderma por aspersión).

El comportamiento a los 90 días de crecimiento, las plantas evaluadas por el tratamiento T3 (Agrohúmicos Plus) y T6 (Agrohúmicos plus + Trichoderma) presentaron la mayor mediana de crecimiento, en este caso el T7 (Pregerminación con Trichoderma) fue el de menor valor. Sin embargo, los tratamientos evaluados no presentan una diferencia significativa.

A los 120 días de crecimiento, el único cambio con respecto a los otros días fue que las plantas tratadas con el fertilizante Agrodol, T2, fueron las que obtuvieron un mayor desarrollo, mientras que el T4 (Trichoderma por aspersión) tuvo el menor crecimiento.

Los resultados concuerdan con lo reportado por algunos trabajos, donde la diferencia puede deberse a la genética de la semilla de cacao, al tiempo de observación e incluso a los diferentes tratamientos empleados.

Número de hojas

Se estudió el efecto de cada tratamiento con relación al número de hojas que presenta la plántula de cacao, como se puede observar en la Figura 4.

A los 30 días de evaluación, las plantas tratadas con el fertilizante Agrohúmicos plus (T3) y Agrodol con Trichoderma por aspersión (T5) presentaron un mayor número de hojas.

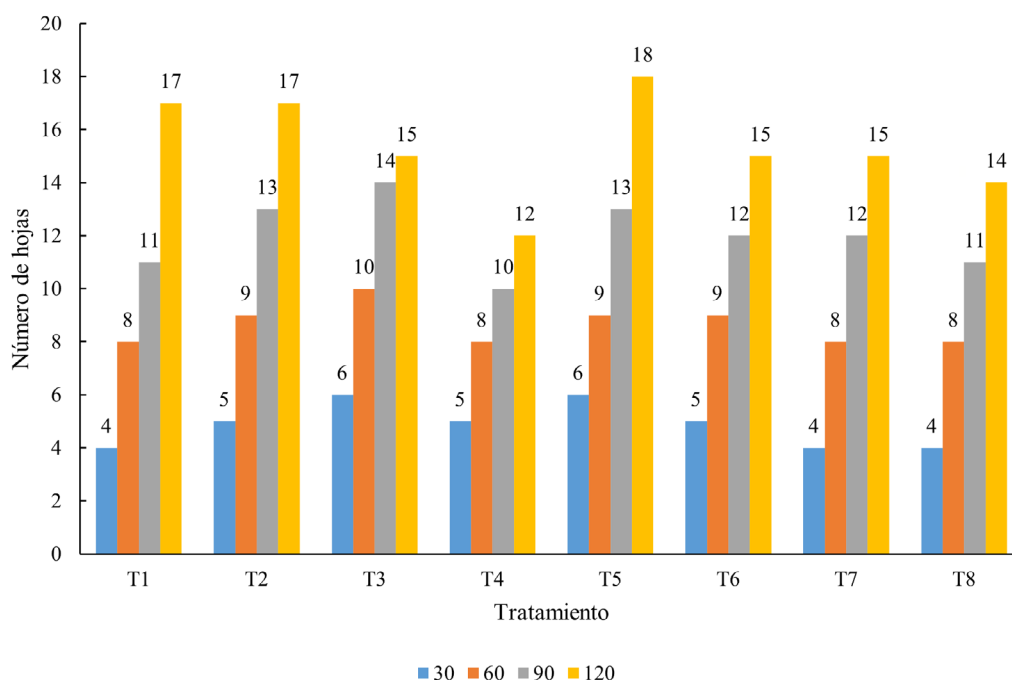


Figura 4. Número de hojas de las plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días.

Estos tratamientos mostraron una diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis y prueba post hoc de Dunn's entre los tratamientos T5 y T8.

Al igual que a los 30 días, el tratamiento T3 también presentó ser el de mayor número de hojas a los 60 días, con una mediana de 10 hojas en este caso, estadísticamente los tratamientos presentaron una diferencia significativa, entre los tratamientos T3 y T4. Siguiendo con la misma tendencia a los 90 días de evaluación, el T3 presenta el mayor número de hojas, con una mediana de 14 hojas, estadísticamente los tratamientos estudiados demostraron una diferencia significativa entre sí. Solo el T4 demostró una diferencia significativa con el T5.

Por último, al día 120 las plantas tratadas con el fertilizante Agrodol y el hongo Trichoderma por aspersión, T5, fue el que obtuvo un mayor número de hojas, con una mediana de 18 hojas.

Longitud Radicular

Para la determinación de la longitud radicular y porcentaje de materia seca, a los 120 días de evaluación se seleccionaron tres números completamente al azar correspondientes a tres plantas de cada tratamiento estudiado. En el caso de la longitud radicular, el tratamiento T7 (Pregerminación con Trichoderma) presentó el mejor resultado. De acuerdo con las pruebas estadísticas realizadas a los resultados, no existe una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados.

Contenido de materia seca

El tratamiento que presentó un mayor % MS fueron las plantas tratadas con Trichoderma en su etapa de pregerminación T7 con un $(31 \pm 5) \%$, sin embargo, al realizar la prueba de normalidad y un análisis estadístico ANOVA, se encontró que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos estudiados.

Parámetros fisicoquímicos del sustrato pre y post tratamiento

Para poder evaluar los parámetros químicos que influyeron en el crecimiento de las plántulas de Theobroma Cacao L. Fue necesario caracterizar el sustrato antes del sembrado de las semillas de Theobroma Cacao L. y el sustrato utilizado en los 8 tratamientos estudiados al finalizar los 120 días de crecimiento, Tabla 4.

Potencial de hidrógeno, pH, del sustrato pre y post tratamiento

Se encontró que los valores de pH obtenido por el sustrato pre y post tratamiento, donde

Tabla 4. Resultados para los distintos parámetros fisicoquímicos de las muestras de sustrato.

Tratamiento	pH	CE, (μS/cm)	RH, (%)	MO, (%)	CIC (cmol/kg suelo)	Ca (cmol/kg suelo)	Mg (cmol/kg suelo)	P disponible (mg P/ Kg suelo)	N – NH ₄ (%)
T0	Media	7,4	1.812	38	5,7	40,8	19	8,9	0,004
	a	a	a	a	a	a	a	16	ad
	s	0,2	43	0,5	0,5	0,1	1	0,5	0,000
T1	Media	8	470	41,4	5,2	40,7	25	6,7	0,004
	b	b	bcd	a	a	bcd	a	18	ad
	s	0,1	82	0,4	0,6	0,2	1	0,8	0,000
T2	Media	7,7	919	42,1	8,7	40,6	23	18,8	0,006
	ab	c	bcd	ab	A	b	b	19	b
	s	0,1	95	0,8	0,7	0,2	1	0,9	0,000
T3	Media	7,7	883	42,5	9,9	41,9	28	8,6	0,007
	ab	c	bc	b	ab	cd	a	22	c
	s	0,1	72	0,3	0,8	0,2	1	1	0,000
T4	Media	7,84	502	41,3	5,7	41,8	23	12,8	0,005
	b	b	bd	a	ab	b	c	21	d
	s	0,06	51	0,6	0,6	0,1	1	0,5	0,000
T5	Media	7,8	723	43,15	8,4	41,2	28	9	0,006
	ab	c	c	ab	ab	d	a	22	b
	s	0,1	24	0,04	0,9	0,6	1	1	0,000
T6	Media	7,91	468	37	8,1	42,4	25	7	0,0061 b
	b	b	a	ab	b	bcd	a	9,8	
	s	0,09	46	0,5	0,5	0,2	1	0,2	0,000
T7	Media	7,9	525	40,6	6,7	44,8	28	8	0,0050 e
	b	bc	d	ab	c	d	a	8,1	
	s	0,1	17	0,2	0,8	0,6	1	0,4	0,000
T8	Media	8	426	41,3	5,1	41,1	23	7	0,0038 a
	b	b	bd	a	Ab	b	a	8,8	
	s	0,1	35	0,4	0,7	0,8	1	0,3	0,000

CE: conductividad eléctrica; RH: retención de humedad; MO: contenido de materia orgánica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; N – NH₄: nitrógeno Amoniacal; s: desviación estándar para n=3. Valores con la misma letra en cada parámetro son iguales estadísticamente entre sí, según la Prueba de Dunn's con ajuste de Bonferroni ($p < 0,05$) o Prueba de Tukey ($p < 0,05$).

el mayor valor de pH lo presenta los sustratos tratados con Trichoderma en la etapa de pregerminación y por aspersión T8 y el tratamiento de control T1, mientras que el de menor valor fue el sustrato del T0 (sustrato pretratamiento). Al realizar un análisis estadístico ANOVA hay evidencia estadística de que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba post hoc de Tukey empleada, el tratamiento T0 es significativamente diferente a los T1, T4, T6, T7 y T8.

El suelo funcionan como fuentes de alcalinidad aquellas sustancias que al reaccionar con el agua producen iones hidroxilo; en este sentido, los cationes alcalinos del suelo están constituidos por las bases, es decir, por los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} [21].

El pH en particular puede considerarse una variable clave debido a su influencia en muchas otras propiedades y procesos del suelo que afectan el crecimiento de las plantas. La actividad de los microorganismos, así como la solubilidad y disponibilidad de los

nutrientes, son algunos de los procesos más importantes que dependen del pH.

Conductividad del sustrato pre y post tratamiento

El sustrato con un mayor valor de conductividad fue el sustrato del tratamiento T0 (Pretratamiento), mientras que el de menor valor fue el T8 (Trichoderma en pregerminación y por aspersión). De acuerdo con el estudio estadístico realizado, existe una diferencia significativa entre los tratamientos, según el análisis ANOVA realizado.

La CE de las muestras de sustrato tomadas de las plántulas de cacao osciló entre (426 ± 35) - (1812 ± 43) $\mu\text{S}/\text{cm}$. La CE está influenciada por varias propiedades fisicoquímicas del suelo, como la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la salinidad, el pH, el Ca y el Mg, entre otras. La CE es un indicador potencial de la variabilidad espacial del contenido de arcilla y humedad en el suelo. El contenido de arcilla es estable en el tiempo y está asociado al contenido de humedad, afectando al crecimiento y desarrollo de los cultivos [22].

Unas prácticas de riego eficaces, que arrastren las sales solubles fuera del suelo y más allá de la profundidad de enraizamiento, pueden disminuir la CE. Deben evitarse el riego excesivo y el encharcamiento, ya que el aumento del nivel freático puede introducir sales solubles en la zona radicular. En climas áridos, los residuos vegetales y el mantillo ayudan a que los suelos permanezcan más húmedos y, por tanto, permiten que las precipitaciones estacionales y el riego sean más eficaces a la hora de lixiviar las sales de la superficie. Para evitar los efectos adversos de una elevada CE en el agua de riego, debe calcularse la necesidad de lixiviación de cada cultivo. La necesidad de lixiviación es la fracción de agua necesaria para eliminar el exceso de sal por debajo de la zona radicular, es decir, la cantidad de agua adicional necesaria para mantener un nivel de salinidad objetivo [23].

Retención de humedad del sustrato pre y post tratamiento

Para el parámetro de retención de humedad del sustrato, el sustrato tratado con Agrodol + Trichoderma por aspersión, T5, fue el sustrato con el mayor % RH, mientras que el de menor valor, fue el sustrato tratado con Agrohúmicos plus + Trichoderma por aspersión, T6. Estadísticamente según el análisis ANOVA realizado, existe una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados, siendo esta diferencia en su mayoría entre los tratamientos T0 y T6.

La interacción entre el suelo, el agua y el crecimiento de las plantas se ha convertido en una cuestión determinante en la gestión del suelo, el agua y los nutrientes para mantener una productividad vegetal sostenible. La disolución de nutrientes y el proceso de movimiento desde la rizosfera hasta la absorción por parte de la planta pueden realizarse bien con

el apoyo del agua del suelo. Por lo tanto, la disponibilidad de agua en el suelo debe ser criticada como el factor limitante para optimizar la producción de cultivos. La textura y la materia orgánica del suelo se han considerado los componentes clave que determinan la retención de agua en el suelo [24].

Contenido de materia orgánica en el sustrato pre y post tratamiento

El contenido de materia orgánica fue mayor en el sustrato tratado con el fertilizante orgánico mineral Agrohúnicos Plus, T3, mientras que el de menor valor fue el sustrato tratado con Trichoderma en la etapa de pregerminación y por aspersión, T8. De acuerdo con análisis ANOVA, existe una diferencia significativa entre los tratamientos, y utilizando la prueba Tukey, se observó que esta diferencia se encuentra entre el T3 con los tratamientos T0, T1, T4 y T8.

Se encontró que un 55,6 % de los tratamientos evaluados estaban con un % MO alto (> 6,1 %). Se ha reportado que los suelos de los sistemas agroforestales de cacao estudiados presentaban valores de contenido de materia orgánica del 9 - 10 %, asociando estos valores a los residuos orgánicos que pueden presentar estos sistemas, que se mineralizan muy lentamente y se acumulan en la superficie del suelo. La materia orgánica (MO) está estrechamente relacionada con los restos vegetales y el tipo de vegetación influye en la calidad y el contenido de materia orgánica del suelo [25].

La descomposición de la materia orgánica suministra cantidades considerables de nutrientes esenciales para el desarrollo de los vegetales y es particularmente importante en el abastecimiento de nitrógeno, azufre y fósforo. Trichoderma es un hongo metabólicamente versátil, capaz de utilizar un amplio rango de biomasa vegetal, incluyendo oligosacáridos como sucrosa, rafinosa y polisacáridos como celulosa, inulina, quitina, pectina, y almidón, así como sustratos más complejos como suero de leche, hidrocarburos del petróleo e incluso plaguicidas, contribuyendo potencialmente a su degradación [26].

Este hongo toma nutrientes de los hongos que parasita y de materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostas favorecen su proliferación [27].

Fósforo disponible en el sustrato pre y post tratamiento

En el caso del fósforo disponible, el mayor valor lo presentan los sustratos tratados con Agrodol + Trichoderma por aspersión, T5, y con Agrohúnicos Plus, T3, mientras que el de menor valor fue el sustrato del T1 (Control). Este parámetro de acuerdo con el análisis ANOVA realizado no hay una diferencia significativa en el fósforo disponible entre los tratamientos.

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos. En el sistema suelo-planta, el 90 % del fósforo está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90 % es utilizable por los vegetales. A excepción del carbono y el oxígeno que están presentes en la atmósfera de forma utilizable para las plantas, el resto de los nutrientes son tomados del suelo [28].

CIC a pH 7 en el sustrato pre y post tratamiento

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) de un suelo es una medida de la cantidad de sitios de carga negativa en la superficie del suelo que puede retener iones de carga positiva (cationes), tales como el Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , por fuerzas electrostáticas. Los cationes retenidos electrostáticamente son fácilmente intercambiables con los cationes en la solución del suelo por lo que un suelo con una CIC más alta tiene una mayor capacidad para mantener cantidades adecuadas de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} que un suelo con una baja CIC. Un suelo con una CIC más alta puede no necesariamente ser más fértil debido a la CIC de un terreno también puede ser ocupado por cationes ácido tales como el H^{+} y Al^{3+} . Sin embargo, cuando se combina con otras medidas de fertilidad del suelo, la CIC es un buen indicador de la calidad del suelo y la productividad [29].

El T7 (Pregerminación con Trichoderma) fue el tratamiento con una mayor cantidad de CIC, mientras que el sustrato tratado con Agrodol, T2, fue el tratamiento con una menor cantidad de CIC. De acuerdo con el análisis estadístico ANOVA existe una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados. Esta diferencia se encontró en mayor parte por los T6 y T7 con respecto a los otros tratamientos.

Cationes intercambiables

Los cationes intercambiables son iones positivos que están adheridos a las partículas del suelo y pueden ser intercambiados con otros iones en la solución del suelo. Los tratamientos con una mayor cantidad de calcio intercambiable fueron T3 (Agrohúmicos Plus), T5 (Agrodol + Trichoderma) y T7 (Pregerminación con Trichoderma), mientras que con la menor cantidad de calcio intercambiable está el T0 (Pretratamiento).

El calcio es un catión intercambiable que ejerce una influencia significativa en el crecimiento de las plantas de cacao. Su importancia radica en las múltiples funciones clave que desempeña en el desarrollo y fisiología de estas plantas. En primer lugar, el

calcio es esencial para la formación de la pared celular y la estabilidad de las membranas celulares, lo que contribuye al crecimiento y desarrollo celular adecuado en las plantas de cacao. Además, promueve un sistema radicular saludable y vigoroso, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes. Asimismo, el calcio desempeña un papel importante en la regulación de la absorción y transporte de otros nutrientes, manteniendo el equilibrio iónico dentro de las células y facilitando la absorción de nutrientes esenciales [30].

Por otro lado, el magnesio es otro catión intercambiable útil para el crecimiento de las plantas de cacao. Su papel es importante en procesos como la fotosíntesis, donde es un componente esencial de la clorofila, y en la activación de enzimas que regulan procesos metabólicos clave. Además, facilita la absorción de otros nutrientes como el fósforo y el nitrógeno [31]. El tratamiento con una mayor cantidad de magnesio fue el T2 (Agrodol), mientras que el tratamiento que resultó en una menor cantidad fue el T1 (Control). Al realizar un análisis estadístico ANOVA y Tukey para comparaciones múltiples se encontró diferencia significativa entre los tratamientos estudiados, específicamente en T2 y T4 con respecto al resto de los tratamientos.

La interacción entre el hongo Trichoderma y un fertilizante órgano-mineral como el Agrodol pudo tener un impacto significativo en la cantidad de magnesio disponible para las plántulas de cacao. Se ha observado que Trichoderma, al promover el desarrollo radicular, puede mejorar la absorción de nutrientes, incluido el magnesio en el suelo. Por otro lado, la aplicación de un fertilizante orgánico-mineral que contenga magnesio puede aumentar la disponibilidad de este nutriente para las plantas de cacao [32].

Nitrógeno amoniacal disponible en los sustratos pre y post tratamiento

El tratamiento con una mayor cantidad de nitrógeno amoniacal (N-NH_4) fue el T3 (Agrohúnicos Plus) y el de menor valor fue el T8 (Trichoderma por aspersión). Se encontró diferencia significativa entre los tratamientos estudiados.

El nitrógeno es considerado el nutriente más importante en la agricultura debido a su papel en la formación de proteínas, ADN, ARN, etc. El nitrógeno del suelo se presenta en formas orgánicas o inorgánicas. La fracción orgánica constituye la mayor parte del N en el suelo (más del 95 % del total de N) y está compuesta principalmente por restos de plantas y microbios. La fracción inorgánica (menos del 5 % del total de N) comprende iones de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) y muy poco nitrito (NO_2^-) [33].

Porcentaje de colonización endofítica

Se obtuvo un porcentaje de colonización endofítica del 50 %, para T5, T6, T7 y T8,

Figura 5. Esta evaluación se realizó de manera morfológica, las colonias de *Trichoderma* presentaron un radio de 5 a 6 cm, con apariencia aterciopelada en sus etapas tempranas, el micelio presenta un color blanco, sin embargo, eventualmente desarrolla un color blanco verdoso hasta dar una tonalidad verde oliva, además, se produce la formación de anillos concéntricos, aunque no presentaron formación de anillos concéntricos se encontró micelios de consistencia esponjosa con una ligera coloración blanco y verde alrededor del trozo de raíz similar a las cepas de *Trichoderma*.

El no crecimiento o la falta de desarrollo de la cepa pudo deberse a diversos factores, debido a que las especies de *Trichoderma* no son exigentes con relación al pH del sustrato.

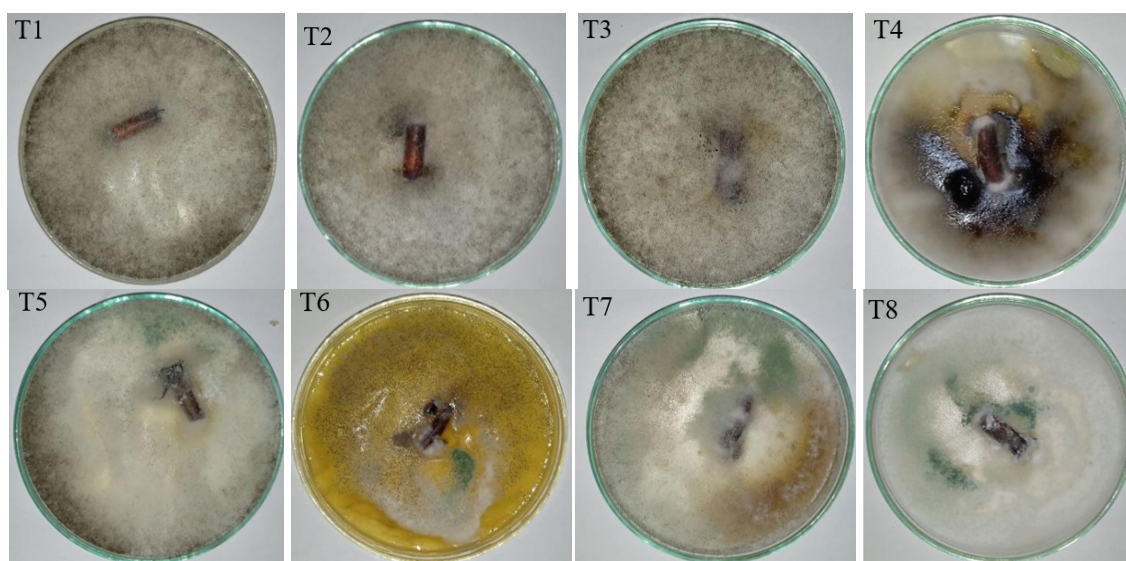


Figura 5. Análisis de colonización endofítica de las plantas de cacao en los tratamientos estudiados.

Pueden crecer en suelos con pH desde 5,5 a 8,5. El desarrollo de *Trichoderma* se activa con la presencia de humedad, con un valor óptimo de 60 % de la capacidad de retención de humedad del suelo. A porcentajes mayores de saturación, la colonización y sobrevivencia disminuye por baja disponibilidad de oxígeno [34].

En el caso de los T1, T2 y T3 , aunque se encontró formación de micelios no se pudo apreciar la coloración verde característica del hongo *Trichoderma*, lo que indica que probablemente no se deba al hongo *Trichoderma*. Los hongos son una parte natural del ecosistema del suelo y desempeñan roles cruciales en la descomposición de materia orgánica, la formación de humus y la promoción de la salud del suelo.

La adopción de insumos como fertilizantes orgánico-minerales y bioestimulantes microbianos representa una inversión inicial mayor que el uso de prácticas convencionales.

No obstante, se ha observado que su uso puede reducir la necesidad de fertilización química repetitiva y control químico de plagas, lo que a mediano plazo disminuye los costos de producción [35].

En un análisis preliminar, el uso combinado de Agrodol y *Trichoderma* spp. podría representar un aumento del 15-20 % en los costos por planta en la etapa de vivero. Sin embargo, si se considera la mejora en el desarrollo radicular y aéreo de las plántulas, esto se traduce en una mayor tasa de supervivencia al trasplante y una reducción en pérdidas por enfermedades. Estos beneficios indirectos pueden compensar ampliamente la inversión inicial [36].

Los resultados en este estudio abren la puerta a futuras investigaciones que validen los efectos observados en condiciones de campo abierto. Se recomienda realizar ensayos multisitio para evaluar la eficacia de los tratamientos bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y con distintos genotipos de cacao [37].

Además, se podría incorporar la evaluación de otros microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) y biofertilizantes para establecer un paquete tecnológico completo adaptado a sistemas agroecológicos. Asimismo, se recomienda trabajar en la transferencia de conocimientos mediante alianzas con productores, técnicos y viveristas de cacao, lo que promueve la adopción de tecnologías limpias en el manejo del cultivo desde su etapa inicial [38].

Conclusiones

Se evidenció una tendencia de mejora en las plantas tratadas con Agrodol y *Trichoderma* en pre-germinación, lo que sugiere un efecto potencialmente favorable. Además, los parámetros fisicoquímicos del sustrato se mantuvieron dentro de los intervalos adecuados para el crecimiento de las plantas. La colonización endofítica del hongo *Trichoderma* se presentó en el 50 % de los tratamientos, resaltando su capacidad para establecer una simbiosis con las plántulas de cacao.

El uso conjunto de insumos orgánicos y microorganismos benéficos representa una estrategia sostenible para mejorar la producción de plántulas de cacao en vivero. Estos resultados deben seguir siendo explorados con miras a desarrollar estrategias de fertilización sostenible en el desarrollo inicial del cultivo de cacao. Se recomienda escalar esta práctica a nivel de viveros comerciales para fortalecer el sistema productivo del cacao nativo en Venezuela.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó bajo tutoría del Dr. Arnaldo Armado, fue financiado parcialmente por la empresa PROMIVECA y TecnoVita a través del suministro de productos y materiales, mientras que los análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente (LIBSA) de la Universidad de Carabobo, Venezuela.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en la realización de este estudio. Aunque la empresa PROMIVECA y TecnoVita contribuyeron con el suministro de productos y materiales, y los análisis fueron realizados en el LIBSA de la Universidad de Carabobo, estas entidades no tuvieron influencia en el diseño experimental, la recolección y análisis de datos, ni en la interpretación de los resultados o la elaboración del manuscrito.

Referencias

- [1] A. Climaco, P. Elevina, S. Giovanni, P. Angelica, and F. Hadith, "Physical and sensory quality of the fine-flavored and aromatic cocoas growing in different Venezuelan regions," *Agric. Food Sci. Res.*, vol. 11, no. 2, pp. 76–86, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.20448/aesr.v11i2.6168>.
- [2] J. C. Rodríguez-Ortiz et al., "Organic vs. Conventional Fertilization: Soil Nutrient Availability, Production, and Quality of Tomato Fruit," *Water, Air, Soil Pollut.*, vol. 233, no. 3, p. 87, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05545-5>.
- [3] P. Hernández and A. Camardiel, "Association Between Socioeconomic Status, Food Security, and Dietary Diversity Among Sociology Students at the Central University of Venezuela," *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 5, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.623158>.
- [4] D. N. Putri, H. De Steur, J. G. Juvinal, X. Gellynck, and J. J. Schouteten, "Sensory attributes of fine flavor cocoa beans and chocolate: A systematic literature review," *J. Food Sci.*, vol. 89, no. 4, pp. 1917–1943, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17006>.
- [5] M. Garvey, E. Meade, and N. J. Rowan, "Effectiveness of front line and emerging

- fungus disease prevention and control interventions and opportunities to address appropriate eco-sustainable solutions,” *Sci. Total Environ.*, vol. 851, p. 158284, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158284>.
- [6] A. Toca, E. Moler, A. Nelson, and D. F. Jacobs, “Environmental conditions in the nursery regulate root system development and architecture of forest tree seedlings: a systematic review,” *New For.*, vol. 53, no. 6, pp. 1113–1143, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09944-8>.
- [7] M. S. Mahmud, A. Zahid, and A. K. Das, “Sensing and Automation Technologies for Ornamental Nursery Crop Production: Current Status and Future Prospects,” *Sensors*, vol. 23, no. 4, p. 1818, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23041818>.
- [8] K. K. M. P. Gonzales, E. C. Gestida, and N. S. Aggangan, “Efficacy of Biochar-biofertilizer-vermicompost Treatment on Theobroma cacao and Rhizosphere Soil Microbial Population,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1145, no. 1, p. 012007, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1145/1/012007>.
- [9] M. Iderawumi Abdulraheem, J. Hu, S. Ahmed, L. Li, and S. Muhammad Zaigham Abbas Naqvi, “Advances in the use of organic and organomineral fertilizers in sustainable agricultural production,” in *Organic Fertilizers - New Advances and Applications* [Working Title], IntechOpen, 2023. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001465>.
- [10] S. Syed, X. Wang, T. N. V. K. V. Prasad, and B. Lian, “Bio-Organic Mineral Fertilizer for Sustainable Agriculture: Current Trends and Future Perspectives,” *Minerals*, vol. 11, no. 12, p. 1336, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/min11121336>.
- [11] V. V. B. T. and S. Mirji, “Exploring Potential of Organo-mineral Fertilizers in Augmenting Crop Yield and Quality – A Review,” *Adv. Res.*, vol. 25, no. 6, pp. 297–308, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.9734/air/2024/v25i61203>.
- [12] E. F. A. Awad-Allah, I. A. A. Mohamed, S. F. A. A. Allah, A. H. M. Shams, and I. H. Elsokkary, “Trichoderma Species: An Overview of Current Status and Potential Applications for Sustainable Agriculture,” *Indian J. Agric. Res.*, no. Of, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-751>.
- [13] A. Alfiky and L. Weisskopf, “Deciphering Trichoderma–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications,” *J. Fungi*, vol. 7, no. 1, p. 61, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/jof7010061>.
- [14] R. Harni, I. Lakani, M. Puspitasari, B. Hafif, and S. Fadhlia, “Effectiveness of

- Trichoderma spp. secondary metabolites formulation in controlling vascular streak dieback of cacao,” IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 1208, no. 1, p. 012016, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1208/1/012016>.
- [15] A. Chavez-Jalk, S. Leiva, L. G. Bobadilla, C. N. Vigo, M. Arce, and M. Oliva-Cruz, “Effect of Endophytic Trichoderma sp. Strains on the Agronomic Characteristics of Ecotypes of Theobroma cacao L. under Nursery Conditions in Peru,” Int. J. Agron., vol. 2022, pp. 1–8, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5297706>.
- [16] Y. Chen, S. Fang, X. Dai, Y. Liu, and Z. Chen, “Effect of different particle size sand in overburden on radon exhalation rate of uranium tailings reservoir beach surface,” J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 334, no. 2, pp. 1841–1848, Feb. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09944-2>.
- [17] J. Valenzuela-Cobos, F. Guevara-Viejó, P. Galindo-Villardón, and P. Vicente-Galindo, “Three-Dimensional Analysis of the Impact of Different Concentrations of Glyphosate on the Growth of Cocoa (Theobroma cacao),” Appl. Sci., vol. 14, no. 18, p. 8180, Sep. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/app14188180>.
- [18] S. Wahono et al., “Optimization of Cocoa Rootstock Seedling Growth (Theobroma cacao L.) MCC-02 Clone Using KoHeA+MF Organic Fertilizer Application,” J. Agron. Tanam. Trop., vol. 7, no. 1, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.4000>.
- [19] J. Briceño, E. Tonato, M. Silva, M. Paredes, and A. Armado, “Impact of metal content in agricultural soils near the Tungurahua volcano on the cultivation of Allium fistulosum L,” La Granja, vol. 32, no. 2, pp. 114–126, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.09>.
- [20] F. E. L. Carvalho, L. D. Escobar-Pachajoa, I. D. Camargo, J. Rojas-Molina, Y. Y. Jaimes-Suárez, and J. J. Rivera-Meneses, “The interspecific interactions in agroforestry systems enhance leaf water use efficiency and carbon storage in cocoa,” Environ. Exp. Bot., vol. 205, p. 105119, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105119>.
- [21] Jaramillo D., Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>.
- [22] H. Choo, J. Park, T. T. Do, and C. Lee, “Estimating the electrical conductivity of clayey soils with varying mineralogy using the index properties of soils,” Appl. Clay Sci., vol. 217, p. 106388, Feb. 2022, doi: [GLEBE
Editorial Unión Científica. Ecuador](https://doi.org/10.1016/j.</p></div><div data-bbox=)

[clay.2021.106388](#).

- [23] T. Yang et al., “Effect of water application methods on salinity leaching efficiency in different textured soils based on laboratory measurements and model simulations,” *Agric. Water Manag.*, vol. 281, p. 108250, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108250>.
- [24] Á. Horel, “Soil–Plant–Water Systems and Interactions,” *Plants*, vol. 13, no. 3, p. 358, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/plants13030358>.
- [25] Chuong V. Huynh, P. T. Nguyen, T. G. Pham, H. T. Nguyen, M. T. H. Nguyen, and P. T. Tran, “Evaluation of Soil Organic Matter Content under Topographic Influences in Agroforestry Ecosystems: a Study in Central Vietnam,” *Eurasian Soil Sci.*, vol. 55, no. 8, pp. 1041–1051, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1134/S106422932208004X>.
- [26] J. He, N. Zhu, Y. Xu, L. Wang, J. Zheng, and X. Li, “The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting,” *Bioresour. Technol.*, vol. 351, p. 126973, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>.
- [27] N. D. Organo, S. M. J. M. Granada, H. G. S. Pineda, J. M. Sandro, V. H. Nguyen, and M. Gummert, “Assessing the potential of a *Trichoderma*-based compost activator to hasten the decomposition of incorporated rice straw,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 448, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03828-1>.
- [28] Y. Yuan, C. Tang, Y. Jin, K. Cheng, and F. Yang, “Contribution of exogenous humic substances to phosphorus availability in soil-plant ecosystem: A review,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 10, pp. 1085–1102, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2120317>.
- [29] L. M. Carmona Rojas, E. A. Gutiérrez Rodríguez, A. M. Henao Ramirez, and A. I. Urrea Trujillo, “Nutrition in cacao (*Theobroma cacao* L.) crops: What determining factors should be considered?,” *Rev. la Fac. Agron.*, vol. 121, no. Especial 2, p. 101, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.24215/16699513e101>.
- [30] F. Letort et al., “Calcium oxalate crystals in cacao trees and their interactions with cadmium,” *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 220, p. 109499, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109499>.
- [31] E. Arévalo-Gardini et al., “Growth, Physiological, Nutrient-Uptake-Efficiency

- and Shade-Tolerance Responses of Cacao Genotypes under Different Shades,” *Agronomy*, vol. 11, no. 8, p. 1536, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081536>.
- [32] Y. Bouhia et al., “Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects,” *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology*, vol. 21, no. 2, pp. 425–446, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>.
- [33] J. A. Dogbatse, A. Arthur, G. K. Awudzi, A. K. Quaye, S. Konlan, and A. A. Amaning, “Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Nutrient Uptake by Young Cacao (*Theobroma cacao* L.),” *Int. J. Agron.*, vol. 2021, pp. 1–10, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/5516928>.
- [34] Y. Martinez, J. Ribera, F. W. M. R. Schwarze, and K. De France, “Biotechnological development of Trichoderma-based formulations for biological control,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 107, no. 18, pp. 5595–5612, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12687-x>.
- [35] N. C. Temegne, A. F. Ngome, A. P. Agendia, and E. Youmbi, “Agroecology for Agricultural Soil Management,” in *Sustainable Intensification for Agroecosystem Services and Management*, Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 267–321. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3207-5_9.
- [36] Y. Miguelez-Sierra, P. Bertin, and A. Hernández-Rodríguez, “Induction of defence responses in cacao against *Phytophthora palmivora* by *Pseudomonas chlororaphis* CP07,” *Eur. J. Plant Pathol.*, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02982-2>.
- [37] N. M. C. Eyango et al., “Genetic diversity and verification of plant material compliance of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Barombi-Kang Regional variety trial,” *PLoS One*, vol. 20, no. 4, p. e0322169, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322169>.
- [38] P. K. Rai, A. Rai, N. K. Sharma, T. Singh, and Y. Kumar, “Limitations of biofertilizers and their revitalization through nanotechnology,” *J. Clean. Prod.*, vol. 418, p. 138194, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138194>.

Kevyn Porras, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Kevyn Porras es egresado del Departamento de Química en la Universidad de Carabobo, desarrolló su trabajo de titulación en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y

Ambiente, LIBSA, adscrito al Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química, AMBIOQUIM. Su investigación se centró en el desarrollo de plántulas de cacao criollo, variedad Canoabo (*Theobroma cacao* L.), utilizando fertilizantes orgánico-minerales y el hongo *Trichoderma* spp. Ha trabajado en la evaluación de parámetros biométricos, fisicoquímicos y de colonización endofítica en sistemas de cultivo sostenible. Su enfoque combina metodologías disruptivas con técnicas tradicionales para promover la sostenibilidad y la productividad agrícola.

Kevyn Porras is a graduate of the Chemistry Department at the University of Carabobo. He carried out his degree project at the Laboratory of Biochemical, Soil, and Environmental Research (LIBSA), affiliated with the Research and Extension Center for Environment, Biology, and Chemistry (AMBIOQUIM). His research focused on the development of Criollo cacao seedlings, Canoabo variety (*Theobroma cacao* L.), using organic-mineral fertilizers and the fungus *Trichoderma* spp. He has worked on evaluating biometric, physicochemical, and endophytic colonization parameters in sustainable cultivation systems. His approach combines innovative methodologies with traditional techniques to promote agricultural sustainability and productivity.

Domenico Fabio Pavone Maniscalco, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Domenico Fabio Pavone Maniscalco es biólogo, profesor universitario y fue Director del Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, FaCyT, de la Universidad de Carabobo. Se desempeña en el Centro de Biotecnología Aplicada y ha publicado sobre temas como el biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas, incluyendo el uso de *Trichoderma* en cultivos como el pimentón.

Domenico Fabio Pavone Maniscalco is a biologist and university professor who served as Director of the Biology Department at the Experimental Faculty of Science and Technology (FaCyT) of the University of Carabobo. He works at the Center for Applied Biotechnology and has published research on topics such as the biocontrol of agricultural pests and diseases, including the use of *Trichoderma* in crops such as bell pepper.

Diego David Moposita Vásquez, Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador

Diego David Moposita Vásquez es profesor en la Universidad Estatal de Bolívar, UEB, Ecuador. Ha colaborado en investigaciones sobre el análisis composicional de la malanga (*Xanthosoma*).

Diego David Moposita Vásquez is a professor at the State University of Bolívar (UEB), Ecuador. He has collaborated on research focused on the compositional analysis of malanga (*Xanthosoma*).

Arnaldo José Armado Matute, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Arnaldo José Armado Matute es profesor e investigador de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Se ha desempeñado como Director de Ambioquim, Coordinador del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente (LIBSA), y Director Ejecutivo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UC). Su línea de investigación se centra en la ecotoxicología, con énfasis en la evaluación del impacto de metales pesados sobre la calidad de suelos y aguas, así como en la diversidad bacteriana edáfica. Además, desarrolla estudios en la formulación de fertilizantes orgánicos, sustratos biofertilizantes y extractos naturales con propiedades insecticidas y repelentes. Ha colaborado en investigaciones relacionadas con la contaminación por metales y su influencia sobre parámetros bioquímicos y biológicos del suelo, aportando soluciones sostenibles para el manejo ambiental y la agricultura.

Arnaldo José Armado Matute is a professor and researcher at the University of Carabobo, Venezuela. He has served as Director of Ambioquim, Coordinator of the Biochemical, Soil and Environmental Research Laboratory (LIBSA), and Executive Director of the Council for Scientific and Humanistic Development (CDCHUC). His research focuses on ecotoxicology, with an emphasis on assessing the impact of heavy metals on soil and water quality, as well as on soil bacterial diversity. Additionally, he conducts studies on the formulation of organic fertilizers, biofertilizer substrates, and natural extracts with insecticidal and repellent properties. He has collaborated in research projects addressing metal contamination and its influence on soil biochemical and biological parameters, contributing sustainable solutions for environmental management and agriculture.