

Research Article

Productividad del cacao (*Theobroma cacao* L) bajo aplicación de tres abonos orgánicos

Cocoa (*Theobroma cacao* L) Yields Under Three Organic Fertilizer Applications



Ponce-Arévalo, Lady Diana ¹



<https://orcid.org/0009-0009-2920-4553>



lady.ponce2018@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Investigador independiente.



Ruperty-Parraga, Jackson Emilio ²



<https://orcid.org/0009-0000-7021-2381>



jackson.ruperty2016@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Investigador independiente.



Vera-Saltos, Dayann Andrea ³



<https://orcid.org/0009-0003-1468-7747>



dayann.vera2014@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Investigador independiente.



Mendoza-Hidalgo Erika Daniela ⁴



<https://orcid.org/0009-0008-6476-046X>



erika.mendoza2014@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Investigador independiente.



Arechua-Pino, Katherine Fabiola ⁵



<https://orcid.org/0009-0000-7429-1267>



kathy_arechua@hotmail.com



Ecuador, Guayaquil, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/180>

Resumen: La fertilización orgánica representa una estrategia agronómica pertinente para incrementar el desempeño productivo del cacao y favorecer sistemas de manejo más sostenibles. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de Biocompost, Agrohumus y NutriEco sobre indicadores de producción en cacao (*Theobroma cacao* L.). Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: T1 Biocompost, T2 Agrohumus, T3 NutriEco y T4 control. Se analizó la composición química de NutriEco y se registraron variables productivas y económicas. Este abono presentó 1,80 % de nitrógeno, 1,50 % de fósforo, 1,00 % de potasio, 2,00 % de calcio, 0,40 % de magnesio, 6 ppm de hierro y 0,05 ppm de boro. Agrohumus sobresalió en número de mazorcas por planta y en peso fresco y seco de almendras. NutriEco alcanzó los mayores valores en longitud de almendra, peso de 100 almendras y rendimiento por hectárea. Agrohumus mostró la mejor relación beneficio/costo, lo que confirma su eficiencia productiva y económica.

Palabras clave: sostenibilidad, mazorcas, almendras, producción.



Check for updates

Recibido: 20/Feb/2026
Aceptado: 19/Mar/2026
Publicado: 31/May/2026

Cita: Ponce-Arévalo, L. D., Ruperty-Parraga, J. E., Vera-Saltos, D. A., Mendoza-Hidalgo, E. D., & Arechua-Pino, K. F. (2026). Productividad del cacao (*Theobroma cacao* L) bajo aplicación de tres abonos orgánicos. *Revista Científica Zambos*, 5(2), 123-138. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/180>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo
Revista Científica Zambos (RCZ)
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Organic fertilization is a relevant agronomic strategy for increasing cocoa yields and promoting more sustainable management systems. The objective of the study was to evaluate the effect of Biocompost, Agrohumus, and NutriEco on production indicators in cacao (*Theobroma cacao* L.). A completely randomized block design was used with four treatments: T1 Biocompost, T2 Agrohumus, T3 NutriEco, and T4 control. The chemical composition of NutriEco was analyzed, and production and economic variables were recorded. This fertilizer contained 1.80% nitrogen, 1.50% phosphorus, 1.00% potassium, 2.00% calcium, 0.40% magnesium, 6 ppm iron, and 0.05 ppm boron. Agrohumus excelled in the number of ears per plant and in the fresh and dry weight of almonds. NutriEco achieved the highest values for almond length, weight of 100 almonds, and yield per hectare. Agrohumus showed the best cost-benefit ratio, confirming its productive and economic efficiency.

Keywords: sustainability, ears, almonds, production

1. Introducción

La producción cacaotera mantiene una relevancia estratégica para las economías tropicales, tanto por su aporte comercial como por su función social en territorios donde miles de familias dependen de este cultivo como fuente principal de ingresos. El cacao (*Theobroma cacao* L.) se reconoce como un rubro de alto valor económico y social a escala global y nacional, especialmente en países tropicales con amplia participación de pequeños productores (Curo, 2023). En Ecuador, su importancia trasciende el ámbito agrícola, debido a su vínculo histórico con la economía nacional y con los procesos de inserción del país en los mercados internacionales. Junto con el banano y el petróleo, el cacao forma parte de los principales productos de exportación ecuatorianos y constituye un componente relevante de su integración con la economía global (Abad, 2020).

Pese a su importancia, la producción de cacao enfrenta limitaciones asociadas al manejo agronómico convencional, especialmente en zonas donde predomina la aplicación continua de fertilizantes químicos para sostener los niveles de rendimiento. En el cantón Quinindé, particularmente en el recinto Santa Elvira, esta dependencia se relaciona con prácticas que pueden afectar progresivamente la fertilidad natural del suelo y su estructura física. Esta problemática coincide con lo señalado por Cotrina-Cabello et al. (2020), quienes advierten que el uso indiscriminado de fertilizantes puede alterar la estructura y composición edáfica, incrementar la salinidad y reducir la disponibilidad de recursos minerales esenciales para los cultivos.

Frente a esta situación, los abonos orgánicos constituyen una alternativa agronómica de interés para mejorar las condiciones del suelo y reducir los efectos negativos

derivados del manejo químico intensivo. Su aporte no se limita al suministro de nutrientes, sino que también contribuye al incremento de la materia orgánica, al mejoramiento de la estructura del suelo y al fortalecimiento de la actividad microbiana, factores relacionados con una mayor disponibilidad de elementos esenciales para las plantas (Singh et al., 2020). De manera complementaria, Liu et al. (2024) sostienen que los abonos orgánicos favorecen la productividad agrícola, la calidad de los cultivos y la sostenibilidad ambiental, especialmente cuando se integran con fertilizantes sintéticos en proporciones adecuadas, lo que permite potenciar beneficios sobre el suelo, las plantas y el ambiente.

La incorporación de fuentes orgánicas de fertilización también se vincula con los principios de la agricultura sostenible, al promover incrementos productivos sin comprometer el equilibrio ecológico de los agroecosistemas (Canseco et al., 2020). Estos insumos mejoran la calidad del suelo en el largo plazo, aportan nutrientes esenciales y reducen la dependencia de productos sintéticos, con efectos favorables sobre la conservación de los recursos naturales. Además, se ha reportado que su aplicación puede contribuir a mitigar procesos asociados al cambio climático, mediante la reducción de la acidificación del suelo, el aumento de la materia orgánica y de los nutrientes disponibles, la estimulación de actividades enzimáticas y el favorecimiento de comunidades microbianas beneficiosas (Song et al., 2022).

Aunque los fertilizantes químicos presentan mayor solubilidad y rápida disponibilidad para las plantas, su aplicación inadecuada puede generar desequilibrios en el sustrato, como acidificación, degradación y pérdida progresiva de calidad edáfica. En contraste, los sistemas de fertilización orgánica pueden mostrar respuestas variables, determinadas por las condiciones edafoclimáticas, el tipo de abono utilizado y las prácticas de manejo aplicadas en campo (Gamboa, 2021). En el caso del cacao, la adopción de alternativas orgánicas adquiere mayor relevancia debido a la necesidad de mejorar el rendimiento y la calidad de las cosechas bajo criterios de sostenibilidad. El Plan Estratégico del Cacao Fino y de Aroma destaca la importancia de incorporar tecnologías agroecológicas que permitan elevar la productividad y calidad del cacao, promoviendo prácticas menos dependientes de fertilizantes y pesticidas químicos (Pesantez & Cabrera, 2021).

Con base en lo expuesto, la presente investigación se desarrolló en el recinto Santa Elvira, cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas, con el objetivo de evaluar el efecto de tres abonos orgánicos sobre indicadores productivos del cultivo de cacao. El estudio se orientó al análisis de variables asociadas al rendimiento de mazorcas, características de las almendras y productividad del cultivo, con el propósito de determinar la contribución de cada fuente orgánica en condiciones de manejo sostenible.

2. Metodología

Área de estudio

El estudio se desarrolló en una plantación de cacao ubicada en el recinto Santa Elvira, km 206, sector Rosa Zárate, cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas, Ecuador. El sitio fue seleccionado por presentar condiciones agroecológicas representativas para el cultivo de cacao en la zona, lo que permitió evaluar el comportamiento productivo de las plantas bajo la aplicación de diferentes fuentes de fertilización orgánica. El ensayo se ejecutó en condiciones de campo, en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de tres años.

Diseño experimental y tratamientos

La investigación fue de tipo experimental y evaluó el efecto de tres abonos orgánicos sobre indicadores productivos del cultivo de cacao. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y seis repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por seis plantas, con un total de 36 plantas por tratamiento y 144 plantas en todo el ensayo.

Los tratamientos evaluados fueron: T1, Biocompost, aplicado en dosis de 2500 kg ha⁻¹; T2, Agrohumus, aplicado en dosis de 3 L ha⁻¹; T3, NutriEco, abono orgánico artesanal aplicado en dosis de 3 L ha⁻¹; y T4, agua, considerado como tratamiento control. El modelo estadístico utilizado fue: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$, donde Y_{ij} corresponde al valor observado, μ a la media general, τ_i al efecto del i -ésimo tratamiento, β_j al efecto del j -ésimo bloque y ε_{ij} al error experimental.

Manejo agronómico del experimento

Para el establecimiento del ensayo se delimitaron parcelas experimentales de 324 m² por tratamiento, distribuidas de acuerdo con el diseño experimental planteado. El abono artesanal NutriEco fue elaborado mediante fermentación anaeróbica, siguiendo procedimientos tradicionales empleados en la preparación de bioles. Para su formulación se utilizaron hojas de guayaba, hojas y frutos de aguacate, vinagre de guineo, melaza, pollinaza y agua. Este proceso permitió obtener un biofertilizante líquido de origen orgánico, destinado a aportar nutrientes y compuestos favorables para el desarrollo del cultivo.

Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron antes del inicio del periodo de floración y posteriormente a los 30, 60, 90 y 120 días. El Biocompost se aplicó de forma edáfica, mientras que Agrohumus y NutriEco fueron suministrados por vía foliar mediante una bomba pulverizadora. Durante el ciclo experimental se efectuó control de arvenses con guadaña, con el propósito de reducir la competencia por agua, luz y nutrientes. El riego se aplicó tres veces por semana mediante aspersion, considerando las condiciones climáticas del recinto Santa Elvira y la demanda hídrica del cacao. El manejo fitosanitario consistió en podas sanitarias leves en la zona de la corona cada cuatro meses, con el fin de disminuir la incidencia de plagas y enfermedades.

El muestreo de suelo se realizó en las unidades experimentales mediante toma aleatoria a 15 cm de profundidad. Se recolectaron quince submuestras para conformar una muestra compuesta de 1 kg, la cual fue colocada en fundas de papel debidamente rotuladas y enviada al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Quevedo, para el análisis de macro y micronutrientes, pH y materia orgánica. Además, se tomó una muestra de 1 L del abono artesanal NutriEco en un envase plástico esterilizado, la cual fue remitida al mismo laboratorio para la determinación de su composición química.

La cosecha se realizó de forma manual cuando las mazorcas alcanzaron su madurez fisiológica, identificada mediante cambios visibles en color, tamaño y firmeza. Posteriormente, se procedió a la extracción de almendras y al registro de las variables productivas establecidas para el estudio.

Variables evaluadas

Los indicadores productivos fueron evaluados con base en una metodología modificada. El número de mazorcas por planta se determinó mediante conteo directo en 30 plantas seleccionadas aleatoriamente durante el periodo de evaluación. Para el número de almendras por mazorca, se realizó el conteo directo de las almendras presentes en las mazorcas muestreadas y se calculó el promedio correspondiente por tratamiento.

El peso fresco de almendras se determinó a partir de 25 mazorcas seleccionadas al azar de las plantas evaluadas. Las almendras fueron extraídas y pesadas en una balanza digital Sartorius de 2 kg \pm 1 g. Para el peso seco, las almendras fueron colocadas en una estufa Memmert a 60 °C durante 72 horas, hasta alcanzar peso constante. El tamaño de almendras se evaluó mediante mediciones de largo y ancho con un calibrador digital Traceable® Digital Calipers, con precisión de 0,01 mm. También se determinó el peso de 100 almendras seleccionadas aleatoriamente por tratamiento, utilizando la misma balanza digital.

El rendimiento se estimó en toneladas de cacao en grano seco por hectárea. Para ello, se consideró el 40 % del peso fresco del cacao como factor de conversión a peso seco, multiplicando el peso fresco por planta por 0,40 y proyectando el resultado a escala de hectárea.

Análisis económico y estadístico

El análisis económico se efectuó considerando los costos asociados a cada tratamiento y los ingresos generados por la producción obtenida. La relación beneficio/costo se calculó mediante la fórmula utilizada por Castillo (2020): $B/C = IB/CTP$, donde IB corresponde al ingreso bruto y CTP al costo total de producción.

Los datos fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk para verificar normalidad y a la prueba de Bartlett para comprobar homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza y, cuando se detectaron diferencias significativas, las

medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Además, se aplicó correlación de Pearson para examinar asociaciones lineales entre variables agronómicas. La similitud multivariable entre tratamientos se exploró mediante análisis de clúster jerárquico, utilizando el método de Ward y distancia euclidiana. También se realizó un análisis de componentes principales para identificar patrones de agrupamiento entre tratamientos y variables evaluadas. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron en RStudio versión 2024.12.0.467, utilizando el lenguaje R versión 4.3.2.

3. Resultados

3.1. Composición química del abono artesanal NutriEco

El abono líquido foliar artesanal NutriEco presentó una composición nutricional integrada por macro, meso y micronutrientes, expresados en porcentaje y ppm según el elemento evaluado. Entre los macronutrientes, se registraron concentraciones de nitrógeno 1,80 %, fósforo 1,50 % y potasio 1 %, valores que evidencian su potencial como complemento nutricional en el cultivo de cacao. El nitrógeno y el fósforo pueden favorecer procesos asociados al crecimiento vegetativo y la floración, mientras que el potasio cumple un papel relevante en el llenado de frutos y en la respuesta de la planta frente a condiciones de estrés. En los nutrientes secundarios, destacaron el calcio 2 %, azufre 0,20 % y magnesio 0,40 %, relacionados con la estabilidad celular, la síntesis proteica y la actividad fotosintética. Respecto a los micronutrientes, se identificaron contenidos de boro 0,05 ppm, zinc 3 ppm, cobre 0,01 ppm, hierro 6 ppm y manganeso 2 ppm (Tabla 1).

Tabla 1

Concentración de macro y micronutrientes de NutriEco (%)

Abono	Concentraciones (%)						ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
NutriEco	1,80	1,50	1,00	2,00	0,40	0,20	0,05	3	0,01	6	2

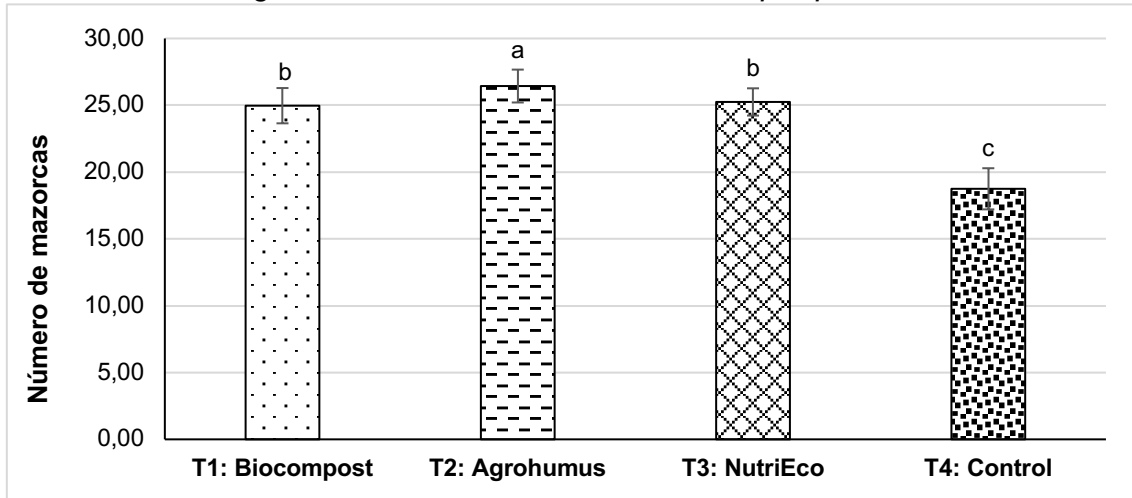
Nota: N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; S: Azufre; B: Boro; Zn: Zinc; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeso (Autores, 2026).

3.2. Número de mazorca

En el número de mazorcas por planta se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Agrohumus alcanzó el mayor promedio, con 26,44 mazorcas por planta, y superó estadísticamente a Biocompost y NutriEco, cuyos valores fueron de 24,97 y 25,25 mazorcas, respectivamente. Sin embargo, entre estos dos últimos tratamientos no se registraron diferencias significativas. La aplicación de abonos orgánicos incrementó esta variable frente al control, que obtuvo el menor promedio, con 18,75 mazorcas por planta, evidenciando una respuesta productiva favorable del cacao bajo fertilización orgánica (Figura 1).

Figura 1

Efecto de abonos orgánicos en el número de mazorcas por planta de cacao



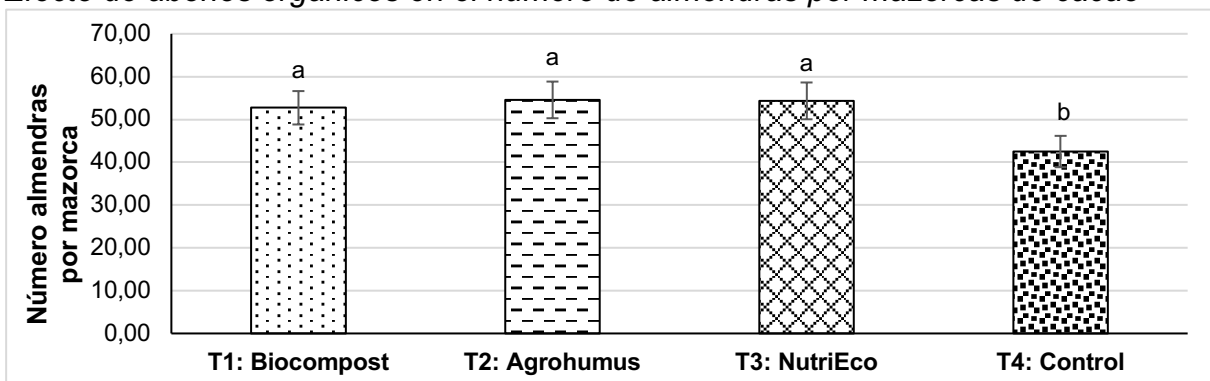
Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

3.3. Número de almendras por mazorca

El número de almendras por mazorca fue similar entre los tratamientos con abonos orgánicos. Biocompost, Agrohumus y NutriEco registraron promedios de 52,72; 54,56 y 54,33 almendras por mazorca, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos ($p > 0,05$). En contraste, el control presentó el menor valor, con 42,50 almendras por mazorca, y difirió significativamente de los tratamientos fertilizados ($p < 0,05$). Estos resultados evidencian que la aplicación de abonos orgánicos favoreció una mayor formación de almendras por fruto en cacao CCN-51, en comparación con las plantas sin fertilización orgánica (Figura 2).

Figura 2

Efecto de abonos orgánicos en el número de almendras por mazorcas de cacao



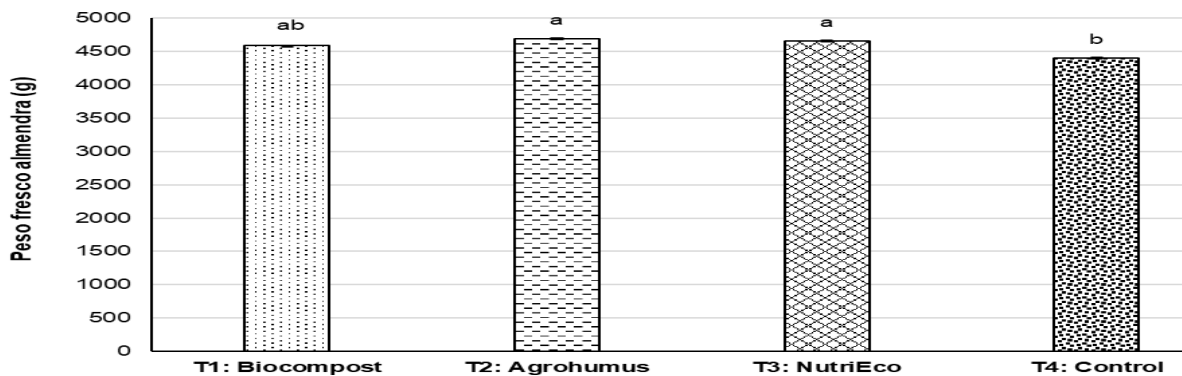
Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

3.4. Peso fresco de las almendras

El peso fresco de almendras en 25 mazorcas presentó variaciones entre tratamientos. Agrohumus alcanzó el mayor promedio, con 4695,45 g, aunque no difirió estadísticamente de Biocompost y NutriEco, que registraron 4590,91 g y 4663,64 g, respectivamente ($p > 0,05$). El control obtuvo el menor valor, con 4404,55 g, y mostró

diferencias significativas frente a Agrohumus y NutriEco ($p < 0,05$), pero no respecto a Biocompost (Figura 3).

Figura 3
Efecto de abonos orgánicos en el peso fresco de almendras de 25 mazorcas de cacao

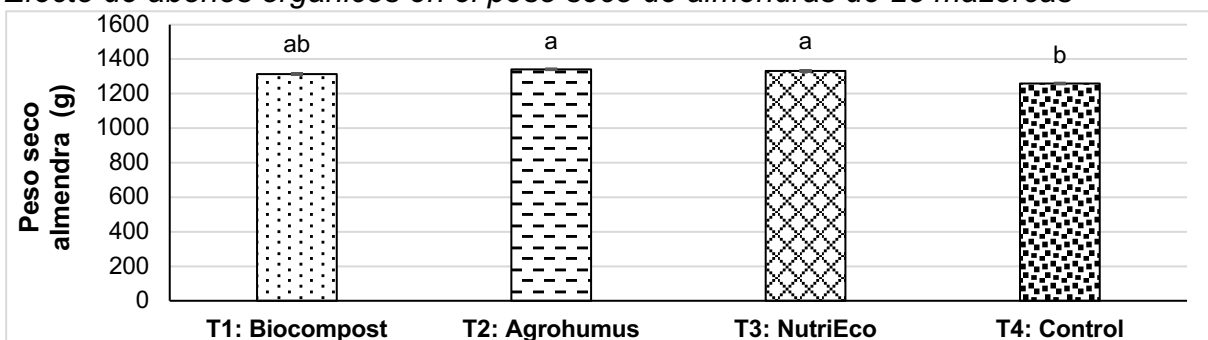


Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

3.5. Peso seco de las almendras

El peso fresco de almendras en 25 mazorcas presentó variaciones entre tratamientos. Agrohumus alcanzó el mayor promedio, con 4695,45 g, aunque no difirió estadísticamente de Biocompost y NutriEco, que registraron 4590,91 g y 4663,64 g, respectivamente. El control obtuvo el menor valor, con 4404,55 g, y mostró diferencias significativas frente a Agrohumus y NutriEco ($p < 0,05$), pero no respecto a Biocompost. La aplicación de abonos orgánicos favoreció el incremento del peso fresco de almendras en comparación con las plantas sin aplicación (Figura 3).

Figura 4
Efecto de abonos orgánicos en el peso seco de almendras de 25 mazorcas



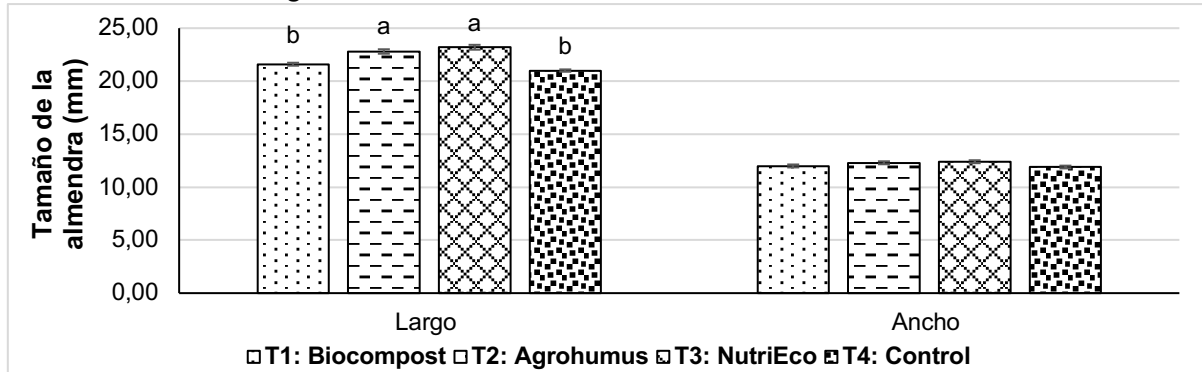
Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

3.6. Tamaño de la almendra

La longitud de las almendras mostró diferencias significativas entre tratamientos. NutriEco y Agrohumus alcanzaron los mayores promedios, con 23,20 mm y 22,80 mm, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ambos ($p > 0,05$). Estos tratamientos superaron significativamente a Biocompost y al control, cuyos valores fueron de 21,60 mm y 21,00 mm, respectivamente ($p < 0,05$). En contraste, el ancho

de las almendras no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), con promedios que variaron entre 11,90 y 12,87 mm. La fertilización orgánica influyó principalmente sobre la longitud de la almendra, mientras que el ancho se mantuvo relativamente estable entre los tratamientos evaluados (Figura 5).

Figura 5
Efecto de abonos orgánicos en el tamaño de la almendra de cacao

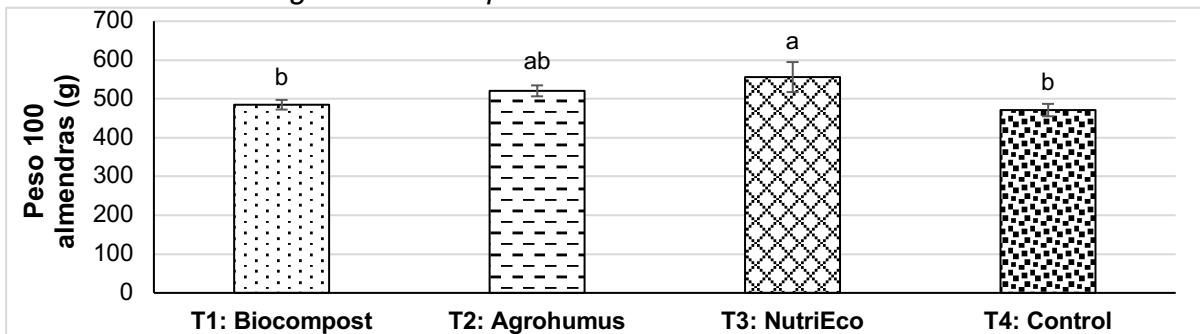


Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

3.7. Peso de 100 almendras

El tratamiento T3 (NutriEco) presentó el mayor peso promedio de 100 almendras (565,00 g), mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto a T1 (Biocompost) y T4 (Control), cuyos promedios fueron de 484,75 g y 471,00 g, respectivamente. Por su parte, el tratamiento T2 (Agrohumus) alcanzó un valor intermedio (520,50 g), sin diferencias estadísticas significativas con T3, pero sí diferente respecto al tratamiento control (Figura 6).

Figura 6
Efecto de abonos orgánicos en el peso de 100 almendras de cacao



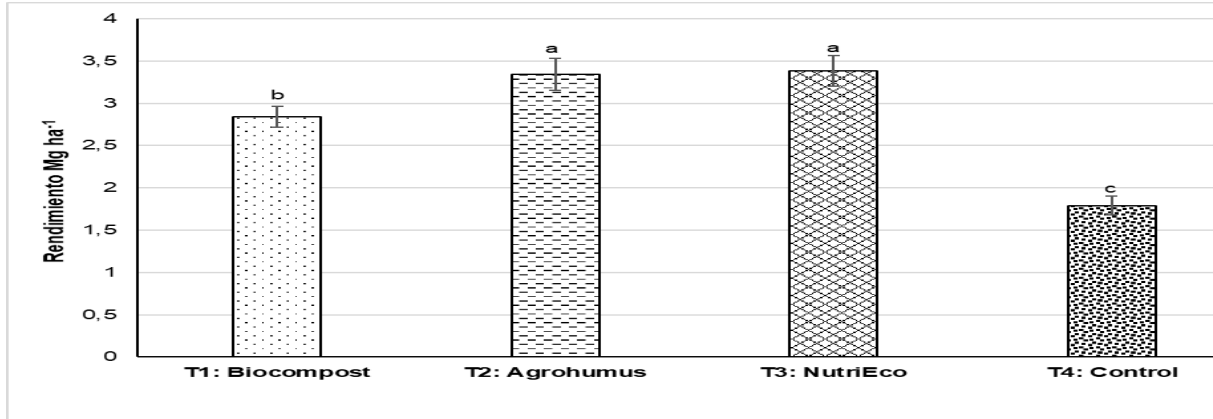
Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

3.8. Rendimiento

El rendimiento presentó diferencias significativas entre tratamientos. NutriEco registró el mayor promedio, con $3,38 \text{ Mg ha}^{-1}$, sin diferir estadísticamente de Agrohumus, que alcanzó $3,34 \text{ Mg ha}^{-1}$. Ambos tratamientos superaron significativamente a Biocompost, cuyo rendimiento fue de $2,84 \text{ Mg ha}^{-1}$. El control mostró el menor valor, con $1,79 \text{ Mg ha}^{-1}$, y difirió estadísticamente de todos los tratamientos con aplicación

de abonos orgánicos ($p < 0,05$). Los mayores rendimientos se registraron en NutriEco y Agrohumus, seguidos por Biocompost y el control (Figura 7).

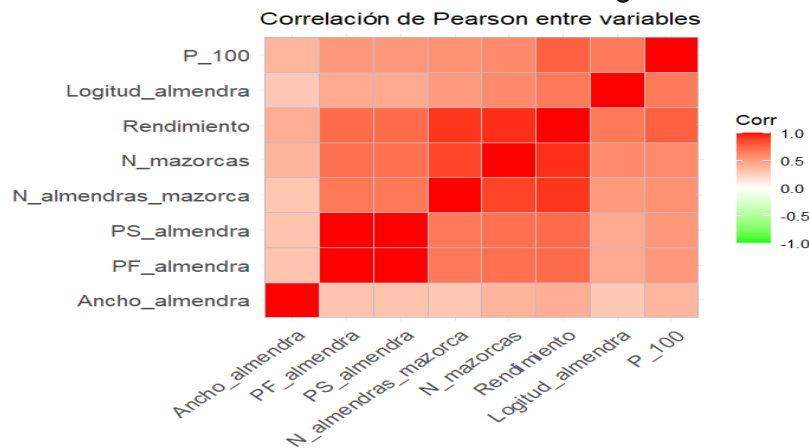
Figura 7
Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento de cacao



Nota: Medias con letras iguales en las columnas no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0.05$). \pm Desviación estándar (Autores, 2026).

La matriz de correlación de Pearson mostró asociaciones positivas entre las variables morfoagronómicas evaluadas en cacao. Las correlaciones más altas se registraron entre el peso seco y el peso fresco de almendras, así como entre el número de almendras por mazorca y el rendimiento. El número de mazorcas por planta también presentó relación positiva con el rendimiento. Las dimensiones de la almendra, longitud y ancho evidenciaron asociaciones moderadas con variables de peso y número. La intensidad del color rojo representa mayor fuerza de correlación positiva (Figura 8).

Figura 8
Matriz de correlación de Pearson entre variables morfo-agronómicas

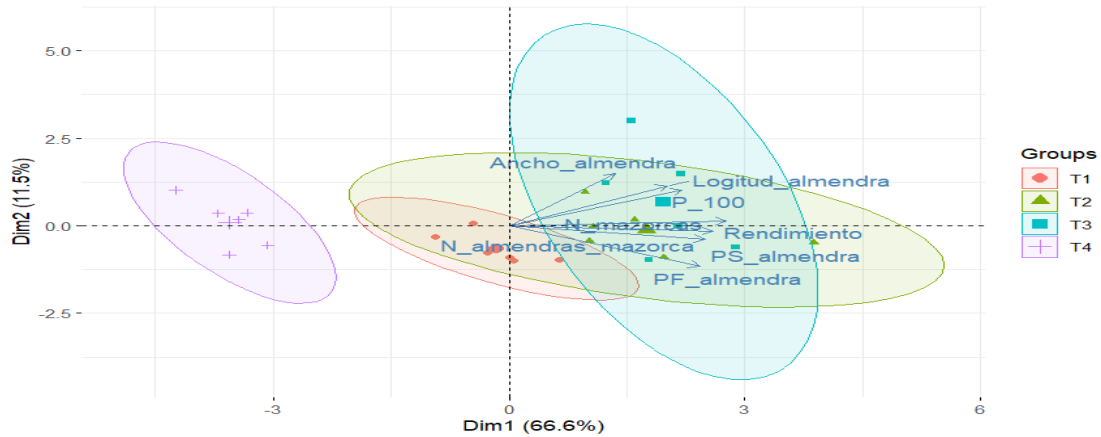


Nota: (Autores, 2026).

El análisis de componentes principales mostró que los dos primeros componentes explicaron el 78,1 % de la variabilidad total, con 66,6 % en Dim1 y 11,5 % en Dim2. Las elipses de confianza al 95 % evidenciaron una separación espacial del control frente a los tratamientos con abonos orgánicos. Las variables longitud de almendra, peso fresco, peso seco y peso de 100 almendras se asociaron positivamente con

Dim1. En cambio, el número de almendras por mazorca y el número de mazorcas se ubicaron cerca del origen (Figura 9).

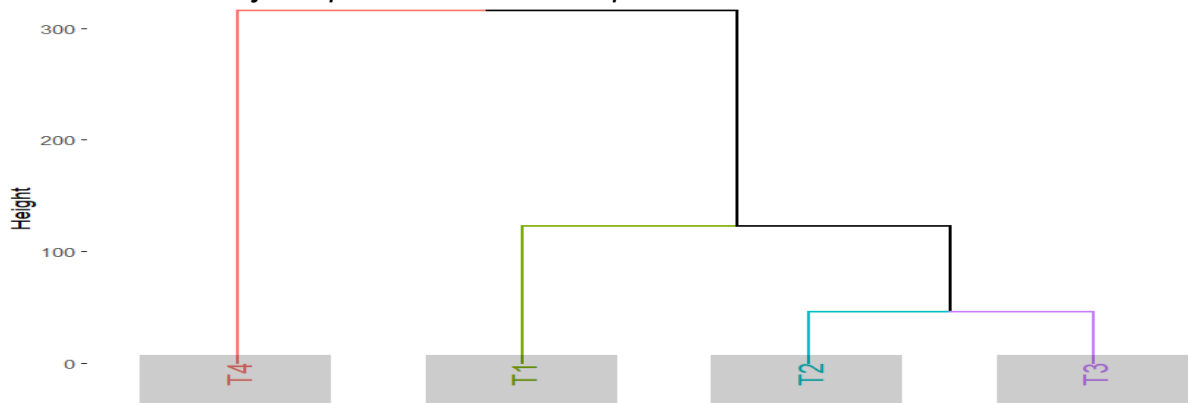
Figura 9
Biplot del análisis de componentes principales (PCA) para tratamientos y variables



Nota: Las elipses representan la dispersión de cada tratamiento, mientras que las flechas indican la dirección y magnitud de la contribución de cada variable (Autores, 2026).

El dendrograma agrupó los tratamientos según su similitud multivariable, mediante el método de Ward y distancia euclidiana. Agrohumus y NutriEco presentaron la mayor cercanía, lo que refleja patrones agronómicos similares entre ambos tratamientos. Biocompost se ubicó en una posición intermedia, mientras que el control mostró mayor distancia respecto a los tratamientos orgánicos. Esta separación evidencia diferencias en el comportamiento multivariable de los tratamientos, especialmente entre las plantas fertilizadas y aquellas sin aplicación de abonos orgánicos, considerando el rendimiento y las características evaluadas en el cultivo de cacao local (Figura 10).

Figura 10
Análisis de clúster jerárquico basado en los promedios de las variables



Nota: El dendrograma fue generado utilizando el método de agrupamiento jerárquico de Ward (ward.D2) y distancia euclidiana (Autores, 2026).

3.9. Análisis económico

El análisis económico mostró diferencias entre los tratamientos evaluados. Agrohumus presentó el mejor desempeño económico, con una relación beneficio/costo de 3,90 y una rentabilidad de 290,37 %, asociado a un rendimiento de

3,34 Mg ha⁻¹. NutriEco registró el mayor rendimiento físico, con 3,38 Mg ha⁻¹, y alcanzó una relación beneficio/costo de 3,82, con una rentabilidad de 281,55 %. En contraste, el control obtuvo los valores más bajos, con un rendimiento de 1,79 Mg ha⁻¹, una relación beneficio/costo de 1,99 y una rentabilidad de 99,44 % (Tabla 2).

Tabla 2

Análisis económico de la producción de cacao CCN-51 por hectárea

Tratamientos	Rendimiento (Mg/ha)	Ingreso bruto (\$)	Costo/tratamiento (\$)	Beneficio neto (\$)	Relación beneficio costo	Rentabilidad (%)
T1: Biocompost	2,84	5621,76	1638,80	3982,96	3,43	243,04
T2: Agrohumus	3,34	6436,35	1648,80	4787,55	3,90	290,37
T3: NutriEco	3,38	6443,62	1688,80	4754,82	3,82	281,55
T4: Control	1,79	3069,04	1538,80	1530,24	1,99	99,44

Nota: (Autores, 2026).

4. Discusión

La aplicación de abonos orgánicos generó respuestas diferenciadas en el cultivo de cacao, tanto en los indicadores productivos como en el rendimiento y la rentabilidad económica. Las variaciones observadas entre tratamientos muestran que el tipo de bioinsumo, su composición nutricional y su forma de aplicación pueden incidir de manera distinta sobre el desempeño agronómico del cultivo, especialmente al compararlos con plantas mantenidas sin fertilización orgánica.

El biol artesanal NutriEco presentó una composición propia de los bioinsumos líquidos fermentados, con nitrógeno 1,80 %, fósforo 1,50 %, potasio 1 %, calcio 2 %, magnesio 0,40 % y azufre 0,20 %, además de micronutrientes como boro, zinc, cobre, hierro y manganeso. Esta composición integra elementos asociados con procesos fisiológicos esenciales, como crecimiento vegetativo, floración, llenado de frutos, fotosíntesis y estabilidad celular. Zhou et al. (2022) señalan que los bioles constituyen biofertilizantes líquidos ricos en nutrientes, cuya composición depende de los materiales empleados y del proceso de fermentación. De forma similar, Rojas-Pérez et al. (2020) reportaron que los bioles elaborados a partir de estiércol bovino presentaron mayores contenidos de NPK frente al té de compost, aunque fueron superados por el lixiviado de lombriz.

En los indicadores productivos, Agrohumus y NutriEco mostraron un mejor comportamiento respecto al control, principalmente en número de mazorcas por planta, número de almendras por mazorca, peso fresco y peso seco de almendras. Esta respuesta puede relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes y con el aporte de compuestos orgánicos que favorecen la actividad fisiológica de las plantas. En el caso de Agrohumus, su contenido de humatos, ácidos fúlvicos y enzimas pudo favorecer la absorción de macro y micronutrientes, contribuyendo al desarrollo reproductivo del cacao. Este comportamiento es comparable con lo informado por Alvarado & Ramos (2024), quienes observaron que la aplicación

conjunta de humus de lombriz y extracto de algas marinas incrementó la intensidad de floración, el número de mazorcas y el peso promedio de almendras en cacao CCN-51.

La respuesta obtenida presenta coincidencias parciales con Barrezueta et al. (2022), quienes evaluaron biocarbón combinado con humus y no encontraron diferencias estadísticas en variables como número de mazorcas sanas, porcentaje de sanidad y mazorcas enfermas. Sin embargo, dichos autores sí registraron mejoras frente al control en el peso de 100 semillas secas, aspecto que se relaciona con lo observado en este trabajo, donde los tratamientos orgánicos presentaron valores favorables en variables vinculadas con la calidad física del grano.

El mejor desempeño de los tratamientos orgánicos frente al control respalda el potencial de estos insumos dentro de estrategias de manejo sostenible en cacao. Ampong et al. (2022) sostienen que el uso de humus mejora la estructura del suelo, la retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico, además de estimular la microbiota beneficiosa. A su vez, Shao et al. (2023) indican que los bioles, aplicados solos o combinados con fertilizantes minerales, pueden mejorar la germinación, el crecimiento y el rendimiento en cultivos como maíz, trigo, papa y arroz. Rewe et al. (2021) también reportaron incrementos en el contenido nutricional de los granos y en la calidad de la cosecha mediante el uso de abonos orgánicos.

En cuanto al rendimiento por hectárea, NutriEco y Agrohumus alcanzaron los valores más altos, lo que sugiere un mejor aprovechamiento de los nutrientes aportados por estas fuentes orgánicas. El rendimiento obtenido con NutriEco puede asociarse con su aporte equilibrado de macro y micronutrientes, mientras que el desempeño de Agrohumus podría vincularse con la acción de sustancias húmicas sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes. Canellas et al. (2023) reportaron incrementos de hasta 70 % en el rendimiento de cultivos como yuca y okra mediante el uso de humus y sustancias húmicas. Asimismo, Alvarado & Ramos (2024) registraron aumentos en el rendimiento de cacao con aplicaciones de humus y extracto de algas, alcanzando 1.785 kg ha^{-1} frente a 1.121 kg ha^{-1} en el grupo control.

El incremento en variables asociadas al peso y tamaño de las almendras coincide con lo indicado por García-Trejo et al. (2023), quienes señalan que las prácticas orgánicas y el manejo sostenible del suelo pueden mejorar el tamaño y peso de mazorcas y almendras, con efectos positivos sobre el rendimiento. No obstante, estos autores advierten que otras características, como el color de la mazorca y la dureza del grano, pueden mantenerse sin alteraciones relevantes. Jindo et al. (2020) refuerzan esta interpretación al sostener que el uso de humus y biol mejora la fertilidad y estructura del suelo, estimula el desarrollo vegetativo y favorece el rendimiento y la calidad de las cosechas, por lo que estos insumos representan herramientas importantes para una agricultura más sostenible.

Desde el punto de vista económico, Agrohumus se posicionó como el tratamiento más rentable, al presentar la mayor relación beneficio/costo y la rentabilidad más alta. Este

comportamiento puede explicarse por su eficiencia productiva y por un menor costo relativo de aplicación. NutriEco, aunque registró el mayor rendimiento físico, fue ligeramente superado por Agrohumus en rentabilidad, posiblemente debido a los costos asociados con su elaboración artesanal, incluidos materiales, tiempo y mano de obra. El control presentó los menores beneficios económicos, lo que confirma que la ausencia de fertilización orgánica limitó tanto el rendimiento como la eficiencia financiera del cultivo.

La respuesta económica observada coincide con Gu et al. (2020), quienes señalaron que el uso de abonos orgánicos incrementó los ingresos netos anuales entre 1,42 y 1,46 veces respecto a sistemas sin fertilización orgánica. De manera complementaria, Li et al. (2024) reportaron que cada tonelada de estiércol puede sustituir hasta 4,1 kg de nitrógeno sintético, reduciendo la dependencia de insumos externos y elevando la rentabilidad en 10,2 %. Bajo estas condiciones, Agrohumus y NutriEco se perfilan como alternativas agronómicas y económicas viables para mejorar la productividad del cacao CCN-51, con potencial de integración en sistemas de manejo sostenible y de menor impacto ambiental.

5. Conclusiones

La caracterización del abono artesanal NutriEco evidenció un perfil nutricional favorable, con presencia de macro y micronutrientes relevantes para el desarrollo del cacao, entre ellos potasio, calcio, hierro y boro, lo que respalda su uso como biofertilizante líquido dentro de esquemas de manejo orgánico. La aplicación de abonos orgánicos mejoró los principales indicadores productivos del cultivo, especialmente con Agrohumus y NutriEco, tratamientos que registraron mayores valores en número de mazorcas, formación de almendras, peso fresco y seco, y características morfológicas del grano frente al control. El rendimiento agrícola también fue superior con estas fuentes orgánicas, lo que evidencia una mejor respuesta del cultivo al suministro de nutrientes y sugiere que estos bioinsumos pueden integrarse como alternativas viables para reducir la dependencia de fertilizantes químicos en sistemas cacaoteros. Desde el punto de vista económico, Agrohumus presentó la mayor rentabilidad y relación beneficio/costo, seguido por NutriEco, que alcanzó el mayor rendimiento físico. Los hallazgos muestran que la fertilización orgánica contribuye a mejorar la productividad, la calidad del grano y la eficiencia económica del cacao, bajo un enfoque sostenible y de menor impacto ambiental.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abad Acuña, A. (2020). *El cacao en la Costa ecuatoriana: Estudio de su dimensión cultural y económica*. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, 7, 59–83. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>
- Alvarado, H., & Ramos, R. (2024). *Impacto del humus de lombriz y algas marinas en la producción de cacao CCN-51 (Theobroma cacao L.)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 90 pp.
- Ampong, K., Thilakarathna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, Article 848621. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Barrezueta Unda, S., Rizzo Muñoz, J., & Añazco Loaiza, H. (2022). Efecto del uso de abono orgánico con biocarbón sobre las características morfológicas de mazorca de *Theobroma cacao* cv. CCN51. *Ciencia y Agricultura*, 19(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n2.2022.14265>
- Canellas, L. P., Canellas, N. O. A., da Silva, R. M., Spaccini, R., Mota, G. P., & Olivares, F. L. (2023). Biostimulants using humic substances and plant-growth-promoting bacteria: Effects on cassava and okra yield. *Agronomy*, 13(1), Article 80. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010080>
- Canseco Martínez, D. A., Villegas Aparicio, Y., Castañeda Hidalgo, E., Carrillo Rodríguez, J. C., Robles, C., & Santiago Martínez, G. M. (2020). Response of *Coffea arabica* L. to the application of organic fertilizers and biofertilizers. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1285–1298. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2612>
- Cotrina-Cabello, V. R., Alejos-Patiño, I. W., Cotrina-Cabello, G. G., Córdova-Mendoza, P., & Córdova-Barrios, I. C. (2020). Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. *Centro Agrícola*, 47(2), 31-40.
- Curo Fernandez, Y. (2023). *Abonos orgánico e inorgánico en el rendimiento y rentabilidad de dos clones de cacao (Theobroma cacao L.) Puerto Mayo, 556 msnm - Pichari, La Convención* [Tesis de grado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5640>
- Gamboa Santillán, A. D., & Hernández Irán, A. (2021). *Efecto de la aplicación de dos abonos orgánicos, con microorganismos eficientes en la producción de cacao CCN-51 y su contribución económica en los productores agrícolas del recinto Islas de Río Chico* [Tesis de maestría]. Universidad de Guayaquil. <https://redi.cedia.edu.ec/document/166436>
- García-Trejo, J. F., Mendoza-Meneses, C. J., Guevara-González, R. G., & Feregrino-Pérez, A. A. (2023). Implementation of pre-harvest techniques in emerging agroforestry systems to increase the yield of cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). *Heliyon*, 9(3), Article e14542. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14542>
- Gu, X., Liu, M., Cen, Y., Li, C., Guo, L., & Jiang, G. (2020). Using organic fertilizers to increase crop yield, economic growth, and soil quality in a temperate farmland. *PeerJ*, 8, Article e9668. <https://doi.org/10.7717/peerj.9668>

- Jindo, K., Olivares, F. L., Malcher, D. J. P., Sánchez-Monedero, M. A., Kempenaar, C., & Canellas, L. P. (2020). From Lab to Field: Role of Humic Substances Under Open-Field and Greenhouse Conditions as Biostimulant and Biocontrol Agent. *Frontiers in Plant Science*, 11, 426. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00426>
- Li, W., Wang, G., Wang, K., Feng, T., Miao, P., Zheng, Z., Zhang, X., Zheng, W., Li, Z., & Zhai, B. (2024). Optimizing combination of chemical nitrogen fertilizer and manure can increase yield and economic benefits of dryland wheat while reduce environmental risks. *European Journal of Agronomy*, 159, Article 127272. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127272>
- Liu, Y., Lan, X., Hou, H., Ji, J., Liu, X., & Lv, Z. (2024). Capacidad multifacética de los fertilizantes orgánicos para mejorar la productividad de los cultivos y la tolerancia al estrés abiótico: Revisión y perspectivas. *Agronomía*, 14(6), 1141. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061141>
- Pesantez Cedeño, Z. F., & Cabrera Ávila, E. M. (2021). Análisis del plan estratégico del cacao fino y de aroma ecuatoriano, periodo 2013–2017. *ECA Sinergia*, 12(3), 135–147. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v12i3.3207
- Rewe, M. K., Muindi, E., Ndiso, J., Kinusu, K., Mailu, S., Njeru, P., & Thomas, R. (2021). Effect of bioslurry from fixed dome and tubular (flexi) biodigesters on selected soil chemical properties, maize (*Zea mays*) growth, yield and quality. *International Journal of Plant & Soil Science*, 33(20), 158–171. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i2030642>
- Rojas-Pérez, F., Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Obrador-Olán, J. J., & Arreola-Enríquez, J. (2020). Elaboración y caracterización nutricional de abonos orgánicos líquidos en condiciones tropicales. *Agro Productividad*, 13(4), 73–78. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1590>
- Shao, Z., Mwakidoshi, E. R., Muindi, E. M., Soratto, R. P., Ranjan, S., Padhan, S. R., Wamukota, A. W., Sow, S., Wasonga, D. O., Nasar, J., Seleiman, M. F., & Gitari, H. I. (2023). Synthetic fertilizer application coupled with bioslurry optimizes potato (*Solanum tuberosum*) growth and yield. *Agronomy*, 13(8), Article 2162. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082162>
- Singh, T. B., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D., & Dantu, P. K. (2020). Role of organic fertilizers in improving soil fertility. En M. Naeem, A. A. Ansari, & S. S. Gill (Eds.), *Contaminants in agriculture* (pp. 61–77). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_3
- Song, W., Shu, A., Liu, J., Shi, W., Li, M., Zhang, W., Li, Z., Liu, G., Yuan, F., Zhang, S., Liu, Z., & Gao, Z. (2022). Effects of long-term fertilization with different substitution ratios of organic fertilizer on paddy soil. *Pedosphere*, 32(4), 637–648. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60047-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60047-4)
- Zhou, S., Kong, F., Lu, L., Wang, P., & Jiang, Z. (2022). Biochar: An effective additive for improving quality and reducing ecological risk of compost: A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 806, Article 151439. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151439>