

CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN HOJAS, UNA HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL EN CACAO¹

Yina Jazbleidi Puentes-Páramo², Juan Carlos Menjivar-Flores², Fabio Aranzazu-Hernández³

RESUMEN

Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao.

El objetivo de este trabajo fue estimar las concentraciones foliares en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), como una herramienta de diagnóstico de su estado nutricional. En el Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), ubicado en el municipio de Miranda-Cauca de Colombia, se evaluó el efecto de cinco dosis de fertilización NPK en la concentración de nutrientes en hojas de cuatro clones de cacao CCN-51, TSH-565, ICS-39 e ICS-95 durante los años 2010-2012. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cinco tratamientos: TR (control), T1(25%NPK), T2(50%NPK), T3(75%NPK), T4(100%NPK) y cuatro repeticiones. Durante tres años se evaluó la concentración de once nutrientes (N, P, K⁺, Ca²⁺, S, Mg²⁺, B, Zn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺) y su relación con el rendimiento. Hubo diferencias en la concentración foliar de los nutrientes evaluados por efecto de los tratamientos, por clon y por la interacción clon*tratamiento. La concentración foliar utilizada se obtuvo a partir del tratamiento relacionado con el mayor rendimiento, con lo cual, se hizo una propuesta de diagnóstico nutricional del cacao, basada en el monitoreo de nutrientes para evaluar su concentración en hojas.

Palabras claves: diagnóstico foliar, fertilidad y nutrición, *Theobroma cacao*.

ABSTRACT

Nutrient concentration in leaves, a tool for nutritional diagnosis in cocoa.

The aim of this study was to estimate the foliar concentrations in cocoa farming (*Theobroma cacao* L) as a diagnostic tool of their nutritional status. At the Research Center of the National Federation of Cocoa Producers (Fedecacao) located in Miranda-Cauca, Colombia, the study assessed the effect of five doses of NPK fertilization in nutrient concentration in leaves of four cocoa clones CCN-51, TSH-565, ICS-39, and ICS-95 from 2010-2012. Experimental design was randomized complete block design with five treatments: TR(control), T1(25% NPK), T2(50% NPK), T3(75% NPK), T4(100% NPK) and four replicates. The concentration of 11 nutrients (N, P, K⁺, Ca²⁺, S, Mg²⁺, B, Zn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺) and their relation with yield was evaluated for three years. Results showed differences in the foliar concentration of nutrients assessed by effect of treatments, by clone, and by clone*treatment interaction. The foliar concentration used was derived from higher yield-related treatment, whereby, a proposal for nutritional diagnosis in cocoa based on nutrient monitoring was created to evaluate nutrient concentration in leaves.

Keywords: diagnosis, fertility and nutrition, *Theobroma cacao*.

¹ Recibido: 9 de julio, 2015. Aceptado: 8 de setiembre, 2015. Este trabajo forma parte de la tesis doctoral de la primera autora.

² Universidad Nacional de Colombia. Cra 32 No. 12-00 chapinero vía a Candelaria. Palmira, Valle del Cauca. Colombia. yjpuentes@unal.edu.co, jcmenjivar@unal.edu.co

³ Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia. Carrera 23 #36-16, Bucaramanga, Santander, Colombia. fabioaranzazu@fedecacao.com



INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado nutricional de un cultivo se realiza comparando los resultados obtenidos en una muestra foliar con otra denominada patrón de referencia; esta última es el producto de los resultados de investigación relacionados con el rendimiento (Rodríguez y Rodríguez, 2000); sin embargo, para realizar un buen diagnóstico, no basta con tomar muestras foliares, analizarlas e interpretar sus resultados con valores de referencia, su utilidad dependerá del análisis que los investigadores realicen acerca del porqué se presentan esos resultados.

La interpretación de los resultados de los análisis foliares permite identificar el nivel nutricional de las plantas. Una planta se considera normal cuando sus tejidos contienen los elementos en cantidades y proporciones adecuadas, es capaz de dar altas producciones y exhibir un buen aspecto visual (Malavolta et al., 1997). Cuando se identifican deficiencias nutricionales, se recurre a la fertilización como una práctica que busca entre otras cosas corregir esas limitantes, lograr un buen desarrollo y rendimiento de los cultivos; sin embargo, es claro que la respuesta de las plantas depende de las condiciones edáficas, del medio que las rodea (Trinidad y Aguilar, 1999) y del material vegetal (Puentes et al., 2014b).

Una de las formas de realizar un monitoreo o evaluación del estado nutricional en cultivos perennes como cacao (*T. cacao* L.), es mediante los análisis foliares, ya que se considera que la hoja es el órgano de la planta que refleja mejor el estado nutricional (Malavolta, et al., 1997). Estos análisis realizados de forma oportuna e interpretados adecuadamente, son una herramienta apropiada para corregir limitantes nutricionales del cultivo, y para determinar la concentración óptima de los nutrientes en una determinada época del ciclo del cultivo, que asegure los mejores rendimientos (Etchevers, 1999); en este sentido, Etchevers (1999) afirma que los resultados de los análisis foliares se pueden interpretar de varias formas, como los índices de balance, las relaciones ternarias o el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS). DRIS es un diagnóstico del estado nutricional de un cultivo, el cual se ha logrado mediante un conjunto de normas que se desarrollan e integran, permitiendo realizar calibraciones de la composición de los tejidos del cultivo (Rodríguez y Rodríguez, 2000).

En Brasil, investigaciones en cacao permitieron contar con los valores de referencia de la mayoría de nutrientes, así, se logró interpretar adecuadamente los resultados de los análisis foliares para híbridos y clones de cacao durante muchos años (Abreu-Junior, 1996; Malavolta et al., 1997; Sodré, 2002).

En cacao se han obtenido mayores rendimientos con la aplicación de diferentes dosis de NPK (Cabala, 1975; Llano y Castaño, 1977; Uribe et al., 1998; Mejía, 2000; Mora et al., 2011); estas investigaciones se han realizado con híbridos y clones, en diferentes suelos y condiciones climáticas, mas no es evidente la forma en la cual se monitorea la respuesta del cultivo en función del estado nutricional del mismo.

En Colombia, existe poca información disponible en relación con las concentraciones que deben tener las hojas del cultivo de cacao en un momento específico de su desarrollo, que asegure una buena producción. Los valores usados como concentraciones de referencia para interpretar y comparar los resultados, son datos de investigaciones de otros países como Brasil (Abreu-Junior, 1996; Malavolta et al., 1997; Sodré, 2002), Ecuador (Lainez, 1982) y África (Aikpokpodion, 2010), investigaciones realizadas en condiciones climáticas y edáficas diferentes, así mismo, con materiales de cacao también diferentes. Se requieren resultados que permitan la interpretación adecuada de los análisis foliares, tanto para cacao como para otros cultivos. Es evidente que este vacío en el conocimiento limita la adecuada interpretación de los análisis foliares, y por lo tanto, la aplicación de fertilizantes que en determinado momento aseguren la concentración mínima de nutrientes necesaria para obtener buenos rendimientos (Etchevers, 1999).

El objetivo de este trabajo fue estimar las concentraciones foliares en el cultivo de cacao (*T. cacao* L.), como una herramienta de diagnóstico de su estado nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), ubicado geográficamente a 3°15' latitud norte y 76°15' de latitud oeste, a 1120 msnm, en el municipio de Miranda-Cauca, Colombia durante los años 2010-2012. La zona presenta una precipitación media anual de 1379 mm por año, temperatura media anual de 23 - 28 °C (IGAC, 1993).

Los clones de cacao autocompatibles utilizados fueron: ICS-95 y CCN-51 y los autoincompatibles, TSH-565 e ICS-39 (Fedecacao, 2005), establecidos en campo y con cinco años de edad.

El suelo se muestreó a 1,5 m de distancia del árbol y 25 cm de profundidad (Muñoz y Beer, 2001), cada muestra estuvo constituida de cuatro submuestras, para un total de veinte muestras compuestas que se analizaron en el laboratorio de suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con fines de hacer un diagnóstico preciso. Así, se obtuvo el pH, relación suelo-agua 1:2,5 (con potenciómetro), materia orgánica (Walkley and Black; P por Bray II), capacidad de intercambio catiónica (CIC) y cationes de cambio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , k^+) por acetato de amonio 1M a pH 7, cuantificados por absorción atómica; elementos menores (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}) por Olsen modificado, S y B con fosfato monocálcico. También se determinó la textura por el método de la pipeta, y densidad aparente por el método del cilindro (Forsythe, 1985).

Los muestreos foliares se realizaron siguiendo la metodología del INIAP (Carrillo, 2006) durante tres años (2010 - 2012), la cual consiste en tomar la cuarta hoja de la parte media del árbol de cacao; se tomaron a razón de veinticinco hojas por tratamiento de cada clon. Se analizaron veinte muestras foliares por año en plena floración, teniendo en cuenta los tratamientos y clones para los siguientes elementos: nitrógeno (método Kjeldahl), fósforo y boro (método colorimétrico), potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc (absorción atómica) y azufre (método turbidimétrico); los cuales se analizaron con la metodología propuesta por el CIAT (Salinas y García, 1985). Los rangos para interpretar los análisis foliares en cacao fueron calculados a partir de los tratamientos, donde cada clon obtuvo su mayor rendimiento; sin embargo, para comparar con los datos referenciados por Abreu-Junior (1996), Malavolta et al. (1997) y Sodré (2002), estos rangos fueron reportados en las mismas unidades de concentración de nutrientes necesarios para producir 1000 kg de grano seco de cacao.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones para un total de veinte unidades experimentales, las cuales estaban constituidas por cuatro árboles de cacao sembrados a una distancia de 3 m x 3 m entre plantas y 4 m entre surcos, para una densidad de 952 plantas por hectárea (Puentes et al., 2014b).

Los tratamientos se planificaron teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo y el aporte de nutrientes del suelo, así, estos tratamientos incluyeron menor y mayor cantidad de nutrientes a lo recomendado por Aranzazu (2011); de esta forma se estimó el potencial de absorción de cada clon (Puentes et al., 2014a) y con este, se determinó el contenido de nutrientes foliar adecuado para obtener el mayor rendimiento. Los tratamientos evaluados fueron TR (control), posteriormente, incrementos del 25%, 50%, 75% y 100% de NPK dieron origen a los tratamientos: T1, T2, T3, T4, respectivamente (Cuadro 1). Las dosis de fertilizante, se aplicaron en dos épocas, una en mayo y otra en septiembre.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos (TR (control), T1 (25% NPK), T2 (50% NPK), T3 (75% NPK), T4 (100% NPK)) en kg/ha por cada nutriente NPK, aplicado al suelo en cuatro clones de cacao, para determinar qué concentración de nutrientes a nivel foliar se considera óptima. Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Table 1. Description of treatments (TR (control), T1 (25% NPK), T2 (50% NPK), T3 (75% NPK), T4 (100% NPK)) in kg/ha NPK nutrient, applied to the ground in four cocoa clones to determine the ideal foliar nutrient concentration. Research Center of the National Federation of Cocoa Producers (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Nutriente	TR	T1	T2	T3	T4
N	49	61	73	86	98
P ₂ O ₅	23,5	29,3	35,2	41	47
K ₂ O	146,5	183	219,7	256,4	293

Para determinar qué concentración de nutrientes a nivel foliar se considera óptima, con la finalidad de ser usados como referencia de diagnóstico foliar, se tomó como base los tratamientos en los cuales cada clon presentó su máximo rendimiento, así, se utilizó la concentración foliar de cada nutriente en esos tratamientos.

El rendimiento se determinó por el producto del índice de grano (Allen, 1987), número de grano por mazorca, número de mazorcas por árbol obtenidos en cada año cacaotero y la densidad de plantación, así mismo, para uniformizar la producción, al inicio del

experimento se eliminaron los frutos de más de tres o cuatro meses de edad (Puentes et al., 2014a).

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA, pruebas de comparación de medias de Tukey y correlaciones para determinar el grado de asociación de los nutrientes foliares con el rendimiento por clon. Todos los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico SPSS 20 (IBM, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de nutrientes en el suelo experimental

El análisis del suelo mostró condiciones homogéneas e ideales para el desarrollo normal del cultivo: pH de 6,4 (acidez débil), materia orgánica de 7,4%, contenido medio de potasio (0,26 Cmolc/kg), alto para calcio (9,73 Cmolc/kg) y magnesio (7,9 Cmolc/kg), fósforo normal (8,6 ppm); el análisis del resto de los elementos químicos (datos no publicados)

mostró que estos se encontraban dentro de los rangos reportados como normales por García (2007); con respecto al análisis físico, el suelo presentó una porosidad superior a 55%, textura franco limoso con presencia de arcillas illitas, con interestratificados illita/vermiculita en grandes proporciones, y densidad aparente de 1,2 Mg/m³, adecuadas para el cultivo de cacao (Puentes et al., 2014b).

Influencia de los niveles de fertilización en el rendimiento

Los clones presentaron diferente respuesta a los niveles de fertilización (Puentes et al., 2014b). Hubo diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en el rendimiento por efecto de los tratamientos y del tipo de clon; el CCN-51 fue el único clon que presentó su mayor rendimiento en el T1 con 2020 kg por hectárea, y el resto ICS-39 (1634 kg/ha), ICS-95(1337 kg/ha), y TSH 565 (1340 kg/ha) en el T2 (Figura 1), los cuales corresponden a las dosis más bajas de fertilización. Todos los

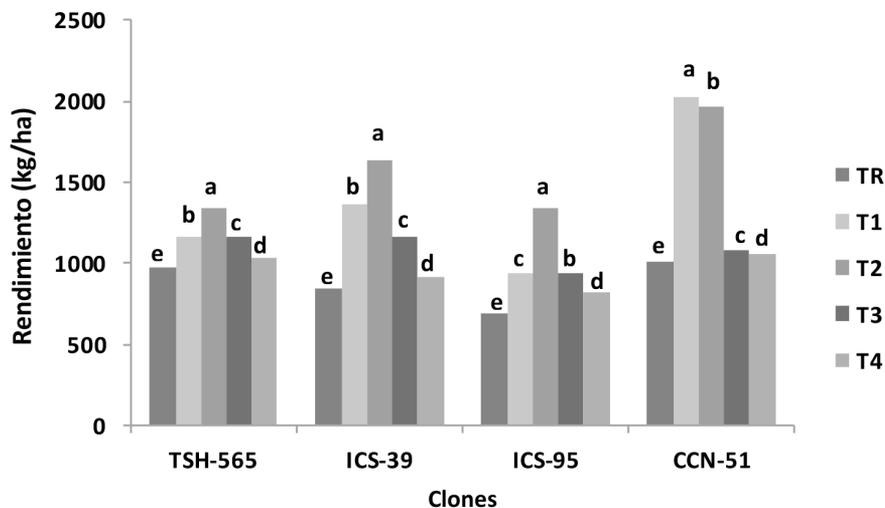


Figura 1. Rendimiento de cuatro clones de cacao bajo cuatro tratamientos TR(control), T1(25% NPK), T2(50% NPK), T3(75% NPK), T4(100% NPK), para determinar qué concentración de nutrientes a nivel foliar se considera óptima. Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Figure 1. Four cocoa clones yield under four treatments TR (control), T1 (25% NPK), T2 (50% NPK), T3 (75% NPK), T4 (100% NPK), to determine the ideal foliar nutrient concentration. Research Center of the National Federation of Cocoa Producers (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Means with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ (Tukey test).

clones presentaron los menores rendimientos en (TR), resultados normales, ya que al TR no se le aplicó fertilizante, así como lo sugieren Aguilar et al. (2015).

El clon CCN-51 obtuvo su mayor rendimiento en el T1, lo cual sugiere mayor eficiencia nutricional con respecto a los demás clones (Puentes et al., 2014b), esto evidenció que no necesariamente a mayor cantidad de fertilizante se obtiene mayor rendimiento, como lo corroboran Puerto et al. (2014). En este sentido, es clara la diferencia entre clones con respecto a la eficiencia nutricional y producción de biomasa (Do Carmo-Pinto et al., 2011).

Concentración de nutrientes en hojas para clones de cacao

Se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en la concentración foliar de P, Mg^{2+} , B, Mn^{2+} y Zn^{2+} por efecto del clon, y de la interacción clon por tratamiento; por efecto del tratamiento se observaron diferencias ($p < 0,01$) en todos los nutrientes.

Al analizar el orden de concentración de los nutrientes en hojas, en el tratamiento donde los clones presentaron su mayor rendimiento según Puentes et al. (2014a), se encontró que cada clon presentó diferente comportamiento (Cuadro 2), el clon CCN-51 mostró el siguiente orden de concentración: N, Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , S, P, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , B y Cu^{2+} ; sin embargo, ICS-95 cambió a: Ca^{2+} , N, K^+ , Mg^{2+} , S, P, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , B y Cu^{2+} ; y el clon TSH-565 presentó la distribución de la forma: Ca^{2+} , N, K^+ , Mg^{2+} , S, P, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , B y Zn^{2+} ; por último, el clon ICS-39: Ca^{2+} , N, K^+ , Mg^{2+} ,

S, P, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} y B. Los cuatro clones coincidieron en tener menor concentración de fósforo (elemento mayor) y mayor de manganeso (elemento menor), como lo referencian otros autores (Abreu-Junior, 1996; Malavolta et al., 1997; Sodré, 2002).

Los valores de concentración foliar se consideraron bajos para N, P, K^+ y Ca^{2+} en los clones ICS-39 y TSH-565 según Abreu-Junior (1996); para ICS-95 y CCN-51, bajos en N, P, K^+ y altos en Ca^{2+} según Sodré (2002). Los valores de K^+ en hojas se consideran normales para TSH-565, ICS-39, CCN-51 y altos en el clon ICS-95 (Abreu-Junior, 1996). Estas diferencias en concentración de nutrientes de hojas en los cuatro clones, evidenció el requerimiento específico de cada clon de cacao (Puentes et al., 2014b).

Correlaciones entre concentraciones de nutrientes en hojas y rendimiento

Se observaron comportamientos disímiles entre clones, sin embargo, todos mostraron correlaciones positivas y altamente significativas ($p < 0,01$), evidenciando la contribución de estos nutrientes al rendimiento (Cuadro 3).

Los mayores valores de correlación con el rendimiento en los cuatro clones se obtuvieron para los siguientes nutrientes: N, K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} y Cu^{2+} ; y los menores valores para P, Ca^{2+} y Mn^{2+} en los cuatro clones. Con relación al Zn^{2+} y S, solo los clones autocompatibles CCN-51 y ICS-95 presentaron una correlación altamente significativa ($p < 0,01$), para el resto de clones fueron significativas

Cuadro 2. Concentración de nutrientes asociada al tratamiento con mayor rendimiento, en cuatro clones de cacao, para determinar qué concentración de nutrientes a nivel foliar se considera óptima. Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Table 2. Nutrient concentration associated with higher yield treatment in four cocoa clones to determine the ideal foliar nutrient concentration. Research Center of the National Federation of Cocoa Producers (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Clones de cacao	Macronutrientes g/kg							Micronutrientes mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn
TSH-565	16,19	1,35	10,69	24,50	7,10	2,14	39,01	73,01	547,05	195,66	34,03
ICS-39	15,94	1,20	9,10	24,56	5,20	2,04	24,90	29,54	496,11	346,54	50,00
ICS-95	18,39	1,42	12,70	22,89	4,40	2,07	27,49	15,90	354,08	184,01	42,38
CCN-51	17,46	1,90	12,26	16,90	6,04	2,30	32,35	19,83	452,69	227,30	62,09

Cuadro 3. Correlaciones entre concentración de nutrientes en hojas y rendimiento para cuatro clones de cacao. Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.
Table 3. Correlations between foliar nutrient concentration in leaves and yield in four cocoa clones. Research Center of the National Federation of Cocoa Producers (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

CLON	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
TSH-565	0,87**	0,60*	0,92**	0,68*	0,92**	0,62*	0,81**	0,91**	0,57*	0,98**	0,57*
ICS-39	0,80**	0,65*	0,92**	0,61*	0,88**	0,60*	,86**	0,93**	0,61*	0,93**	0,52*
CCN-51	0,95**	0,56*	0,97**	0,55*	0,84**	0,93**	0,57*	0,95**	0,55*	0,94**	0,97**
ICS-95	0,96**	0,58*	0,98**	0,64*	0,92**	0,98**	0,55*	0,87**	0,51*	0,92**	0,95**

** Correlación altamente significativa al nivel 0,01, * correlación significativa al nivel 0,05, NS no significativa / ** Highly significant correlation at the 0.01 level, * Significant correlation at the 0.05, level NS not significant.

($p < 0,05$), caso contrario sucedió con boro, donde los clones autoincompatibles tuvieron mejor correlación ($p < 0,01$), mientras los autocompatibles, correlaciones significativas ($p < 0,05$). Esta variación entre clones autoincompatibles y autocompatibles puede relacionarse con la genética de cada clon, asociada con los procesos de compatibilidad, donde el boro juega un papel importante en el proceso de floración, viabilidad del polen y crecimiento del tubo polínico (García, 1993).

Propuesta de diagnóstico nutricional para clones de cacao

Los valores de N, P, K⁺ y Ca²⁺, fueron similares con los reportados por Abreu-Junior (1996), sin embargo, fueron menores si se comparan con Malavolta et al.

(1997) y Sodré (2002). Las concentraciones de Mg²⁺ y S fueron similares con las propuestas referenciadas, caso contrario sucede con Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, donde los valores de la propuesta superan ampliamente a los reportados por los mismos investigadores; y por último, el caso del Zn²⁺, donde la propuesta de Sodré (2002) supera ampliamente las demás referencias. En términos generales, la propuesta generada de esta investigación, presentó menores concentraciones de N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, B y Zn²⁺, y superiores en Cu²⁺, Fe²⁺ y Mn²⁺, valores que pueden atribuirse a la buena disponibilidad de estos elementos en el suelo de estudio (Cuadro 4).

Los rangos definidos por los diferentes autores, evidencian similitud en los valores de concentración de nutrientes en hojas, pese a las diferencias de material vegetal de cacao (clones, híbridos) y a las condiciones

Cuadro 4. Rangos para interpretar los análisis foliares en cacao. Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

Table 4. Ranges to interpret foliar analysis in cocoa. Research Center of the National Federation of Cocoa Producers (Fedecacao). Colombia. 2010-2012.

	Macronutrientes (g/kg)					Micronutrientes (mg/kg)			
	A	B	C	D		A	B	C	D
N	16,1-18,3	17,7-21,9	19-23	23,4-24	B	24,9-39	-----	30-40	-----
P	1,2-1,9	0,9-1,2	1,5-1,8	2,1-2,2	Cu	15,9-73	6,0-8,7	10-15	38,9-44
K	9,1-12,7	3,8-12,5	17-20	16,5-17,1	Fe	195-346	33-64	150-200	62,7-83,4
Ca	16,9-24,5	16,7-22,2	9,0-12	8,3-9,0	Mn	354-547	242-435	150-200	194,2-226,4
Mg	4,4-7,1	6,4-9,0	4,0-7,0	4,3-4,5	Zn	34-62	32-75	50-70	115,9-129,7
S	2,0-2,3	1,4-2,0	1,7-2,0	-----					

A: Propuesta autores, B: Abreu (1996), C: Malavolta et al. (1997), D: Sodré (2002) / A: Proposal authors, B: Abreu (1996), C: Malavolta et al. (1997), D: Sodré (2002).

edafoclimáticas en las cuales se desarrollaron los experimentos de los diferentes autores (Abreu-Junior, 1996; Malavolta et al., 1997; Sodré, 2002).

Los resultados obtenidos en esta investigación evidenciaron la influencia de las dosis de fertilización en la concentración de nutrientes en hojas y en el rendimiento, mostrando variaciones en los valores de la concentración de nutrientes foliares entre clones, lo que sugiere una exigencia nutricional específica para cada clon (Puentes et al., 2014b). En tanto, al definir el tratamiento responsable del mayor rendimiento para cada clon, y basados en este, se proponen los rangos de la concentración para once nutrientes (N, P, K⁺, Ca²⁺, S, Mg²⁺, B, Zn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺) en hojas de cacao (*T. cacao* L.), como herramienta diagnóstica del estado nutricional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por el grupo de investigación en uso y manejo de suelos y aguas con énfasis en degradación de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, así mismo, a la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia.

LITERATURA CITADA

- Abreu-Junior, C.H. 1996. Foliar nutrient concentration and rations in height yield cocoa genotypes and relations yield and intensity of witches broom disease. In: R. Costa, editor, International Conference on Cacao Research. Cocoa Producer's Alliance. CEPLAC/CEPEC. Atas, Lagos, NGR. p. 773-780.
- Aguilar, C.C., J.A.E. Escalante, y I.M. Aguilar. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima c ldido en función del genotipo, biofertilizante y n trgeno. *Terra Latinoam.* 33:51-62.
- Aikpokpodion, P.E. 2010. Nutrients dynamics in cocoa soils, leaf and beans in Ondo State, Nigeria. *J. Agri. Sci.* 1: 1-9.
- Allen, J.B. 1987. London cocoa trade amazon Project. Final report phase 2. *Cocoa Growers Bulletin* 39:1-94.
- Aranzazu, F. 2011. El manejo oportuno y apropiado del cultivo del cacao, la clave del éxito para obtener excelentes cosechas. En: Seminario-taller "Desarrollo tecnológico del cultivo de cacao en la Orinoquia". 17 nov. Auditorio Unillanos. Sede San Antonio Barzal. Universidad de los Llanos, Meta, COL. Presentación 9.
- Cabala, R.P. 1975. Respostas do cacauzeiro a doses crescentes de nutrientes. Informe técnico. Centro de pesquisas do cacau, Itabuna, Bahia, BRA.
- Carrillo, M.Z. 2006. El muestreo foliar en cacao. Instituto Nacional Autónomo de Ciencias Agropecuarias (INIAP). Quevedo, Los Ríos, ECU.
- Do Carmo-Pinto, S.I., N.A. Furtini., N.J. Lima., V. Faquin e M.B. Da Silva. 2011. Eficiència nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solu o nutritiva. *R. Bras. Ci. Solo* 35:523-533
- Etchevers, B.J.D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoam.* 17:209-219.
- Fedecacao (Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia). 2005. Caracterización físico química y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Fedecacao, Bogotá, COL.
- Forsythe, W. 1985. Física de suelos: manual de laboratorio. IICA, San José, CRC.
- García, C. 2007. Cacao (*Theobroma cacao* L.). 1^a ed. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, COL.
- García, O.A. 1993. Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao. Boletín de Sanidad Vegetal 02. Editorial Produmedios, Santafé de Bogotá, D.C. COL.
- IBM (International Business Machines). 2011. Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS estadistic 20. Prentice Hall, WI, U.S.A.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1993. Cauca: características geográficas. Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Universidad de Caldas, Manizales, Bogotá, COL.
- Lainez, J.C. 1982. Aplicación del diagnóstico foliar en la evaluación de la condición nutricional de plantaciones comerciales de café y cacao, en el litoral ecuatoriano. Boletín técnico No. 49. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ECU.
- Llano, A.O., y M.C. Castaño. 1977. Segunda etapa del ensayo sobre fertilización en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la hacienda Calamar. Tesis U. Caldas. Manizales, COL.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, e S.A. De Oliveira. 1997. Avalia o do estado nutricional das plantas. Principios e aplica es. 2a edici o. Piracicaba. Associa o Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, BRA.

- Mejía, L. 2000. Nutrición del cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bucaramanga, COL.
- Mora, R.J., O.H. Burbano, y P.W. Ballesteros. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). Rev. Cien. Agríc. 28:81-94.
- Muñoz, F.A., and J. Beer. 2001. Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. Agrof. Syst. 51:119-130.
- Puentes, P.Y.J., F.J.C. Menjivar, y H.F. Aránzazu. 2014a. Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Bioagro 26:99-106.
- Puentes, P.Y.J., J.C. Menjivar, A. Gómez, y F. Aranzazu. 2014b. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. Acta Agron. 63:145-152.
- Puerto, G.O., F.J.C. Menjivar, S. Mejía de T, y P.Y.J. Puentes. 2014. Influencia del potasio en el cultivo de la vid (*Vitis labrusca*) cv. ISABELLA. Inf. Téc. 78:148-154.
- Rodríguez, O., y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Rev. Fac. Agron (LUZ) 17:449-470
- Salinas, J.G., y R. García. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Pastos Tropicales, Cali, COL.
- 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. Agrotrópica 13:145-150.
- Trinidad, S.A., y M.D. Aguilar. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra Latinoamericana 17:247-255.
- Uribe, A., H. Mendez, y J. Mantilla. 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.