

# Componentes del rendimiento en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo fertilización química fraccionada

## Yield components of three cocoa clones (*Theobroma cacao* L.) under fractional chemical fertilization

Danielle Oliveira-de-Andrade<sup>1\*</sup> ; Jaime Torres-Bazurto<sup>2</sup> ; Daniel Gerardo Cayón-Salinas<sup>3</sup> ;  
Oscar Piamba<sup>4</sup> ; Lina Maria Alvarado<sup>5</sup> ; Óscar Darío Hincapié<sup>6</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrado en Ciencias Agrarias. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: doliveirad@unal.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá D.C., Colombia; e-mail: jtorresb@unal.edu.co.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: dg cayons@unal.edu.co.

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Bogotá D.C., Colombia; e-mail: oepiambat@unal.edu.co.

<sup>5</sup>Universidad del Valle, Investigadora/Asistente de docencia, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Cali, Colombia; e-mail: alvarado.lina@correounivalle.edu.co.

<sup>6</sup>Compañía Nacional de Chocolates, Investigador de Fomento Agrícola. Colombia; e-mail: odhincapie@chocolates.com.co

\*autor de correspondencia: doliveirad@unal.edu.co

**Cómo citar:** Oliveira-de-Andrade, D.; Torres-Bazurto, J.; Cayón-Salinas, D.G.; Piamba, O.; Alvarado, L.M.; Hincapié, O.D. 2025. Componentes del rendimiento en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo fertilización química fraccionada. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 28(1):e2672. <http://doi.org/10.31910/rudca.v28.n1.2025.2672>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

**Recibido:** mayo 21 de 2024

**Aceptado:** junio 10 de 2025

**Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

### RESUMEN

Para propiciar mejores prácticas de fertilización para el cultivo de cacao es indispensable conocer el comportamiento productivo de cada clon para definir la estrategia de manejo nutricional. En esta investigación se evaluó la respuesta productiva de tres clones de cacao (CNCh 12, CNCh 13 e ICS 1), sometidos a cinco tratamientos de fertilización química fraccionada, en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos de fertilización fueron: T0, testigo absoluto; T1, fertilización del agricultor; T3, ajustada para producir tres toneladas por hectárea año; T2, 25 % menos de T3 y T4, 25 % más de T3. Se determinaron las componentes de producción (índices de grano, número de semillas normales por fruto y número de frutos por planta), rendimientos (real y total) y potencial productivo del cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los clones para todas las variables evaluadas, mostrando heterogeneidad entre genotipos. Se observó que los tratamientos de fertilización no tuvieron efecto significativo sobre el índice de grano y el número de granos por mazorca, excepto en el CNCh13. Un efecto más claro se observó en el número de frutos por planta, en que los tratamientos fertilizados tendieron a presentar un aumento con relación al testigo. Este efecto se ve en el rendimiento real y el potencial productivo del cultivo. Algunas fertilizaciones incrementaron la producción del cultivo de cacao para todos los clones evaluados, principalmente, en función del número de frutos y se identificó que los clones presentaron requerimientos específicos de fertilización.

**Palabras clave:** Concentración de nutrientes en el suelo; Fertilidad del suelo; Granos de cacao; Interacción genotipo ambiente; Producción.

### ABSTRACT

To promote better fertilization practices for cacao crops, it is essential to understand the productive performance of clones to define the nutritional management strategy. This study evaluated the productive response of three cacao clones (CNCh 12, CNCh 13, and ICS 1) subjected to five fractional chemical fertilization treatments in a randomized complete block experimental design with four replications. The fertilization treatments were: T0, absolute control; T1, farmer fertilization; T3, adjusted to produce three tons per hectare per year; T2, 25% less than T3; and T4, 25% more than T3. Production components (grain indices, number of normal seeds per fruit, and number of fruits per plant), yields (actual and total), and crop productive potential were determined. The results showed significant differences among clones for all variables evaluated, demonstrating heterogeneity among genotypes. It will be observed that fertilization treatments had no significant effects on the grain index and the number of grains per ear, except in CNCh13. A clearer effect will be observed in the number of fruits per plant, where the fertilized treatments tended to show an increase compared to the control. This effect is evident in the actual yield and productive potential of the crop.

**Keywords:** Cacao beans; Genotype-environment interaction; Production; Soil fertility; Soil nutrient concentration.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los diez mayores productores mundiales de cacao y, actualmente, cuenta con un área sembrada superior a 259,6 mil hectáreas (Macheca-Silva, 2024). La mayor fracción de esta área (36,8 %) se encuentra en el departamento de Santander, que también es el mayor productor del país, según la Federación Nacional de Cacaoteros (2017). La producción nacional en 2021/22 fue alrededor de 69 mil toneladas, aumentando, aproximadamente, 8,9 %, comparado al año anterior; sin embargo, debido a las condiciones presentadas por el fenómeno “La Niña”, en 2022/23, la producción se redujo a 62,1 mil toneladas (Fedecacao, 2023).

Los suelos colombianos sembrados con cacao se caracterizan por ser mayoritariamente ácidos y, por lo general, muy pobres en nutrientes, lo que se convierte en limitante para la producción de cacao (Cuervo-Alzate & Osorio, 2020). Alvim (1977) afirma que cultivos de cacao con una adecuada fertilización pueden alcanzar altas producciones, mientras que en sistemas tradicionales sin fertilización, el rendimiento no alcanza más de 500 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de granos.

Para producir una tonelada de grano de cacao por hectárea año, un cultivo puede extraer del suelo, cerca de 36 kg de nitrógeno (N), 8 kg de fósforo (P) y 51 kg de potasio (K), además de otros nutrientes (Furcal-Beriguete, 2017). Si los nutrientes tomados del suelo no son restituidos, la fertilidad del suelo se reduce y la producción de cacao declina, como lo demostraron Ahenkorah *et al.* (1974) y Aneani & Ofori-Frimpong (2013). Los requerimientos de nutrientes se suplen utilizando diferentes estrategias de fertilización.

La fertilización química granulada o mediante fertilizante foliar aumenta la productividad del cacao, como lo reporta Arthur *et al.* (2024). El uso de fertilizantes orgánicos también presenta efectos positivos en el aumento de la producción de cacao, como lo reporta Vega *et al.* (2021), en el entorno colombiano. El fraccionamiento de la dosis anual de fertilizante es una técnica que busca reducir las pérdidas de estos y brindar los elementos requeridos en el momento de mayor demanda del cultivo (Puentes-Páramo *et al.* 2014).

El periodo más exigente en términos de nutrientes para el cultivo de cacao es durante el desarrollo del fruto, sobre todo de NPK (Snoeck *et al.* 2016). Las exigencias nutricionales del cultivo pueden variar significativamente en función del material genético, edad, estado fenológico, manejo agronómico, densidad de siembra y ambiente (Puentes-Páramo *et al.* 2014).

De acuerdo con Snoeck *et al.* (2016), para realizar un adecuado manejo de la fertilización es necesario realizar un diagnóstico del suelo, que permita conocer sus niveles críticos de nutrientes, sus relaciones, así como sus balances, para aportar al suelo lo que el cultivo requiere, para el mantenimiento fisiológico, el crecimiento y la cosecha (Chepote *et al.* 2012). Como complemento, se puede realizar un diagnóstico foliar para identificar deficiencias nutricionales del cultivo y efectuar una evaluación de parámetros físicos del suelo, con el objetivo de identificar, si hay factores

limitantes para la absorción de nutrientes y el desarrollo del cultivo (Russel & Goss, 1974; Silva *et al.* 1977; Sodré, 2002; Reichert *et al.* 2003). Otros aspectos relevantes son la selecci3n de las fuentes y el momento, forma y lugar de aplicaci3n de nutrientes, que se deben realizar respetando las demandas nutricionales de cada etapa fenol3gica del cultivo (Snoeck *et al.* 2016).

Las investigaciones sobre fertilizaci3n y nutrici3n de cacao en el contexto colombiano son escasas y, además, se desconoce la respuesta a la fertilizaci3n de los nuevos clones que se han introducido en el país, con el fin de mejorar el aroma y sabor, en zonas productoras de Santander, zona que se caracteriza por tener un clima apto para el desarrollo de este cultivo, pero con un suelo pobre en fertilidad. Ante lo mencionado, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de la fertilizaci3n peri3dica y fraccionada sobre las componentes de rendimiento en tres clones de cacao, en Santander, Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localizaci3n de la zona de estudio.** El experimento se realiz3 entre 2020 a 2023, en la Granja Experimental Yariguíes, ubicada a 110 m s.n.m., entre los municipios de Barrancabermeja y San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia (N 6°54'30,2", W 73°44'08,3").

**Material gen3tico.** Se evaluaron clones de fino aroma y autocompatibles, denominados Imperial College Selection (ICS 1) y Compa a Nacional de Chocolates (CNCh) 12 y 13. El cultivo fue establecido en campo en 2011, en tresbolillo, en asocio con abarcos (*Cariniana pyriformis*). El cacao est3 sembrado a una distancia de 3,20 x 3,20 m entre plantas y entre surcos, mientras que los abarcos, lo est3n a una distancia de 6,40 x 12,80 m entre plantas y entre surcos, respectivamente.

**Clima.** La zona de vida es definida como bosque húmedo tropical (bh-T), según Holdridge (2000). La media anual de precipitaci3n acumulada es superior a 2.700 mm en r3gimen bimodal, temperatura del aire de 28  C, humedad relativa de 84 % y brillo solar de 5,5 horas al día (Ideam, 2023).

**Suelo.** Las parcelas del ensayo se ubicaron en lomas y colinas con pendientes superiores a 25 %. El suelo corresponde a un Typic Udorthents (USDA, 2014). Antes de la implementaci3n del ensayo en campo se determinaron las variables fisicoquímicas del suelo. Las metodologías empleadas son las utilizadas por el Laboratorio de Aguas y Suelos, de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, UNAL y por el Instituto Geogr3fico Agustín Codazzi, IGAC; en la tabla 1 se presenta los resultados.

**Diseño experimental.** Se utiliz3 un diseño en bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue conformada por 15 árboles, de los cuales, 6 fueron utilizados para el registro de producci3n.

**Tratamientos (TTO).** Definidos como: T0, testigo absoluto; T1, fertilizaci3n empleada por el agricultor; T3, ajustada para producir

tres toneladas de granos secos por ha año, tomando en cuenta las extracciones de nutrientes de los granos secos de cacao y las condiciones nutricionales del suelo; T2, 25 % menos de la dosis planteada para T3 y T4, 25 % más de la dosis planteada para T3. En la tabla 2 se presenta las cantidades de nutrientes aplicados.

**Fuentes de fertilizantes y fraccionamiento de la dosis.** Con la formulación comercial (N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O – CaO – MgO) fueron utilizados Agrimins (12-6-27-5-5), enmienda mezcla multipropósito (0-12,6-0-32,5-6,8), cal agrícola (0-0-0-50,4-0) y Multi NPK (13-

3-43-0-0). La dosis anual de Agrimins del T1 fue fraccionado en tres partes iguales, aplicados en febrero, septiembre y noviembre y la enmienda multipropósito fue aplicada en su totalidad en junio. Para los T2, T3 y T4 las dosis fueron fraccionadas y aplicadas de la siguiente forma: Agrimins, en 56,3 (abril) y 43,7 % (septiembre); enmienda multipropósito, en 45,5 (febrero) y 54,5 % (junio); cal agrícola, en 56,1 (febrero) y 43,9 % (junio) y Multi NPK 38,3 (abril) y 61,7 % (septiembre), respectivamente.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo de la Granja Experimental Yariguíes, Santander, donde se estableció el cultivo de cacao con los clones ICS 1 y CNCh 12 y 13.

K	Ca	Mg	Na	P	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
meq/100g				mg/kg							
0,2	4,2	2,0	0,1	14,8	14,2	53,5	24,0	1,8	1,0	0,4	
pH	CO %	AI	CIC	CICe	DA	CE	Arcilla	Limo	Arena	Clase textural	
		meq/100g			g/cm <sup>3</sup>	dS/m	%			Franco arcilloso	
4,59	0,7	2,59	12,1	8,7	1,66	0,2	36	27	38		

Tabla 2. Cantidad de nutrientes aplicados por tratamiento en kg/ha año.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
T0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	75	43	138	274	62	53	0,31	1,96	0,11	4,0	8,36
T2	118	24	166	18	16	9	0,34	0,50	0,14	0,28	0,25
T3	157	26	185	46	28	12	0,45	1,46	0,15	0,52	0,31
T4	197	32	231	58	35	15	0,56	1,82	0,19	0,65	0,38

T0, testigo absoluto; T1, fertilización del agricultor; T3, ajustada para producir tres toneladas por hectárea año; T2, 25 % menos de T3; y T4, 25 % más de T3.

**Conducción del ensayo y manejo agronómico.** Implementado el ensayo en campo se procedió a la eliminación de todos los frutos de los árboles seleccionados. Antes de cada fertilización se realizó plateo a cada planta y la forma de aplicación fue en media corona. El manejo agronómico realizado fue el mismo para todos los tratamientos con excepción de la fertilización. La poda se realizó entre febrero a marzo y el cultivo de abarco no recibió ninguna labor agronómica.

**Componentes del rendimiento.** Un muestreo fue realizado en 2022, se seleccionaron al azar seis frutos por unidad experimental para formar una muestra y sobre ellas se determinaron las siguientes variables:

Número de semillas normales por frutos (NSNF): se desgranó manualmente cada fruto y, posteriormente al tacto, se contabilizaron las semillas.

Índice de grano (IG): todas las muestras anteriores fueron etiquetadas, empacadas, fermentadas y puestas a secar a temperatura ambiente bajo sol. Finalizado el proceso, se midieron las humedades de cada muestra y posteriormente se contabilizó el número de granos y se registró los pesos de cada muestra. Con la ecuación 1, se calculó el IG (Icontec, 2021) y se corrigió su valor para que todas las muestras tuvieran la misma humedad del 7 %.

$$IG (g) = \frac{\text{Peso de la muestra de granos secos (integros + pasillas)}}{\text{número de granos de la misma muestra}} \text{ ecuación 1}$$

Índice de mazorca (IM): a partir del IG y NSNF, se calculó la cantidad necesaria de frutos para obtener un kg de granos de cacao seco (Icontec, 2021).

Número de frutos por planta (NFP): definido por la suma de frutos cosechados sanos y maduros por planta (NFSP), frutos menores (Nfdmep) y mayores (Nfdmap), a 4 meses descartados por enfermedad o plaga por planta.

Número de frutos totales por planta (NFTP): suma entre Nfdmap y NFSP.

Rendimiento total (RDOT): se estimó mediante el NFTP, NSNF, IG y la densidad de siembra (DS) de 1127 plantas/ha, conforme a la ecuación 2, adaptado de Lachenaud (1995).

$$Rdot \left( \frac{kg}{ha} \right) = \frac{n^{\circ} \text{ de frutos totales}}{\text{planta}} \times \frac{n^{\circ} \text{ de semillas normales}}{\text{fruto}} \times IG \left( \frac{g}{\text{grano}} \right) \times DS \text{ ecuación 2}$$

Rendimiento real (RDOR): se estimó mediante la ecuación 2, sustituyendo la variable NFTP por NFSP.

Estimación del potencial productivo del cultivo (EPPC): también se estimó a partir de la ecuación 2, donde se sustituyó el NFTP por NFP.

**Análisis estadístico.** Se utilizó el software estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2024) para el análisis de resultados. Se analizó la normalidad y homocedasticidad de los datos y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ). También, se realizó la correlación de Pearson.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Componentes del rendimiento.** El conjunto de datos de cada variable siguió una distribución normal. El análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ) no presentó diferencias significativas para NSNF, IG, NFP, NFTP, NFSP, Nfdmap, Nfdmep e IM entre los tratamientos para un mismo clon, con excepción del IG para CNCh 13. Por otra parte, entre los clones, todas estas variables mostraron ser significativamente diferentes.

Tabla 3. Resultados del número de semillas normales por fruto (NSNF) e índice de grano (IG) para cada tratamiento y clon de cacao, en la Granja Experimental Yariquíes, Santander.

TTO	CNCh 12		CNCh 13		ICS 1	
	NSNF	IG	NSNF	IG	NSNF	IG
T0	32 ± 7	1,48 ± 0,1	51 ± 3	1,84 ± 0,1 <sup>a*</sup>	36 ± 5	1,63 ± 0,02
T1	33 ± 5	1,54 ± 0,2	51 ± 3	1,84 ± 0,1 <sup>a</sup>	35 ± 5	1,59 ± 0,2
T2	33 ± 5	1,44 ± 0,1	50 ± 5	1,73 ± 0,1 <sup>b</sup>	36 ± 5	1,70 ± 0,1
T3	33 ± 7	1,52 ± 0,1	49 ± 4	1,79 ± 0,1 <sup>ab</sup>	37 ± 6	1,73 ± 0,1
T4	31 ± 5	1,43 ± 0,2	50 ± 4	1,74 ± 0,1 <sup>b</sup>	37 ± 4	1,60 ± 0,2
Media	32 ± 3 <sup>C</sup>	1,48 ± 0,1 <sup>C</sup>	50 ± 1 <sup>A</sup>	1,79 ± 0,1 <sup>A</sup>	36 ± 2 <sup>B</sup>	1,65 ± 0,1 <sup>B</sup>
%CV	9,85	5,87	2,99	3,45	4,93	6,66

\*valores seguidos de letras minúsculas diferentes en una misma columna difieren entre tratamientos para un mismo clon y por letras mayúsculas entre filas para una misma variable difieren entre clones significativamente ( $\alpha < 0,05$ ), por la prueba de Duncan.

T0, testigo absoluto; T1, fertilización del agricultor; T3, ajustada para producir tres toneladas por hectárea año; T2, 25 % menos de T3; y T4, 25 % más de T3.

Un estudio realizado por Graziani De Fariñas *et al.* (2002), en Venezuela, reporta que el valor NSNF de los clones de cacao criollo, forastero amazónico y trinitario fueron de 27, 36 y 33, respectivamente. En dicho estudio, los cultivos estuvieron sujetos a diferentes manejos agronómicos y no se encontró diferencias significativas para este indicador en función de los tratamientos, pero sí entre las variedades del clon.

Los valores de NSNF e IG observados en este experimento son valores considerados normales, coherentes con los valores reportados para clones considerados élite que, según Icontec (2021), uno de los requisitos es tener un IG mínimo de 1,2 g; por otra parte, Estivarez-Copa & Maldonado-Fuentes (2019) indican que entre los criterios de selección de cacao boliviano considerados promisorios son un NSNF mayor a 29 y un IG mayor 0,85g.

Los mejores valores obtenidos en la presente investigación permiten catalogar los granos como de tamaño medio (1,31 a 1,79g), para CNCh 12 e ICS 1 y alto (>1,8g), para CNCh 13; además, estos valores fueron ligeramente superiores a los reportados por la Agrosavia (2022), en un 2,7, 15 y 1,8 %, para los clones CNCh 12, CNCh 13 y ICS 1, respectivamente.

Este resultado es coherente con los resultados reportados por Cilas *et al.* (2010), quienes identifican que el número de semillas por

fruto depende, principalmente, de la disponibilidad de óvulos en el ovario de la flor, lo que se considera una característica heredable y un descriptor clonal. Existen otros aspectos que inciden sobre el NSNF, como la fertilidad de los óvulos y la compatibilidad entre el polen y los óvulos, en consonancia con lo reportado por Falque *et al.* (1995), quienes afirman que cuanto mayor sea la cantidad de granos de polen por estigma mayor será el número de semillas por fruto.

La masa de semillas del cacao esta correlacionada con factores genéticos, posición del grano en la mazorca y el tiempo de maduración del fruto. Para semillas resultantes de cultivos en condiciones comparables se ha establecido un alto nivel de heredabilidad del IG, como fue reportado por Doaré *et al.* (2020) y Cilas *et al.* (2010), con un indicador  $h > 0,7$ ; factores ambientales pueden intervenir en esta característica, pero en un menor grado. Estos resultados muestran que la respuesta del NSNF e IG atienden más a las condiciones genéticas del material vegetal; no obstante, los nutrientes pueden incidir sobre estas variables, aunque el efecto sea pequeño.

**Frutos por planta.** En la figura 1, se presentan los resultados promedios anual para NFSP, Nfdmap, NFTP (NFSP + Nfdmaf), Nfdmep y NFP para CNCh 12, CNCh 13 e ICS 1. Los clones ICS1 y CNCh 12 presentaron cantidades similares de frutos formados por planta (NFP), con cerca de 121 y 119 frutos, respectivamente, mientras que CNCh

13 produjo una cantidad significativamente menor, con 33 frutos por planta. Los tratamientos con fertilización incrementaron el NFP, con excepción del T1 para CNCh 12. La mayor producción de frutos para CNCh 12 e ICS 1 se presentó con T4, con 145 y 140 frutos, mientras que el menor valor lo mostró T0, para todos los clones, con 113, 108

y 27 frutos para ICS 1, CNCh 12 y CNCh 13, respectivamente. El NFP está relacionado con las características genéticas del clon (Souza Freitas *et al.* 2025), asociado a la eficiencia en la fecundación de las flores (Ríos-Moyano *et al.* 2023).

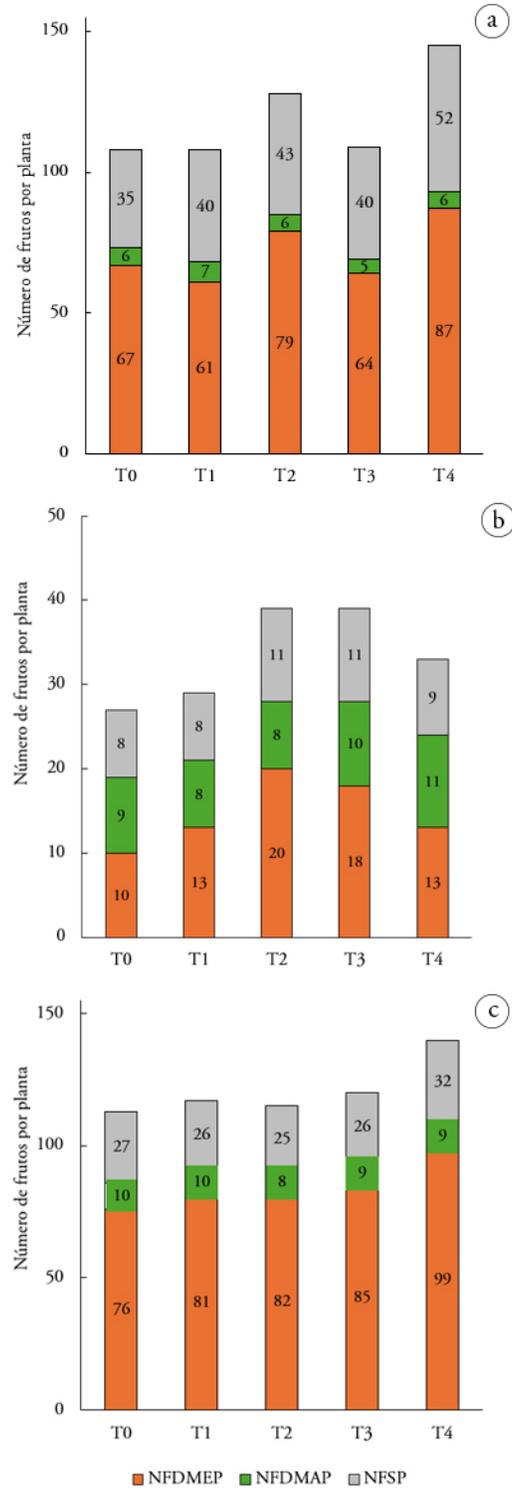


Figura 1. Número de frutos por planta para cada tratamiento y clon de Cacao, en la Granja Experimental Yariguíes, Santander. Clones a) CNCh12, b) CNCh 13 y c) ICS 1.

T0, testigo absoluto; T1, fertilización del agricultor; T3, ajustada para producir tres toneladas por hectárea año; T2, 25 % menos de T3; y T4, 25 % más de T3.

Con relación al NFSP los tres clones mostraron diferencias significativas entre sí; el CNCh 12 presentó un promedio aproximado de 42 frutos sanos por planta, mientras que ICS 1 y CNCh 13 lograron 27 y 9 frutos, respectivamente. Las fertilizaciones aplicadas incrementaron el NFSP para CNCh 12 y CNCh 13 comparado con T0, con excepción del T1 para CNCh 13, mientras que para ICS 1 únicamente el T4 presentó incrementos en el NFSP. El mayor valor de NFSP lo presentó el T4 en los clones CNCh 12 e ICS 1, con 52 y 32 frutos, respectivamente y los T2 y T3 en el clon CNCh 13, con 11 frutos. El aumento del número de frutos en los tratamientos que recibieron fertilización es consecuencia de la disponibilidad de nutrientes en suelo, además de la capacidad de la planta transportar dichos nutrientes (Goudsmit *et al.* 2023).

El clon CNCh 12 presentó una Nfdmap promedio significativamente menor con 6 frutos, que CNCh 13 e ICS 1, ambos con cerca de 9 frutos descartados. Los tratamientos T2, T3 y T4 registraron valores de Nfdmaf menores que T0 para ICS 1. Para CNCh 13 este resultado fue reportado con T1 y T2, que registraron 8 frutos y para CNCh 12 únicamente con T3, con 5 frutos. Con relación al mayor Nfdmap, los clones CNCh 12 e ICS 1 presentaron 7 y 10 frutos con T1, respectivamente, mientras que T4 presentó 11 frutos, para CNCh 13.

El NFTP también presentó diferencias significativas entre los tres clones por la prueba de Duncan; el CNCh 12 presentó 48 frutos, ICS 1 con 36 frutos y CNCh 13 con 19 frutos. Todos los tratamientos presentaron NFTP superiores al T0 para todos los clones, con excepción del T1, para CNCh 13 y los T1 y T2, para ICS 1. El T4 presentó el mayor valor de NFTP para CNCh 12 e ICS 1 con 58 y 41 frutos, respectivamente y los tratamientos que presentaron el menor valor de NFTP fueron T0 para CNCh 12, con 41 frutos; T1 para CNCh 13, con 16 frutos y T2 para ICS 1, con 33 frutos.

Los resultados asociados al CNCh 12 y ICS 1 para NFTP y NFSP fueron similares a los encontrados por Ruales Mora *et al.* (2011), quienes con una alta dosis de fertilizantes registraron la mayor producción de frutos (NFTP y NFSP), con relación al tratamiento sin fertilización para un conjunto de clones; sin embargo, con relación al Nfdmap ellos reportaron un 37,8 % de descartes de frutos, valor superior a los registrados en la presente investigación, para CNCh 12 (12,5 %), para ICS 1 (25 %) y para CNCh 13 (31,6 %).

Los clones CNCh 12 e ICS 1 no presentaron diferencias significativas entre sí para el Nfdmep, con 72 y 84 frutos, respectivamente, pero sus valores fueron distintos al registrado por CNCh 13, con 15 frutos. Todas las fertilizaciones incrementaron el Nfdmep para todos los clones comparado con T0, con excepción de los T1 y T3 del CNCh 12. Los mayores valores de Nfdmep se dieron con T4 para los clones, ICS 1 y CNCh 12, con 99 y 87 frutos, respectivamente, mientras que los menores valores se registraron para T0 en CNCh 13 e ICS 1, con 10 y 76 frutos y CNCh 12 con T1, con 61 frutos.

En promedio se observó que los frutos del cultivo de cacao sobre las condiciones ambientales presentadas durante el ensayo mostraron que solo el 40 % de los frutos que se formaron en CNCh 12, el 57 % en CNCh 13 y 30 % para ICS 1, se alcanzaron a desarrollar, al menos, hasta los 4 meses, siendo las principales causas de estas pérdidas la marchitez de frutos (cherelles) y la incidencia de plagas o enfermedades.

Alvim (1977) indica que la aplicación de nutrientes asociada al aumento de la producción está relacionada a un aumento en la formación de frutos, que puede implicar un incremento de frutos que se marchitan o caen por la incapacidad de la planta para atender las necesidades nutricionales de todos los frutos formados; este comportamiento puede alcanzar hasta un 75 % de los frutos (Melnick, 2016). La afirmación anterior concuerda con los resultados encontrados en la presente investigación, dado que los tratamientos con los mayores incrementos en la formación de frutos también resultaron ser los mismos con el mayor Nfdmep.

**Índice de mazorca.** El IM fue significativamente distinto entre los tres clones. En promedio, para CNCh 12, este índice fue de 22 frutos; para ICS 1, de 18 frutos y para CNCh 13, de 12 frutos. El menor IM entre tratamientos se presentó con T0 y T1, para CNCh 13 (11), mientras que el mayor valor se registró con T4, para CNCh 12 (23). Según Agrosavia (2022), el IM promedio para CNCh 12, CNCh 13 e ICS 1 son 16, 12 y 17 frutos, respectivamente, valores muy similares a los de la presente investigación, con excepción del CNCh 12, que presentó una media superior a lo informado por ellos.

**Producción en granos secos de cacao.** La proporción promedio del rendimiento en granos secos de cacao para la cosecha principal fue del 85 % para el CNCh 12; 87,4 % para el CNCh 13 y 87 % para ICS 1, con relación a la cosecha total por año. Estos resultados son importantes, por los momentos de fraccionamiento de la dosis anual, que debe atender la demanda productiva del cultivo.

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamientos para las variables RDOR, RDOT y EPPC, pero sí entre clones. En la figura 2, se presentan los resultados del rendimiento real, total y el potencial productivo del cultivo por hectárea año.

**Rendimiento real.** Los resultados mostraron que los clones CNCh 12 (2311,6kg) e ICS 1 (1859,6kg) no presentaron diferencias significativas entre sí con relación al rendimiento real, pero sí fueron distintos del resultado presentado por CNCh 13 (1004,6kg), por la prueba de Duncan. Algunas fertilizaciones incrementaron el RDOR por encima del valor registrado por T0 para todos los clones evaluados. Entre los tratamientos que registraron el mejor RDOR está el T4, que presentó una producción de granos secos de cacao por ha año de 2.701 kg para CNCh 12 y 2.138 kg para ICS 1 y el T2, con 1.163 kg, para CNCh 13. Por otro lado, el T1 presentó los menores valores de RDOR para CNCh 13 (876 kg).

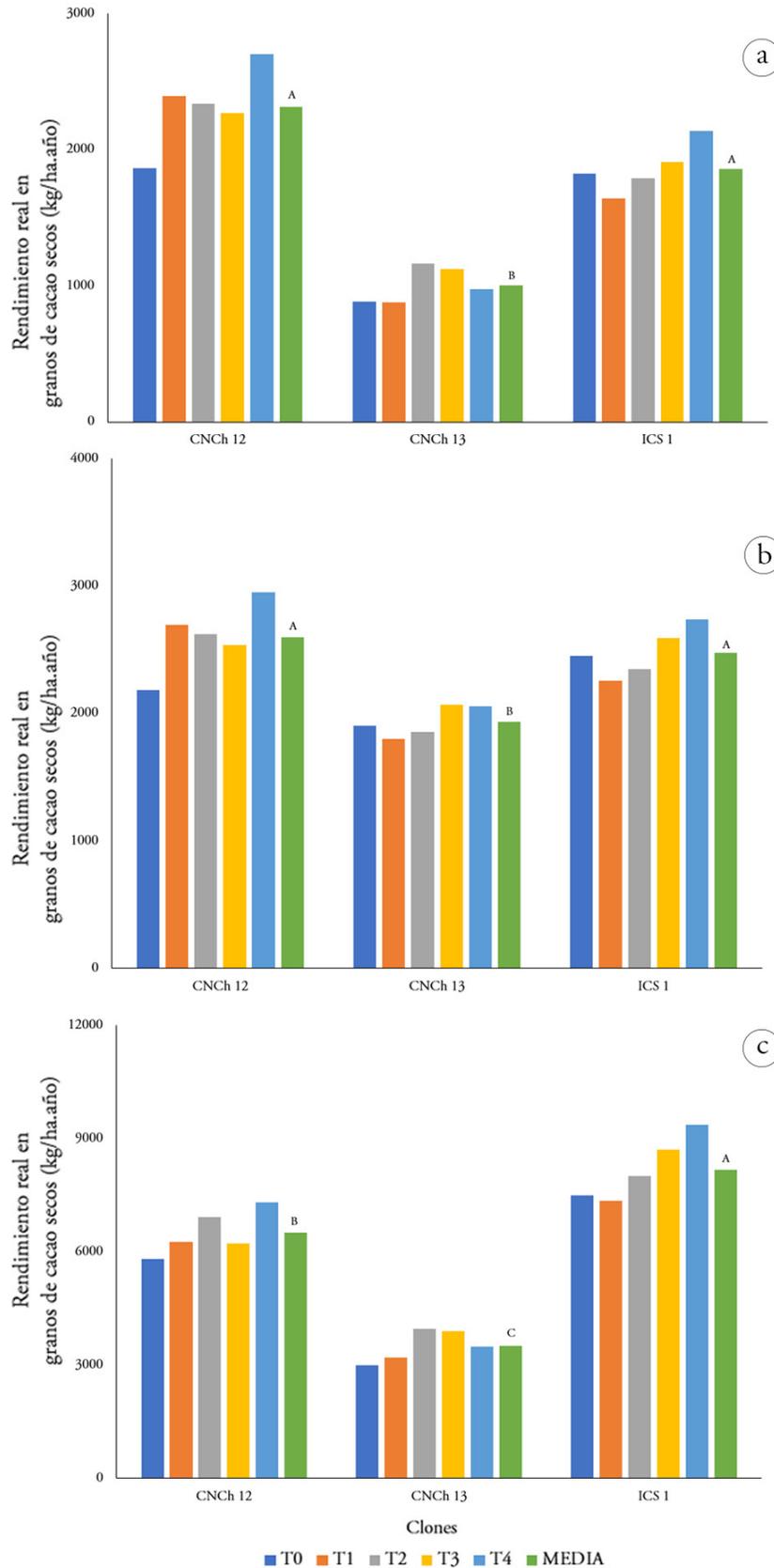


Figura 2. Rendimiento real, total y estimación del potencial productivo para cada tratamiento y clon.

<sup>A</sup>valores acompañados de letras mayúsculas diferentes difieren entre clones y por <sup>a</sup>letras minúsculas difieren entre tratamientos para un mismo clon significativamente ( $\alpha < 0,05$ ), por la prueba de Duncan.

T0, testigo absoluto; T1, fertilización del agricultor; T3, ajustada para producir tres toneladas por hectárea año; T2, 25 % menos de T3; y T4, 25 % más de T3

**Rendimiento total.** La prueba de Duncan mostró la misma tendencia del RDOR; los valores de RDOT entre CNCh 12 (2.599,6 kg) e ICS 1 (2.477,6 kg) fueron parecidos y diferentes significativamente al encontrado para CNCh 13 (1.936 kg). El T4 registró el mayor RDOT para los clones CNCh 12 (2.953 kg) y el T1 mostró el menor valor para CNCh 13 (1.798 kg) e ICS 1 (1.798 kg) y con T0 para CNCh 12 (2.185 kg). Los tratamientos que registraron los mayores RDOT para los clones evaluados fueron superiores a lo encontrado por Puentes-Páramo *et al.* (2014), quienes reportan rendimientos máximos de 2.020 kg para CCN 51, 1.337 kg para ICS 95, 1.340 kg para TSH 565 y 1.634 kg para ICS 39, que resultaron de fertilizaciones planteadas, a partir de los nutrientes en el suelo.

Los tratamientos de esta investigación se proyectaron esperando producciones totales que superaran los promedios normales. Los resultados asociados al T2, T3 y T4 del clon CNCh 12 alcanzaron 116,6, 84,7 y 78,7 % de la producción deseada, respectivamente, mientras que CNCh 13 fue el que presentó los menores porcentajes para los mismos tratamientos, con 82,4, 69,0 y 54,8 % y para ICS 1, los resultados fueron 104,4 %, para T2; 86,3 %, para T3 y 73,1 %, para T4. Aunque el ensayo estuvo afectado por el fenómeno de “La Niña” durante 2021 y 2022, lo que podría haber interferido en los resultados, es importante mencionar que los tratamientos con los mayores rendimientos son los más eficientes. El T2 mostró más eficiencia en la conversión de nutrientes a masa seca de granos de cacao, a pesar de la menor cantidad de nutrientes y logró producir más de lo proyectado.

**Estimación del potencial productivo del cultivo.** Los resultados muestran que los tres clones tienen potenciales productivos en granos secos de cacao significativamente distintos entre sí y que el clon ICS 1 (8.178,8 kg) tiene el mayor potencial productivo, seguido del CNCh 12 (6.497 kg) y CNCh 13 (3.507 kg). Con excepción del T1 para ICS 1, todas las dosis de fertilizaciones incrementarían los rendimientos potenciales de estos clones, con relación al T0. El T4 fue el que presentó mayor potencialidad en la formación de frutos para ICS 1 (9.355 kg) y el T2 para CNCh 13 (3.964 kg). Se considera importante enfatizar que esta estimación está condicionada, principalmente, al manejo agronómico que se realizó al cultivo, las características edafoclimáticas y el grado de resiliencia del cultivo en el ambiente que se encuentra; por tanto, dependiendo de las variaciones de estos aspectos, los valores estimados pueden variar en el tiempo.

En general, los clones CNCh 12 e ICS 1 presentaron las mejores producciones con T4, mientras que CNCh 13, con T2. Entre los macronutrientes el N y K fueron los más requeridos para el crecimiento del fruto y los granos de cacao, mientras que el Fe sería el principal micronutriente exigido por los granos (Furcal-Beriguete, 2017; Rosas-Patiño *et al.* 2021). El N es importante porque es componente estructural de moléculas que participan en diversos procesos fisiológicos de la planta (Jadin & Snoeck, 1985); el K es un activador de numerosas enzimas que actúan en la translocación de carbohidratos y participa en los procesos de síntesis de proteínas y de la fotosíntesis (Marschner, 1998) y el hierro es esencial para la

síntesis de la clorofila y se encuentra en la composición de algunas moléculas involucradas en procesos de oxidación y de respiración (Chepote *et al.* 2013).

De acuerdo con los resultados, se puede afirmar que algunos tratamientos incrementaron la producción del cultivo de cacao para todos los clones evaluados, principalmente, en función del número de frutos y se identificó la diferencia en los requerimientos nutricionales de los clones evaluados. Los componentes de producción y los rendimientos fueron significativamente diferentes entre los clones, mostrando que el genotipo es un factor importante para tener en cuenta para el manejo del cultivo del cacao en Santander, Colombia.

Estos resultados sugieren que el manejo de la fertilización, tomando en cuenta la extracción de nutrientes para la producción de granos de cacao, ajustada a las condiciones del suelo y fraccionarla de acuerdo con la demanda productiva del cultivo, es benéfico para la producción de cacao. Además, sugiere que los modelos de siembra del cacao, basado solamente en la compatibilidad sexual de la planta podría estar generando impactos económicos y ambientales, por las diferencias encontradas en el comportamiento productivo de los clones evaluados. Este posible escenario da lugar a la realización de nuevas investigaciones que puedan generar conocimiento sobre el comportamiento productivo de diferentes clones y plantear un diseño de siembra basado en compatibilidad sexual, respuesta productiva y ambiente.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen el apoyo del Laboratorio de Aguas y Suelos, de la Facultad de Ciencias Agrarias, Sede Bogotá (UNAL) y de la Granja Experimental Yariguíes (CNCh). **Conflicto de Intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Parte de este estudio fue financiado por el Ministerio de Ciencias y Tecnología de Colombia (Contracto n° 044-2018, Convocatoria n° 757 de 2016) y por CNCh. **Contribución de autores:** Danielle Oliveira de Andrade: adquisición de fondos, metodología, conceptualización, curación de datos, investigación, redacción, validación, revisión y edición; Jaime Torres-Bazurto: adquisición de fondos, supervisión, revisión, redacción e investigación; Daniel Gerardo Cayón-Salinas: supervisión, redacción y revisión; Oscar Piamba: adquisición de fondos, conceptualización, análisis formal, edición, curación de datos, metodología y revisión; Lina María Alvarado: metodología, curación de datos, validación, análisis formal; Óscar Darío Hincapié: investigación y adquisición de fondos.

## REFERENCIAS

- AHENKORAH, Y.; AKROFI, G.; ADRI, A. 1974. The end of the first cocoa shade and manual experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science*. 49(1):43-51. <https://doi.org/10.1080/00221589.1974.11514550>

- ALVIM, P.T. 1977. Cacao. En: Alvim, P.T.; Kozłowski, T.T. (eds). *Ecophysiology of tropical crops*. Ed. Academic Press. p.279-313. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-055650-2.50015-0>
- ANEANI, F.; OFORI-FRIMPONG, K. 2013. An analysis of yield gap and some factors of cocoa (*Theobroma cacao*) yields in Ghana. *Sustainable Agriculture Research*. 2(4):117-127. <https://doi.org/10.5539/sar.v2n4p117>
- ARTHUR, A.; DOGBATSE, J.A.; PADI, F.K. 2024. Impact of fertiliser application on cocoa yields in Ghana: An analysis of cocoa bean yields in farmers' plantations. *Australian Journal of Crop Science*. 18(3):139-144. <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.03.PNE3958>
- CHEPOTE, R.E.; SANTANA, S.O.; ARAUJO, Q.R.; SODRÉ, G.A.; REIS, E.L.; PACHECO, R.G.; MARROCOS, P.C.L.; SERÔDIO, M.H.C.F.; VALLE, R.R. 2012. Aptidão Agrícola e fertilidade de solos para a cultura do cacauero. En: Valle, R.R. (ed). *Ciência, tecnologia e manejo do cacauero*. Ed. CEPLAC. Brasília. 67-113p.
- CHEPOTE, R.E.; SODRÉ, G.A.; REIS, E.L.; PACHECO, R.G.; MARROCOS, P.C.; VALLE, R.R. 2013. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no sul da Bahia. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. 41p.
- CILAS, C.; MACHADO, R.; MOTAMAYOR, J.C. 2010. Relations between several traits linked to sexual plant reproduction in *Theobroma cacao* L.: Number of ovules per ovary, number of seeds per pod, and seed weight. *Tree Genetics & Genomes*. 6:219-226. <https://doi.org/10.1007/s11295-009-0242-9>
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, AGROSAVIA. 2022. Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander. 2ed. Ed. Agrosavia. 184p.
- CUERVO-ALZATE, J.E.; OSORIO, N.W. 2020. Gypsum incubation tests to evaluate its potential effects on acidic soils of Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 73(3):9349-9359. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.85259>
- DOARÉ, F.; RIBEYRE, F.; CILAS, C. 2020. Genetic and environmental links between traits of cocoa beans and pods clarify the phenotyping processes to be implemented. *Scientific Reports*. 10:9888. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66969-9>
- ESTIVAREZ-COPA, M.E.; MALDONADO-FUENTES, C. 2019. Criterios de selección para cacao nacional Boliviano (*Theobroma cacao* L.), en Alto Beni-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. 6(2):29-36.
- FALQUE, M.; VINCENT, A.; VAISSIERE, B.E.; ESKE, A.B. 1995. Effect of pollination intensity on fruit and seed set in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Sexual Plant Reproduction*. 8:354-360. <https://doi.org/10.1007/BF00243203>
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, FEDECACAO. 2017. Disponible desde Internet en: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, FEDECACAO. 2023. Producción cacaotera presentó una reducción del 10% en 2022 por lluvias. Disponible desde Internet en: <https://www.fedecacao.com.co/post/a%C3%B1o-cacaotero-2021-2022-cierra-con-descenso-en-producci%C3%B3n-por-intensas-lluvias>
- FURCAL-BERIGUETE, P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1):113-129. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>
- GOUDSMIT, E.; ROZENDAAL, D.M.; TOSTO, A.; SLINGERLAND, M. 2023. Effects of fertilizer application on cacao pod development, pod nutrient content and yield. *Scientia Horticulturae*. 313:111869. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111869>
- GRAZIANI DE FARIÑAS, L.G.; ORTIZ DE BERTORELLI, L.O.; ANGULO, J.; PARRA, P. 2002. Características físicas del fruto de cacao tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 52(3):343-362.
- HOLDRIDGE, L.R. 2000. *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica. 5ed.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES, ICONTEC. 2021. Norma Técnica Colombiana, NTC 1252. Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad. 6ed. 57p.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2023. Atlas climatológico de Colombia: 2009 a 2023. Santander. Disponible desde Internet en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- JADIN, P.; SNOECK, J. 1985. La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. *Café, Cacao, Thé*. 29(4):255-266.
- LACHENAUD, P. 1995. Variations in the number of beans per pod in *Theobroma cacao* L. in the Ivory Coast. II. Pollen germination, fruit setting and ovule

- development. *Journal of Horticultural Science*. 70(1):1-6. <https://doi.org/10.1080/14620316.1995.11515266>
- MACHECA-SILVA, L. 2024. Resultados preliminares evaluaciones agropecuarias municipales. UPRA. Bogotá. 9p. Disponible desde Internet en: [https://upra.gov.co/es-co/Evas\\_Documentos/BoLEVADic.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/BoLEVADic.pdf).
- MARSCHNER, H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Ed. Academic Press Estados Unidos de América. 651p.
- MELNICK, R.L. 2016. Cherelle wilt of cacao: A physiological condition. En: Bailey, B.A.; Meinhardt, L. W. (Ed.). *Cacao diseases: A history of old enemies and new encounters*. Springer. p.483-499.
- PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR-FLORES, J.C.; GÓMEZ-CARABALÍ, A.; ARANZAZU-HERNÁNDEZ, F. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*. 63(2):145-152. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40041>
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. 2003. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência & Ambiente*. 27:29-48.
- RÍOS-MOYANO, D.K.; RODRÍGUEZ-CRUZ, F.A.; SALAZAR-PEÑA, J.A.; RAMÍREZ-GODOY, A. 2023. Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 34(3):52280. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52280>
- ROSAS-PATIÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR-FLORES, J.C. 2021. Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 24(1):e1643. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>
- RUALES MORA, J.L.; BURBANO ORJUELA, H.; BALLESTEROS P, W. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(2):81-94.
- RUSSEL, R.S.; GOSS, M.J. 1974. Physical aspects of soil fertility: The response of roots to mechanical impedance. *Netherland Journal of Agriculture Science*. 22:305-318. <https://doi.org/10.18174/njas.v22i4.17215>
- SAS. 2024. Software de análisis estadístico. SAS OnDemand for Academics. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. Disponible desde Internet en: [https://www.sas.com/en\\_us/home.html](https://www.sas.com/en_us/home.html)
- SILVA, L.F. DA; PEREIRA, C.P.; MELO, A.A.O. 1977. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de plântulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) e na penetração de raízes. *Revista Theobroma*. 7(1):13-19.
- SNOECK, D.; KOKO, L.K.; JOFFRE, J.; BASTIDE, P.; JAGORET, P. 2016. Cacao nutrition and fertilization. En: Lichtfouse, E. (Ed). *Sustainable agriculture reviews*. Volumen 19. Ed. Springer International Publishing. p.155-202. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4)
- SODRÉ, G.A. 2002. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho de amostra de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. *Agrotrópica*. 13(3):145-150.
- SOUZA FREITAS, L.; SANTOS SILVA, G.; CONCEIÇÃO DOS SANTOS, I.; REIS FERREIRA, A.C.; SILVA SANTOS, L.E.; UMAHARAN, P.; MOTILAL, L.A.; CALLE-BELLIDO, J.; ZHANG, D.; CÔRREA, R.X.; AHNERT, D. 2025. Elite cacao clonal cultivars with diverse genetic structure, high potential of production, and good organoleptic quality are helping to rebuild the cocoa industry in Brazil. *International Journal of Molecular Sciences*. 26(7):3386. <https://doi.org/10.3390/ijms26073386>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, USDA. 2014. Claves para la taxonomía del suelo. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 12ed. Estados Unidos de América. 399p.
- VEGA, C.A.; TORRES-BAZURTO, J.; BARRIENTOS-FUENTES, J.C.; MAGNITSKIY, S.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E. 2021. Efecto de la fertilización orgánica y la poda sobre la producción de cacao en Cundinamarca, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 24(2):e1818. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>