

Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento

Absorption and distribution of nutrients in cocoa and its effect on yield

Yina Jazbleidi Puentes-Páramo^{1*}, Juan Carlos Menjivar-Flores¹, Arnulfo Gómez-Carabali¹
y Fabio Aranzazu-Hernández²

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira¹. Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (FEDECACAO)². Autora para correspondencia: yjpuentes@unal.edu.co

Rec.:26.09.2013 Acep.: 05.02.2014

Resumen

En el centro experimental de la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao), localizado en el municipio de Miranda, Cauca (Colombia) se evaluó la capacidad de absorción y distribución de los nutrientes N, P y K en hojas, cáscara y almendra de los clones de cacao (*Theobroma cacao* L.): CCN-51 y ICS-95 (auto-compatibles) y TSH-565 e ICS-39 (auto-incompatibles), y su influencia en el rendimiento. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones; los tratamientos consistieron en un control (TR) equivalente a la concentración de nutrientes en el suelo del centro experimental (kg/ha) (49 N, 23.5 P y 146.5 K), e incrementos en esta concentración equivalentes a 25%(T1), 50% (T2), 75% (T3) y 100% (T4). La concentración de nutrientes en hojas, cáscara y almendra mostró diferencias significativas ($P < 0.01$). La mayor concentración de N y P ocurrió en almendra y de K en cáscara. Las secuencias de concentración (NPK) de mayor a menor en hoja y almendra fue $N > K > P$ y en cáscara fue $K > N > P$. El mayor rendimiento de grano y la mayor extracción de NPK por 1000 kg de peso seco se presentó en el T2. Todos los clones presentaron una secuencia similar de concentración de nutrientes en hoja, cáscara y almendra, sin embargo, fue evidente la diferencia existente en la capacidad de absorción y distribución de nutrientes y en el rendimiento entre clones, lo cual es relevante para el eficiente manejo nutricional del cultivo.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., fertilización, nutrición, NPK, auto-compatibilidad, auto-incompatibilidad.

Abstract

The study was conducted at the Experimental Center of the National Federation of Cocoa from Colombia, to determine the absorption and distribution of NPK in the leaves, husk and almond in clones of cacao (*Theobroma cacao* L.), CCN-51 and ICS-95 (self-compatible) and TSH-565, ICS-39 (self-incompatible), and its influence on performance. The experimental design was randomized complete block with five treatments and four replicates and two treatments were: control (TR, concentration of nutrient (NPK) soil natural 49-23,5-146.5 kg / ha), and increases in the concentration of NPK (kg / ha): 25%(T1), 50%(T2), 75%(T3) and 100%(T4). The analysis of variance showed differences ($p < 0.01$) in the concentration of nutrients in leaves, husk and almond. Thus, higher concentrations of N and P were in almonds and K in husk, the order of preference in leaf and almond was: NPK and husk was KNP. The highest yield was obtained at T2, showing superiority for self-compatible clones, as well as the increased extraction of NPK per 1000 kg of dry grain. All clones stored the same sequence of nutrient concentration in leaf, husk and almond, however, it is evident the difference in the absorption and distribution of nutrients, and in performance between clones, which is relevant to the efficient crop nutrition management.

Key words: clones, *Theobroma cacao* L., fertilization, nutrition, self-compatible, self-incompatible.

Introducción

Los bajos rendimientos en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) están, en parte, relacionados con factores físicos y químicos del suelo, manejo del cultivo y el potencial genético de los materiales cultivados (Nacayama, 2010). Almeida (2007) y Osei-Bunsu *et al.* (2002) señalan que entre los parámetros más importantes que determinan el rendimiento en este cultivo se pueden citar la intercepción de luz, la tasa de fotosíntesis, la respiración, la morfología del fruto, el proceso de fermentación de las semillas y la disponibilidad hídrica. Por otra parte, López-Lefebre *et al.* (2002) y Marschner (1995) consideran que la disponibilidad, la absorción y la distribución de nutrientes esenciales en la planta, así como la absorción de estos están relacionados con su tasa de crecimiento y son los factores que ejercen mayor influencia sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo.

La fertilización deficiente es uno de los factores limitantes en la producción de cacao. En Trinidad, Cabala-Rosand (1975) y Uribe *et al.* (1998) demostraron la importancia de la aplicación de NPK en cultivo de cacao a plena exposición solar; con esto se evita la foto-inhibición que produce el sombrío (Mohotti y Lawlor, 2002). En Brasil, Cabala-Rosand *et al.* (1969) encontraron que el efecto de la fertilización es reducido en condiciones de sombra, lo cual es debido a la menor tasa fotosintética; no obstante, la planta de cacao tiene baja tolerancia a altas radiaciones (Muller *et al.*, 1992), lo que sugiere la necesidad de un sombrío de aproximadamente 60% (Zuidema *et al.*, 2005).

Cunningham y Arnold (1962) encontraron una producción de 2.240 Kg/ha de cacao a plena exposición solar cuando aplicaron 125, 125 y 500 kg/ha de urea, superfosfato triple y sulfato de amonio, respectivamente. En Colombia, las investigaciones se han orientado a evaluar los incrementos en rendimiento utilizando híbridos recomendados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Uribe *et al.* (1998) obtuvieron aumentos de 51% en producción de granos cuando aplicaron 150, 90 y 200 kg/ha de N, P y K, respectivamente. Mejía (2000) observó aumentos en producción de grano de cacao híbrido con

la aplicación de 80, 100 y 160 kg/ha de NPK, respectivamente. Mora *et al.* (2011) en Palestina, Caldas, Colombia, hallaron respuesta a la aplicación de 500 g/árbol de un fertilizante 19 - 4 - 19 - 3.

Los trabajos de investigación en fertilización y nutrición del cultivo realizados en el país, evidencian la importancia de desarrollar esta labor para obtener mayor rendimiento; por tanto, es necesario evaluar cada material de cacao del país, en función del tipo de suelo y zona agroecológica donde se cultive, con fines de conocer la distribución de los nutrientes y plantear estrategias de muestreo para estudiar la nutrición del cultivo, como lo menciona Carvalho *et al.* (2013). El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de absorción y distribución de nutrientes y su efecto en el rendimiento de grano de clones de cacao de sabor y aroma finos.

Materiales y métodos

La investigación tuvo desarrollo en el centro experimental de la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao), localizado en el municipio de Miranda, departamento del Cauca (Colombia), a 3° 23' 44" N y 76°30' 33" O, a 1039 m. s. n. m. La zona corresponde a Bosque seco Tropical (Bs-T) según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge (1967), una precipitación, promedio anual, de 1379 mm, 23 a 28 °C (IGAC, 1993). Según las zonas agroecológicas de Fedecacao (2007) este sitio se clasifica como Valle Interandino Seco (VIS).

Los tratamientos fueron diseñados tomando como referencia el nivel de fertilidad natural del suelo (TR) en valores equivalentes de NPK, el cual fue de 49 (N), 23.5 (P) y 146.5 (K). Los demás tratamientos consistieron en incrementos de 25, 50, 75 y 100% de NPK sobre el nivel de fertilidad natural del suelo. Estos tratamientos equivalentes (NPK) consistieron en: T1 = 61 - 29.3 - 183, T2 = 73 - 35.2 - 219.7, T3 = 86 - 41 - 256.4, y T4 = 98 - 47 - 293. Como fuentes de fertilizantes se aplicaron urea (46% N), fosfato diamónico (18 - 46 - 0) y nitrato de potasio (13 - 0 - 44). El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental consis-

tió en cuatro árboles de cacao, sembrados a 3 m x 3 m entre plantas x 4 m entre filas, para una densidad de 952 plantas/ha.

Las características físicas y químicas del suelo fueron clasificadas según la metodología estándar del Laboratorio de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (Salinas y García, 1985) e interpretadas con base en la Quinta Aproximación (ICA, 1992). Las muestras de suelos hasta 25 cm de profundidad (Muñoz, 2001) presentaron las características que aparecen en el Cuadro 1.

Se evaluaron los clones de cacao TSH-565 e ICS-39 (auto-incompatibles), y CCN-51 e ICS-95 (auto-compatibles) clasificados como finos de sabor y aroma, con cuatro años de edad y establecidos en campo (Fedecacao, 2005). Las dosis de fertilización, de acuerdo con los tratamientos, se fraccionaron en dos épocas del año (mayo y septiembre) para el año cacaotero 2010-2011, 2011-2012 y primer semestre 2013. Los muestreos foliares se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por el INIAP (2006) y consistieron en la recolección de la cuarta hoja de la parte media del árbol de cacao (en total 25 hojas) para determinar los nutrientes: N por el método Kjeldhal; P por descomposición en base seca (550 °C) y colorimetría, Ca²⁺ y Mg²⁺, K⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ y B en base seca (550 °C) y absorción atómica, S en base humedad, y Na⁺ por emisión atómica (Salinas y García, 1985). Estas mismas mediciones se realizaron en submuestras de cada repetición y tratamiento tomadas de la mezcla de siete mazorcas (cáscara + almendra) maduras, para lo cual los granos fueron fermentados previamente.

El rendimiento se calculó mediante el producto del número de mazorcas/árbol, el número de granos/mazorca y el índice de grano (IG), cuyos valores fueron obtenidos en cada cosecha por clon y por año cacaotero y multiplicado por la densidad de plantas (952 plantas/ha). Los granos fueron extraídos en forma manual de las mazorcas y separados de la cáscara, antes de proceder a su conteo y pesaje en húmedo. Con esta información se determinó el índice de grano (IG) en gramos utilizando la fórmula propuesta por Allen (1987), así:

$$IG = \frac{\text{Peso total de granos por mazorca} \times 0.38}{\text{número de granos por mazorca}}$$

El índice de mazorca se determinó contando el número de mazorcas necesarias para obtener 1 kg de grano seco de cacao. Los resultados fueron analizados con el programa estadístico SPSS 20 (IBM, 2011) y consistió en análisis de varianza (Andeva) para determinar las diferencias entre las variables de respuesta, teniendo como fuentes de variación el clon y los tratamiento y sus interacciones; además se realizaron pruebas de comparación de medias por Duncan ($P \leq 0.05$) y análisis de regresión lineal modelizado.

Resultados y discusión

Concentración de nutrientes en hojas, cáscara y almendra

Los resultados (Cuadro 2) muestran diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre clones en el contenido de N en cáscara

Cuadro 1. Principales características del suelo en el sitio experimental.

Características	Valor	Observación
pH	6.40	Adecuado para cacao
M.O. (%)	7.40	Aceptable
K _{interc.} (Cmol/kg)	0.26	Medio
P (mg/kg)	8.60	-
C.I.C. (Cmol/kg)	19.35	-
Na (Cmol/kg)	0.07	Bajo
D.A. (g/cm ³)	1.20	Buena
Textura	Franco - limosa	

Cuadro 2. Significancia de los tratamientos en hojas (H), cáscara (C) y almendra de cacao.

Fuente de variación	N			P			K		
	H	C	A	H	C	A	H	C	A
Clon	NS	**	**	**	**	NS	NS	**	NS
Tratamiento	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Clon x trat.	*	*	NS	*	*	NS	NS	*	NS

** = $P < 0.01$, * = $P < 0.05$, NS = no significativo.

y almendra, pero no en hojas. Los tratamientos, por otra parte, fueron significativos ($P < 0.01$) para N en todas las partes de la planta consideradas en el estudio, mientras que la interacción clon x tratamiento fue significativa ($P < 0.01$) para cáscara y hoja. Para P se hallaron diferencias ($P < 0.01$) para clones y clones x tratamiento en hojas y cáscara, pero no en almendra, mientras que el tratamiento afectó el contenido de este nutriente en todas las partes de la planta en

estudio. El contenido de K mostró diferencias en cáscara por efecto de clon, tratamiento y su interacción y en todas las partes de la planta por efecto de tratamiento.

Los clones revelaron diferencias en absorción de nutrientes (Figura 1). En el caso de las hojas y la almendra el orden descendente de concentración fue $N > K > P$. En la cáscara el orden fue $K > N > P$; en general, las mayores concentraciones de N y P se presentaron en almendra, K en cáscara y N en hojas.

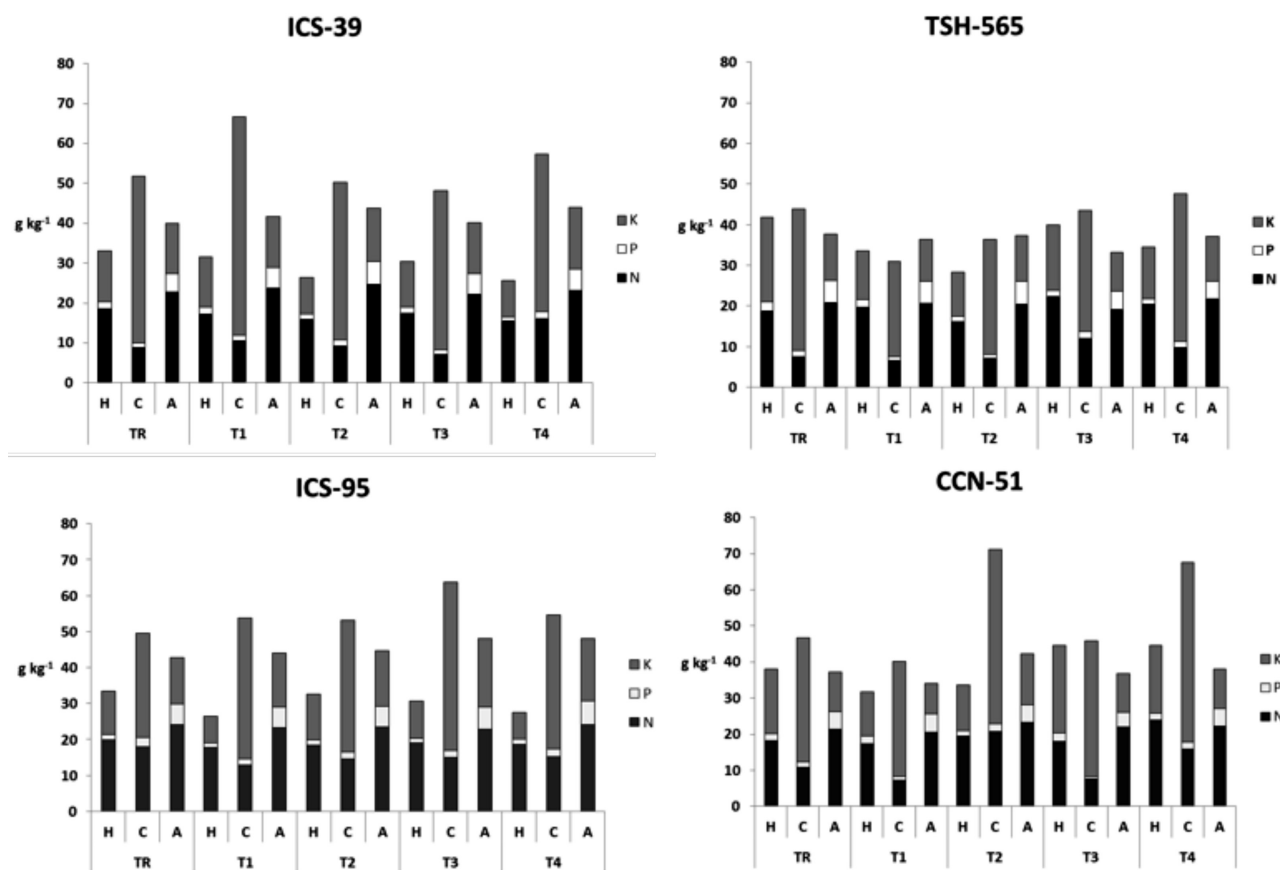


Figura 1. Concentración de NPK en hojas (H), cáscara (C) y almendra (A) en clones de cacao auto-incompatibles (TSH-565, ICS-39) y auto-compatibles (CCN-51, ICS-95)

Por clones, la mayor concentración en cáscara de N se encontró en el clon CCN-51 en el T2 (20.7 g/kg) mientras que los menores valores se presentaron en el clon TSH-565 en el T1 (6.52 g/kg); en almendra la mayor concentración se halló en el clon ICS-39 en el T2 (24.69 g/kg) y la menor en el TR del clon TSH-565 (19.21 g/kg). Según Sodré (2002) la concentración de este nutriente en hoja se puede considerar bajo en los clones ICS-39 y TSH-565 y normal en ICS-95 y CCN-51. En cáscara, sólo el clon ICS-95 superó los valores encontrados por Santana y Cabala (1982) mientras que los demás presentaron valores bajos; en almendra, los clones superaron los valores reportados por INIAP (2009) y Perea *et al.* (2011) (Figura 1).

La mayor concentración foliar de P se encontró con el clon CCN-51 en el T3 (2.31 g/kg) y la menor en el clon ICS-39 en el T4 (1.03 g/kg). En la cáscara, la mayor concentración se observó en el clon ICS-95 en el TR (2.56 g/kg) y la menor en el clon CCN-51 en el T3 (0.6 g/kg). En almendra, la mayor concentración se presentó en el clon ICS-95 en el T4 (6.55 g/kg) y la menor en el clon CCN-51 en el TR (4.07 g/kg). En este estudio, todos los clones superaron los valores de P hallados por Abreu (1996) y sólo el clon ICS-95 mostro valores similares. Por otra parte, el clon TSH-565 presentó valores normales, mientras que los demás superaron los valores de referencia de Santana y Cabala (1982). En almendra todos los clones superaron los valores de este nutriente reportados por INIAP (2009) y Perea *et al.* (2011). Es importante mencionar que los mayores valores de P se observaron en almendra en todos los clones, según Marshner (2005) este elemento se acumula especialmente en semillas y flores.

La mayor concentración de K se encontró en hojas del clon CCN-51 (Figura 1) en el T3 (24.22 g/kg) y la menor en el clon ICS-95 en el T4 (7.42 g/kg). En cáscara, la mayor concentración se presentó en el clon ICS-39 en el T1 (54.74 g/kg) y los menores valores se dio en el clon TSH-565 en el T1 (23.45 g/kg). En almendra la mayor concentración se observó en el clon ICS-95 en el T3 (19.14 g/kg) y los menores valores en el clon CCN-51 en el TR (8.58 g/kg). Según Abreu (1996) los valores

de K en hojas de los clones en el estudio se consideran normales para los clones ICS-95 y CCN-51 y altos en ICS-39 y TSH-565. En cáscara, sólo el clon TSH-565 presentó valores bajos de K, en los demás éste superó los valores reportados por Santana y Cabala (1982). En almendra los clones superan los valores reportados por INIAP (2009) y Perea *et al.* (2011). En general los clones auto-compatibles mostraron mayores concentraciones de NPK que los auto-incompatibles debido, posiblemente, a que producen mayor número de flores y demandan más nutrientes para el desarrollo de estas estructuras, condición que garantiza una alta fertilidad (Mora *et al.*, 2011).

Parámetros asociados con rendimiento

Los efectos de clon, tratamiento y la interacción clon x tratamiento fueron significativos ($P < 0.01$) para índice de grano (*IG*), índice de mazorca (*IM*), número de frutos/árbol, número de granos/fruto y rendimiento.

El mayor *IG* (entre paréntesis) se presentó en el T2 con los clones ICS-39 (2), TSH-565 (1.7) e ICS-95 (1.3) y el clon CCN-51 en el T1 ($IG = 1.6$). Los menores *IG* se presentaron en el T3. Los clones CCN-51 y TSH-565 superaron los valores de *IG* encontrados por Mora *et al.* (2011); el clon TSH-565 superó los valores de *IG* propuestos por Fedecacao (2005); por otra parte, los clones ICS-95, CCN-51 e ICS-39 presentaron valores normales. Todos los clones cumplen con la norma NTC-1252 (2003).

El mejor *IM* (entre paréntesis) lo presentó el clon ICS-39 en el T2 (15), seguido del clon CCN-51 en el T1 (16), TSH-565 en el T2 (16) y el clon ICS-95 en el T2 (25). Los mayores *IM* se presentaron en los clones ICS-95 (31) y CCN-51 en el T3 (26) e ICS-39 (22) y TSH-565 (21). Los clones ICS-95 y TSH-565 presentaron *IM* por debajo de los valores reportados por Fedecacao (2005), lo que significa un menor número de mazorcas para producir 1 kg de grano seco. El clon CCN-51 presentó un *IM* normal y el clon ICS-39 mayor que el propuesto por Fedecacao (2005), lo que significa que para producir 1 kg de grano seco es necesario un mayor número de mazorcas, como se observa en el análisis de regresión lineal modelizada en la Figura 2.

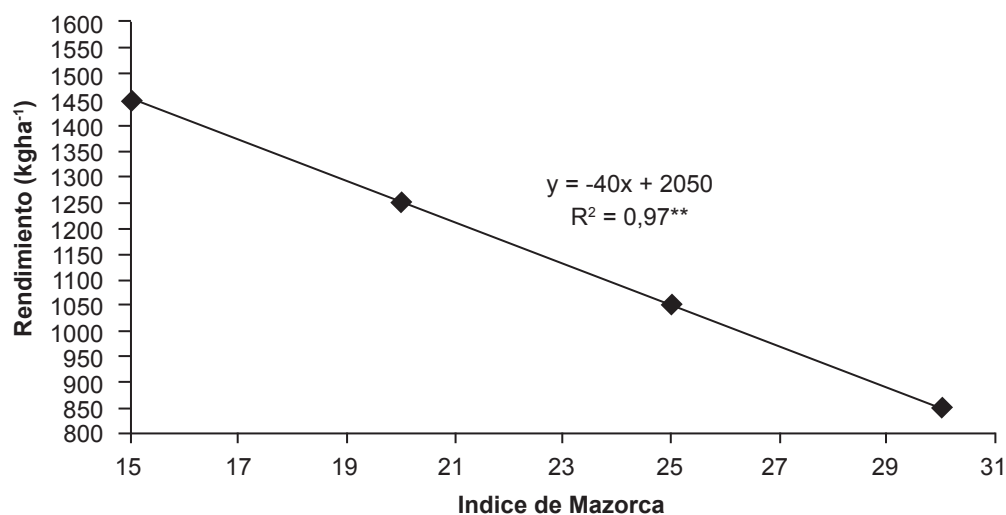


Figura 2. Regresión modelizada para rendimiento vs. índice de mazorca en clones de cacao con aplicación de NPK.

El promedio (entre paréntesis) de número de frutos por árbol por hectárea y por año caacotero 2011 - 2012 con mejor rendimiento se presentó en el tratamiento T2 con los clones ICS-95 (36), TSH-565(23), ICS-39 (26) y en el T1 para el clon CCN-51 (34). De la misma manera, el número de granos por fruto, en promedio, fue más alto en el T2 con los clones TSH-565 (36), ICS-39(33), ICS-95(30) y en el T1 para el clon CCN-51(39).

De acuerdo con las variables anteriores, el mayor rendimiento lo mostró el clon CCN-51 en el T1, en el T2 los clones ICS-39 y TSH-565 y finalmente, el clon ICS-95. Los menores rendimientos se presentaron en el TR, para los clones ICS-95, ICS-39, TSH-565 y el clon CCN-51 (Cuadro 3). Los menores valores en el tratamiento TR se pueden considerar normales debido a que no se aplicaron fertilizantes. Es interesante observar que el clon CCN-51 presentó el mayor rendimiento con menor

dosis de fertilizante (T1), por lo cual se puede considerar más eficiente en comparación con los demás clones, ya que con menor dosis tiene una mayor productividad por hectárea.

Los rendimientos obtenidos por los clones evaluados superaron en 3%, 6%, 30% y 31% los encontrados por Sáenz (2010) para TSH-565, ICS-39, ICS-95 y CCN-51, respectivamente. Los menores valores de producción en el clon TSH-565 estuvieron asociados, posiblemente, con la auto-incompatibilidad de este material que no garantiza una buena polinización y cuajamiento de mazorcas (Mora *et al.*, 2011).

Los clones auto-compatibles extrajeron mayor cantidad de NPK para producir 1.000 kg de grano seco de cacao (Cuadro 4), No obstante, los valores de extracción fueron menores que los reportados por Enríquez (1985). Es importante señalar que los resultados consultados en la literatura, muestran

Cuadro 3. Rendimiento en kg/ha de clones de cacao por la aplicación de NPK.

Tratamiento ^a	Auto-incompatible		Auto-compatibles	
	CCN-51	ICS-95	TSH-565	ICS-39
TR	1004 e*	693 e	947 e	838 e
T1	2020 a	933 b	1165 b	1364 b
T2	1967 b	1337 a	1340 a	1634 a
T3	1080 c	942 c	1166 c	1158 c
T4	1057 d	817 d	1031 d	914 d

a. La descripción de los tratamientos aparece en el texto.

+ Valores seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($P < 0.05$), según la prueba de Duncan.

Cuadro 4. Extracción de nutrientes en kg/1000 kg de grano seco de clones de cacao con aplicación de NPK.

Clon	N	P	K
CCN-51	21.88 ab*	4.72 c	11.11 c
ICS-95	23.57 a	6.00 a	15.95 a
TSH-565	20.60 b	5.01 b	10.76 c
ICS-39	23.10 a	4.95 b	13.58 b

* Valores seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($P < 0.05$), según la prueba de Duncan.

valores de extracción de K superiores a los de N, lo que no se observó en el presente estudio y permite concluir que la extracción de nutrientes depende del manejo tanto del cultivo como de la sombra que afecta la cantidad de luz sobre el cultivo (Uribe, 1998).

Conclusiones

- Los resultados obtenidos para los clones de cacao evaluados evidencian la existencia de un límite en la capacidad de absorción de nutrientes de cada clon, así como un comportamiento diferencial en la distribución de nutrientes en hoja, cáscara y almendra
- Lo anterior influye en el rendimiento del cacao y sugiere una dosis de nutrientes específica para cada clon, lo que contribuye a optimizar la fertilización, a economizar recursos y a proteger el medio ambiente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de investigación Uso y Manejo de Suelos y Aguas con Énfasis en Degradación de Suelos, de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y a la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia, Fedecacao.

Referencias

- Abreu Jr., C. H. 1996. Foliar nutrient concentration and rations in height yield cocoa genotypes and relations yield and intensity of witches broom disease. En: Conferencia Internacional de Pesquisas em cacao. Salvador. Bahia. Atas Lagos, Nigeria. Cocoa Producer's Alliance. P. 773 - 780.
- Allen, J. B. 1987. London Cocoa Trade Amazon Project. Final report phase 2. Special Issue of Cocoa Growers Bull. 39.
- Almeida, A. A. y Valle, R. 2007. Ecophysiology of the cocoa tree. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4):425 - 448.
- Cabala-Rosand, P. 1975. Respostas do cacauzeiro a doses crescentes de nutrientes. Centro de Pesquisas do Cacau. Itabuna, Bahia, Brasil. Informe técnico. 10 p.
- Cabala-Rosand, P.; Miranda, E. R. de.; y Prado, E. P. 1969. Efeito da remoção de sombra e da aplicação de fertilizantes sobre a produção do cacauzeiro na Bahia. Accra (Ghana). *Proc. Third Intern. Cocoa Res. Conf.* P. 23 - 29.
- Carvalho, M.; Machado, R. C.; Ahnert, D.; Sodr , G. A.; y do Sacramento, C. K. 2013. Avalia o da composi o e distribui o mineral em componentes foliares de paric  (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). *Agrotropica* 25(1):53 - 60.
- Cunningham, R. K. y Arnold, P. W. 1962. The shade and fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Ghana. *J. Sci. Food Agric.* 13:213 - 221.
- Enr quez, G. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Serie materiales de enseñanza No.2. CATIE. Turrialba, C.R. 240 p.
- Fedecacao (Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia). 2005. Caracterización físico química y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Bogotá. 32 p.
- Fedecacao (Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia). 2007. 2 ed. Guía técnica para el cultivo del cacao. Bogotá. D.C. LCB. Ltda. 189 p.
- García, B. C. 1997. Cacao (*Theobroma cacao* L.). Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 433 p.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. San José, Costa Rica. Tropical Science Center. 206 p.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Ciencias Agropecuarias). 2009. Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana. Manual No. 76. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación experimental central de la amazonia - Denared. Unidad de Recursos Fitogenéticos. Quito, Ecuador. 25 p.

- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Ciencias Agropecuarias). 2006. El muestreo foliar en cacao. Estación experimental Pichilingue. Programa de Cacao y Café. Quevedo, Los Ríos. Ecuador. 6 p.
- IBM (International Business Machines). 2011. Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS estadistic 20. 30 p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación. Manual de Asistencia Técnica No.25. Centro de Investigación Tibaitata. Editorial Ediciones. 64 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1993. Cauca: características geográficas. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 80 p.
- López-Lefebre, L.; Rivero, R.; García, R.; Sánchez, E.; Ruiz, J.; y Romero, L. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *J. Plant Nutr.* 25(3):509 - 522.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 2nd Ed. Nueva York. 889 p.
- Mejía, L. 2000. Nutrición del cacao. En: Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Bucaramanga, Colombia. P. 33 - 35.
- Mohotti, A. y Lawlor, D. 2002. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during grown in the field. *J. Exp. Bot.* 53:313 - 322.
- Mora, R. J.; Burbano, O. H.; y Ballesteros, P. W. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao. *Rev. Cien. Agríc.* 28(2):81 - 94.
- Muller, M.; Serrano M. P. y Biehl, B. 1992. Photosynthetic characteristics during development of leaves of *Theobroma cacao* L. *Acta Physiol. Plantarum* 85(3):132 - 140.
- Muñoz, F. A. y Beer, J. 2001. Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Agrof. Syst.* 51:119 - 130.
- Nakayama, L. H. 2010. Avaliação do estado nutricional das combinações híbridas de cacauero cultivado no Latossolo Amarelo Distrofico Típico. *Agrotropica* 22(1):5 - 10.
- NTC (Norma Técnica Colombiana) 1252. 2003. Cacao en grano. Tercera actualización. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá, D. C. 12 p.
- Osei-Bonsu, K.; Opoku-Ameyaw, K.; Amoah, F. M. y Oppong, F. K. 2002. Cacao-coconut intercropping in Ghana: agronomic and economic perspectives. *Agrof. Syst.* 55:1 - 8.
- Perea, J. A.; Ramírez, O. L.; y Villamizar, A. R. 2011. Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. *Biot. Sector Agrop. Agroind.* 9(1):35 - 42.
- Sáenz, B. C. 2010. Clones de cacao para Colombia. Acuerdo 003. Consejo Nacional Cacaotero. Memorias. Choco Andino. 12 a 16 de julio. Bogotá.
- Salinas, J. G. y Garcia, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. 83 p.
- Santana, M. B. y Cabala-Rosand, P. 1982. Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. *Plant Soil.* 67:271 - 281.
- Sodré, G. A. 2002. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho de amostra de plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. *Agrotropica* 13(3):145 - 150.
- Uribe, A.; Mendez, H. y Mantilla, J. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Rev. Suelos Ecuatoriales* 28:31 - 36.
- Zuidema, P. A.; Leffelaar, P. A.; Gerritsma, W.; Mommer, L.; y Anten, N. P. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agric. Syst.* 84:195 - 225