
ÁREA AGRÍCOLA
EFECTO DE LA PODA Y FERTILIZACIÓN
INTEGRADA EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS
DE SUELOS CACAOTEROS

EFFECT OF PRUNING AND INTEGRATED
FERTILIZATION ON SOME PHYSICAL PROPERTIES
OF CACAO SOILS



José Libardo Lerma-Lasso
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
(Agrosavia), Colombia
jlerma@agrosavia.co

Martha Marina Bolaños-Benavides
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
(Agrosavia), Colombia
mmbolanos@agrosavia.co

Jaime Torres-Bazurto
Universidad Nacional de Colombia, Colombia
jtorresb@unal.edu.co

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
vol. 16, núm. 2, p. 63 - 81, 2025
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
ISSN: 2145-6097
ISSN-E: 2145-6453
Periodicidad: Semestral
riaa@unad.edu.co

Recepción: 11 julio 2024
Aprobación: 29 septiembre 2024

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.8286>

URL: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1305315003/>

Resumen: **Contextualización:** los suelos tropicales son cruciales para la producción de *Theobroma cacao* L.

Vacío de conocimiento: carencia en el monitoreo de las propiedades del suelo con plantaciones de *Theobroma cacao* L. para cuantificar los cambios inducidos por las prácticas de manejo agronómico del cultivo.

Propósito: evaluar el efecto de la poda y fertilización integrada sobre algunas propiedades físicas de un suelo *Typic Dystropepts* empleado en el cultivo de cacao.

Metodología: la investigación se desarrolló durante el periodo comprendido entre enero de 2022 y agosto de 2023, en la vereda Santa Rosa (Convención, Norte de Santander). Se seleccionaron los clones TCS-01, TCS-06, TCS-19, ICS-1 y CCN-51, de 10 años, donde cada clon es un experimento independiente. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo en parcelas divididas (PD), con seis tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron como parámetros físicos: Da, DPM e IE; se utilizó el *software* estadístico R versión 4.2.1 para llevar a cabo el análisis de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza de los datos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza combinado, y para cada tratamiento se aplicó el método de comparaciones múltiples de Tukey.

Resultados y conclusión: la poda tecnificada junto con la fertilización integrada en comparación con la poda y fertilización del cacao cultivo condujo a una disminución en los valores de densidad aparente, así mismo, incrementó la estabilidad estructural del suelo. La implementación de las prácticas de poda en unión con la fertilización integrada tuvo una tendencia positiva sobre las propiedades físicas del suelo evaluadas en la presente investigación, lo que sugiere que estas prácticas agronómicas pueden contribuir de manera efectiva a la sostenibilidad y productividad del suelo con cultivos de cacao.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., fertilizante químico, fertilizante orgánico, conservación de suelo, degradación de suelos.

Abstract: Contextualization: Tropical soils are crucial for the production of *Theobroma cacao* L.

Knowledge gap: Lack of monitoring of soil properties in *Theobroma cacao* L. plantations to quantify changes induced by agronomic management practices.

Purpose: Evaluate the effect of pruning and integrated fertilization on some physical properties of a Typic Dystropepts soil used in cacao cultivation.

Methodology: The research was conducted between January 2022 and August 2023 in the Santa Rosa village (Convención, Norte de Santander). The TCS-01, TCS-06, TCS-19, ICS-1, and CCN-51 clones, all 10 years old, were selected, with each clone representing independent experiments. A randomized complete block design (RCBD) was used, with a split-plot arrangement, consisting of six treatments and three repetitions. The physical parameters evaluated were bulk density (Da), mean weight diameter (MWD), and structural stability index (IE). Statistical analysis was performed using R software version 4.2.1 to assess data normality and homogeneity of variance assumptions. Subsequently, a combined analysis of variance was conducted, and Tukey's multiple comparison method was applied for each treatment.

Results and conclusions: Technified pruning combined with integrated fertilization, compared to the pruning and fertilization methods used by the cacao farmer, led to a decrease in bulk density values, while also increasing soil structural stability. The implementation of pruning practices together with integrated fertilization had a positive trend on the physical properties of the soil evaluated in this research. This suggests that these agronomic practices can effectively contribute to the sustainability and productivity of soils in cacao cultivation.

Keywords: *Theobroma cacao* L., Chemical fertilizer, Organic fertilizer, Soil conservation, Soil degradation.

RESUMEN GRÁFICO

1 Área experimental y material vegetal



- Clones:
- TCS-01
 - TCS-06
 - TCS-19
 - ICS-1
 - CCN-51

3 Toma de muestras de suelo



Época de muestreo: 03/01/2022 y 31/08/2023

2 Diseño experimental y tratamientos

Diseño en bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo en parcelas divididas (PD):

- 6 tratamientos
- 3 repeticiones
- 18 unidades experimentales

Poda	Fertilización	Tratamiento
Cacaocultor (Pc)	Cacaocultor (Fc)	T1 = Pc + Fc
	La Suiza (Fs)	T2 = Pc + Fs
	Integrada (Fi)	T3 = Pc + Fi
Tecnificada (Pt)	Cacaocultor (Fc)	T4 = Pt + Fc
	La Suiza (Fs)	T5 = Pt + Fs
	Integrada (Fi)	T6 = Pt + Fi

4 Resultados

Clon	Da (g/cm ³)		Clon	DPM (mm)		Clon	IE (%)	
	Inicial	Final		Inicial	Final		Inicial	Final
TCS-19	1,35	1,38	TCS-19	1,20	1,17	TCS-19	70,95	69,04
TCS-01	1,33	1,33	TCS-01	1,22	1,21	TCS-01	71,93	71,50
TCS-06	1,26	1,26	TCS-06	0,44	0,44	TCS-06	51,77	51,53
ICS-1	1,32	1,33	ICS-1	1,22	1,22	ICS-1	72,25	71,97
CCN-51	1,25	1,25	CCN-51	0,44	0,44	CCN-51	51,96	51,84

Interpretación Valor máximo
Valor mínimo

autores.

1. INTRODUCCIÓN

En el municipio de Convención, Norte de Santander, el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) se ve limitado por la degradación del suelo, provocada por prácticas inadecuadas de manejo en suelos de ladera empleadas por los cacaocultores (Kongor et al., 2019). Estas prácticas incluyen el desaprovechamiento de los residuos de la práctica de poda (Tosto et al., 2022; Persello et al., 2019), así como la aplicación excesiva de fertilizantes amoniacales, amídicos y de gallinaza mal compostada (Goulding, 2016).

La conservación de los suelos cacaoteros en zonas de ladera depende de la evaluación de sus propiedades y de la comprensión de las implicaciones a largo plazo que tienen las prácticas de manejo del cultivo sobre la salud general del suelo (Babur et al., 2021). En este sentido, las propiedades físicas del suelo son un indicador clave de su calidad, ya que la erosión en estos terrenos ha incrementado la densidad aparente, reducido la estabilidad de los agregados y disminuido la capacidad de retención de agua, lo que ha ocasionado grandes pérdidas de suelo y nutrientes esenciales para el cultivo (Toková et al., 2020).

En general, la estructura del suelo influye de manera determinante en sus propiedades físicas y en sus funciones (Li & Shao, 2006). La degradación de la estructura conlleva la reducción de la porosidad total y la discontinuidad de los poros, lo que impacta negativamente la aireación y las propiedades hidráulicas del suelo (Santander-Mendoza et al., 2021). Estas alteraciones afectan el régimen hídrico del suelo, repercutiendo de forma adversa en el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Toková et al., 2020).

Una de las estrategias para la conservación de suelos cacaoteros en zonas de laderas es la fertilización integrada, que implica la correcta aplicación de acondicionadores, biofertilizantes, abonos orgánicos y fertilizantes de síntesis química, considerando la disponibilidad de nutrientes del suelo, los requerimientos de la planta, las condiciones climáticas y las propiedades del suelo. Esto permite definir el fraccionamiento de la fertilización (Cardona et al., 2020; Cardona y Bolaños-Benavides, 2019). Otra estrategia es el aporte de materia orgánica a través de los residuos vegetales de la poda de los árboles de cacao (Van Vliet & Giller, 2017). En Indonesia, Fungenzi et al. (2021) y en Malasia, Boney et al. (2020) demostraron que la poda tecnificada y la fertilización integrada han generado efectos positivos en diversas propiedades físicas de suelos cacaoteros.

A pesar de los beneficios conocidos de estas dos prácticas, en Colombia no se han realizado estudios sobre los efectos de la poda y fertilización integrada en suelos cacaoteros. Esta investigación busca evaluar el impacto de estas prácticas en algunas propiedades físicas de un suelo *Typic Dystropepts* utilizado para el cultivo de cacao en el municipio de Convención, Norte de Santander.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área experimental y material vegetal

La investigación se realizó durante el periodo comprendido entre enero de 2022 y agosto de 2023, en la vereda Santa Rosa, perteneciente al municipio de Convención, departamento de Norte de Santander, Colombia. El área corresponde al bosque húmedo tropical (bh-T) (Holdridge, 1967) con una temperatura media del aire de 26 °C, una temperatura máxima de 39 °C, una temperatura mínima de 13 °C, una humedad relativa del aire del 90% y una precipitación media anual de 1550 mm. El régimen de precipitación en la región tiene una distribución bimodal. Durante el experimento, la precipitación mensual en el municipio fue de 123,2-175,6 mm (marzo-mayo, primer periodo de altas precipitaciones) y de 62,7-117,9 mm (junio-agosto, primer periodo de bajas precipitaciones) (Figura 1), con temperaturas del aire que variaron dentro de los valores de referencia mencionados.

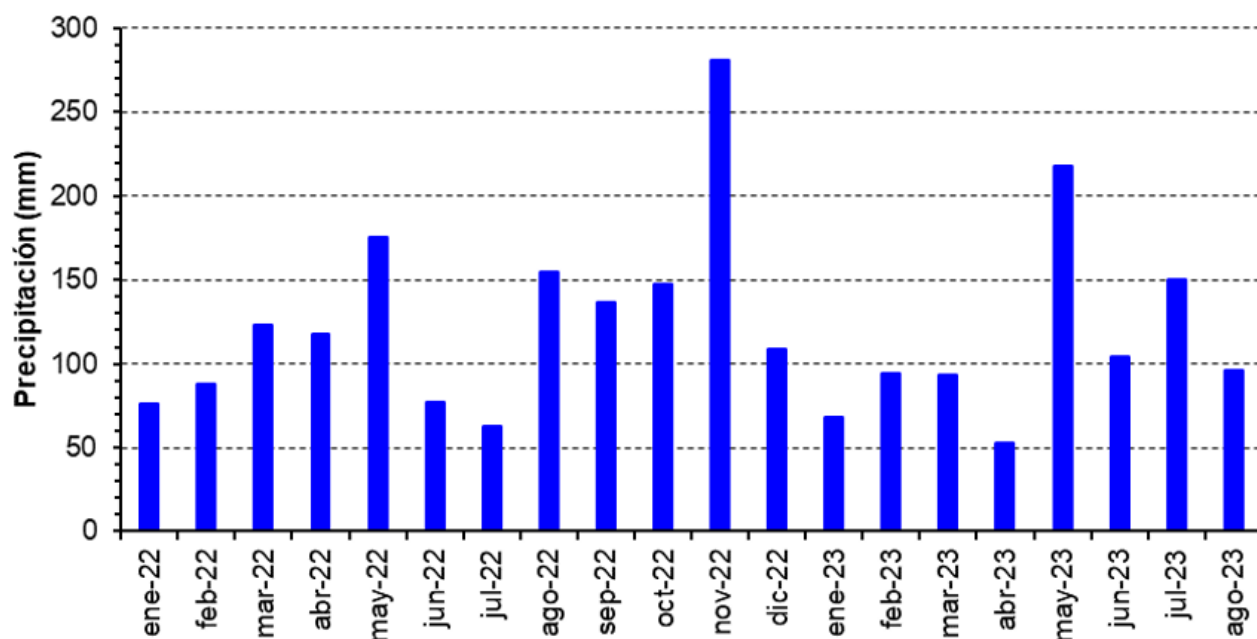


Figura 1.
Precipitación total mensual durante el periodo de estudio
autores.

El cultivo experimental de cacao se encontraba en la finca La Planada (N 8° 29' 43" y W 73° 18' 21"), ocupaba una superficie de una hectárea y se estableció en una pendiente del 46 % dentro de un sistema agroforestal. En este sistema se integró como sombrío permanente abarco (*Cariniana pyriformis* Miers) en doble surco forestal, con árboles establecidos en dirección norte-sur, siguiendo las curvas de nivel. Los surcos dobles se sembraron a una distancia de 16 m entre ellos y de 4 x 4 m entre plantas. La densidad de siembra de *Theobroma* es de 900 árboles, distribuidos a una distancia de 3 x 3 m entre árboles y surcos. En esta área se establecieron 180 árboles de cada uno de los siguientes genotipos: CCN-51, ICS-1, TCS-01, TCS-06 y TCS-19, cuya edad aproximada es de 10 años, y fueron injertados en el patrón IMC-67 de fenotipo forastero para evitar la variación causada por el portainjerto. El cultivo no contaba con riego suplementario. El suelo era un *Typic Dystropepts*, caracterizado por tener en el horizonte Ap (0-38 cm) una textura franco-arcillosa, con presencia de fragmentos de rocas y una estructura de tipo bloques subangulares. Su fertilidad natural es baja, tiene un pH de 5,74, un porcentaje de materia orgánica de 3,37 %, P de 5,12 mg/kg, K de 0,11 cmol(+)/kg, Ca de 4,96 cmol(+)/kg, Mg de 1,11 cmol(+)/kg, S de 3,54 mg/kg, Fe de 102,3 mg/kg, Mn de 19,2 mg/kg, Zn de 5,20 mg/kg y B de 0,19 mg/kg.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo en parcelas divididas (PD), con seis tratamientos (Tabla 1) y tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales. Cada unidad experimental (ue) estuvo conformada por cuatro árboles, dando un total de 12 árboles por tratamiento y 360 en todo el experimento. En la parcela principal, se evaluó el efecto del manejo agronómico de dos tipos de poda (Cacaocultor y Tecnificada) y en la subparcela, el efecto de tres tipos de fertilización (Cacaocultor; La Suiza, propuesta por el Centro de Investigación (C.I.) La Suiza de Agrosavia, e Integrada). Cada uno de los genotipos se considera un experimento independiente, debido a su distribución en campo (Figura 2).

Tabla 1.
Tratamientos del diseño experimental

Poda	Fertilización	Tratamiento
	Cacaocultor (Fc)	T1 = Pc + Fc
Cacaocultor (Pc)	La Suiza (Fs)	T2 = Pc + Fs
	Integrada (Fi)	T3 = Pc + Fi
Tecnificada (Pt)	Cacaocultor (Fc)	T4 = Pt + Fc
	La Suiza (Fs)	T5 = Pt + Fs
	Integrada (Fi)	T6 = Pt + Fi

autores.

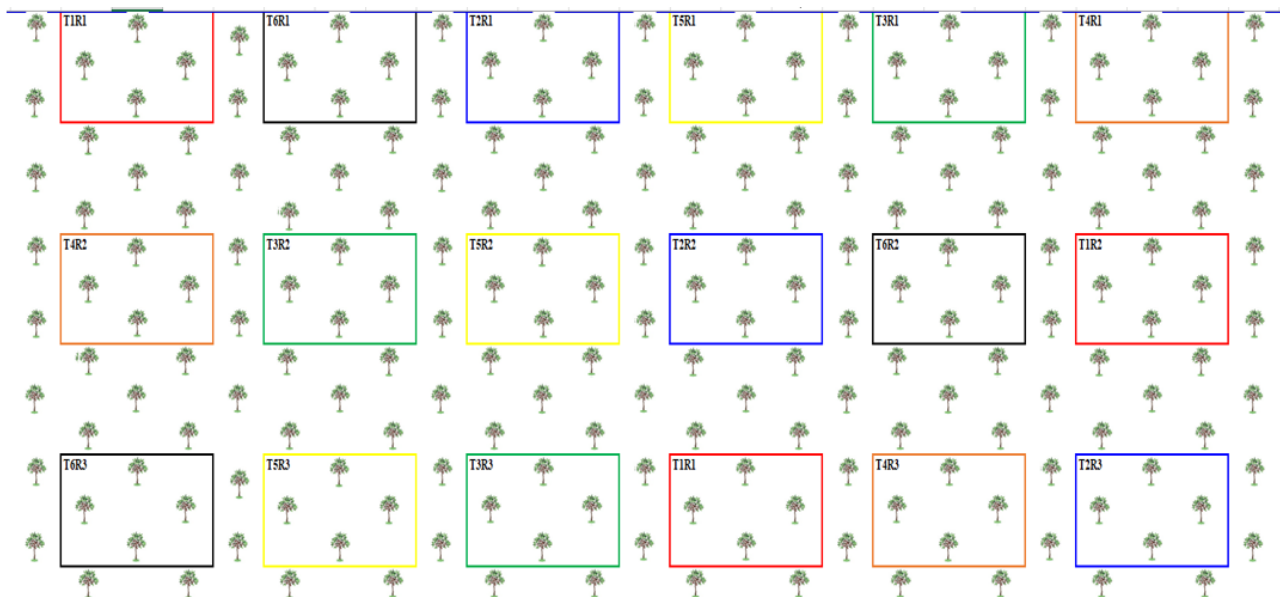


Figura 2.
Distribución de los tratamientos evaluados en campo
autores.

Establecimiento del experimento

Poda del sombrío permanente. Esta práctica se realizó en las ramas laterales de los árboles de abarco (*Cariniana pyriformis* Miers), cuya edad aproximada es 10 años. Los cortes efectuados en *C. pyriformis* se hicieron a ras para prevenir la entrada de hongos, patógenos o la formación de nudos. Es relevante destacar que el cacao se sembró en doble surco forestal, y que los árboles de *C. pyriformis* se establecieron en dirección norte-sur, considerando las curvas de nivel. Los surcos dobles de *C. pyriformis* fueron sembrados a una distancia de 16 m entre ellos y de 4 x 4 m entre plantas.

Poda de mantenimiento de los árboles de cacao. Se realizó esta labor en el cultivo experimental dos veces al año: la primera al finalizar el pico de cosecha de fin de año (enero) y la segunda al finalizar el pico de la cosecha principal (julio). La implementación de cada uno de los niveles de poda se detalla a continuación:

Poda del cacaocultor. Se basó en la regulación de altura y despunte de ramas laterales.

Poda tecnificada. Se enfocó en la regulación de altura y despunte de ramas laterales, así como también en la eliminación de ramas desgarradas, enfermas, entrecruzadas, secas y mal dirigidas, y de plantas epífitas, parásitas y trepadoras.

Control de arvenses y ploteo de los árboles. Estas labores se realizaron durante los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, abarcando el periodo comprendido entre los años 2022 y 2023.

Fertilización de los árboles de cacao. La implementación de cada uno de los tipos de fertilización se detalla a continuación:

Fertilización cacaocultor. La dosis aplicada fue de 200 g/planta de cafetero [17-6-18-2(MgO)]. Esta dosis se dividió en dos aplicaciones anuales, realizadas una semana después de cada poda de mantenimiento. El fertilizante se aplicó al voleo sobre la hojarasca. Es relevante señalar que, según la experiencia del cacaocultor, la dosis de potasio (K) que recomendó para el cultivo de cacao se considera baja desde el punto de vista técnico. En la región del Catatumbo es común encontrarse con este tipo de casos, ya que los agricultores suelen dedicarse principalmente al cultivo de coca (*Erythroxylum coca*), utilizando el cacao como una actividad económica complementaria para aumentar sus ingresos.

Fertilización La Suiza. La dosis aplicada fue 230 g/planta de urea (46-0-0), 125 g/planta de DAP (18-46-0), 373 g/planta de KCl (0-0-60), 400 g/planta de terrano [(8-5-24-20(CaO)-6(MgO)-3,9(S))], 90 g/planta de micromagnesio [(0-3-0-40(MgO))] y 27 g/planta de azufre elemental. Esta dosis se dividió en cuatro aplicaciones anuales (Figura 3). Los fertilizantes se aplicaron incorporados al suelo a 20 cm de profundidad, según su compatibilidad, distribuyéndolos en media corona (cinco huecos) en la gotera del árbol.

Con respecto a la dosis del C.I. La Suiza, es importante mencionar que fue la que se destacó en la evaluación de diversas dosis de fertilización en cacao bajo sistemas agroforestales, como parte del macroproyecto "Investigación, Desarrollo e Innovación de Cacaos Especiales bajo Sistemas Agroforestales", ejecutado entre 2015 y 2021, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) del departamento de Santander.

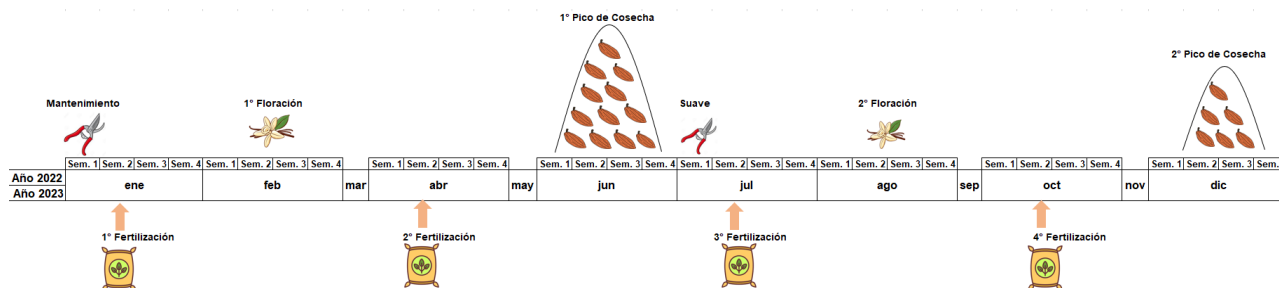


Figura 3.

Fraccionamiento de la fertilización
autores.

Fertilización integrada. Con base en el análisis químico de suelo y los requerimientos nutricionales específicos para cada uno de los clones evaluados, las dosis aplicadas se detallan en la tabla 2. Estas dosis se dividieron en cuatro aplicaciones anuales (Figura 3). Los fertilizantes químicos se aplicaron en banda en forma semicircular sobre la superficie del suelo en la gotera del árbol, teniendo en cuenta su compatibilidad. Posteriormente, encima de los fertilizantes químicos, se procedió a aplicar el abono orgánico.

Tabla 2.
Dosis de fertilización integrada

Fuente	Dosis (g / árbol / año)				
	TCS-19	ICS-1	TCS-01	TCS-06	CCN-51
Urea (46-0-0)	181	181	169	173	190
DAP (18-46-0)	31	61	108	89	39
KCl (0-0-60)	13	125	97	97	13
Abono orgánico [(2-5-3-10(CaO))]	400	400	400	400	400
Micromagnesio [(0-3-0-40(MgO))]	75	75	75	75	75
Azufre elemental	12	11	15	12	6
	712	853	864	846	723

autores.

La descripción del abono orgánico utilizado se detalla en la tabla 3.

Tabla 3.
Descripción de la composición garantizada del abono orgánico

Parámetros	Composición garantizada
Nitrógeno total (N)	2 %
Fósforo total (P ₂ O ₅)	5 %
Potasio soluble en agua (K ₂ O)	3 %
Calcio (CaO)	10 %
Silicio (SiO ₂)	24 %
Materia orgánica	35 %
Carbono orgánico oxidable	9 %
Relación C/N	7,50 %
Cenizas	52 %
Humedad máxima	13 %
pH	7,50 %
Densidad	0,71 g/cm ³
CIC	25 Meq/100 g
Capacidad de retención de humedad	87 %

autores.

Nota. Las fuentes utilizadas para la preparación de este abono fueron caprinaza, bagazo de caña de azúcar, lombricompuesto, gallinaza, roca fosfórica, carbonato de calcio y polihalita.

Manejo integrado de plagas (MIP). El manejo cultural de enfermedades se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Cerón et al. (2020), Rodríguez et al. (2020), Jaimes et al. (2011) y Jaimes y Aranzazu (2010). Esta metodología se basa en la eliminación semanal de los frutos enfermos en las primeras horas de la mañana, en concordancia con los registros de sanidad realizados. Además, se complementó con aspersiones foliares de fosetil-al 80 % (100 g en 20 litros de agua), mancozeb 80 % (50 g en 20 litros de agua) y silicato de potasio (100 ml en 20 litros de agua) en frutos con 2, 3,5 y 4 meses de desarrollo, utilizando bomba de espalda.

Muestreo y análisis de suelo

Tanto antes (03/01/2022) como después (31/08/2023) de la implementación de los tratamientos se tomaron muestras de suelo a una profundidad entre 0 y 20 cm, sin disturbar por cada unidad experimental, lo que resultó en un total de 18 muestras por cada genotipo evaluado. Las muestras fueron empacadas, rotuladas y enviadas el mismo día al Laboratorio de Química Analítica del Centro de Investigación Tibaitatá de Agrosavia, localizado en Mosquera, Cundinamarca. La densidad aparente (D_a) del suelo se determinó a través del método del cilindro biselado, que consiste en introducir un cilindro verticalmente en el suelo hasta la profundidad de interés. Una vez lleno, se retira el cilindro y se enrasan sus bordes con una navaja. La muestra de suelo se coloca en una bolsa plástica sellada y se envía al laboratorio para su análisis. Una vez allí, el cilindro con la muestra de suelo se seca en una estufa de aire forzado a 105 °C durante 24 a 36 horas. Luego,

se enfría y se pesa el conjunto (Pt). Después, se retira el suelo y se pesa el cilindro vacío (Pc). Además, se miden la longitud (h) y el diámetro interno (d) del cilindro para calcular su volumen (Vc). Finalmente, la Da se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen del anillo de acero. La distribución por tamaño de los agregados estables al agua se determinó mediante el método de Yoder (1936). Las mallas utilizadas en los tamices fueron de 4,76 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm y 0,149 mm. El diámetro ponderado medio de agregados (DPM) y el índice de estructura (IE) se utilizaron como índices de comparación de la distribución de agregados. El DPM se calculó a partir de la sumatoria del diámetro medio de cada clase de tamaño multiplicado por el porcentaje de agregados en cada clase. El IE se determina dividiendo la sumatoria del porcentaje de agregados estables entre 2,0 y 0,25 mm por la sumatoria de los agregados estables mayores de 2,0 mm y menores de 0,25 mm. La materia orgánica del suelo (MO) se determinó por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, utilizando el método modificado de Walkey & Black (1934) y se cuantificó por espectrofotometría UV- visible.

Análisis estadístico

Se utilizó el *software* estadístico R versión 4.2.1 para realizar las pruebas de normalidad (Shapiro Wilk) y homogeneidad de varianza (Levene's) con los datos obtenidos. A las variables que no cumplieron con estos supuestos se les aplicó una transformación Box-Cox que viene dada por la fórmula $W_i = Y_i^\lambda$. Para el diseño experimental utilizado se hizo un análisis de varianza (ANOVA) combinado y para cada tratamiento se aplicó el método de comparaciones múltiples de Tukey para visualizar de manera clara y precisa el efecto que tienen los factores evaluados, lo cual contribuirá a la interpretación adecuada de los resultados obtenidos en esta investigación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) del suelo, tanto antes de establecer el ensayo (03/01/2022) como al finalizarlo (31/08/2023), presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) para la interacción clon por tratamiento (Tabla 4).

La investigación comenzó con valores de MO del suelo entre 3,07 % y 3,65 %. Los sitios donde se implementará el tratamiento de poda tecnificada y fertilización integrada para los clones TCS-19 e ICS-1 registraron los mayores valores de MO del suelo, con 3,23 % y 3,04 %, respectivamente. Igualmente, el sitio donde se aplicará el tratamiento de poda cacaocultor y fertilización integrada para el clon TCS-01, registró un valor de 3,28 %. Además, el sitio donde se incorporará el tratamiento de poda y fertilización del cacaocultor para el clon TCS-06 registró un valor de 3,56 %, y en los sitios donde se implementarán los tratamientos de poda cacaocultor y fertilización integrada, y poda tecnificada y fertilización integrada para el clon CCN-51, registraron valores de 3,57 %.

Murphy (2015) indica que el aumento de la MO del suelo mejora la retención de agua, reduce la escorrentía, optimiza la aireación y mejora la estructura del suelo. Además, químicamente, es clave para almacenar y suministrar nutrientes a las plantas, así como para favorecer el crecimiento de microorganismos que facilitan la circulación de nutrientes en el suelo.

Tabla 4.

Valores medios de la interacción de los factores clon-tratamiento para la variable MO (%) al inicio (03/01/2022) y al final (31/08/2023) del experimento

Clon	Tratamiento											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
TCS-19	3,19 ^e	3,07 ^m	3,21 ^{cde}	3,10 ^m	3,21 ^{cde}	3,21 ^{kl}	3,20 ^{de}	3,07 ^m	3,22 ^{bcd}	3,05 ^m	3,23 ^{bcd}	3,26 ^{ijk}
TCS-01	3,25 ^{bcd}	3,17 ^l	3,24 ^{bcd}	3,20 ^{kl}	3,28 ^{bcd}	3,33 ^{ghi}	3,27 ^{bcd}	3,22 ^{kl}	3,24 ^{bcd}	3,220 ^{kl}	3,24 ^{bcd}	3,28 ^{hij}
TCS-06	3,56 ^a	3,51 ^{cde}	3,54 ^a	3,48 ^{de}	3,51 ^a	3,57 ^{bc}	3,54 ^a	3,48 ^{de}	3,52 ^a	3,48 ^{de}	3,56 ^a	3,63 ^{ab}
ICS-1	3,28 ^{bcd}	3,23 ^{kl}	3,29 ^{bc}	3,21 ^{kl}	3,26 ^{bcd}	3,34 ^{gh}	3,23 ^{bcd}	3,18 ^l	3,26 ^{bcd}	3,19 ^{kl}	3,31 ^b	3,40 ^{fg}
CCN-51	3,53 ^a	3,46 ^{ef}	3,55 ^a	3,50 ^{cde}	3,56 ^a	3,62 ^{ab}	3,57 ^a	3,53 ^{cd}	3,54 ^a	3,51 ^{cde}	3,57 ^a	3,65 ^a

autores.

Nota. Medias seguidas por letras iguales en la misma columna y fila para cada fecha no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Al finalizar la investigación, se observó una disminución de la MO en los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda y fertilización recomendados por el cacaocultor (3,86 %), poda cacaocultor y fertilización La Suiza (3,52 %), poda tecnificada y fertilización cacaocultor (4,06 %), y poda tecnificada y fertilización La Suiza (5,37 %) para el clon TCS-19. Este comportamiento está asociado a la topografía escarpada e inclinada del área de estudio, lo que facilita la escorrentía superficial y provoca la pérdida de materia orgánica, así como de nutrientes por lixiviación (Quinto-Mosquera et al., 2019). Resultados similares se encontraron en las investigaciones desarrolladas por Bilong et al. (2022) y Roba (2018).

Wessel (1971) afirma que los suelos de ladera con plantaciones de cacao tienden a disminuir gradualmente su contenido de MO con el tiempo, debido al incremento de la mineralización, ya que estos suelos quedan expuestos. Van Vliet & Giller (2017) sostienen que al disminuir la MO del suelo se afecta la fertilidad potencial de este, ya que, la MO se correlaciona positivamente con el nitrógeno total, el fósforo, la capacidad de intercambio catiónico y la suma de bases intercambiables.

Por otra parte, al finalizar la investigación, también se evidenció que los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda cacaocultor y fertilización integrada, y poda tecnificada y fertilización integrada para el clon ICS-1 mostraron un incremento en el valor inicial de MO, con aumentos del 2,64 % y 2,72 %, respectivamente. Este fenómeno puede estar relacionado con la aplicación de abono orgánico que contemplaban estos tratamientos, cuya descomposición y transformación contribuyen al aporte de MO, lo que resulta en el incremento de la MO preexistente (Chang et al., 2024). Los resultados de esta investigación coinciden con estudios previos que demuestran que el uso combinado de fertilizantes químicos y abonos orgánicos aumenta la MO del suelo (Paramesh et al., 2023; Paramesh et al., 2023a; Ejigu et al., 2022; Ejigu et al., 2021; Bhakti et al., 2021).

Densidad aparente

La Da del suelo, tanto al inicio como al final del experimento, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) para la interacción clon por tratamiento (Tabla 5).

La investigación comenzó con valores de Da del suelo entre 1,24 y 1,35 g/cm³, lo cual está relacionado con diferencias en el espacio poroso y la capacidad de retención y movimiento del agua en el suelo. Los sitios seleccionados para aplicar el tratamiento de poda y fertilización recomendado por el cacaocultor para los clones TCS-19 y CCN-51 mostraron los mayores valores de Da, con 1,35 y 1,26 g/cm³, respectivamente. De manera similar, en los sitios para los tratamientos de poda cacaocultor y fertilización La Suiza, poda tecnificada y fertilización La Suiza, y poda tecnificada y fertilización integrada para el clon TCS-01, se registró un valor de Da de 1,33 g/cm³. El tratamiento de poda cacaocultor y fertilización integrada para el clon TCS-06 mostró un valor de Da de 1,27 g/cm³, mientras que la poda tecnificada y fertilización cacaocultor para el clon ICS-1 tuvo un valor de Da de 1,34 g/cm³.

Tabla 5.

Valores medios de la interacción de los factores clon-tratamiento para la variable Da (g/cm³) al inicio (03/01/2022) y al final (31/08/2023) del experimento.

Clon	Tratamiento											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
TCS-19	1,35 ^a	1,41 ^a	1,34 ^{abcd}	1,39 ^a	1,35 ^{abc}	1,34 ^{bc}	1,35 ^{ab}	1,41 ^a	1,34 ^{abcde}	1,42 ^a	1,34 ^{abcde}	1,33 ^{cd}
TCS-01	1,33 ^{abcde}	1,36 ^b	1,33 ^{abcde}	1,35 ^{bc}	1,31 ^{cde}	1,30 ^{ef}	1,32 ^{abcde}	1,34 ^{bcd}	1,33 ^{abcde}	1,34 ^{bcd}	1,33 ^{abcde}	1,31 ^{de}
TCS-06	1,24 ^f	1,26 ^{ghi}	1,26 ^f	1,28 ^{fgh}	1,28 ^f	1,24 ^{ij}	1,26 ^f	1,27 ^{fgh}	1,26 ^f	1,28 ^{fgh}	1,25 ^f	1,22 ^j
ICS-1	1,32 ^{bcde}	1,34 ^{bcd}	1,31 ^{de}	1,34 ^{bc}	1,33 ^{abcde}	1,29 ^{efg}	1,34 ^{abcde}	1,35 ^b	1,33 ^{abcde}	1,35 ^{bc}	1,31 ^e	1,27 ^{fghi}
CCN-51	1,26 ^f	1,28 ^{fgh}	1,25 ^f	1,27 ^{ghi}	1,25 ^f	1,23 ^j	1,24 ^f	1,26 ^{hi}	1,25 ^f	1,26 ^{ghi}	1,24 ^f	1,22 ^j

autores.

Nota. Medias seguidas por letras iguales en la misma columna y fila para cada fecha no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Después de veinte meses de implementar los diferentes tratamientos en cada clon, se observaron diferencias a nivel de centésimas en la Da del suelo, lo que indica que aún no se ha evidenciado un efecto significativo de los tratamientos sobre esta propiedad física del suelo. Sin embargo, se notó una tendencia al incremento de la Da en los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda y fertilización recomendados por el cacaocultor (3,99 %), poda cacaocultor y fertilización La Suiza (3,65 %), poda tecnificada y fertilización cacaocultor (4,07 %), y poda tecnificada y fertilización La Suiza para el clon TCS-19 (5,60 %). Este comportamiento está asociado con la disminución de la MO del suelo, ya que este factor está relacionado con la pérdida agregados del suelo y reducción de su porosidad, lo que deriva en suelos más compactos (Chen et al., 2018).

Por otra parte, en los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda cacaocultor y fertilización integrada (2,79 %), y poda tecnificada y fertilización integrada (2,83 %) para el clon ICS-1, se observó una disminución en el valor inicial de Da del suelo. Este patrón está relacionado con el ligero aumento de la materia orgánica del suelo, ya que, como se mencionó anteriormente, este factor mejora la agregación y la porosidad del suelo y, de manera indirecta, mejoran la infiltración, la conductividad hidráulica saturada, la retención y la disponibilidad de agua del suelo (Apráz-Guerrero et al., 2014). Estudios previos realizados por Ma et al. (2023) y Mendoza et al. (2018) corroboran los hallazgos de la presente investigación.

Índice de estructura

El índice de estructura (IE) del suelo, tanto al inicio como al final del experimento, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) para la interacción clon por tratamiento (Tabla 6).

La investigación comenzó con valores de IE del suelo entre 51,30 % y 73,03 %. Los sitios donde se implementarían los tratamientos de poda tecnificada y fertilización integrada para los clones TCS-19, ICS-1 y CCN-51 registraron los mayores valores de IE, con 71,39 %, 73,03 % y 52,19 %, respectivamente. Un comportamiento similar se observó en el sitio donde se aplicaría el tratamiento de poda cacaocultor y fertilización integrada para el clon TCS-01, con un valor de 51,30 %. Además, el sitio donde se incorporaría el tratamiento de poda y fertilización recomendado por el cacaocultor para el clon TCS-06 registró un valor de 52,47 %.

Tabla 6.

Valores medios de la interacción de los factores clon-tratamiento para la variable IE (%) al inicio (03/01/2022) y final (31/08/2023) del experimento

Clon	Tratamiento											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
TCS-19	70,51 ^f	67,75 ^f	71,03 ^{cdef}	68,48 ^f	70,86 ^{def}	70,86 ^{de}	70,68 ^{ef}	67,83 ^f	71,21 ^{bcdef}	67,35 ^f	71,39 ^{bcdef}	71,93 ^{cd}
TCS-01	71,84 ^{abcdef}	70,07 ^e	71,66 ^{abcdef}	70,59 ^{de}	72,57 ^{abc}	73,50 ^b	72,20 ^{abcde}	71,12 ^{cde}	71,66 ^{abcdef}	71,12 ^{cde}	71,66 ^{abcdef}	72,57 ^{bc}
TCS-06	52,47 ^a	51,36 ^{ij}	51,71 ^a	50,82 ^{ij}	51,30 ^a	52,19 ^{ghi}	51,71 ^a	50,96 ^{ij}	51,43 ^a	50,82 ^{ij}	51,98 ^a	53,04 ^{gh}
ICS-1	72,48 ^{abcd}	71,30 ^{cde}	72,75 ^{ab}	70,95 ^{de}	71,93 ^{abcdef}	73,88 ^{ab}	71,39 ^{bcdef}	70,24 ^e	71,93 ^{abcdef}	70,42 ^e	73,03 ^a	75,04 ^a
CCN-51	51,64 ^a	50,56 ^j	51,91 ^a	51,23 ^{ij}	52,05 ^a	52,90 ^{gh}	52,19 ^a	51,64 ^{hij}	51,77 ^a	51,36 ^{ij}	52,19 ^a	53,34 ^a

autores.

Nota. Medias seguidas por letras iguales en la misma columna y fila para cada fecha no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Al finalizar el experimento, se observó que el IE del suelo tendió a disminuir en los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda y fertilización recomendados por el cacaocultor (3,91 %), poda cacaocultor y fertilización La Suiza (3,59 %), poda tecnificada y fertilización cacaocultor (4,03 %), y poda tecnificada y fertilización La Suiza en los árboles de TCS-19 (5,42 %). Este comportamiento se relaciona con el aumento de la Da del suelo, pues este factor se relaciona con la disminución de la macroporosidad y el incremento de la meso y microporosidad (Kumar et al., 2020; Novak et al., 2019).

Por otra parte, en los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda cacaocultor y fertilización integrada (2,71 %), y poda tecnificada y fertilización integrada (2,76 %) para los árboles del clon ICS-1, se observó un incremento en el valor inicial de IE. Este patrón está asociado con disminución de la Da del suelo, como consecuencia de una mayor agregación del suelo (Garzón, 2020).

Diámetro ponderado medio

El diámetro ponderado medio (DPM) del suelo, tanto al inicio como al final del experimento, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) para la interacción clon por tratamiento (Tabla 7).

La investigación comenzó con valores de DPM entre 0,44 y 1,23 mm. Los mayores valores de DPM se registraron en los sitios donde se implementaría el tratamiento de poda tecnificada y fertilización integrada para los clones TCS-01, TCS-19 e ICS-1 (1,21, 1,21 y 1,23 mm, respectivamente). Un comportamiento similar se observó en los sitios donde se incorporaría el tratamiento de poda y fertilización recomendado por el cacaocultor para los clones TCS-06 y CCN-51, con un valor de 0,45 mm.

Tabla 7.

Valores medios de la interacción de los factores clon-tratamiento para la variable DPM (mm) al inicio (03/01/2022) y al final (31/08/2023) del experimento

Clon	Tratamiento											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
TCS-19	1,19 ^f	1,14 ^g	1,20 ^{cdef}	1,16 ^{fg}	1,20 ^{def}	1,20 ^{de}	1,19 ^{ef}	1,14 ^g	1,20 ^{bcdef}	1,14 ^g	1,21 ^{abcdef}	1,21 ^{cd}
TCS-01	1,21 ^{abcdef}	1,18 ^{ef}	1,21 ^{abcdef}	1,19 ^{de}	1,23 ^{abc}	1,24 ^{ab}	1,22 ^{abcde}	1,20 ^{cde}	1,21 ^{abcdef}	1,20 ^{cde}	1,21 ^{abcdef}	1,23 ^{bc}
TCS-06	0,45 ^g	0,44 ^h	0,44 ^g	0,43 ^h	0,43 ^g	0,44 ^h	0,44 ^g	0,43 ^h	0,44 ^g	0,43 ^h	0,44 ^g	0,45 ^h
ICS-1	1,22 ^{abcd}	1,20 ^{cde}	1,23 ^{ab}	1,20 ^{de}	1,21 ^{abcdef}	1,25 ^{ab}	1,20 ^{bcdef}	1,18 ^{ef}	1,21 ^{abcdef}	1,19 ^{de}	1,23 ^a	1,27 ^a
CCN-51	0,44 ^g	0,43 ^h	0,44 ^g	0,43 ^h	0,44 ^g	0,45 ^h	0,44 ^g	0,44 ^h	0,44 ^g	0,44 ^h	0,44 ^g	0,45 ^h

autores.

Nota. Medias seguidas por letras iguales en la misma columna y fila para cada fecha no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Después de 20 meses, se observó una disminución en el valor inicial de DPM en los sitios donde se implementaron los tratamientos de poda y fertilización recomendados por el cacaocultor (3,95 %), poda cacaocultor y fertilización La Suiza (3,58 %), poda tecnificada y fertilización cacaocultor (4,19 %), y poda tecnificada y fertilización La Suiza en el clon de TCS-19 (5,49 %). Este comportamiento se debe a la disminución de la MO del suelo, debido a que este factor está estrechamente relacionado con el tamaño de los agregados del suelo (Delgado-Londoño, 2017; Cardona et al., 2016).

4. CONCLUSIÓN

A pesar de que los cambios observados en la presente investigación están más relacionados con la fracción mineral del suelo, el clima y la topografía de la zona de estudio, debido al limitado tiempo de evaluación, se evidencia que la implementación de la poda tecnificada y la fertilización integrada mostró una tendencia positiva en las propiedades físicas del suelo evaluadas. Esto permite vislumbrar los posibles efectos favorables que estas prácticas agronómicas podrían tener para la conservación de suelos de ladera de uso cacaotero, si se continúa su evaluación durante los próximos cinco años.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), donde se desarrolló el proyecto “Mejorar la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo del cacao”, financiado por el Fondo Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Acción Climática de Portugal.

LITERATURA CITADA

- Apráez-Guerrero, J., Zambrano-Burbano, G. y Navia-Estrada, J. (2014). Evaluación de la relación suelo-planta en un sistema productivo de leche del altiplano Nariño, Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*, 8(1), 66-84. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4367/4016>
- Babur, E., Süha Uslu, Ö., Leonardo Battaglia, M., Diatta, A., Fahad, S., Datta, R., Zafar-ul-Hye, M., Sabir Hussain, G. & Danish, S. (2021). Studying soil erosion by evaluating changes in physico-chemical properties of soils under different land-use types. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(3), 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.01.005>
- Bhakti, RRaut Bhakti V, Vaidya KP, Biradar SU and More SS (2021). Effect of integrated nutrient management on soil properties after harvest of lablab bean (*Lablab purpureus*) in Alfisols of Konkan region of Maharashtra. *The Pharma Innovation International Journal*, 10(12), 2229-2233. <http://www.thepharmajournal.com>
- Bilong, E. G., Abossolo-Angue, M., Nanganoa, L. T., Anaba, B. D., Ajebesone, F. N., Madong, B. A & Bilong, P. (2022). Organic manures and inorganic fertilizers effects on soil properties and economic analysis under cassava cultivation in the southern Cameroon. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17991-6>
- Boney, M., Azwan, A., Haya, R. & Dandan, M. (2020). Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Chemical Properties and the Production of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Madai, Kunak, Sabah. *Journal of Bangladesh Agricultural University*, 18(S1), 811-815. <https://doi.org/10.5455/jbau.12597>
- Cardona, W. A. y Bolaños-Benavides, M. M. (2019). Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada. En Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-18>
- Cardona, W. A., Bolaños-Benavides, M. M. y Chavarriaga Montoya, W. (2016). Efecto de fertilizantes químicos y orgánicos sobre la agregación de un suelo cultivado con *Musa acuminata* AA. *Acta Agronómica*, 65(2), 144-148. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.44493>
- Cardona, W. A., Morales, H., Luis, O., Bautista, L. G., Ospina, C. E., Valencia, J. A., Bolaños, M. M., Contreras, J. L., Londoño, M. de J. y Monroy, D. M. (2020). Recomendaciones tecnológicas para el cultivo de plátano con destino a mercados especializados: densidades de siembra, fertilización y picudos. *Agrosavia*, 1. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/189/175/1269-1>
- Cerón, I. X., García, M. C., Rodríguez, E., Cubillos, A., Polanco, E., López, M. del P., Parra, E. B., Moreno, J. M. y Quiñones, F. (2020). Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao. *Agrosavia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.institucional.7403572>

- Chang, X., He, H., Cheng, L., Yang, X., Li, S., Yu, M., Zhang, J. & Li, J. (2024). Combined Application of Chemical and Organic Fertilizers: Effects on Yield and Soil Nutrients in Spring Wheat under Drip Irrigation. *Agronomy*, 14(4), 655. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040655>
- Chen, Y., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Singh, B. & Cayuela, M. L. (2018). The long-term role of organic amendments in building soil nutrient fertility: a meta-analysis and review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 111(2-3), 103-125. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9903-5>
- Delgado-Londoño, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 1(17), 77-83. <https://doi.org/10.21501/21454086.1907>
- Ejigu, W., G. Selassie, Y., Elias, E. & Smaling, E. (2022). Effect of integrated fertilizer application on soil properties and *tef* (*Eragrostis tef* [Zucc] Trotter) yield on Vertisols of Northwestern Ethiopia. *Journal of Plant Nutrition*, 45(5), 761-774. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1985140>
- Ejigu, W., Selassie, Y. G., Elias, E. & Damte, M. (2021). Integrated fertilizer application improves soil properties and maize (*Zea mays* L.) yield on Nitisols in Northwestern Ethiopia. *Heliyon*, 7(2), e06074. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06074>
- Fungenzi, T., Sakrabani, R., Burgess, P. J., Lambert, S. & McMahon, P. (2021). Medium-term effect of fertilizer, compost, and dolomite on cocoa soil and productivity in Sulawesi, Indonesia. *Experimental Agriculture*, 57(3), 185-202. <https://doi.org/10.1017/S0014479721000132>
- Garzón, L. (2020). Efecto de la adición de compost de flores sobre algunas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78164/11442928.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Goulding, K. W. T. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. In *Soil Use and Management*, 32(3), 390-399. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>
- Holdridge L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Jaimes, Y. y Aranzazu, F. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). En *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local*, 1(69).
- Jaimes, Y., Aránzazu, F., Rodríguez, E. & Martínez, N. (2011). Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora roreri* in three different regions of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 29(1), 171-178. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/15678/37403>
- Kongor, J. E., Boeckx, P., Vermeir, P., Van de Walle, D., Baert, G., Afoakwa, E. O. & Dewettinck, K. (2019). Assessment of soil fertility and quality for improved cocoa production in six cocoa growing regions in Ghana. *Agroforestry Systems*, 93, 1455-1467. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0253-3>
- Kumar, R., Kaushal, S., Kaur, G. & Gulati, D. (2020). Effect of soil organic matter on physical properties of soil. *Just Agriculture Multidisciplinary e-Newsletter*, 1(2), 25-30. <https://www.researchgate.net/publication/360560644>
- Li, Y. Y. & Shao, M. A. (2006). Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*, 64(1), 77-96. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196305001072>
- Ma, G., Cheng, S., He, W., Dong, Y., Qi, S., Tu, N. & Tao, W. (2023). Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Nutrient Conditions in Rice Fields with Varying Soil Fertility. *Land*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/land12051026>

- Mendoza, A., Bautista, M. F. y Vallejo, V. (2018). Selección de indicadores de calidad edáfica en diferentes sistemas productivos del municipio de Cachipay (Fase 2). *Ingeciencia*, 3(2), 5-22. <https://revistas.ucentral.edu.co/index.php/Ingeciencia/article/view/2866/2829>
- Murphy, B. W. (2015). Impact of soil organic matter on soil properties - A review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, 53(6), 605-635. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
- Novak, E., de Carvalho, L. A., Santiago, E. F. & Tomazi, M. (2019). Changes in the soil structure and organic matter dynamics under different plant covers. *Cerne*, 25(2), 230-239. <https://doi.org/10.1590/01047760201925022618>
- Paramesh, V., Kumar, P., Bhagat, T., Nath, A. J., Manohara, K. K., Das, B., Desai, B. F., Jha, P. K. & Prasad, P. V. V. (2023). Integrated Nutrient Management Enhances Yield, Improves Soil Quality, and Conserves Energy under the Lowland Rice–Rice Cropping System. *Agronomy*, 13(6), 1557. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061557>
- Paramesh, V., Mohan Kumar, R., Rajanna, G. A., Gowda, S., Nath, A. J., Madival, Y., Jinger, D., Bhat, S. & Toraskar, S. (2023a). Integrated nutrient management for improving crop yields, soil properties, and reducing greenhouse gas emissions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1173258>
- Persello, S., Grechi, I., Boudon, F. & Normand, F. (2019). Nature abhors a vacuum: Deciphering the vegetative reaction of the mango tree to pruning. *European Journal of Agronomy*, 104, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.01.007>
- Quinto-Mosquera, H., Córdoba-Moreno, L. & Minotta-Moreno, M. (2019). Effects of soil fertilization on litter production in tropical rainforests of biogeographic Chocó, Colombia. *Bosque*, 40(3), 315-322. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000300315>
- Roba, T. B. (2018). Review on: The Effect of Mixing Organic and Inorganic Fertilizer on Productivity and Soil Fertility. *OALib*, 05(06), 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104618>
- Rodríguez, E., Parra, E. B., Bermeo, P. A., Segura, J. D. y Rodríguez, L. A. (2020). Manejo de la pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora palmivora*) en cacao por aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas.pdf. https://www.researchgate.net/publication/350339905_Manejo_de_la_pudricion_parda_de_la_mazorca_Phytophthora_palmivora_en_cacao_por_aplicacion_conjunta_de_practicas_culturales_y_quimicas#fullTextFileContent
- Santander-Mendoza, S. D., Falcón-Acosta, M. del C., Suárez-Santana, M. & Durán-Álvarez, J. L. (2021). Structure Degradation in an Agrogenic Soil. Analysis of Incident Factors and Associated Conservation Measures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), 21-31. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v30n4/2071-0054-rcta-30-04-e03.pdf>
- Toková, L., Igaz, D., Horák, J. & Aydin, E. (2020). Effect of Biochar Application and Re-Application on Soil Bulk Density, Porosity, Saturated Hydraulic Conductivity, Water Content and Soil Water Availability in a Silty Loam Haplic Luvisol. *Agronomy*, 10(7), 1005. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071005>
- Tosto, A., Zuidema, P. A., Goudsmit, E., Evers, J. B. & Anten, N. P. R. (2022). The effect of pruning on yield of cocoa trees is mediated by tree size and tree competition. *Scientia Horticulturae*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111275>
- Van Vliet, J. A. & Giller, K. E. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. *Advances in Agronomy*, 141, 185-279. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>
- Walkley, A. & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wessel, M. (1971). Fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.) in South-Western Nigeria. [Koninklijk Instituut Voot de Tropen]. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/525772>

Yoder, R. E. (1936). A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses. *Agronomy Journal*, 28(5), 337-351. <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>

Financiamiento

Fuente: Esta investigación se llevó a cabo en el marco del proyecto “Mejorar la sostenibilidad ambiental mediante la implementación de tecnologías en el contexto de la estrategia nacional para el cultivo del cacao”. Su ejecución fue posible gracias al Convenio Especial de Colaboración Técnica y Financiera (código interno Agrosavia 2035e), suscrito entre el Fondo Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Acción Climática de la República Portuguesa y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia.

Nº de contrato: código interno Agrosavia 2035e

Beneficiario: EFECTO DE LA PODA Y FERTILIZACIÓN INTEGRADA EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS CACAOTEROS

INFORMACIÓN ADICIONAL

CÓMO CITAR: Lerma-Lasso, J., Bolaños-Benavides, M. y Torres-Bazurto, J. (2025). Efecto de la poda y fertilización integrada en algunas propiedades físicas de suelos cacaoteros. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(2), 63 - 81. <https://doi.org/10.22490/21456453.8286>

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA: **Autor 1:** ejecución de la investigación, redacción del borrador original y análisis de datos. **Autor 2:** diseño de la metodología, redacción, revisión y edición del manuscrito. **Autor 3:** diseño de la metodología, redacción, revisión y edición del manuscrito.

CONFLICTO DE INTERESES: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

ENLACE ALTERNATIVO

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive> (html)

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive> (pdf)

AmeliCA

Disponible en:

<https://portal.amelica.org/ameli/ameli/journal/130/1305315003/1305315003.pdf>

[Cómo citar el artículo](#)

[Número completo](#)

[Más información del artículo](#)

[Página de la revista en portal.amelica.org](#)

AmeliCA

Ciencia Abierta para el Bien Común

José Libardo Lerma-Lasso,

Martha Marina Bolaños-Benavides, Jaime Torres-Bazurto

**EFFECTO DE LA PODA Y FERTILIZACIÓN INTEGRADA
EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS
CACAO TEROS**

**EFFECT OF PRUNING AND INTEGRATED FERTILIZATION ON
SOME PHYSICAL PROPERTIES OF CACAO SOILS**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

vol. 16, núm. 2, p. 63 - 81, 2025

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

riaa@unad.edu.co

ISSN: 2145-6097

ISSN-E: 2145-6453

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.8286>

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE

**Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-
CompartirIgual 4.0 Internacional.**