

**ACUMULACIÓN Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DEL CACAO**  
**(*Theobroma cacao* L.)**

E.I. Leiva- Rojas, R. Ramírez- Pisco  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (Colombia). Facultad de Ciencias Agrarias.  
Correo: [eileiva@unal.edu.co](mailto:eileiva@unal.edu.co)  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (Colombia). Facultad de Ciencias  
Correo: [rramirez@unal.edu](mailto:rramirez@unal.edu)

RESUMEN

La producción potencial del cultivo de cacao es regulada por la disponibilidad de minerales en el suelo además, es afectada por factores climáticos y edáficos, para estos últimos se cuenta con protocolos de diagnóstico tanto de sus propiedades físicas como químicas, que aportan parte de la información necesaria para recomendar la aplicación de los nutrientes demandados, aunado a los requerimientos nutricionales del cultivo. Los nutrimentos necesarios para la producción incluyen la cantidad de minerales extraídos en su crecimiento vegetativo y los exportados en la cosecha. Comúnmente la aplicación de nutrientes puede ser deficitaria o excesiva respecto a la cantidad que es removida por el cultivo, para la suplementación racional y sostenible de minerales o fertilizantes y enmiendas es indispensable conocer la cantidad de nutrientes acumulados y los retirados en los granos de cacao. Se colectaron árboles completos, incluida la raíz, para cuantificar su biomasa y con los análisis químicos de cada parte del material se calculó la acumulación de nutrientes. El muestreo se realizó en plantaciones de 4, 10, 15, 20 y 30 años, en las zonas de vida bosque húmedo tropical (bh-T), bosque seco tropical (bs-T) y bosque húmedo premontano (bh-PM). En el sitio de cada árbol se tomaron muestras de suelo para su correspondiente análisis químico. Se concluyó que el modelo de crecimiento es distinto según la zona de vida, con mayor acumulación de fitomasa en bh-T y la más baja en bs-T. La concentración de nutrientes en las hojas es mayor que en las demás partes del árbol, con valores de N: 1,4 a 2.2%, K: 1.2 a 2.2%, Ca: 0,8 a 2%, Mg: 0,33 a 0,9%, P: 0,13 a 0,20% y S: 0,07 a 0,27 %. El orden de extracción es  $N \geq K \geq Ca > Mg > P > S$ , y cambia dependiendo de la edad del cultivo. El grano extrae el K en mayor cantidad. La secuencia de acumulación de nutrientes en las hojas es:  $N = Ca > K > Mg > P > S$ , en el fuste es  $K > Ca \geq N > Mg > P > S$ . Sin embargo, el contenido de minerales en el suelo no siempre tiene relación directa con los nutrientes acumulados en el árbol.

**Palabras clave:** cacao, nutrición, acumulación nutrientes, requerimientos nutricionales

INTRODUCCIÓN

El cacao es cultivado en la zona tropical y un 16% de la producción mundial se obtienen de los cultivos del norte de Suramérica siendo los principales productores Brasil, Ecuador, Colombia y Perú (ICCO, 2016).

El cacao es plantado en diversas condiciones de clima y tipos de suelo, en promedio el rendimiento en los países productores no supera los 900 Kg por hectárea, productividad que se puede incrementar al mejorar las técnicas de manejo, riego y nutrición, alcanzando rendimientos superiores a 2000 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cedeño, 2011).

La formación y acumulación de biomasa del árbol está definida por el nivel de disponibilidad de nutrimentos, su absorción y su distribución en la planta, su carencia afecta el crecimiento y en consecuencia el rendimiento del cultivo (López-Lefebre et al., 2002; Ribeiro et al., 2008)). La nutrición mineral está determinada por distintas propiedades del suelo, entre ellas el nivel de elementos, la capacidad de retención de agua y la impedancia entre otras (Arredondo et al, 2015), la necesidad de nutrientes del cultivo está condicionada por la luminosidad y agua disponible en el suelo, entre otros. Se puede elevar la producción en la medida que se proporcionen los nutrientes que corrijan sus niveles en el suelo para propiciar la cantidad y los balances en el árbol (Leiva, et al.2011).

La remoción continua de nutrientes con pequeñas o ninguna reposición incrementa la posibilidad de generar estrés en las plantas, con su consecuente disminución en el rendimiento (Snoeck et al., 2006).

Los cultivos perennes proporcionalmente inmovilizan mayor cantidad de elementos de los que se extraen en el producto cosechado, pero para obtener la máxima productividad se debe disponer de los nutrientes para el total de la planta, a través del suelo o supliendo con fertilizantes (Faquin, 2005).

La utilización de fertilizantes sin criterios cuantitativos claros desencadena problemas de tipo ambiental, además, los altos costos han planteado preocupaciones con respecto a la sostenibilidad del cultivo del cacao, ya que los valores de producción se pueden incrementar debido a los costos del fertilizante (Araújo et al., 2005). En este sentido la información de la extracción y acumulación de nutrientes en el cultivo es necesaria para definir las estrategias relacionadas con la nutrición del cultivo para que se disponga de los minerales necesarios para su crecimiento y los extraídos en la cosecha.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización Zonas de estudio**

La investigación se adelantó en tres localidades, con distinta zona de vida, en la Granja experimental Rafael Rivera de FEDECACAO, ubicada en San Jerónimo en el departamento de Antioquia, a  $06^{\circ} 26' 48''$  de latitud N y  $75^{\circ} 43' 17''$  W, y a una altitud de 740 m, con precipitación anual entre 1300 a 1800 mm anuales, según la clasificación de Holdridge corresponde a la zona de vida Bosque Seco Tropical (bs-T).

Granja Luker, ubicada en el municipio de Palestina, departamento de Caldas, a  $5^{\circ} 4' 13.2''$  Latitud Norte y  $75^{\circ} 41' 7.7''$  Oeste, a una altitud de 1058 m, precipitación entre 1600-2200 mm anuales, correspondiente a la zona de Bosque Húmedo Premontano (bh-PM). Granjas de productores de la vereda El venado en Chigorodó departamento de Antioquia, a  $7^{\circ} 39' 46''$  latitud N y  $76^{\circ} 40' 18''$  Oeste, a una altitud de 35 m, con precipitación anual de 2800 a 3400 mm anuales, según la clasificación de Holdridge corresponde a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (bh-T).

### **Diseño de muestreo, toma de datos y análisis**

Se evaluaron los cultivares de cacao, en plantaciones de 4,6, 14, 20 y 30 años de establecidas en el bh-PM, de 4, 8,10,15 y 30 años en el bh-T y de 4,15,20 y 30 años en el bs-T.

Se colectaron tres árboles de cada edad por cada zona de vida, separando las partes del cada árbol para obtener biomasa y realizar análisis químico de cada una. Se cuantificó la cantidad acumulada de minerales en cada parte, y por cada árbol. Se colectaron frutos y se realizó análisis químico y se calculó la extracción de nutrientes por ton de grano seco.

En el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional se realizó análisis químico de muestras de cada parte del árbol y en el Laboratorio de Bromatología se analizaron los frutos .El análisis de tejido vegetal se realizó con descomposición de la muestra por vía seca y mineralización con HCl 1:1 (6N), posteriormente se realizó la determinación de azufre (S) por el método Turbidimetría. Elementos como el potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), se evaluaron por el método de absorción atómica y elementos como el fósforo (P) y boro (B) fueron evaluados por el método de turbidimetría. Finalmente, el Nitrógeno se determinó por el método de Kjeldhal (IGAC, 2006). Los granos secos y descascarados se analizaron por el método de espectrometría de absorción atómica se cuantificó el contenido de Calcio (Ca), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Potasio (K) y Zinc (Zn); el porcentaje de cenizas por incineración directa a  $600^{\circ} \text{C}$ ; Fósforo (P) por espectrofotometría U.V-VIS; porcentaje de humedad (%H) y otras materias volátiles por termogravimétrico a  $103 \pm 2^{\circ} \text{C}$  y contenido de grasa por extracción, todos los resultados se expresaron en base seca.

A los resultados de contenido de nutrientes de las partes de la planta, inter e intrazonas de vida, se realizó el análisis de varianza, la comparación múltiple de medias con la prueba de Duncan, con un nivel de significancia del 95%.

## RESULTADOS

**El contenido de nutrientes** corresponde al porcentual de minerales en la biomasa de cada una de las partes y de la planta en su totalidad.

El porcentaje de nitrógeno en las hojas no presentó diferencias significativas, entre zonas de vida, y entre edades de los árboles, pero se obtuvo un valor mínimo en bh-T 15 de 1.38% y un máximo en bs-T 4 de 2.21%. En el fuste, los contenidos de N oscilan entre 0.59 y 0.68%, sin diferencias significativas entre zonas y entre edades, pero hay un mínimo contenido de 0.38 y 0.37% en el bh-T 8 y 15, respectivamente y un máximo en bs-T 30 de 0.82%. En las ramas, son mayores los contenidos de N en la zona de bh-T, independiente de la edad. Y entre bh-PM y bs-T no hay diferencias, oscila entre 0.55 y 0.77%. En la raíz son similares en el bs-T y bh-T entre 0.73 y 0.75%, con un máximo de 0.98% en bh-T 30. Y son menores en bh-PM con contenidos entre 0.61 y 0.7%.

El contenido de fósforo en las hojas, oscila entre 0.13 y 0.20%, sin diferencias significativas entre zonas de vida y edades, pero se presentó un valor máximo en bh-PM4, de 0.20%, que puede estar relacionado con el contenido de materia orgánica en el suelo. En el fuste oscila entre 0.09 y 0.17% sin diferencias significativas, se halló un mínimo de 0.083 en bh-T 15 y un máximo en 0.176% en bh-PM 20. En las ramas un valor máximo de 0.24% en el bh-PM 20 y en el resto sin diferencias significativas, con valores entre 0.12 y 0.18%. En la raíz el mayor contenido fue de 0.296% en bh-PM 20 el menor 0.076% en bs-T 30, los valores restantes entre 0.10 y 0.18 %.sin diferencias significativas.

El contenido de potasio en las hojas fue mayor con 2.15% en bh-PM 6 y el menor en bh-T 8-10 con 1.06%, el resto valores que oscilan entre 1.19 y 1.81%, sin diferencias significativas. En el fuste el mayor contenido está en bh-PM 4 con 2.35% y el menor en bh-T 8 con 0.47%, en las otras situaciones sin diferencias significativas. En las ramas el mayor contenido en bh-PM 4, con 2.58% y los menores en bs-T y bh-T con 1.02 y 1.23% sin diferencias significativas. En raíz mayor en bh-PM 4 y 6, con 1.72 y 1.80 % respectivamente y el resto sin diferencias significativas, entre 0.83 y 1.16%, el menor en bh-T 10 con 0.64%.

El contenido de magnesio en las hojas es mayor en bh-T 8 con 0.9% y el menor en bh-PM 14 con 0.33%, los demás sin diferencias significativas, oscilan entre 0.45% y 0.8%. En el fuste el mayor contenido en bh-T 10 con 0.48% y el menor en bh-PM 30 con 0.19%, los demás oscilan entre 0.27 y 0.39% sin diferencias significativas. En las ramas el mayor contenido está en bh-PM 20 con 0.39% y el menor en bs-T 30 con 0.18%, en los otros sitios y edades no se presentan diferencias significativas y el contenido oscila entre 0.22 y 0.27%. En las raíces se halló mayor contenido en bh-PM 20 con 0.55% y el menor en bh-PM 30 y bh-T 8 con 0.29 y 0.30%, el resto sin diferencias significativas, oscila entre 0.31 y 0.47%.

El contenido de calcio en las hojas es mayor en bs-T 15 con 2.3% y los menores en bh-PM 4, 14 y 20 entre 0.88 y 1.1%, contenidos intermedios se obtuvieron en bh-T con valores entre 1.38 y 1.86%. En el fuste no se presentaron diferencias significativas entre zonas y edades, pero hay un valor mayor en bh-PM 6 con 1.27%. En las ramas sin diferencias significativas, con un valor mayor en bh-PM 6 con 1.23%. En la raíz los menores contenidos se hallaron en el bh-T y el mayor en bh-PM 20 con 1.39%, los demás sin diferencias significativas.

El contenido de azufre en hojas es mayor en el bh-PM con valores entre 0.18 y 0.27%, intermedios en bs.T con valores entre 0.12 y 0.22% y los más bajos en bh-T menores de 0.11%. En el fuste igual mayor en bh-PM 0.06 a 0.07%, intermedios en bs.T 0.03 y 0.04, y mas bajos en bh-T 0.02%. En ramas igual mayor en bh-PM 0.08 a 0.10%, y mas bajos en bs.T y bh-T entre 0.07 y 0.06%. En la raíz mayores en bh-PM y bs-T con cantidades entre 0.06 y 0.12% y en bh-T son menores de 0.05%.

Los resultados del análisis químico de los tejidos evidenciaron que las hojas fueron los órganos de la planta que más alto contenido de nutrientes presentaron, este comportamiento coincide con lo encontrado por Thong y Ng., (1978) referido por Cabala, (1984) y lo citado por Giraldo y colaboradores (1983), quienes también mencionan que la hoja es el componente de almacenamiento de nutrientes más importante en

cacao y el órgano más útil para un diagnóstico de la nutrición de la planta, por su marcada sensibilidad y variación en composición relacionada con diferentes niveles de minerales del suelo.

Los análisis realizados por Thong y Ng., (1978) referido por Cabala, (1984) además muestran que los nutrientes de la hoja corresponden a la suma de nutrientes del tallo y las ramas por eso definen su utilidad para evaluación del árbol, en este estudio la sumatoria de contenidos porcentuales de nutrientes del fuste y las ramas corresponden entre el 65 y 89% al contenido de nutrientes de la hoja, en proporción distinta según el elemento.

Al comparar el contenido de minerales cuantificado en las hojas, con los valores de referencia propuestos por INIAP (2002) y Malavolta et al (1997), se encuentra que el N está dentro del rango adecuado. El P, la mayoría adecuados, excepto los de bh-T, El K la mayoría por debajo del nivel adecuado, excepto Bh-PM 6-20 y 30 años. En Mg se hallaron en el rango bajo del nivel ceptado, excepto Bh-PM 4 y 14 que fueron inferiores. En Ca, la mayoría de valores superiores al máximo nivel adecuado, mayores a 1,2%. En S los contenidos del bs-T y bh-T fueron inferiores al mínimo adecuado, los de bh-PM se hallaron dentro del rango adecuado.

Al tomar de referencia los contenidos de macro-nutrientes definidos para Costa de Marfil y Trinidad (Snoeck y Jadin, 1989) se encontró el N en niveles Deficiente moderado a severo, solamente en bs-T 4 se presentó normal, mayor a 2%. El P en niveles Deficiente moderado. El K en nivel normal, excepto en bh-T 8 y 10 años, con valores deficientes moderado. El Mg en todos por encima de los niveles normales. El Ca se halló en cantidades muy altas, casi el triple de los valores considerados normales.

El cacao evaluado esta plantado en suelos con distinta capacidad productiva, en su mayoría con pH ácido, materia orgánica: alta en bh-PM, media en bs-T y baja bh-T, Ca bajo a medio, Mg medio-bajo, K bajo, P en bh-PM alto, en bh-T: bajo; S bajo-medio, no se presentó diferencia significativa entre el contenido o la concentración de nutrientes en las hojas y con niveles en general adecuados, con referencia en distintas escalas (Tabla 1-4,1-5 y 1-6), excepto el K, situación similar se reporta en Brasil (Nakayama, 2010) en cultivos de cacao plantados en suelos muy ácidos, con baja saturación de bases y con drenaje lento, de igual manera los híbridos estudiados presentaron niveles adecuados de nutrientes en las hojas, según la escala de Malavolta y otros (1997). Estos resultados se pueden explicar por las distintas estrategias de los árboles de cacao para adquirir los nutrientes, entre ellas la asociación con micorrizas y la presencia de microorganismos en la rizósfera, tales como solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno (Arnoldy Herre, 2003; Araújo *et al.*, 2006; López *et al.*, 2007, Leiva et al 2014) que posibilitan la adquisición de nutrientes para alcanzar los bajos niveles aceptados.

#### **Acumulación de nutrientes en el árbol de cacao**

El árbol de cacao extrae mayor cantidad potasio, en general, en todas las edades y zonas de vida evaluadas. La secuencia de extracción corresponde a  $K > Ca \geq N > Mg > P > S$ .

La extracción de nutrientes fue más alta bh-PM a partir de los seis años, aunque la acumulación de biomasa fue mayor en bh-T. A los 14 años la plantación del bh-PM presenta mayor acumulación de potasio que en las otras zonas, en el bh-T se extrae un 92% respecto al anterior y en bs-T un 54% respecto al bh-PM (Figura 3-12; Anexo 1). La mayor cantidad de potasio en el árbol concuerda con altas cantidades de K disponible en el suelo. De calcio la mayor absorción se realiza en bh-T, un 86 % de esta en el bh.PM, y un 71% en el bs-T, en el mismo sentido la disponibilidad de Ca es mayor en los suelos del bh-T, intermedia en bh-PM y menor en el bs-T. En los primeros años la extracción de nitrógeno es similar en las tres zonas, a los 10 años se diferencia, en el bh-T se incrementa un 79%, correspondiente con el incremento en biomasa (Figura 1).

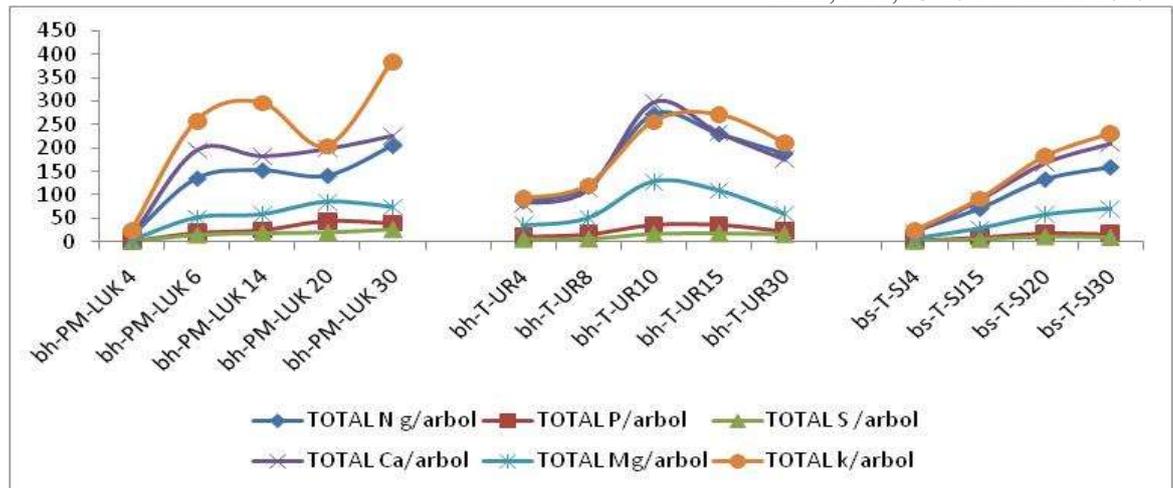


Figura 1. Acumulación de nutrientes en el árbol de cacao en distintas zonas de vida

La concentración de nutrientes en los distintas partes del árbol no presentó diferencias significativas, pero la cantidad total acumulada por árbol fue significativamente distinta entre las zonas de vida, dada su relación con el crecimiento diferencial.

La acumulación de nutrientes es mayor en bh-PM y la menor en bs-T, con una secuencia de extracción, en la biomasa acumulada, que corresponde a  $K > Ca > N > Mg > P > S$ , pero en árboles de 4 años el  $N > Ca$ , en donde la relación  $N/Ca$  es de 1,2-1,1. La relación cuantitativa de los nutrientes acumulados en el árbol es variable según la zona de vida (Tabla 1.)

Se corrobora que la hoja es el componente más importante de almacenamiento de nutrientes y en la fase productiva hojas y ramas almacenan la mayor cantidad de K y N (Thong y Ng,(1978,Cabala (1984, 1989) De tal manera que la hoja posición cuatro de últimos lanzamientos puede ser útil para diagnóstico nutricional (Tabla 2) (Leiva et al., 2011).

La extracción de nutrientes corresponde a la cantidad que está en los granos de cacao seco (Tablas 3 y 4)

Tabla 3. Contenido de nutrientes en grano seco (5.5% humedad) descascarado

Zona y edad	N	K	Ca	Mg	P	Mn	Fe	Cu	Zn
	%					Mg Kg <sup>-1</sup>			
bh-T (UR) 8	2.37	1.07	0.12	0.36	0.51	23.3	26.2	21.1	43.5
bh-PM (Lk) 6	2.61	1.22	0.15	0.38	0.59	22.8	25.1	22.0	48.2

Tabla 4. Extracción de nutrientes por tonelada de grano seco

Zona y edad	N	K	Ca	Mg	P	Mn	Fe	Cu	Zn
	Kg					g			
bh-T UR8	24	11	1.2	3.6	5.1	23.3	26.2	21.1	43.5
bh-PM (Lk) 6	26	1.22	0.15	0.38	0.59	22.8	25.1	22.0	48.2

Tabla 1. Relación cuantitativa de la extracción acumulada de nutrientes totales en árboles de cacao

Zona de vida	N	K	Ca	Mg	P	S
bh-PM (Lk 4)	0.51	1.00	0.41	0.16	0.09	0.05
bh-PM (Lk 6)	0.52	1.00	0.76	0.20	0.07	0.06
bh-PM (Lk) 14	0.51	1.00	0.62	0.20	0.08	0.06
bh-PM (Lk) 20	0.69	1.00	0.98	0.42	0.21	0.10
bh-PM (Lk) 30	0.53	1.00	0.59	0.19	0.10	0.07
bh-T (UR) 4	0.94	1.00	0.90	0.38	0.13	0.06
bh-T (UR) 8	0.97	1.00	0.93	0.42	0.13	0.05
bh-T (UR) 10	1.06	1.00	1.16	0.50	0.14	0.07
bh-T (UR) 15	0.85	1.00	0.86	0.40	0.13	0.06
bh-T (UR) 30	0.89	1.00	0.83	0.28	0.11	0.08
bs-T (SJ) 4	0.94	1.00	0.78	0.32	0.14	0.10
bs-T (SJ) 15	0.77	1.00	0.98	0.32	0.11	0.06
bs-T (SJ) 20	0.73	1.00	0.93	0.32	0.10	0.06
bs-T (SJ) 30	0.69	1.00	0.91	0.31	0.07	0.04

Tabla 2. Contenido de nutrientes en la hoja posición 4

Zona de vida edad	Nutrientes en la Hoja 4 (%)					
	N	P	S	Ca	Mg	K
bs-T (SJ) 4	2.1 AB	0.19 B	0.23 AB	0.93 C	0.46 CD	1.60 BC
bs-T (SJ)15	2.2 AB	0.21 AB	0.15 CDE	1.70 A	0.69 ABC	2.99 A
bs-T (SJ) 20	2.1 AB	0.33 A	0.14 CDE	1.34 ABC	0.44 CD	1.90 ABC
bs-T (SJ)30	1.9 AB	0.15 B	0.12 DEF	1.52 AB	0.48 BCD	1.48 BC
bh-PM (Lk) 4	1.8 AB	0.21 AB	0.21 ABC	1.23 ABC	0.42 D	2.46 AB
bh-PM (Lk) 6	2.0 AB	0.16 B	0.18 BCD	1.40 ABC	0.47 CD	2.25 ABC
bh-PM (Lk) 14	1.9 AB	0.15 B	0.19BC	1.07 BC	0.38 D	1.70 BC
bh-PM (Lk) 20	2.3 A	0.20 AB	0.26A	1.28 ABC	0.58 BCD	1.90 ABC
bh-PM (Lk) 30	1.7 AB	0.17 B	0.20 ABC	1.35 ABC	0.55 BCD	1.38 BC
bh-T (UR) 4	1.9 AB	0.18 B	0.13 DEF	1.38 ABC	0.60 BCD	1.50 BC
bh-T (UR) 8	1.8 AB	0.15 B	0.08 F	1.47 ABC	0.87 A	1.07 C
bh-T (UR) 10	1.7 AB	0.17 B	0.08 F	1.50 AB	0.73 AB	1.23 BC
bh-T (UR) 15	1.5 B	0.16 B	0.11 EF	1.17 ABC	0.60 BCD	1.77 BC
bh-T (Uraba) 30	1.9 AB	0.16 B	0.19 BCD	1.42 ABC	0.51 BCD	1.18 C

#### CONCLUSIONES

El contenido de nutrientes es mayor en las hojas que en las otras partes del árbol. El N: 1,4 a 2,2%. El K: 1,2 a 2,2%, el Ca: 0,8 a 2%, el Mg: 0,33 a 0,9%, el P: 0,13 a 0,20% y el S: 0,07 a 0,27 %. La extracción es  $N \geq K \geq Ca > Mg > P > S$ . En relación N:1,4-1 K: 1 Ca:0,7-1 Mg:0,3-0,6 P:0,10-0,13 S:0,08-0,1.

Los requerimientos nutricionales del cultivo de cacao deben considerar la cantidad de los elementos que acumula en la biomasa, por crecimiento y la extracción de los granos cosechados.

BIBLIOGRAFIA

- Acquaye, D.K. 1964. Foliar analysis as a diagnostic technique in cocoa nutrition. I.- Sampling procedure and analytical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 15(12), 855-863.
- Arnold A. E. y E.A. Herre. 2003. Canopy cover and leaf age affect colonization by tropical fungal endophytes: ecological pattern and process in *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Mycologia* 95: 388–398
- Arredondo, A. Ramírez, R. Leiva, R. 2015. Cacao e Impedancia mecánica. *Memorias Congreso XLV Nacional COMALFI*. Fusagasugá, Agosto de 2015.
- Araújo AC, Silva MR, Midlej RR. 2005. Valor da produção de cacau e análise dos fatores responsáveis pela sua variação no estado da Bahia. *Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - SOBER*, 43. 1:1-12.
- Cabala-Rosand, P., M. B. M. Santana, and C. L. de Santana. 1989. *Nutritional Requirements and Fertilizers Application in Cocoa Trees*. Cargil Foundation, Campinas, São Paulo, Brazil. 71p
- Cabala, R. 1984. Exigencias nutricionais e uso de fertilizantes em sistemas de producao de cacau. CEPLAC. Ilheus-Bahia Brasil. 110 p.
- Cedeño, S. 2011. La revolución el caco CCN 51 en Ecuador. “Un ejemplo de prosperidad sostenible”. *CMAA International Cocoa Conference*. Nassau, Bahamas, April 2, 2011.
- Faquin, V. 2005. *Nutrição Mineral de Plantas*. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Universidade Federal de Lavras – UFLA/Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE. 175 p.
- International Cocoa Organization. 2016. *Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics* (Vol. XLII).
- Leiva, E.I., Osorio, M.A. Ramírez, R. 2014. Microorganismos asociados a la rizósfera del cacao (*Theobroma cacao* L) en condiciones de bosque húmedo premontano (bh-PM). *Suelos Ecuatoriales*, Vol 43 (1) 35-35 p.
- Leiva-Rojas, E.I., Alvarez, A. D.J. , Ramírez, R. (2011) Diagnóstico del estado nutricional del cacao. *Memorias del XLI Congreso Anual COMALFI*, Ibagué septiembre 2011, p 79.
- López-Lefebvre L, Rivero R, García R, Sánchez E, Ruiz J, Romero L. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *J. Plant Nutr.* 25(3):509-522.
- Malavolta, E. Vitti, G.C., Oliveira, S.A. C., 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicações*. 2 ed. POTAFOS. 319 p.
- Ribeiro MAQ, da Silva JO, Aitken WM, Machado RCR, Baligar VC. 2008. Nitrogen use efficiency in cacao genotypes. *Journal Plant Nutrition* 31:239-249
- Snoeck D, Abekoe MK, Afrifa AA, Appiah MR. 2006. The soil diagnostic method for formulating fertilizer requirements on cocoa in Ghana, p 387-394. In *15th International Cocoa Research Conference*. San José, Costa Rica. COPAL, ed.