



Biofermentos en la morfología y calidad de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero †

[Bioferments in the morphological and quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings in the nursery]

Percy Díaz-Chuquizuta^{1,3*}, Henry Díaz-Chuquizuta², Yuri Gandhi Arevalo-Aranda² and Juan Pablo Cuevas-Giménez⁴

¹Estación Experimental Agraria Andenes. Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Av. Micaela Bastidas 314-316, Wanchaq, Cusco 08002, Perú. Email: pdiazch@inia.gob.pe

²Estación Experimental Agraria de El Porvenir. Dirección de Servicios Estratégicos Agrarios. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Carretera Fernando Belaunde Terry Km 14.5, Juan Guerra, San Martín 22200, Perú.

³Producción Agropecuaria. Instituto de Educación Superior Tecnológico Público El Dorado. Carretera a Shatoja Km. 3 Caserío San Isidro, San José de Sisa, El Dorado, San Martín 22700, Perú.

⁴Estación Experimental Agraria de Baños del Inca. Dirección de Servicios Estratégicos Agrarios. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Jr. Wiracocha S/N, Baños del Inca, Cajamarca 06004, Perú.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The morphological quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings in the nursery is essential for the success of commercial plantations. Bioferments represent a sustainable alternative to improve the morphology and quality of seedlings. **Objective.** To evaluate the effect of bioferments on the morphology and quality of cocoa seedlings in the nursery. **Methodology.** Four treatments were used with different combinations of substrates and solid and liquid bioferments. A completely randomized design with four repetitions was used, measuring morphological and quality variables. **Results.** The traditional substrate treatment with the addition of solid and liquid bioferments (ST+BS+BL) showed the highest values in height, stem diameter, dry biomass and Dickson quality, surpassing the traditional substrate by 51%. **Implications.** Bioferments improve the availability of nutrients and the structure of the substrate, favoring the development of vigorous and better quality seedlings. **Conclusions.** The combination of solid and liquid bioferments represents an agroecological strategy to optimize the morphological attributes and quality of cocoa seedlings in the nursery.

Key words: anaerobic fermentation; biodigester; substrat; morphological quality; biomass; quality index.

RESUMEN

Antecedentes. La producción de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de calidad en vivero, es fundamental para el éxito de las plantaciones comerciales. Los biofermentos representan una alternativa sostenible para mejorar producción y la calidad de las plántulas. **Objetivo.** Evaluar el efecto de biofermentos en la producción y calidad de plántulas de cacao en vivero. **Metodología.** Se utilizaron cuatro tratamientos con diferentes combinaciones de sustratos y biofermentos sólidos y líquidos. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, midiendo variables morfológicas y de calidad. **Resultados.** El tratamiento sustrato tradicional con adición de biofermentos sólidos y líquidos (ST+BS+BL) presentó los mayores valores en altura, diámetro del tallo, biomasa seca y calidad de Dickson, superando en un 51% al sustrato tradicional. **Implicaciones.** Los biofermentos mejoran la disponibilidad de nutrientes y la estructura del sustrato, favoreciendo el desarrollo de plántulas vigorosas y mejor calidad. **Conclusiones.** La combinación de biofermentos sólidos y líquidos representa una estrategia agroecológica para optimizar la producción, mejorando los atributos morfológicos, y calidad de plántulas de cacao en vivero.

Palabras clave: fermentación anaeróbica; biodigester; sustrato; calidad morfológica; biomasa; índice de calidad.

† Submitted June 5, 2024 – Accepted June 30, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6271>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = P. Díaz-Chuquizuta: <http://orcid.org/0000-0002-9893-5482>; H. Díaz-Chuquizuta: <http://orcid.org/0009-0009-3908-9384>; Y.G. Arévalo-Aranda: <http://orcid.org/0000-0002-8797-5462>; J.P. Cuevas-Giménez: <https://orcid.org/0000-0003-0669-6873>

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es un cultivo importante en el mundo, por sus diversos usos en la industria alimentaria, la medicina y de interés agroecológico, una alternativa económica en el trópico para las familias productoras, que esperan mejorar su calidad de vida. Se cultivan alrededor de diez millones de hectáreas en el mundo, con una producción mayor a los cuatro millones de toneladas (Mohamed *et al.*, 2020; Boakye *et al.*, 2023; Garay-Peralta *et al.*, 2024) y una demanda creciente del grano. Dentro de los 10 países más productores de cacao en el mundo se encuentra Perú con una producción mayor a 166 mil toneladas, siendo la región San Martín (en la selva central de Perú), que registro la mayor contribución con 38.9 % (Huamán, 2024).

La sostenibilidad y mejora productiva requiere de mejoras constantes, por lo que el éxito de una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.), dependerá de la calidad de plántulas en la etapa inicial en vivero (Aracelly-López *et al.*, 2020; Ishida *et al.*, 2023). Con la adecuada selección y manejo durante esa etapa se logran mayores probabilidades de adaptación al campo, resistencia a condiciones adversas y alcanzar alta productividad a lo largo de su ciclo productivo. Sin embargo, en muchos viveros, la producción de plántulas se ve limitada por factores como la baja disponibilidad de nutrientes, estrés abiótico, y el desconocimiento de estrategias que fortalezcan las defensas naturales de las plantas. Esto afecta no solo el rendimiento del cultivo en el tiempo, sino también la sostenibilidad económica de los productores.

En este contexto, los biofermentos se presentan como una alternativa innovadora y sostenible para mejorar la calidad de las plántulas en su etapa inicial. Estos incluyen bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos de varios grupos incluidos los micorrízicos, que ejercen acción bioestimulante (Cortés-Patiño *et al.*, 2015; Corrales-Lozada *et al.*, 2020; Rojas-Badía *et al.*, 2020), cuyos efectos han sido estudiados en diferentes cultivos; siendo conocidos por su capacidad para mejorar la adsorción o disponibilidad de nutrientes (Rodríguez-Arrobo *et al.*, 2023), estimular el desarrollo de raíces y fortalecer las defensas naturales de las plantas, la tolerancia al estrés abiótico y abordando problemas de escasez de nutrientes mejorando los procesos biológicos, al ser aplicados vía edáfica y foliar (Cargua *et al.*, 2022; Sotomayor *et al.*, 2022; Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2024), no obstante, su aplicación específica en viveros aún sigue siendo poco explorada, siendo importante contribuir con el conocimiento de su eficacia y potencial en etapas iniciales de crecimiento de las plántulas de cacao.

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del biofermento sólido y líquido en la

morfología y calidad de plántulas de cacao en vivero, generando información relevante que permita a los propagadores de plantas en vivero implementar estrategias agroecológicas sostenibles, para garantizar plántulas de buena calidad y potenciar el cultivo desde sus etapas iniciales.

MATERIALES Y METODOS

Localización del estudio

Se realizó en el vivero de producción de plantas agroforestales del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público El Dorado (IESTP-ED), ubicado en el centro poblado de San Isidro, Distrito de San José de Sisa, provincia de El Dorado, Perú, a una altura de 345 msnm, 76° 41'82" O y 06°35'70" S. Al interior del vivero se tuvo una temperatura promedio de 30 ± 1.2 °C, humedad relativa 50.7 ± 4.6 %. La precipitación acumulada fue de 285.1 mm durante el periodo del enero a abril del 2022.

Proceso de producción de biofermentos

Para esto se siguieron los procedimientos descritos por Díaz-Chuquizuta *et al* (2024) y Restrepo y Agredo (2020):

Se ubicó un bosque en proceso de regeneración mayor de 30 años, en el centro poblado de San Isidro a 360 msnm, 76° 41'48" O y 06°35'38" S. Se retiraron hojas y ramas enteras superficiales manualmente. Con una pala se extrajo una porción de inóculo encontrado a una profundidad de 2 cm sobre el suelo, conformado solo por hojas y ramas pequeñas en proceso avanzado de descomposición que se con presencia de colonias microbianas de varias coloraciones (blanca, anaranjada y marrón) (Restrepo y Agredo, 2020). La porción extraída se colocó en un saco hasta alcanzar 10 kg. Esto fue llevado al laboratorio de Biología y Botánica del IESTP-ED.

El inóculo colectado (10 kg) estuvo húmedo y pasó por un proceso de limpieza manual retirando insectos, restos de hojas y trozos de ramas no descompuestas. Seguido se mezcló con 20 kg de polvillo de arroz y se adicionó, con ayuda de una regadera, la mezcla compuesta por 1 kg de melaza en 5 litros de agua, hasta lograr homogenizarlo, estimando la humedad óptima manualmente tomando una fracción de la mezcla, ejerciendo una ligera presión verificando que se compacte y se desmorone fácilmente. De acuerdo con el procedimiento descrito por Restrepo y Agredo (2020).

La mezcla se colocó en un balde de capacidad de 20 L con tapa hermética, compactándola gradualmente, para eliminar cualquier espacio de oxígeno y permitir una

buena fermentación anaeróbica. Una vez lleno el recipiente se cerró y se dejó fermentar durante 15 días.

Transcurridos los 15 días, se extrajo 1 kg del biofermento sólido, el cual se colocó en una bolsa de tela para filtrar y se sumergió en 10 L de agua. Se aplicó presión sobre la bolsa, para extraer el inóculo fermentado. La mezcla líquida obtenida se depositó en un cilindro de 60 litros de capacidad con tapa hermética, que funcionó como un biodigestor tipo Bach. A continuación, se añadió 1 kg de melaza y 2.25 L de suero de leche fresca, mezclándolos con un agitador de madera. Luego, se incorporó más agua,

dejando un espacio de 15 cm entre el líquido y la tapa. Finalmente, se cerró el biodigestor y se introdujo la manguera de escape de gas en una botella descartable con agua, permitiendo que la fermentación anaeróbica se desarrollara correctamente durante 15 días (Figura 1).

Completados los procesos de fermentación, se extrajo una muestra líquida (0.5 L) y sólida (0.5 kg) para su análisis microbiológico en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" La Molina (UNALM), los resultados en muestran en la Tabla 1.



Figura 1. Registro fotográfico del proceso de elaboración del biofermento sólido y líquido.

Tabla 1. Grupos microbianos encontrados en muestra de biofermento líquido (BL) y sólido (BS).

Análisis microbiológico	Unidad microbiológica	BL	BS
Aeróbicos	UFC·mL ⁻¹	51 x 10 ⁶	51 x 10 ⁴
Anaeróbicos	UFC·mL ⁻¹	10 x 10 ³	73 x 10 ³
Coliformes fecales	NMP·mL ⁻¹	<3	<3
<i>Escherichia coli</i>	NMP·mL ⁻¹	<3	<3
<i>Pseudomonas</i> sp	NMP·mL ⁻¹	<3	<3
Bacterias fijadoras de vida libre	NMP·mL ⁻¹	24 x 10 ³	15 x 10 ⁵
Actinomicetos	UFC·mL ⁻¹	<100	<100
Bacterias solubilizadoras de fosfato	UFC·mL ⁻¹	12 x 10	0
Micorrizas	Esporas·100 mL ⁻¹	2	20
Producción de ácido indolacético	mg·mL ⁻¹	4.7	0.8

NMP: Número más probable, UFC: Unidades formadoras de colonias.

Fuente: Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso – UNALM

Producción de plántulas de cacao

Los tratamientos que se aplicaron en el experimento para comparar el crecimiento de las plantas de cacao fueron:

- Tratamiento 1: Sustrato tradicional (ST): utilizado en la producción de plántulas de cacao por el IESTP-ED, consistió en la mezcla de 90 kg de tierra superficial cernida de bosque secundario de 15 años, 67.5 kg de arena de río lavada, 22.5 kg de humus de lombriz y 1 kg de ceniza. Se extrajo una muestra y se analizó en el laboratorio de suelo del Instituto de Cultivos Tropicales, para obtener las características físicas y químicas (Tabla 2).
- Tratamiento 2: ST + Biofermento Sólido (BS): Se mezcló el sustrato tradicional, con 0.5 kg de BS.
- Tratamiento 3: ST + Biofermento Líquido (BL): Se incorporó en dos aplicaciones foliares cada 30 días, la primera a los 20 días después de la siembra y la segunda a los 60 después de la siembra, a razón de 1 L de BL más 19 L litros de agua en una pulverizadora manual.
- Tratamiento 4: ST+BS+BL: Se mezcló el ST, con 0.5 kg de BS y se realizó dos aplicaciones foliares cada 30 días de BL de la misma manera que el tratamiento 3.

Tabla 2. Caracterización química del sustrato tradicional (ST) antes de la aplicación de los tratamientos.

Resultados	Unidad	ST	Interpretación
pH	Unid. H	7.15	Ligeramente alcalino
C.E	mS·m ⁻¹	46.40	Normal
N	%	0.85	Alto
P	%	0.04	Alto
S+SO ₄ ²	%	0.04	Alto
Potasio	%	0.08	Alto
Calcio	%	0.83	Alto
Magnesio	%	0.18	Alto
Sodio	%	<0.1	Bajo
Zinc	mg·kg ⁻¹	34.10	Alto
Cobre	mg·kg ⁻¹	7.0	Alto
Manganeso	mg·kg ⁻¹	334	Alto
Hierro	mg·kg ⁻¹	633	Alto
Boro	mg·kg ⁻¹	<1	Muy bajo
M.O	%	20.56	Alto

pH: Concentración de hidrogeno, C.E: Conductividad eléctrica, N: Nitrógeno, P: Fósforo, S+SO₄²: Azufre total, M.O: Materia orgánica, N: Nitrógeno, P: Fosforo.

Para este proceso de producción de plántulas de cacao se siguieron las recomendaciones de Imán (2019) y Gómez y Ormeño (2013). Se utilizaron bolsas almacigueras de polietileno de 1 kg de capacidad con dimensiones de 12.8 cm de ancho por 25.5 cm de altura. (6" x 9" x 2 mm).

Se colectaron 40 frutos en madurez fisiológica del clon IMC 67. Se obtuvieron las semillas del tercio medio, retirándoles el mucilago con aserrín, seleccionando 840 semillas (700 más el 20% por posibles pérdidas) de tamaño entre 1.5 cm de largo y 1 cm de diámetro y peso entre 2.5 a 3 gramos. Se colocaron bandejas de 0.6 x 0.3 m, con aserrín húmedo y se taparon con una manta oscura, iniciando su germinación al tercer día.

El trasplante fue al cuarto día con presencia de radícula visible, colocándolas de forma vertical, dejado 1/3 de la semilla fuera del sustrato, para favorecer la rápida emergencia y asegurar el crecimiento de la raíz.

Las bolsas trasplantadas fueron llevadas al vivero cubierto en su totalidad con malla rashell de 80 %. A los 80 días después de la siembra, se comenzó el proceso de aclimatación retirando gradualmente la sombra, exponiendo las plantas durante una hora a la luz directa, incrementando una hora cada día, por espacio de cinco días. Al quinto día se cambió la malla de 80% por malla rashel de 50 % de sombra. Los riegos se realizaron cada 2 a 3 días. El control de insectos plagas fue manual y enfermedades a través del manejo espacios cada 5.0 cm, entre filas de plantas, para permitir la adecuada aireación entre plantas.

Análisis de los sustratos al término del experimento

Al culminar las evaluaciones, se extrajo una muestra de cada sustrato para ser analizados en el laboratorio de suelos de Instituto de Cultivos Tropicales - ICT (Tabla 3).

Parámetros evaluados

Cada 15 días se registró altura de planta (AP), midiendo desde nivel del sustrato hasta el ápice de la planta con un flexómetro de 1 mm de precisión; diámetro del tallo (DT) se midió a 2 cm por debajo de inserción de los cotiledones con un vernier.

La tasa del incremento diario del diámetro del tallo (ID) y de altura de planta (IA) fue calculado de acuerdo con Díaz-Chuquizuta y Valdés-Rodríguez (2020), siguiendo la ecuación $(tf - ti)/n$,

donde:

tf: es la medida final de la altura o diámetro a los 90 días

ti: es la medida inicial de la altura o diámetro registrado antes de la primera evaluación del efecto de los tratamientos

n: el tiempo que duró la evaluación (90 días)

A los 90 días se registró el área foliar (AF) se calculó con la formula descrita por Mollericon *et al.* (2022), de acuerdo a las medidas del largo y ancho de la hoja con un flexómetro.

$$\text{Área Foliar} = 0.6877 (\text{largo} \times \text{ancho}) + 0.5189$$

Así mismo, a los 90 días se midió la longitud (LR) y diámetro (DR) de la raíz principal, con flexómetro y vernier respectivamente, por último, se realizó el conteo directo del número de raíces (N°R), para hacerlo se sumergieron las plantas en agua para separar las raíces del sustrato.

Se calcularon los índices de calidad como índice de esbeltez (IE) obtenido de la relación entre la altura de planta y el diámetro de tallo ($IE = AP/DT$), la relación altura de planta (AP) y longitud de raíz (LR) para conocer el equilibrio y proporción en la planta (AP/LR), adicionalmente se obtuvo la relación biomasa seca aérea y biomasa seca radicular (BSA/BSR), se obtuvo secando en una estufa a 70 °C por 72 horas, consiguiéndose peso seco total (PST) utilizando una balanza analítica, con esta información se calculó el índice de calidad de Dickson (ICD) tomado de la fórmula utilizada por Díaz-Chuquizuta y Valdés-Rodríguez (2020)

Índice de calidad de Dickson (ICD)

$$= \frac{\text{Biomasa seca total (g)}}{\frac{\text{Altura de planta (cm)}}{\text{Diámetro de planta (cm)}} + \frac{\text{Biomasa seca aerea (g)}}{\text{Biomasa seca radicular (g)}}}$$

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó el diseño completo al azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones, cada unidad experimental estuvo conformado por 35 plantas, haciendo un total de 140 plantas por tratamiento. Se evaluaron 10 por cada unidad experimental. Se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro Wilk y homogeneidad de varianza de Levene. Con los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5%. Se realizó la regresión entre ICD con PST, IE y PSA/PSR para conocer su relación funcional. Se utilizó el programa Excel y software estadístico Infostat y Rstudio v. 4.3.1 y la librería agricolae (De Mendiburu, 2023).

RESULTADOS

Efecto de biofermentos en las características morfológicas e índices de calidad

Las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene confirmaron que los datos cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. En el análisis varianza (Tabla 4), las variables morfológicas y los indicadores de calidad de planta, presentaron diferencias significativas a un nivel de $p < 0.0001$, en contraste el número de raíces (N° R) no mostró significancia estadística ($p = 0.0572$).

Tabla 3. Caracterización química de cada sustrato al finalizar la evaluación de la producción y calidad de plántones de cacao en vivero.

Resultados	Unidad	ST	ST+BS	ST+BL	ST+BS+BL
pH	Unid. H	7.17 ^{LN}	7.74 ^{LA}	7.95 ^{MA}	8.20 ^{MA}
C.E	mS·m ⁻¹	46.90 ⁿ	27.80 ⁿ	29.70 ⁿ	30.70 ⁿ
N	%	0.84↑	0.52↑	0.51↑	0.62↑
P	%	0.03↑	0.07↑	0.07↑	0.10↑
S+SO ₄ ²	%	0.03↑	0.01↑	0.48↑	0.01↑
Potasio	%	0.08↑	0.11↑	0.15↑	0.21↑
Calcio	%	0.81↑	1.18↑	1.20↑	1.47↑
Magnesio	%	0.16↑	0.13↑	0.16↑	0.18↑
Sodio	%	<0.10↓	<0.10↓	<0.10↓	<0.10↓
Zinc	mg·kg ⁻¹	38.10↑	128.21↑	50.94↑	45.10↑
Cobre	mg·kg ⁻¹	7.14↑	10.26↑	5.66↑	11.76↑
Manganeso	mg·kg ⁻¹	338↑	351↑	379↑	373↑
Hierro	mg·kg ⁻¹	643↑	6438↑	8208↑	8745↑
Boro	mg·kg ⁻¹	<1↓	5.13↑	<1↓	26.67↑
M.O	%	18.16↑	11.77↑	15.32↑	30.04↑
MSR	%	65.00	68.00	73.00	66.00

ST: Sustrato tradicional; BS: Biofermento Solido; BL: Biofermento líquido

pH: Concentración de hidrogeno, C.E: Conductividad eléctrica, N: Nitrógeno, P: Fósforo, S+SO₄²: Azufre total, M.O: Materia orgánica, N: Nitrógeno, P: Fosforo, M.O: Materia orgánica, MSR: Materia seca radicular, LN: Ligeramente neutro; LA: Ligeramente alcalino; MA: Moderadamente alcalino; n: Normal; ↑: alto; ↓: bajo

Tabla 4. Significancia de las pruebas de normalidad, homocedasticidad y análisis de variables morfológicas y de calidad en plántulas de cacao bajo efecto de tratamientos en vivero.

FV	SW (p-valor)	Lev (p-valor)	CMe	CV	Media	T (p-valor)
DT (mm)	0.434 ns	0.107 ns	0.03	2.26	7.55	<0.0001**
AP (cm)	0.546 ns	0.084 ns	1.53	4.62	26.77	<0.0001**
ID (mm·día ⁻¹)	0.176 ns	0.730 ns	4.60 x 10 ⁻⁶	5.27	0.04	<0.0001**
IA (mm·día ⁻¹)	0.876 ns	0.093 ns	3.2 x 10 ⁻⁴	14.68	0.12	<0.0001**
AF (cm ²)	0.394 ns	0.165 ns	0.63	2.74	29.11	<0.0001**
DR (mm)	0.847 ns	0.598 ns	0.09	4.96	6.02	<0.0001**
N° R	0.240 ns	0.071 ns	2.28	16.65	9.07	0.0572 ns
LR (cm)	0.265 ns	0.244 ns	0.66	5.16	15.73	0.0096**
IE	0.334 ns	0.191 ns	0.02	4.30	3.54	0.0007**
AP/LR	0.587 ns	0.184 ns	0.01	6.78	1.70	0.0022**
PST (g)	0.724 ns	0.483 ns	0.30	5.16	10.62	<0.0001**
BSA/BSR	0.188 ns	0.129 ns	0.01	5.67	1.82	<0.0001**
ICD	0.105 ns	0.177 ns	0.01	4.66	2.02	<0.0001**

SW: Prueba de Shapiro Wilks, Lev: Levene, CMe: Cuadrado medio del error, CV: Coeficiente de variabilidad, T: Tratamiento, DT: Diámetro de tallo, AP: Altura de planta, ID: Incremento de diámetro del tallo, IA: Incremento de altura de planta, AF: Área foliar, DR: Diámetro de raíz, LR: Longitud de raíz, IE: Índice de esbeltez, AP/LR: Relación altura de planta – Longitud radicular, PST: Peso seco de total, BSA/BSR: Relación biomasa seca aérea – biomasa seca radicular, ICD: Índice de calidad de Dickson, *: Significancia menor al 0.05, **: significancia menor al 0.01, ns: No significativo

El tratamiento ST+BS+BL obtuvo promedios altos en todas de las variables morfológicas, observándose un incremento de 1.35 mm en el diámetro del tallo, 8.57 cm en la altura de la planta, 8.87 cm² en el área foliar, 1.82 mm en el diámetro de las raíces y 1.98 cm en la longitud de la raíz principal, con respecto al tratamiento ST (Tabla 5).

Del mismo modo el tratamiento ST+BS+BL tuvo incrementos del 12.8% en el índice de esbeltez (IE), 17.7% en relación altura de planta/longitud de raíz (AP/LR), 39.6% en biomasa seca total (PST) y 50% en relación biomasa seca aérea/biomasa seca radicular con relación al tratamiento ST (Tabla 6).

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey al 0.05, mostró diferencias significativas en el índice de calidad de Dickson (ICD) entre los tratamientos evaluados, destacándose el tratamiento ST+BS+BL, que permitió obtener plántulas de cacao de alta calidad.

Por el contrario, el tratamiento ST evidenció plantas de baja calidad (Figura 2).

En la Figura 3, se aprecia la relación lineal ascendente entre el ICD y biomasa seca total (PST), es decir que, a mayor biomasa seca total, mayor es el ICD, ya que la biomasa seca explica en gran medida la variabilidad del ICD ($R^2 > 0.80$), siendo un buen predictor de la calidad de plántulas. Así mismo una relación lineal descendente entre el ICD y BSA/BSR, indicando que a medida que la proporción aérea respecto a la raíz aumenta, el ICD disminuye. Por último, se aprecia una relación cuadrática polinómica entre el ICD y el IE, existiendo un punto óptimo de proporción altura/diámetro. En todos los casos, el tratamiento ST+BS+BL alcanzó valores altos en la escala de calidad del ICD, a diferencia del tratamiento ST que tuvo los valores más bajos, indicando plantas de baja calidad.

Tabla 5. Prueba de rangos múltiples Tukey al 0.05, para las variables morfológicas de plantas de cacao en vivero

Variables morfológicas	ST+BS+BL	ST+BL	ST+BS	ST	DMS
DT (mm)	8.17 a	7.78 b	7.41 c	6.82 d	0.309
AP (cm)	31.38 a	27.32 b	25.58 b	22.81 c	2.237
ID (mm·día ⁻¹)	0.051 a	0.049 ab	0.041 b	0.033 c	0.004
IA (cm·día ⁻¹)	0.17 a	0.13 b	0.11 bc	0.08 c	0.032
AF (cm ²)	41.33 a	28.15 b	24.48 c	22.46 d	1.441
DR (mm)	6.85 a	6.46 a	5.72 b	5.03 c	0.539
LR (cm)	16.92 a	15.61 ab	15.46 ab	14.94 b	1.470

ST: Sustrato tradicional; BS: Biofermento Solido; BL: Biofermento líquido

DT: Diámetro de tallo, AP: Altura de planta, ID: Incremento de diámetro del tallo, IA: Incremento de altura de planta, AF: Área foliar, DR: Diámetro de raíz, LR: Longitud de raíz

DMS: Diferencia mínima significativa

abc: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 6. Prueba de rangos múltiples Tukey al 0.05, para los indicadores de calidad de plantas de cacao en vivero

Indicadores de calidad	ST+BS+BL	ST+BL	ST+BS	ST	DMS
IE	3.84 a	3.51 b	3.45 b	3.35 b	0.276
AP/LR	1.86 a	1.75 a	1.65 ab	1.53 b	0.209
PST (g)	12.89 a	11.27 b	10.52 b	7.78 c	0.992
BSA/BSR	2.86 a	1.50 b	1.48 b	1.43 b	0.187

ST: Sustrato tradicional; BS: Biofermento Sólido; BL: Biofermento líquido

IE: Índice de esbeltez, AP/LR: Relación altura de planta – Longitud radicular, PST: Peso seco de total, BSA/BSR: Relación biomasa seca aérea – biomasa seca radicular

DMS: Diferencia mínima significativa

abc: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

DISCUSIÓN

Efecto de biofermentos en las características morfológicas e índices de calidad

Los resultados obtenidos muestran que el uso de biofermentos sólidos (BS) y líquidos (BL) tuvieron efecto positivo en el crecimiento de las plántulas de cacao, al registrar incrementos en la altura de planta, diámetro del tallo y el área foliar. Estas variables están estrechamente relacionadas con la capacidad fotosintética de la planta y, por ende, con la biomasa producida, lo que concuerda con lo reportado por Mollericonna *et al.* (2022) y Pérez-Díaz *et al.* (2023).

Lo observado se atribuye a la presencia de dos grupos de microorganismos en el inóculo reportados en la Tabla 1, como bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato. Las primeras contribuyen al incremento del pH del sustrato a través de la producción de compuestos amoniacales, mientras que

las segundas desempeñan un papel clave en la liberación y disponibilidad de fósforo para las plantas (Long y Wasaki, 2023; Rahayu y Al-Naja, 2024), además este grupo de bacterias favorece la producción de citratos y oxalatos de calcio y la disponibilidad de boro en el sustrato, lo que coincide con los hallazgos de Rivera-Cruz *et al.* (2020), Ruelas-Islas *et al.* (2022) y Sales-Ordoñez *et al.* (2024).

Estos grupos de microorganismos presentes en los biofermentos incrementaron la disponibilidad de nutrientes, mejorando la composición química del sustrato tradicional, favoreciendo un mejor comportamiento de las plántulas de cacao (Cortés-Patiño *et al.*, 2015; Huasasquiche *et al.*, 2020; Velasco-Jiménez *et al.*, 2020; González-León *et al.*, 2022). Estos hallazgos corroboran su papel fundamental en el suministro de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal (Restrepo y Agredo, 2020; Rojas-Badía *et al.*, 2020).

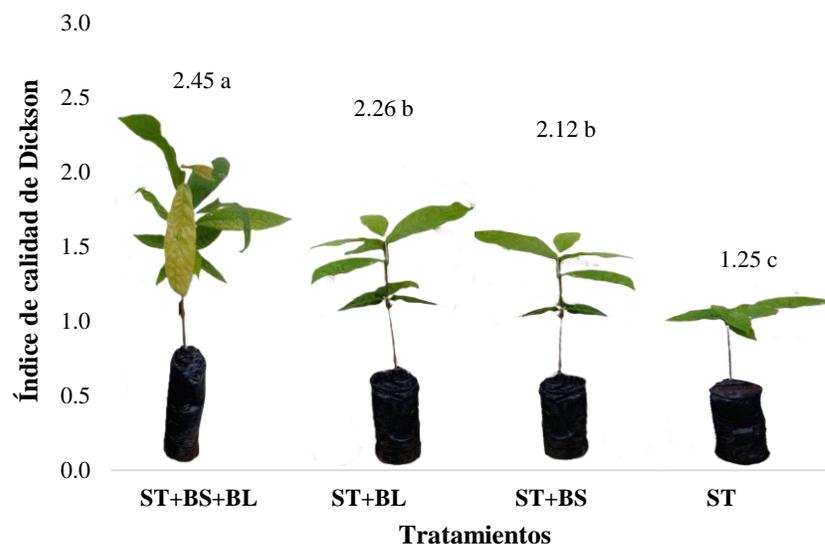


Figura 2. Comparación de medias Tukey al 5% del índice de calidad de Dickson entre los diferentes tratamientos (DMS: 0.170). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

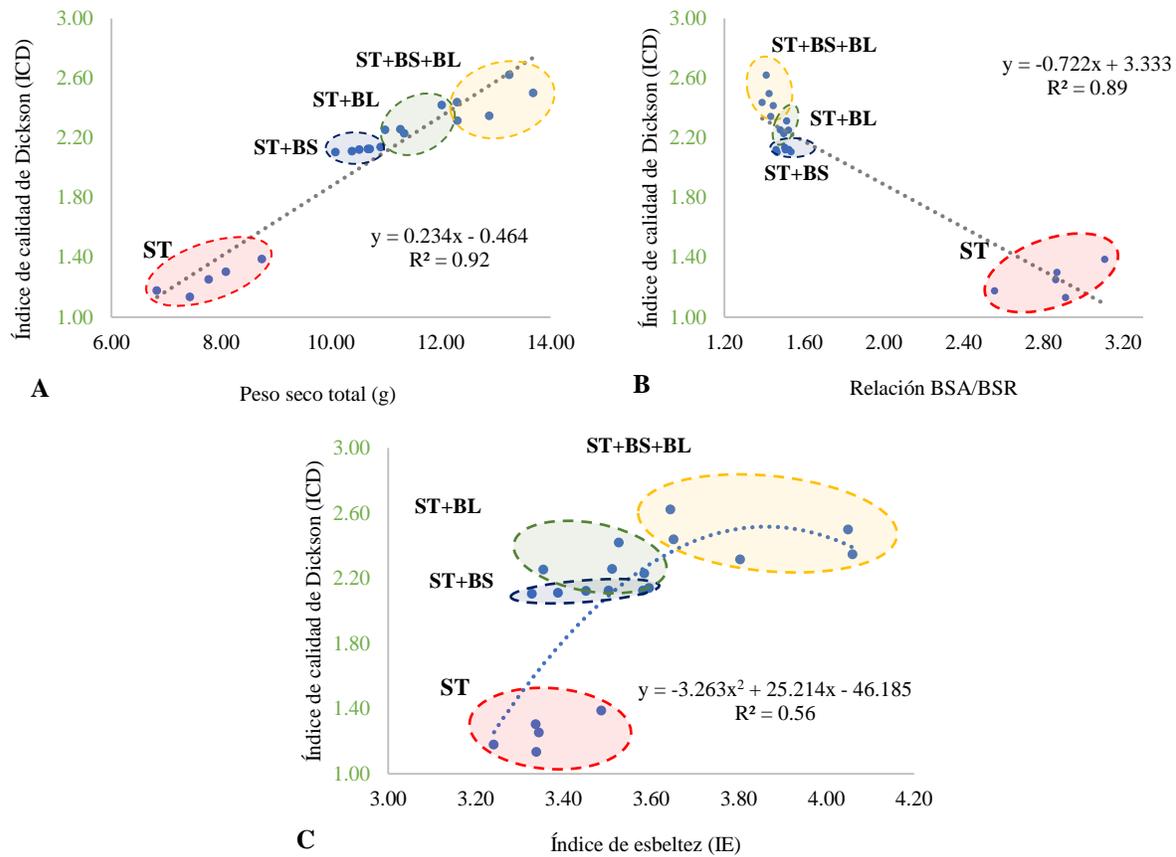


Figura 3. A. Relación entre el ICD con el peso seco total (PST), B. Relación entre ICD con la relación biomasa seca aérea / biomasa seca radicular (BSA/BSR) y C. Relación entre el ICD y el índice de esbeltez (IE) de las plántulas de cacao en base a los tratamientos aplicados en vivero.

El tratamiento ST causó bajos promedios en todas las variables morfológicas, corroborando la insuficiencia de los sustratos tradicionales para satisfacer las necesidades nutricionales de las plántulas de cacao en vivero, ya que no solo es suficiente añadir el componente orgánico como se ha demostrado en este estudio, sino de añadir poblaciones microbianas a través de biofermentos (Aracelly-López *et al.*, 2020). Por otro lado, los tratamientos ST+BS y ST+BL, aunque presentaron mejoras en comparación con ST, no lograron superar al tratamiento ST+BS+BL, lo que indica que la sinergia integrada entre biofermento sólido y líquido es funcional.

Un mayor diámetro de tallo (DT) y longitud de raíz (LR), encontrado en el tratamiento ST+BS+BL, permite la absorción de agua y nutrientes. Esto sugiere que los biofermentos, además mejoran la disponibilidad de elementos nutritivos al sustrato, estimulan el desarrollo radicular mediante la producción de fitohormonas como AIA, presente en el BL (Andrade *et al.*, 2020).

Los indicadores de calidad evaluados refuerzan el impacto positivo del tratamiento ST+BS+BL en las plántulas de cacao.

El índice de esbeltez (IE), presentó valores significativamente superiores en el tratamiento ST+BS+BL (3.84). Este parámetro es crucial en especies perennes como el cacao, ya que un crecimiento excesivo esbelto podría comprometer su estabilidad estructural. En este sentido, (Mollericonna *et al.*, 2022) reportaron valores de 12.54 en viveros con manejo tradicional, los cuales superan los obtenidos en el presente estudio. Resultados similares (3.55 y 3.78) fueron observados por Pérez-Díaz *et al.* (2023) en plántulas de cacao inoculadas con dos cepas de hongos micorrícicos arbusculares (*Glomus cubense* y *Rhizoglosum irregulare*). Dado que no existen intervalos establecidos para la calidad morfológica de plántulas de cacao, se toman como referencia los criterios mencionados por Díaz-Chuquizuta y Valdés-Rodríguez (2021), quienes indican que valores de IE menores a 6 reflejan una relación equilibrada entre altura y diámetro del tallo, asegurando plántulas

vigorosas y con mayor capacidad de adaptación a condiciones adversas.

En cuanto la relación altura de planta y longitud de raíz (AP/LR), con los tratamientos ST+BS+BL y ST+BL, se obtuvieron los valores mayores a diferencia de los demás tratamientos, al tomar el criterio de Muñoz *et al.* (2015), se aprecia que los valores obtenidos son menores a 2, lo que permite colocarlos en el criterio de alta calidad a diferencia al valor encontrado por Mollericona y Calle (2021) que fue de 3.82.

Así mismo el tratamiento ST+BS+BL permitió que las plántulas de cacao en vivero obtengan un mayor peso seco total (PST) en 90 días. Esto resalta la importancia de los grupos de bacterias y hongos en los biofermentos, liberando nutrientes como nitrógeno, fósforo y fitohormonas como el ácido indol acético, este último, producido a partir de la degradación de triptófano (Licea-Herrera *et al.*, 2020; Velasco-Jiménez *et al.*, 2020), presente en el polvillo de arroz (Kamjijam *et al.*, 2020; Jayaprakash *et al.*, 2022), utilizado como medio para la reproducción del inóculo. Esta auxina promueve el crecimiento vegetal, maximizando la producción de biomasa y la calidad de las plántulas desde las primeras etapas de desarrollo (Tanya y Leiva-Mora, 2019; Alarcon *et al.*, 2020).

Esto indicaría la acción de bacterias como *Pseudomonas* sp (Sánchez y Guerra, 2022) y otras que pertenecen al grupo de las bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo (*Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Enterobacter*) y hongos como *Trichoderma* y *Aspergillus*.

Este mismo tratamiento alcanzó la mejor relación BSA/BSR (2.86), lo que evidencia un equilibrio funcional entre las estructuras fotosintéticas y de absorción, una condición esencial para la supervivencia y adaptación en campo. Sin embargo, según los criterios de Díaz-Chuquizuta y Valdés-Rodríguez (2021), este valor se encuentra dentro de la categoría de calidad media, mientras que los demás tratamientos corresponden a una calidad alta. Aun así, este valor es inferior al reportado por Mollericona y Calle (2021), quienes registraron un índice de 3.43, y por Pérez-Díaz *et al.* (2023), cuyo valor de BSA/BSR obtenido fue mayor a 6.

El índice de calidad de Dickson (ICD), considerado uno de los indicadores más completos para evaluar la calidad de plántulas en vivero, alcanzó un valor de 2.45 en el tratamiento ST+BS+BL, superando en un 51% al sustrato tradicional (ST). Este resultado refleja un equilibrio óptimo entre biomasa aérea y radicular, en concordancia con los criterios de Díaz-Chuquizuta y Valdés-Rodríguez (2021), quienes mencionan que valores de ICD entre 0.2 y 0.4 correspondientes a plantas con calidad media. Valores similares fueron

reportados por Pérez-Díaz *et al.* (2023), quienes obtuvieron índices dentro de las categorías de calidad media y alta en plantas de cacao en vivero, lo que sugiere un mejor desempeño de las plantas tras el trasplante.

Los altos coeficientes de regresión entre ICD y la biomasa seca total (PST), así como con la relación biomasa seca aérea y biomasa seca radicular (BSA/BSR), indica que la biomasa seca (resultado de la actividad fotosintética) influye en la calidad de plantas en vivero, esto en respuesta está asociado al efecto bioestimulante de los biofermentos (Pérez-Díaz *et al.*, 2023). En el caso del IE, se aprecia que el tratamiento ST+BS+BL, alcanza valores óptimos de calidad, debido a la acción microbiana sobre la disponibilidad de nutrientes en el sustrato, ocasionando un mejor balance morfológico entre la parte aérea y radicular de las plantas. Estos hallazgos reafirman la importancia de los biofermentos como herramientas clave para mejorar la calidad de los sustratos en viveros.

CONCLUSIONES

El tratamiento ST+BS+BL mejoró la morfología y los índices de calidad de las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero, a diferencia de los tratamientos ST+BS, ST+BL y ST, siendo esto el resultado de la acción biostimulante de los biofermentos, asociado a una mejor adsorción de los nutrientes del sustrato tradicional. Por lo tanto, su uso representa una estrategia agroecológica para los propagadores de plantas de este cultivo, favoreciendo un mejor establecimiento de las plantas en campo, especialmente en regiones tropicales.

Agradecimientos

Al Personal Técnico del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público El Dorado, María Victoria Carrasco Herrera y Rosita Elena Peña Huamán, por su apoyo y aporte al desarrollo de este documento.

Funding. This research was funded by the National Institute of Agrarian Innovation through the INIA CUI project 2487112 "Improvement of research and technology transfer services in the management and recovery of degraded agricultural soils and irrigation water in small and medium-sized agriculture in the departments of Lima, Ancash, San Martín, Cajamarca, Lambayeque, Junín, Ayacucho, Arequipa, Puno and Ucayali."

Conflict of interests. The authors declare they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. The authors do not have statements in this sense for not applying.

Data availability. The data can be requested from the corresponding author.

Author contribution statement (CRediT). **P. Díaz-Chuquizuta** – Conceptualization, Investigation, Writing, original draft, Methodology. **H. Díaz-Chuquizuta** – Investigation, Supervision, Methodology. **Y.G. Arévalo-Aranda** – Formal analysis, Methodology, Project administration. **J.P. Cuevas-Gimenez**: Writing – review & editing

REFERENCES

- Alarcón, J., Recharte, D., Yanqui, F., Moreno, S. and Buendía, M., 2020. Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), pp.67–73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Andrade, M.D.C.N., Hernandez, F.D., Laredo, E.I., Ledezma, A.S., Alvarado, C.N. and Romero, J., 2020. Efecto biológico de nanopartículas cargadas con ácido indolacético microbiano en parámetros morfométricos de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), pp.507–517. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1919>
- Aracelly-López, I.D., Plaza-Avellán, I.L.F., Rivadeneira-Moreira, I.B.J., María, I.F. and Herrera-Suárez, D.C.M., 2020. Comparison of three variants of substrate preparation used in the propagation of cocoa standards. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(3), pp.37–49
- Boakye, R.G., Stanley, D.A. and White, B., 2023. Honey contamination from plant protection products approved for cocoa (*Theobroma cacao*) cultivation: A systematic review of existing research and methods. *PLOS One*, 18(10), p.e0280175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280175>
- Cargua, J.E., Luna, A.K., González, H., Cedeño, G.A. and Cedeño, Á.F., 2022. Growth and quality of arabica coffee plants with the application of biochar and biofertilizers in the nursery. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 38(1), pp.3–14. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS38-1CCJA50001>
- Corrales-Lozada, Marbil, Lumbres, Victoria, Iglesias-Osores, Sebastian, and Carreño-Farfán, Carmen. 2020. Potencialidades de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, aisladas de *Portulaca oleracea* L. en suelos con salinidad. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 93-101. Recuperado en 11 de febrero de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S0864-03942020000200093&lng=es&tlng=es
- Cortés-Patiño, S.L., Vesga-Ayala, N.P., Sigarroa-Rieche, A.K., Moreno-Rozo, L. and Cárdenas-Caro, D., 2015. Susstratos inoculados con microorganismos para el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero. *Bioagro*, 27(3), pp.151–158. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612015000300003
- De Mendiburu, F., 2023. *agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.agricolae>
- Díaz-Chuquizuta, H., Díaz-Chuquizuta, P. and Arevalo-Aranda, Y.G., 2024. Response of corn to the application of microbial consortium and its combination with biol, under dry tropic conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2), pp.070. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5246>
- Díaz-Chuquizuta, P. and Valdés-Rodríguez, O.A., 2020. Growth of mahogany seedlings (*Swietenia macrophylla* King) in response to vegetable extracts. *Agrociencia*, 54(5), pp.673–681. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2124>
- Garay-Peralta, I., Villarruel-Fuentes, M., Luna-Díaz Peón, A., Chávez-Morales, R. and Herrera-Alarcón, J., 2024. Climatic factors in the development and production of cocoa in Ursulo Galvan, Veracruz, Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, 35, p.54337. <https://doi.org/10.15517/am.2024.54337>
- Gómez, A and Ormeño, M. 2013. Selección de semilla y establecimiento de vivero para cacao. Maracay, Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. <http://sian.inia.gob.ve/pdfnpn/Seleccion%20semillas%20de%20Cacao.pdf>
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M.A. and Mercado-Flores, Y., 2022.

- Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, [online] 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Huamán, O.G., 2024. *Observatorio de COMMODITIES Cacao - MIDAGRI*. 1st ed. [online] Lima, Perú: Dirección de Estudios Económicos MIDAGRI. Available at: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6334592/5316298-commodities-cacao-n-01-2024.pdf?v=1715610268> [Accessed 4 December 2024]
- Huassaquiche, L., Moreno, P. and Jiménez, J., 2020. Characterization and evaluation of PGPR potential of the microflora associated with tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Ecología Aplicada*, 19(2), p.65. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1557>
- Imán, S. A. 2019. Manual de manejo agronómico del cultivo de cacao nativo (*Theobroma cacao* L.) en la región Loreto. 1st ed. [online] Loreto, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1065>
- Ishida, A., Ogiwara, I. and Suzuki, S., 2023. Elevated CO₂ Influences the growth, root morphology, and leaf photosynthesis of cacao (*Theobroma cacao* L.) Seedlings. *Agronomy*, 13(9), p.2264. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092264>
- Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P., Fogarasi, M. and Fogarasi, S., 2022. A narrative review on rice proteins: current scenario and food industrial application. *Polymers*, 14(15), p.3003. <https://doi.org/10.3390/polym14153003>
- Kamjijam, B., Bednarz, H., Suwannaporn, P., Jom, K.N. and Niehaus, K., 2020. Localization of amino acids in germinated rice grain: Gamma-aminobutyric acid and essential amino acids production approach. *Journal of Cereal Science*, 93, p.102958. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102958>
- Licea-Herrera, J.I., Quiroz-Velázquez, J.D.C. and Hernández-Mendoza, J.L., 2020. Impact of *Azospirillum brasilense*, a *Rhizobacterium* stimulating the production of Indole-3-Acetic Acid as the mechanism of improving plants' grow in agricultural crops. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), pp.34–39. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.5>
- Long, H. and Wasaki, J., 2023. Effects of phosphate-solubilizing bacteria on soil phosphorus fractions and supply to maize seedlings grown in lateritic red earths and cinnamon soils. *Microbes and Environments*, 38(2), p.ME22075. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME22075>
- Mohamed, R., Zainudin, B.H. and Yaakob, A.S., 2020. Method validation and determination of heavy metals in cocoa beans and cocoa products by microwave assisted digestion technique with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Food Chemistry*, 303, p.125392. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125392>
- Mollericona, M.D. and Calle, E.E., 2021. Morphometric evaluation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) and avocado (*Persiana americana* Mill) seedlings in nursery stage, Sapecho Experimental Station. *Apthapi*, 7(3), pp.2229–2235
- Mollericona, M.D., Laime, E.E. and Merma, E.A., 2022. Non-destructive estimation of the foliar area in cacao (*Theobroma cacao* L.) plantules from linear leaf measurements, Sapecho Experimental Station. *Apthapi*, 8(1), pp.2310–2319
- Muñoz, H.J., Sáenz, J.T., Coria, V.M., García, J. de J., Hernández, J. and Manzanilla, G.E., 2015. Calidad de planta en el vivero foestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(7), pp.72–89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>
- Pérez-Díaz, A., Aranda-Azaharez, R., Rivera-Espinosa, R.A., Bustamante-González, C.A. and Pérez-Suarez, Y., 2023. Quality indicators for micrografted seedlings of *Theobroma cacao* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), p.51102. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51102>
- Rahayu, Y.S. and Al-Naja, H., 2024. Role of mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria in plant uptake of essential and metal elements in heavy metal-contaminated soil. *Chapingo Serie Horticultura*, 30(2), pp.27–42. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.02.001>

- Restrepo, J. and Agredo, D. 2020. Reproducción masiva de microorganismos del bosque. In *Mierda a la carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica*. Cali, Colombia. Imágenes gráficas BIC. S.A.S. pp 121-169
- Rivera-Cruz, M.D.C., González-Mancilla, A., Almaraz-Suárez, J.J., Ortiz-García, C.F., Trujillo Narcía, A., Vázquez-López, P. and Cruz-Navarro, G., 2020. Crecimiento de *Citrangé troyer* y atributos químicos-microbiológicos del suelo en respuesta a diferentes fertilizantes orgánicos. *Terra Latinoamericana*, 38(3), pp.519–528. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.602>
- Rodríguez-Arrobo, T., Cajamarca-Crespo, K., Barreuzeta-Unda, S., Luna-Romero, A. and Villaseñor-Ortiz, D., 2023. Efectos de bioestimulantes en el crecimiento morfológico de plántulas de cacao en etapa de vivero. *Manglar*, 20(2), pp. 117-122. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.013>
- Rojas-Badía, M.M., Bello-González, M.A., Ríos-Rocafull, Y., Lugo-Moya, D. and Rodríguez Sánchez, J., 2020. Plant growth promotion of commercial vegetable crops by *Bacillus* strains. *Acta Agronómica*, 69(1), pp.54–60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>
- Ruelas-Islas, J.D.R., Romero-Félix, C.S., Mendoza-Pérez, C., Núñez-Ramírez, F., Rocha Santillano, J.J. and Ayala-Armenta, Q.A., 2022. Fósforo y *Bacillus subtilis* en absorción y remoción de micronutrientes en *Phaseolus vulgaris* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (28), pp.243–252. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3279>
- Sales-Ordoñez, G., Aguirre-Escalante, C., Cerna-Cueva, A.F., Ortega-Silva, D.S., Pérez-Hernández, V.E., Aguilar-Carazas, N.W. and Reategui-Inga, M.E., 2024. Análisis de microorganismos funcionales y su relación con parámetros físicoquímicos del suelo en un bosque reservado. *Manglar*, 21(1), pp.19–28. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.002>
- Sánchez, R. and Guerra, P., 2022. *Pseudomonas* spp. benéficas en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), pp.715-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>
- Sotomayor, A., Mejía, P., Morocho, D., Gaona, P., Viteri, P., Medina, L. and Viera, W., 2022. Microbial consortiums applied in seedling production system of avocado cultivar ‘Criollo’. *Manglar*, 19(1), pp.15–23. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.002>
- Tanya, M. and Leiva-Mora, M., 2019. Efficient microorganisms, functional properties and agricultural applications. *Centro Agrícola*, 46(2), pp.93–103
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R.C. and Rodríguez-Sahagún, A., 2020. Rhizospheric bacteria with potential benefits in agriculture. *Terra Latinoamericana*, 38(2), pp.333–345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>