

ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO AL UTILIZAR DIFERENTES COMPONENTES ORGÁNICOS EVALUADOS EN LA CASA DE VEGETACIÓN¹

*Jhon Alexander Villalaz-Pérez²; Adolfo Santo-Pineda³;
José Ezequiel Villarreal-Núñez⁴; Abiel Gutiérrez-Lezcano⁵*

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento físico, químico y la materia orgánica del suelo (MOS) con distintas fuentes de abonos orgánicos, y su efecto en la estabilidad estructural del suelo utilizado para el cultivo de cacao. El estudio se realizó en una casa de vegetación cubierta con mallas de sarán en los años 2021 y 2022. Se evaluaron en un diseño completamente al azar, cinco tratamientos y cuatro repeticiones. T1: testigo; T2: Gallinaza compostada; T3: Residuos de campo; T4: Cenizas; T5: Compost. Se utilizaron 20 macetas con 15 kg de suelo seco no disturbado y dosis de 15 Mg.ha⁻¹ de cada enmienda. Se evaluaron parámetros físico-químicos y MOS a profundidades de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm. El pH del suelo incrementó su nivel en todos los tratamientos comparado con el testigo, obteniendo mejor resultado la ceniza con niveles de 6,5 a 6,2 en ambas profundidades. La MOS y el Nitrógeno mantuvieron un ligero aumento en los tratamientos aplicados, siendo mejor el compost con 6,7% y 0,30%, respectivamente. El fósforo en el suelo presentó mejor biodisponibilidad con la aplicación de cenizas, con una concentración arriba de 29 mg.kg⁻¹. Para el diámetro medio ponderado (DMP), el residuo de cosecha y la gallinaza compostada alcanzaron los mayores valores con 0,60 mm. Se concluye que la Gallinaza compostada, el Compost y el Residuo de cosecha, pudieron mayormente adherirse a las partículas del suelo o agregados estructurales, aportando a la vez una mejor biodisponibilidad nutricional que pueda ser utilizado por las plantas.

Palabras clave: Cacao, cultivo, diámetro medio ponderado, enmiendas orgánicas, estabilidad estructural.

¹Recepción: 31 de octubre de 2024. Aceptación: 31 de marzo de 2025. Proyecto de Investigación e Innovación para el cultivo de cacao en sistemas agroforestales en Bocas del Toro y Comarcas.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIAD). e-mail: villalaz14@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5382-5549>

³IDIAP, CIAD. e-mail: asantospineda@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9561-2103>

⁴IDIAP, CIAD. e-mail: jevilla38@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1317-1960>

⁵IDIAP, Centro de Innovación Agropecuaria Bocas del Toro (CIABT). e-mail: abiel.gutierrez@yahoo.es; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3866-7006>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

STRUCTURAL STABILITY OF THE SOIL WHEN USING DIFFERENT ORGANIC COMPONENTS EVALUATED IN THE VEGETATION HOUSE

ABSTRACT

The physical, chemical behavior and soil organic matter (SOM) were evaluated with different sources of organic fertilizers and how they influence the structural stability of the soil used for cocoa cultivation. The study was carried out in a greenhouse covered with saran mesh in the years 2021 and 2022. Five treatments and four repetitions were evaluated in a completely randomized design. T1: Witness; T2: Composted chicken manure; T3: Field residues; T4: Ashes; T5: Compost. 20 pots were used with 15 kg of dry, undisturbed soil and a dose of 15 Mg.ha⁻¹ of each amendment. Physicochemical parameters and SOM were evaluated at depths of 0 to 5 cm and 5 to 10 cm. Soil pH increased its levels in all treatments compared to the control, with ash obtaining better results with levels of 6.5 and 6.2 at both depths. SOM and Nitrogen maintained a slight increase in their applied treatments, with compost being better with a content of 6.7% and 0.30% respectively. Phosphorus in the soil presented better bioavailability with the application of ashes, with a concentration above 29 mg.kg⁻¹. For the weighted average diameter (WMD), the crop residue and the composted chicken manure reached the highest values with 0.60 mm. It is concluded that composted chicken manure, compost and crop residue, were able to adhere mostly to soil particles or structural aggregates, while providing improved nutritional bioavailability that could be utilized by plants.

Keywords: Cocoa, crop, Organic amendmgs, Structural stability, Weighted average diameter.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao es establecido en su gran mayoría bajo un sistema agroforestal, utilizando los árboles maderables y algunas otras plantas perennes o anuales (Musáceas) como sombras, cumpliendo funciones de protección al suelo, como el aporte de la biomasa que ayudan a mitigar las pérdidas de suelos. Esta biomasa aportada por el sistema agroforestal, mantienen una descomposición natural de la hojarasca por medio del ciclaje de las hojas favoreciendo las condiciones físicas y químicas y biológicas del suelo (Navia et al., 2003). Los productores de cacao del área del distrito de Almirante y alrededores de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

la provincia de Bocas del Toro, en muchos casos, aplican desechos de hojarasca y mazorca de cacao sin conocer el contenido nutricional.

Uno de los principales problemas del cultivo de cacao en Bocas del Toro es la baja productividad de las plantaciones, cuyo rendimiento es alrededor de 0,20 Mg.ha⁻¹, según cifras del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA, 2020), en muchos casos se debe a la baja aplicación de abono orgánico, para que el árbol produzca mayor cantidad de frutos, y por el otro lado, el bajo contenido de materia orgánica de los suelos (Villalaz-Pérez et al., 2020). Cabe mencionar que, la rentabilidad del cultivo se mide con producciones de grano seco, y este debe ser superior a 0,77 Mg.ha⁻¹ (Espinosa-García et al., 2015).

En la República de Panamá, se elaboró por Villarreal-Núñez & Ramos-Zachrisson (2024), un mapa predictivo de contenido de carbono orgánico del suelo (COS) para dar a conocer la importancia del estado de degradación que mantienen los suelos de nuestra república, siendo un logro muy importante, realizado también con el apoyo de la Alianza Mundial por el Suelo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

El compost como acondicionador orgánico natural mejora a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, incrementando la porosidad, a la vez disminuye la densidad aparente y consolida la estructura (Quiroz & Pérez, 2013; Villalaz-Pérez et al., 2020).

El uso de cenizas de biomasa de cacao podría aumentar la capacidad de retención de agua, fomentar el crecimiento de microorganismos y otros (Acosta, 2014). Los cultivos, se podrían beneficiar en gran medida con los cambios fisicoquímicos del suelo.

La carbonización de biomasa se presenta como una técnica para la conversión de la biomasa en un material con mayor estabilidad física. El uso de biomasa carbonizada es de gran interés a nivel internacional debido a su potencial en actividades agroindustriales que están a favor del control del cambio climático (Sohi et al., 2010).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se ha conocido muchos reportes del uso de enmiendas orgánicas para mejorar el suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando la biodisponibilidad de los macros y micro nutrientes esenciales para los cultivos, la cual conlleva a que disminuya el estrés hídrico y aumente la producción agrícola (Álvarez-Solís et al., 2010).

Se ha reportado también que las cenizas pueden ayudar a mejorar la fertilidad del suelo, reducir la acidez, mejorar la capacidad de intercambio catiónico y de aniones, incrementar la capacidad de retención de agua y de nutrientes en función de sus propiedades fisicoquímicas (Van Zweiten et al., 2010). A su vez, estas pueden ayudar a minimizar la cantidad de fertilizante aplicado, reduciendo la contaminación del agua superficial y subterránea.

La biomasa carbonizada también ha sido asociada al aumento de la actividad microbiana en suelos (Yoo et al., 2018) debido al aumento de micro poros que sirven de soporte a los microorganismos propios del suelo.

La carbonización de biomasa podría mejorar el nivel de acidez y la cantidad de materia orgánica en el suelo, según Acosta (2014). Se han encontrado una correlación entre porosidad del suelo y productividad de cacaoales al utilizar biocarbón; suelos más porosos representaron una mayor productividad, principalmente en los años secos (Souza Júnior & Carmello, 2008).

Se pueden encontrar casos contrarios; como la mineralización de la materia orgánica inducida por el fuego, la cual conduce a la liberación de una cantidad sustancial de metales pesados (Pereira & Úbeda, 2010).

Por otra parte, tomando en cuenta las propiedades físicas del suelo (p.e. la estructura), en la cual tiene influencia en gran mayoría en el crecimiento de las plantas por medio del desarrollo de las raíces, facilitando una mayor absorción de nutrientes con la ayuda de los microorganismos cuando se le adiciona al suelo un abono orgánico (Villalaz-Pérez, 2023).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La degradación estructural de los suelos, está ligado muy estrechamente con la pérdida de la materia orgánica, disminución de la porosidad y aumento de la densidad aparente, traducida en la disminución de la estabilidad estructural (Vidal et al., 1981).

Se ha planeado en esta investigación de evaluar el comportamiento físico, químico y la materia orgánica del suelo con distintos tipos de enmiendas orgánicas y como, influyen en la estabilidad estructural de un suelo utilizado para el cultivo de cacao en Bocas del Toro. Este estudio favorecerá el mejoramiento de la fertilidad del suelo, disminución de la acidez, protección ante cualquier enfermedad y bloqueo de la movilidad de contaminantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El ensayo se realizó en una casa de vegetación con cobertura de sarán, ubicada en las coordenadas geográficas de latitud 8° 07' 37,3" N y longitud 80° 41' 31,5" Oeste, durante los años 2021 y 2022, donde se utilizó suelo proveniente de un área representativa del distrito de Almirante, provincia de Bocas del Toro con características fisicoquímicas y materia orgánica (Cuadro 1).

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) en donde se evaluaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron de la siguiente forma: T1= testigo o suelo desnudo (T); T2= gallinaza compostada (GC); T3= residuo de cosecha de campo cultivados con cacao (RC); T4= cenizas de mazorca del cacao (C); T5 = compost elaborado de hojarasca más mazorcas de cacao (Co).

Cuadro 1. Características del suelo utilizado en las macetas o potes.

| pH | N | MOS | P | ClCe | K | Ca | Mg | Al | Cu | Zn | Fe | Mn | A | L | Arc |
|-------------------------|----------------------|----------------------------------|------|---|-----|-----|-----|--|-----|-----|------|------------------------|----|----|-----|
| (1:2,5) p/v | -----%----- Total | mg kg ⁻¹ Extraible | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- Intercambiables | | | | -----mg kg ⁻¹ ----- Extraibles | | | | -----%----- Textura | | | |
| Profundidad (0 a 5 cm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,4 | 0,3 | 5,6 | 10,0 | 13,3 | 0,3 | 8,0 | 5,0 | 0,0 | 2,0 | 3,0 | 71,0 | 46,0 | 50 | 35 | 15 |
| Profundidad (5 a 10 cm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,4 | 0,2 | 4,8 | 7,5 | 15,5 | 0,2 | 10 | 5,3 | 0 | 2,0 | 3,0 | 66,0 | 48,0 | 52 | 35 | 13 |



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Procedimiento de llenado de macetas

Cada cubo o maceta, se llenaron con 15 kg de suelo seco sin disturbar, a su vez, se les aplicó una dosis de 15 Mg·ha⁻¹, tomando como dosis media según Villalaz-Pérez et al. (2020) el ensayo de dosis creciente de gallinaza compostada. Cada tratamiento fue caracterizado previamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de cada tratamiento utilizados en el estudio.

| Tratamientos | pH | CE | CIC | C/N | NT | MO | CO | P ₂ O ₅ | CaO | MgO | K ₂ O | Cu | Zn | Fe | Mn | Cd |
|--------------|-------|-------------------|---------------------|-------|-----|------|------|-------------------------------|-----|-----|------------------|-------|-------|--------------------|--------|-----|
| | | dSm ⁻¹ | cmolk ⁻¹ | | | | | % | | | | | | mgkg ⁻¹ | | |
| Testigo | 5,88 | 0,96 | 51,2 | 14,2 | 0,3 | 6,5 | 3,8 | 0,1 | 0,6 | 1,5 | 0,2 | 103,8 | 244,5 | 113840,0 | 1214,5 | 0,8 |
| GC | 8,48 | 46,5 | 93,8 | 17,03 | 1,8 | 56,3 | 32,7 | 1,2 | 6,6 | 0,9 | 1,3 | 99,0 | 783,4 | 3850,0 | 985,7 | n.d |
| RC | 6,87 | 33 | 73 | 23 | 1,4 | 54,3 | 31,5 | 0,2 | 2,0 | 0,7 | 0,3 | 66,5 | 265,8 | 95620,0 | 893,8 | n.d |
| C | 10,06 | 60 | 36,5 | 3,44 | 1,5 | 8,7 | 5,1 | 0,6 | 1,5 | 1,6 | 2,2 | 66,7 | 292,4 | 2727,0 | 1293,8 | 5,0 |
| Co | 7,09 | 11 | 128,5 | 16,22 | 2,0 | 54,6 | 31,6 | 0,1 | 1,9 | 0,9 | 0,3 | 18,7 | 126,2 | 3169,5 | 729,8 | 3,7 |

Testigo: Suelo desnudo; GC: Gallinaza compostada; RC: Residuo de cosecha en campo cacaotero;

C: Cenizas de mazorca del cacao; Co: Compost elaborado de hojarasca + mazorca de cacao.

Metodología de muestreo y preparación de muestras en el laboratorio

Un año después de aplicados los tratamientos, se procedió a realizar los muestreos a dos profundidades (0 a 5 cm y 5 a 10 cm). Se eliminaron las raicillas, piedras o cualquier material que podía alterar los análisis. Las mismas fueron secadas al aire y trituradas pasado por un tamiz de malla de nylon de 2 mm para los análisis químicos y textura. Para la estabilidad estructural de agregados, las muestras utilizadas se extrajeron sin disturbar y manejadas con mucho cuidado para no romper los terrones o agregados.

Se determinó MOS, N total, pH, P extraíble, cationes intercambiables (K, Ca, Mg, Al); Micro nutrientes extraíbles (Cu, Zn, Fe, Mn) y la textura. Para la densidad aparente, se tomaron muestras no disturbadas por cada profundidad estudiada con anillos metálicos Uhlund (Teixeira et al., 2017).

Variables físicas, químicas y materia orgánica en el suelo

El pH se determinó por el método de potenciómetro con la relación 1:2,5 (suelo-agua) y la MOS mediante método de calcinación utilizando técnicas descritas por Teixeira et al. (2017). El N total se realizó por digestión Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Para



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

la extracción de elementos biodisponibles (Cu, Fe, Zn, Mn y K intercambiable) se extrajeron con la solución de extracción Mehlich 1, de acuerdo al método descrito por Teixeira et al. (2017). Los cationes intercambiables como Ca, Mg y Al, fueron extraídos con la solución extractora KCl-1 M (Teixeira et al., 2017). El aluminio (Al) intercambiable se extrajo con solución extractora KCl-1M, según Díaz-Romeu & Hunter (1978).

La capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe) se realizó mediante la sumatoria de bases Ca, Mg, K +Al. Por otro lado, el porcentaje de saturación de aluminio (Sat. Al %) se determinó mediante el cociente de $(Al (\%)/CICe) * 100$. El análisis físico granulométrico de textura del suelo se determinó mediante la metodología de Bouyoucos (1962).

Estabilidad estructural de los agregados del suelo (MWD) tamizados en húmedo

Después extraer el suelo en el campo, se procedió al secado y triturado de las muestras por cada tratamiento y repetición. En las pruebas de estabilidad estructural de agregados en húmedo, para cada profundidad (0 a 5 cm y 5 a 10 cm), se utilizó la metodología de Yoder (1936); Kemper & Rosenau (1986), que consistió en utilizar tamices o mallas de tamaños de diámetros de 4,0; 2,0; 0,25 y 0,053 mm.

Análisis estadísticos

Para verificar las diferencias entre tratamientos, los datos fueron evaluados por análisis de varianza y las medias de sus tratamientos fueron comparadas por la prueba LSD Fisher $p < 0,05$. Se realizaron gráficos de barras para las variables químicas y físicas estudiadas por cada tratamiento. Los análisis fueron realizados usando el software estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Se verificaron cada tratamiento si estos presentan limitaciones por medio de tabla de valores dictaminados por Le Bissonnais (2016) para la estabilidad estructural y la estructura por medio del diámetro medio ponderado (DMP).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los aportes de enmiendas

pH y Materia orgánica del suelo

El nivel de pH (Figura 1) y en la MOS (Figura 2) para las dos profundidades evaluadas (0 a 5 cm y 5 a 10 cm). Se aprecia la acidez del suelo con un incremento en las dos profundidades para todos los tratamientos con respecto al suelo desnudo (tratamiento 1; pH 5,8 a 6,4).

Al comparar las medias de los tratamientos con la prueba de LSD de Fisher ($p < 0,05$), el tratamiento de cenizas fue el que presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos evaluados a una profundidad de 0 a 5 cm, contrario a la profundidad de 5 a 10 cm que no hubo diferencia en sus medias. Estos niveles de pH se encuentran poco ácido (Name & Cordero, 1987; Snoeck et al., 2016), siendo beneficioso para la biodisponibilidad de nutrientes requeridos para el cultivo de cacao.

Por otra parte, en la profundidad de 0 a 5 cm, los contenidos de la MOS, las medias calculadas en el tratamiento de compost (Co) presentó diferencias con las demás enmiendas orgánicas y el testigo con la prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$). Mientras que en el otro estrato evaluado de 5 a 10 cm el menos contenido lo presentó las cenizas de origen vegetal.

Si observamos la importancia de aplicar materia orgánica al suelo, en los tratamientos estudiado de compost y el testigo, se puede apreciar que incrementó un 38% en ambas profundidades, aunque en todos los tratamientos los contenidos de MOS se encontraban por arriba de los niveles máximos estudiados con intervalos de valores de 2,93 - 5,5% según lo descrito por Snoeck et al. (2016) en el cultivo de cacao.

El bajo contenido de materia orgánica en el suelo (menor al 3%) puede ser un factor muy limitante en la producción del cultivo de cacao (Torres & Otiniano, 2021). La investigación realizada por Villalaz-Pérez (2023) mostró que el uso del estiércol de pollo compostado o gallinaza compostada en el cultivo de cacao ayudó aumentar la MOS, que al mineralizarse pudo incrementar la biodisponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

y así las plantas absorberlos para un mejor desarrollo vegetativo, aumentando la biomasa en un 30% de su valor inicial.

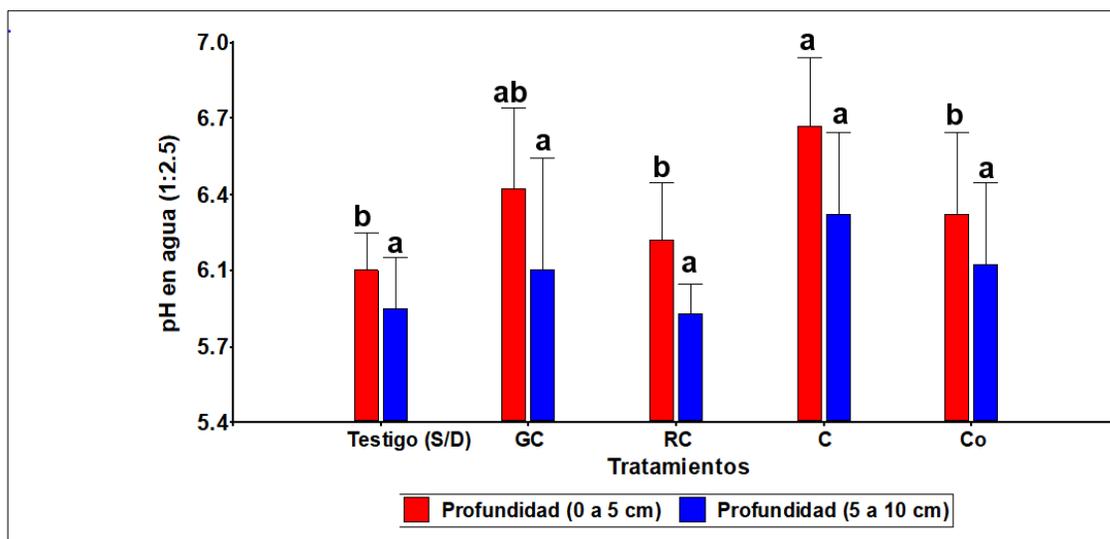


Figura 1. Niveles de pH en el suelo tratados con enmiendas orgánicas evaluadas en dos profundidades.

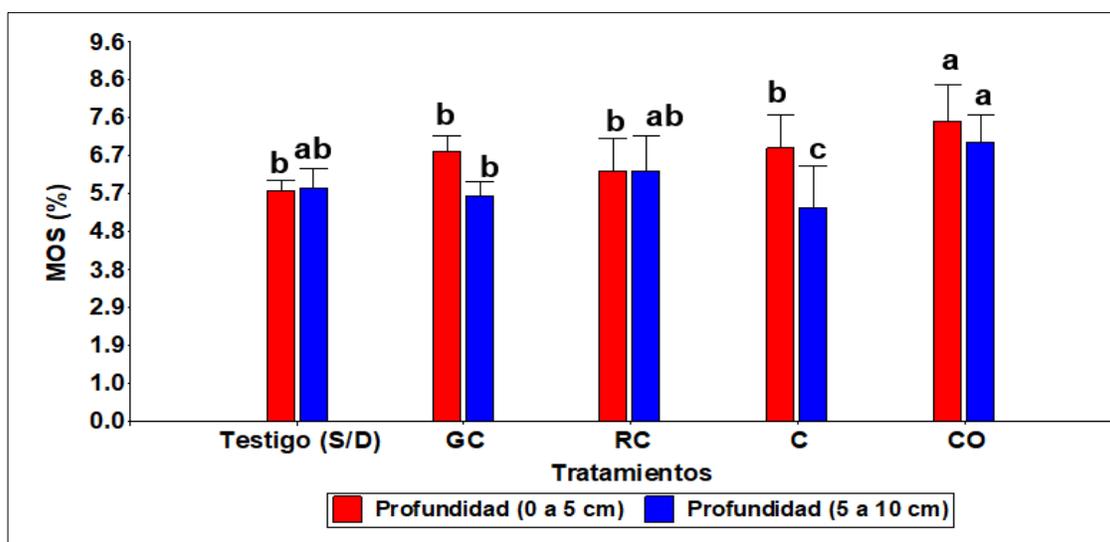


Figura 2. Contenido de MOS (%) en el suelo tratado con enmiendas orgánicas evaluadas en dos profundidades.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Contenido de Nitrógeno y Fósforo extraíble en el suelo

El contenido de N en el suelo (Figura 3) mantuvo un aumento considerable en la mayor profundidad de 5 a 10 cm en todos los tratamientos con respecto al testigo. Sin embargo, para el tratamiento de compost (Co) en la profundidad de 0 a 5 cm, aunque todos los valores registrados fueron superiores al nivel óptimo de 0,10% (PE et al., 2009). Estas aplicaciones de cualquiera de las enmiendas utilizadas pueden aumentar el rendimiento del cultivo de cacao en distintas áreas de fincas en producción (Eduah et al., 2025).

Para el P extraído con Mehlich 1 en el suelo (Figura 4) las cenizas de mazorca del cacao (C) presentó mayor evolución en las dos profundidades con diferencias significativas con respecto a las otras enmiendas y el testigo, presentando una concentración estudiada con valores superiores a $34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en la profundidad de 0 a 5 cm y de $21,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en la profundidad de 5 a 10 cm. Un contenido de P disponible de $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ o más en la capa superior del suelo es adecuado para el cacao (Ahenkorah, 1981; Ahenkorah et al., 1987; Arthur et al., 2022).

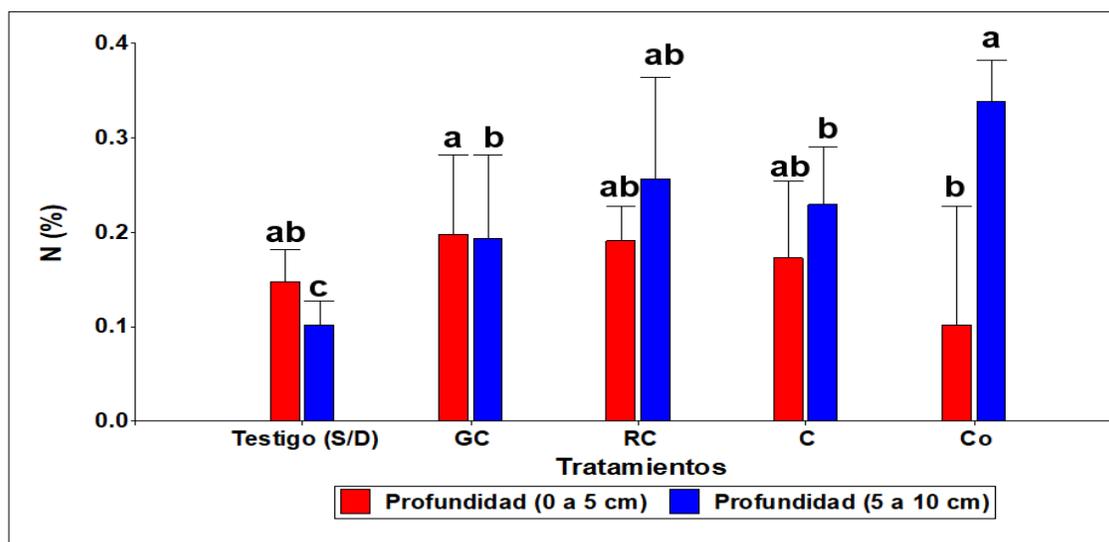


Figura 3. Concentración de N en los tratamientos de enmiendas orgánicas evaluadas para dos profundidades de suelo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

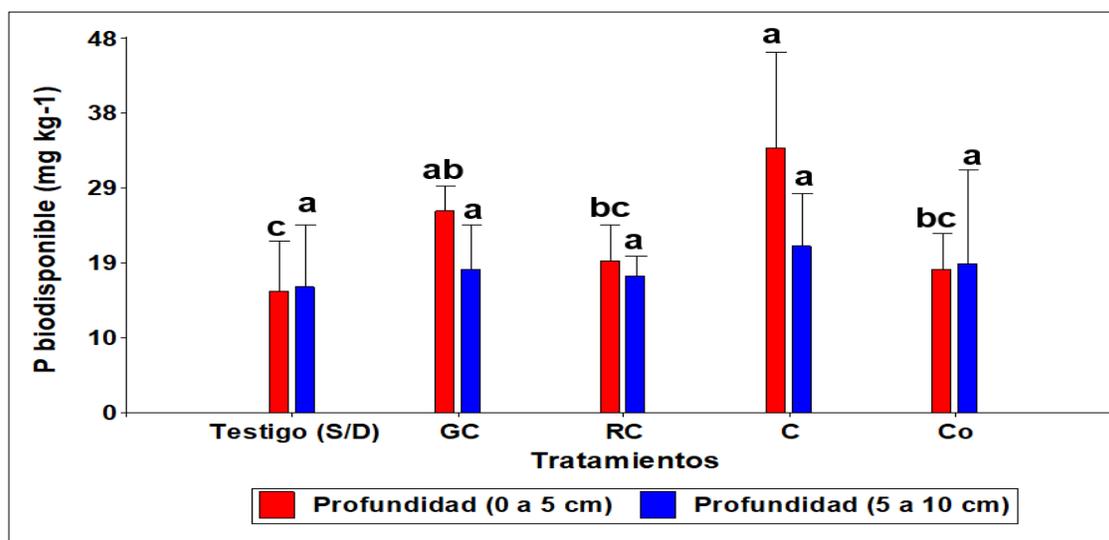


Figura 4. Concentración P biodisponible en tratamientos de enmiendas orgánicas evaluadas para dos profundidades de suelo.

Capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe) y elementos intercambiables de K, Ca, Mg y Al

La Capacidad de Intercambio Catiónico efectivo (CICe) indica que los tratamientos no fueron distintos, sin embargo, todos los tratamientos mostraron una dinámica en sus concentraciones nutricionales (Cuadro 3). El testigo mostró una mayor concentración con niveles de $14,49 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$.

El aporte de la gallinaza compostada (GC) y cenizas de mazorcas (C) para la variable K intercambiable en la profundidad de 0 a 5 cm resultaron con mejores valores ($0,49 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ y $0,46 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$), respectivamente. Mientras que para la profundidad de 5 a 10 cm no fue significativo.

Por otro lado, el Ca y Mg intercambiables, para la primera profundidad evaluada no mostraron significancias en sus tratamientos. Mientras que estas variables medidas mantuvieron mayor contenido en el testigo en la profundidad subyacente. Entre los beneficios del aporte de abono orgánico, principalmente, son las mejoras de los parámetros CICe, K, Ca y Mg; que determina la reserva de diferentes nutrientes (Villalaz-Pérez et al., 2020). Otras investigaciones realizadas con cultivos de cacao en Colombia mostraron que



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

al aplicar fertilizantes orgánicos mejora la CIC y los cationes intercambiables en suelos tropicales (León-Moreno et al., 2019).

El Al intercambiable, aunque no mostró diferencia significativa en las profundidades evaluadas, los tratamientos presentaron una disminución parcial en su concentración con respecto al testigo. Esto es importante para el cultivo de cacao, ya que según Snoeck et al. (2016) en investigaciones realizadas en Ghana recomienda niveles óptimos de 0,1 a 1,5 $\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$, siendo el nivel mínimo el recomendado, por la cual mayores que este afectaría la producción del cacao (Arévalo-Hernández et al., 2021).

Cuadro 3. Capacidad de intercambio catiónico efectivo y elementos intercambiables un año después de aplicados los diferentes tratamientos.

| Tratamientos | CICe | | K | | Ca | | Mg | | Al | |
|----------------|---|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|
| | Profundidad del suelo (cm) | | | | | | | | | |
| | 0 a 5 | 5 a 10 | 0 a 5 | 5 a 10 | 0 a 5 | 5 a 10 | 0 a 5 | 5 a 10 | 0 a 5 | 5 a 10 |
| | Concentración medias ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$) | | | | | | | | | |
| Testigo | 14,06 | 14,49 | 0,26 ^c | 0,26 | 8,95 | 9,28 | 4,68 | 4,68 ^a | 0,20 | 0,33 |
| GC | 13,79 | 12,57 | 0,49 ^a | 0,45 | 8,98 | 8,40 | 4,23 | 3,48 ^b | 0,20 | 0,23 |
| RC | 14,27 | 13,22 | 0,41 ^{ab} | 0,37 | 9,20 | 8,48 | 4,55 | 4,20 ^{ab} | 0,10 | 0,20 |
| C | 12,50 | 13,13 | 0,46 ^a | 0,38 | 7,43 | 8,05 | 4,45 | 4,55 ^a | 0,15 | 0,18 |
| Co | 12,92 | 12,45 | 0,33 ^{bc} | 0,37 | 8,65 | 7,85 | 3,73 | 4,0 ^{ab} | 0,2 | 0,20 |
| p≤0.05 | ns | ns | 0,01 | ns | ns | ns | ns | 0,05 | ns | ns |

No significativo: ns; Testigo: Suelo desnudo; GC: Gallinaza compostada; RC: Residuo de cosecha en campo cacaotero; C: cenizas de mazorca del cacao; Co: Compost elaborado de hojarasca + mazorca de cacao.

Estabilidad de agregados (EA) del suelo a la profundidad de 0 a 5 cm

El diámetro medio ponderado (DMP en mm) según los tratamientos con respecto a los contenidos de la MOS presentaron las siguientes observaciones: El tratamiento testigo de suelo desnudo (S/D) presenta un valor de 0,50 mm en el DMP y un contenido de MOS de 6,0%. Los tratamientos Co, RC, y GC, el DMP alcanza valores mayores a 0,6 mm, y la MOS un contenido mayor de 6,0% (Figura 5)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Al aplicar las cenizas (C) al suelo disminuyó ligeramente el DMP con valores de 0,55 mm y la MOS con un contenido de 6,80%. Al mantener el suelo sin cobertura ocasiona inestabilidad en su estructura cuando el DMP 0,4 -0,8 mm (Le Bissonnais, 2016). Según este mismo autor los valores de DMP 1,3 -2,0 mm presenta buena estabilidad estructural.

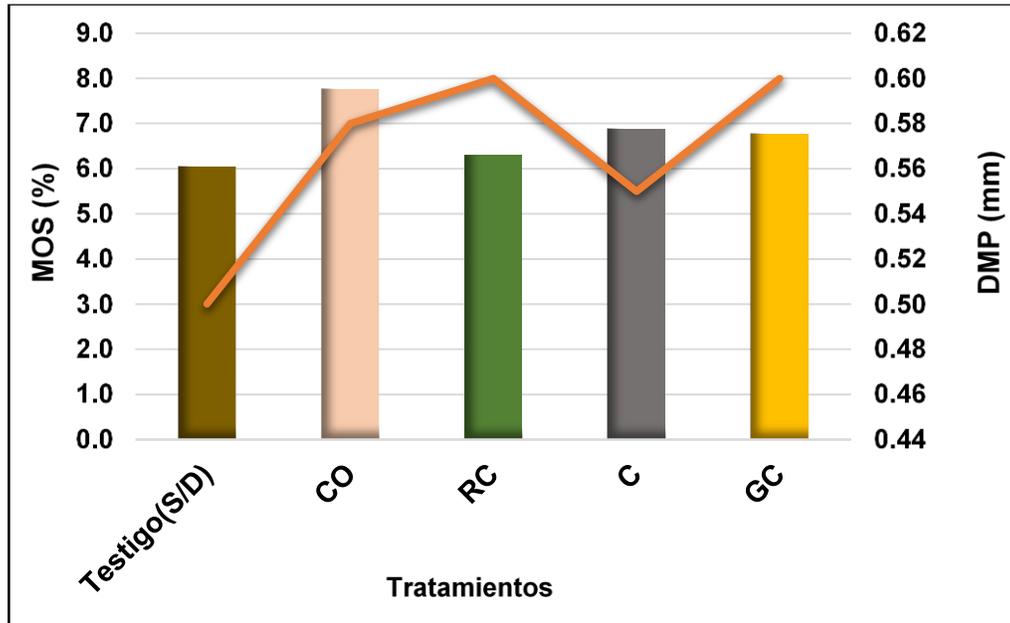


Figura 5. Diámetro medio ponderado (DMP) por tratamientos de enmiendas orgánicas evaluadas para la profundidad del suelo de 0 a 5 cm.

El tratamiento de cenizas (C) disminuye su adhesión a medida que aumenta el tamaño de partículas del suelo (Figura 6). Contrario a los tratamientos de gallinaza compostada (GC), compost (Co) y el residuo de cosecha (RC) que aumenta su adhesión a medida que incrementa el tamaño de las partículas del suelo. Esto pudo deberse a que la materia orgánica contribuye a la formación de agregados que estabilizan la estructura del suelo. Contrario a esto, las bajas dosis y poca calidad de la materia orgánica aplicada al suelo, puede tener un efecto importante a los impactos de las gotas de lluvias, fácil desintegración de los agregados del suelo cuando se encuentran inestables, provocando la erosión.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La aplicación del carbono orgánico al suelo por medio de la materia orgánica, es la responsable de la formación de agregados estables en el suelo, por la cual derivan estructuralmente a las existencias de macro poros en el suelo cuando es unido a las arcillas (Delgado - Londoño, 2017). Los agregados del suelo están relacionados con el mecanismo vital para la estabilización del carbono orgánico del suelo (COS) y un factor central de su calidad, debido a que facilita su fertilidad y resiliencia estructural (Bach & Hofmockel, 2016).

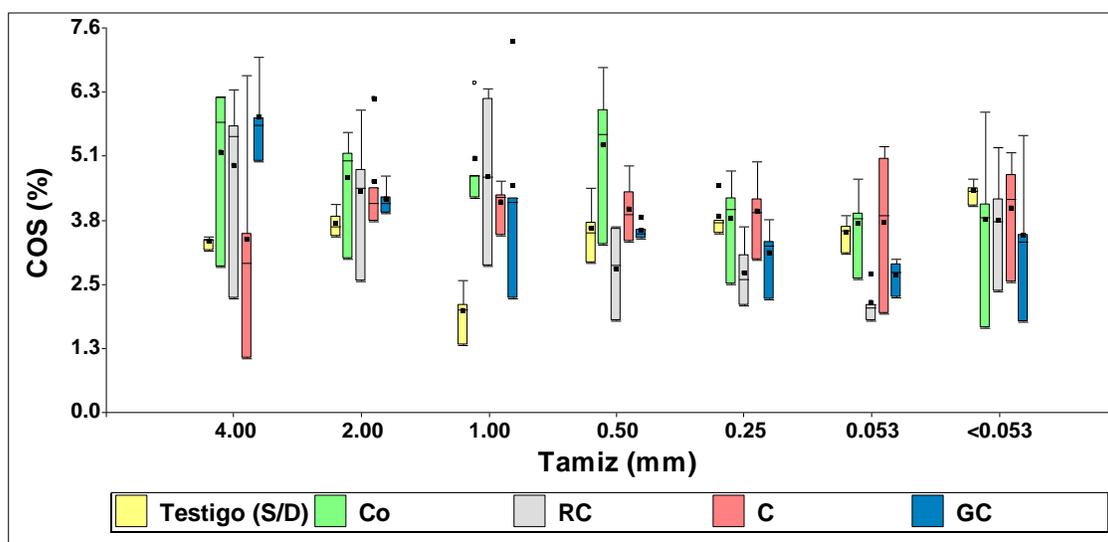


Figura 6. Distribución de tamaño de partículas del suelo y el COS (%) por tratamientos evaluados a profundidad de 0 a 5 cm.

CONCLUSIONES

- Se comprueba que los usos de enmiendas de origen orgánicos como el compost y la gallinaza compostada, mejoran los niveles nutricionales esenciales en el suelo para las plantas, que en este caso los destinados al cultivo de cacao.
- La estabilidad de agregados en el suelo estudiados en esta investigación, es comprobada cuando se aplican las diferentes enmiendas orgánicas, siendo dos de ellas la de mayor aporte del carbón orgánico (gallinaza compostada y compost) al aumentar la materia orgánica del suelo, influyendo en variables como el DMP.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- El DMP, está influenciado a la materia orgánica aplicada al suelo y sometido a fuerzas de presión ejercidas por el agua. Esta a su vez, pueden mantenerse adheridas a los agregados estructurales, si los tamaños de partículas del suelo son mayores de 0,5 mm.
- Se puede mencionar que la dosis de 15 Mg.ha⁻¹ de las enmiendas orgánicas aplicada en el suelo presentó un impacto positivo, aunque a mayores dosis pueden alcanzar niveles adecuado de estabilidad estructural en el suelo.

REFERENCIAS

- Acosta Buitrago, J. O. (2014). *Efecto del biocarbón en cacao orgánico (Theobroma cacao L.) y manejo biológico del Mal de Panamá (Fusarium oxysporum f. sp cubense) con biocarbón y microorganismos benéficos*. [Tesis de Maestría (Mag. Sc. en Agricultura Ecológica) - CATIE]. Escuela de Posgrado. Turrialba (Costa Rica).
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7142>
- Ahenkorah, Y. (1981). “*La influencia del medio ambiente en el crecimiento y la producción del árbol del cacao: suelos y nutrición*”. En Actas de la 7.^a Conferencia Internacional de Investigación del Cacao, 1979, 167–176. Douala, Camerún.
- Ahenkorah, Y., Halm, B. J., Appiah, M. R., Akrofi, G. S., & Yirenkyi, J. E. K. (1987). Twenty Years' Results from a Shade and Fertilizer Trial on Amazon Cocoa (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Experimental Agriculture*, 23(1), 31-39.
<https://doi.org/10.1017/S0014479700001101>
- Álvarez-Solís, J. D., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N. S., & Guillén-Velásquez, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento del maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 239-245.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v28n3/v28n3a6.pdf>
- Arévalo-Hernández, C. O., Arévalo-Gardini, E., Barraza, F., Farfán, A., He, Z., & Baligar, V. C. (2021). Growth and nutritional responses of wild and domesticated cacao



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

genotypes to soil Cd stress. *Science of the Total Environment*, 763, 144021.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144021>

Arthur, A., Acquaye, S., Cheng, W., Dogbatse, J. A., Konlan, S., Domfeh, O., & Quaye, A. K. (2022). Soil carbon stocks and main nutrients under cocoa plantations of different ages. *Soil Science and Plant Nutrition*, 68(1), 99-103.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2022.2029219>

Bach, E. M., & Hofmockel, K. S. (2016). A time for every season: soil aggregate turnover stimulates decomposition and reduces carbon loss in grasslands managed for bioenergy. *GCB Bioenergy*, 8(3), 588-599.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12267>

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.
<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). *Nitrogen total*. In: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part II*. American Society of Agronomy. No 9 in Agronomy Series. Madison, Wisconsin. USA. pp. 595-624.
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>

Delgado-Londoño, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos (revista descontinuada)*, (17), 77-83. <https://doi.org/10.21501/21454086.1907>

Díaz-Romeu, R., & Hunter, A. (1978). *Metodologías de Muestreo de suelos. Análisis químico de suelos y tejido vegetal y de Investigaciones en invernadero*. Turrialba, Costa Rica. C.R. pp70. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A4008e/A4008e.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini – Italy, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). InfoStat Version (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL. <http://www.infostat.com.ar>
- Eduah, J.O., Arthur, A., Amoako-Attah, I., Manso, E. F., Quaye, A. K., Dogbatse, J. A. & Padi, F. K. (2025). Differential impacts of organic and chemical fertilization on soil organic carbon pools and stability, and soil quality in cacao agroforestry. *Soil & Environmental Health*, 3(3), 100147. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2025.100147>
- Espinosa-García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A., Moctezuma-López, G., Inurreta-Aguirre, H. D., & Góngora-González, S. F. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1051-1063. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500012
- Kemper, W.D. & Rosenau, R.C. (1986). *Aggregate stability and size distribution*. Methods of Soil Analysis, part I. Physical and Mineralogical methods-Agronomy Monograph Nº 9. 427-442p.
- Le Bissonnais, Y. (2016). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 67(1), 11-21. https://doi.org/10.1111/ejss.4_12311
- León-Moreno, C. E., Rojas-Molina, J., & Castilla-Campos, C. E. (2019). Physicochemical characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.) soils in Colombia: Are they adequate to improve productivity? *Agronomía Colombiana*, 37(1), 28-38. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.70545>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2020) Dirección de Agricultura, Cierre agrícola 2019-2020. 50p. https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/03/cierre_agricola-2020.pdf?csrt=911009857566711802



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Name, B., & Cordero, A. (1987). *Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá*. In Compendio de Resultados de Investigación presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central, 23.
- Navia, J. F., Restrepo, J. M., Villada, D. E., & Ojeda, P. A. (2003). *Agroforestería: opción tecnológica para el manejo de suelos en zonas de ladera*. Manual de capacitación. Agronet, COL. <http://hdl.handle.net/11348/4869>
- Pereira, P., & Úbeda, X. (2010). Spatial distribution of heavy metals released from ashes after a wildfire. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 18(1), 13-22. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2010.02>
- PE, A., Uloko, B., & Edibo, G. (2009). Nutrient dynamics in soil and cashew (*Anacardium occidentale* L.) leaf and kernel in Kogi State, Nigeria. *Journal of applied biosciences*, 25, 1573-1578. <https://www.m.elewa.org/JABS/2010/25/4.pdf>
- Quiroz Guerrero, I., & Pérez Vázquez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 1069-1075. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000900019&script=sci_arttext
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J, Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). Cacao nutrition and fertilization. In: Lichtfouse (ed) Sustainable agriculture reviews. *Springer International Publishing, Switzerland* 19, 155-202. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4
- Sohi, S. P., Krull, E., López-Capel, E., & Bol, R. (2010). Chapter 2-a Review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105, 47-82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Souza Júnior, JO, & Carmello, QAC. (2008). Formas de adubação e doses de uréia para mudas clonais de cacau cultivadas em substrato. *R. Bras. Ci. Solo*, 32, 2367-2374. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/74sDNd5tHCDjZxwNbzdR4BF/>
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). *Manual de métodos de análise do solo*. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>
- Torres, C. P., & Otiniano, A. J. (2021). *Innovación tecnológica en cacao andino Producto 4*. Informe sobre absorción de cadmio y manejo agronómico y su validación en vivero. [https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16109 - Producto 4.pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16109_Producto_4.pdf)
- U.S. EPA. (2007). Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soil and Oils. Revision 1. Washington, DC. <https://www.epa.gov/esam/us-epa-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-and-oils>
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plan Soil*, 327, 235-246. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>
- Vidal, I., Fernández, B., & Duarte, N. (1981). Influencia de cuatro métodos de labranza sobre la velocidad de infiltración y estabilidad de los agregados del suelo. *Agricultura Técnica*, 41(2), 83-88.
- Villalaz-Pérez, J. (2023). *Influencia del abono orgánico sobre el desarrollo y calidad del cacao producido en Almirante, Bocas del Toro-Panamá*. [Tesis de doctorado, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=322007>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Villalaz-Pérez, J. A., Villarreal-Núñez, J. E., Santo-Pineda, A., Gutiérrez, A., & Ramos-Zachrisson, I. A. (2020). Caracterización pedogenética de los suelos dedicados al cultivo de cacao, Almirante, Bocas del Toro, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (31), 37-58.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/299>

Villarreal-Núñez, J., & Ramos-Zachrisson, I. (2024). Mapa Digital del Contenido de Carbono Orgánico en Suelos de Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (38), 164-175.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/632>

Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soil and a study of physical nature of erosion losses. *Journal Amer. Soc. Agronomy*, 28, 337-351.

Yoo, S., Kelley, Stephen, S. S., Tilotta, D. C., & Park, S. (2018). Structural Characterization of Loblolly Pine Derived Biochar by X-ray Diffraction and Electron Energy Loss Spectroscopy. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 6 (2), 2621-2629

<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04119>

AGRADECIMIENTO

Nos toca hacer el reconocimiento de agradecer a tres personas que trabajaron muy estrechamente en esta labor de investigación para que se lograra el objetivo propuesto. Estas personas son: La Licenciada Misay Herrera, Jhon Alexander Villalaz De León y al señor Herminio González (QEPD).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)