

# ACUMULACIÓN DE CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE EN LOS FRUTOS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CASTILLO®

Siavosh Sadeghian Khalajabadi\*; Beatriz Mejía Muñoz\*; Hernán González Osorio\*

---

SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ O.; H. Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Castillo®, Revista Cenicafé 64 (1): 7-18. 2013

El conocimiento de la dinámica de los nutrientes minerales ayuda a identificar los períodos de mayor exigencia por las plantas, lo que resulta útil en la planificación de labores de fertilización. El objetivo de este trabajo fue determinar la acumulación de calcio–Ca, magnesio–Mg y azufre–S en los frutos de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Castillo®, y las variaciones de sus concentraciones en las hojas. El estudio se desarrolló entre abril y noviembre de 2010, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé: Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Rosario (Venecia, Antioquia), Líbano (Líbano, Tolima) y Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar). A partir del día pico de la floración, mensualmente se tomaron muestras de frutos y hojas en las ramas productivas de 100 plantas y se analizó su composición. El crecimiento de los frutos presentó algunas variaciones entre las localidades, siendo un patrón común el modelo sigmoideal doble. Las concentraciones de los elementos disminuyeron considerablemente durante los primeros 120 días después del día pico de la floración–DDPF, para luego estabilizarse hasta el momento de la recolección. Se presentó la siguiente secuencia en el contenido de los nutrientes en el fruto: Ca>Mg>S. Durante los primeros 60 DDPF se acumuló, en promedio, el 14% de la cantidad total de Ca, Mg y K en el fruto, entre los 60 y 180 DDPF el 65% y entre los 180 y 240 DDPF el 21%. Las concentraciones foliares de estos elementos presentaron algunas variaciones a través del tiempo, sin que pudieran relacionarse con el crecimiento y desarrollo de los frutos.

**Palabras clave:** Materia fresca y seca, re–movilización de nutrientes, curva de crecimiento, análisis foliar.

---

## CALCIUM, MAGNESIUM AND SULFUR ACCUMULATION IN COFFEE BERRIES (*Coffea arabica* L.) OF CASTILLO VARIETY®

Nitrogen (N) is highly required by coffee (*Coffea arabica* L.) in the different crop stages, but in Colombia the response to this nutrient has been negative during the nursery stage likely as a result of high doses applied as urea. In order to provide more criteria for N management at this stage, the effect of four doses (0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 g of N / plant) and eight N sources (urea, ammonium sulfate-AS, ammonium nitrate, potassium nitrate, Calcinit, Nitabor, Nitromag and Sulfammo) on growth and nutrient uptake was assessed in two soil mapping units of Antioquia (Salgar and Venecia). When the seedlings were two months old, N was applied along with 2 g of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / plant as triple superphosphate. Additionally, other treatments were evaluated: i) absolute control without N and P, ii) control without N, iii) 2 g of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / plant, as DAP, iv) mixture of soil: earthworm manure in a 3 to 1 ratio, and v) mixture of soil:earthworm manure + 2 g of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / plant, as DAP. The plant response to N in terms of dry weight depended on the soil unit; there was only effect of sources in Salgar, and effect of sources and doses in Venecia. In both soils the highest average was obtained for AS and the lowest for potassium nitrate. In Venecia, the biological optimum was obtained with 0.54 g of N / plant with a low increase of magnitude (16.5%). The plant growth was negatively affected by the manure in Salgar, but the opposite occurred in Venecia. By applying phosphorus as DAP the dry weight was increased. These differences were associated with soil salinity and acidity. The plant N concentration was not affected by the N application.

**Keywords:** Nutrients, earthworm manure, acidity, salinity.

---

\* Investigador Científico II, Asistente de Investigación e Investigador Científico I, respectivamente, Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Entre los elementos mayores que demandan las plantas para su crecimiento y desarrollo se encuentran el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) (8). Estos también son llamados macronutrientes secundarios, clasificación que según algunos autores se relaciona con la menor frecuencia de observar deficiencias con respecto a los nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio), antes que la cantidad requerida (17). La demanda de Ca, Mg y S depende de la especie o variedad, el nivel de producción, las propiedades de suelo, los componentes ambientales y el manejo del cultivo (3).

En el cultivo de café, los requerimientos de Ca, Mg y K varían según la etapa del desarrollo. Durante la fase de crecimiento vegetativo –aproximadamente 650 días después de la siembra– una planta extrae del suelo entre 3,9 y 10,5 g de Ca y de 1,2 a 2,1 g de Mg. Hasta los 2.000 días, es decir 5,5 años, estas cantidades alcanzan 60 g de Ca y entre 15 y 30 g de Mg, según las condiciones del sitio (11). Parte de lo anterior se remueve del lote a través de la cosecha, mientras que el resto retorna al suelo en forma de hojas, ramas, raíces y flores, entre otros. En promedio, por cada 1.000 kg de café almendra, equivalentes a 1.250 kg de café pergamino seco (100 arrobas), se extraen 4,3 kg de Ca, 2,3 kg de Mg y 1,2 kg de S (14).

En cuanto a la acumulación de los nutrientes en el fruto se refiere, su comportamiento está influenciada por el crecimiento del fruto mismo, el cual para la variedad Colombia se ajusta a un modelo sigmoideal, con tres etapas: una logarítmica que va desde la floración hasta los 60 días, otra exponencial hasta los 180 días y una de estabilización, hasta llegar a la madurez completa (16). Otros reportes hacen referencia a un modelo sigmoideal doble (6, 10) con cinco estadios:

“garrapata”, expansión rápida, crecimiento suspendido, llenado y maduración, de acuerdo con Cannel, 1971, y Rena *et al.*, 2001, citados por Laviola *et al.* (6).

De acuerdo con Matiello *et al.* (7), la cantidad de macro y micronutrientes requerida durante la primera fase es poca, pero ésta se incrementa de manera significativa cuando el fruto pasa de “verde acuoso” a “verde sólido”.

El conocimiento acerca de la dinámica de los nutrientes desde la flor hasta el fruto maduro permite identificar los períodos de mayor exigencia por las plantas, pudiéndose mejorar la eficiencia de las prácticas de fertilización. Así mismo, el conocer las variaciones de las concentraciones de los nutrientes en las hojas y su movilización hacia los frutos durante la fase reproductiva en los diferentes ambientes ayuda en el diagnóstico del estado nutricional de las plantas, permitiendo ajustar los planes de la fertilización de los cultivos (4, 5).

Uno de los primeros estudios en café fue desarrollado por Moraes y Catani (9), quienes indican que la acumulación de materia seca por el fruto se incrementa notablemente a partir del cuarto mes de la floración; así mismo, estos autores sugieren que en los dos últimos meses el fruto acumula cerca del 40% de su peso y de los nutrientes. En contraposición, Ramírez *et al.* (10) indican que el 50% de los requerimientos totales de todos los elementos, a excepción de K, son consumidos por el fruto durante los primeros 90 días.

En Colombia, raras veces se observan síntomas de deficiencia de Ca y S en café, en tanto que son muy frecuentes los síntomas de la falta de Mg, especialmente en las ramas productivas. En concordancia a lo expuesto,

se ha encontrado respuesta al suministro de Mg (13) y parcialmente al azufre (15).

Las aplicaciones de Ca normalmente se realizan a través del encalamiento, mientras que el suministro de Mg sucede tanto por la aplicación de la dolomita –en las prácticas para el control de la acidez– como mediante el uso de fertilizantes compuestos, en dosis que por lo general varían entre 40 y 60 kg.ha-año<sup>-1</sup> de MgO. Con respecto al azufre, su empleo se ha incrementado en los últimos 5 años, con cantidades comparables a las de Mg (12).

El objetivo de esta investigación consistió en determinar la acumulación de Ca, Mg y S durante el desarrollo de los frutos de café y las variaciones de sus concentraciones en las hojas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La fase de campo de la investigación se llevó a cabo entre los meses de abril y noviembre de 2010, en las siguientes Estaciones Experimentales del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé: Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Rosario (Venecia, Antioquia), Líbano (Líbano, Tolima) y Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar). En cada sitio se seleccionó un lote de café Variedad Castillo®

en buen estado fitosanitario, sembrado o renovado por zoca entre los años 2006 y 2007 (segundo o tercer año de cosecha) con densidades entre 5.000 y 10.000 plantas por hectárea. En Pueblo Bello, la plantación se encontraba bajo sombrío regulado, en tanto que las demás se estaban establecidas a plena exposición solar. Se tomaron muestras de suelo en el mes de agosto (Tabla 1) y se registró la precipitación desde el inicio de floraciones hasta el final de la cosecha (Tabla 2). El suministro de nutrientes se realizó en dos ocasiones durante los meses de marzo-abril y septiembre-octubre (Tabla 3), basado en el análisis de suelos realizados previo a la iniciación del trabajo.

En cada localidad se identificó el día pico de la floración (el día en el que ocurrió la mayor floración del año) y, a partir de esta fecha, se tomaron mensualmente muestras de frutos y de hojas en las ramas productivas de 100 plantas, que se seleccionaron de manera aleatoria al iniciar la investigación. El número de frutos recolectados por planta varió en cada muestreo, así: 40 en el primero, 20 en el segundo, 10 en el tercero y 4 entre el cuarto y octavo muestreos. En cada oportunidad se determinó el peso individual de 50 frutos y el contenido de humedad a 105°C. Tanto los frutos como las hojas

**Tabla 1.** Propiedades de los suelos en los lotes experimentales.

	Estación Experimental			
	Naranjal	Líbano	El Rosario	Pueblo Bello
pH	4,9	5,0	4,4	4,4
Materia orgánica (%)	14,9	18,5	12,1	9,7
K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,23	0,41	0,75	0,45
Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	2,62	1,30	0,40	2,21
Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,66	0,39	0,44	0,59
Al (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1,0	1,8	6,6	2,5
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	6	6	46	11
S (mg.kg <sup>-1</sup> )	18	4	8	44
Textura	Franco	Franco	Arcilloso	Arcilloso

**Tabla 2.** Precipitación mensual (mm) entre marzo y noviembre de 2010, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación									
	M	A	M	J	J	A	S	O	N
Naranjal	181	202	391	321	538	311	380	311	443
Líbano	72	192	342	311	376	155	260	253	287
Pueblo Bello	160	249	349	415	236	427	331	200	213
El Rosario	172	197	264	517	324	442	534	264	569

**Tabla 3.** Nutrientes suministrados vía fertilización durante el año 2010\* en los lotes experimentales.

Estación	N	(kg.ha-año <sup>-1</sup> )		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Naranjal	280	60	260	0
Líbano	240	40	180	12
Pueblo Bello	120	40	130	15
El Rosario	260	20	180	12

\* Marzo y septiembre en El Rosario y Líbano y, abril y septiembre en Naranjal y Pueblo Bello.

(tercero o cuarto par, contadas a partir del ápice) se secaron en estufa a 70°C, durante 48 y 120 horas, respectivamente, y se analizaron sus concentraciones de Ca, Mg y S, de acuerdo con la metodología descrita por Carrillo *et al.* (1).

Con base de la materia seca y la concentración de Ca, Mg y S en los frutos se calculó la extracción y la acumulación relativa de estos nutrientes en cada una de las épocas de muestreo.

Para explicar el crecimiento de los frutos en función del tiempo se utilizaron los siguientes modelos de regresión no-lineares sigmoidales, con tres y cuatro parámetros (Ecuación <<1>>), de acuerdo con lo sugerido por Laviola *et al.* (4, 5):

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}, \quad \hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)} \quad \text{Ecuación <<1>>}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Precipitación.** El año 2010 se caracterizó por altas precipitaciones (Tabla 2), especialmente durante el período del crecimiento y desarrollo de los frutos –marzo a noviembre de 2010– y, en razón de ello, la falta de humedad no fue un limitante. Para estos 8 meses se registraron las siguientes cantidades de lluvia: Líbano 2.308 mm, Pueblo Bello 2.705 mm, Naranjal 3.203 mm y El Rosario 3.356 mm.

**Crecimiento del fruto.** El crecimiento del fruto, expresado en términos de materia fresca, presentó algunas variaciones entre las localidades (Figura 1). En Naranjal y Pueblo Bello fue lento hasta los 60 días después del pico de floración (DDPF), entre esta fecha y los siguientes 30 días

tuvo un incremento considerable, de los 90 a los 210 días se mantuvo relativamente constante, para terminar en el último mes con un aumento leve.

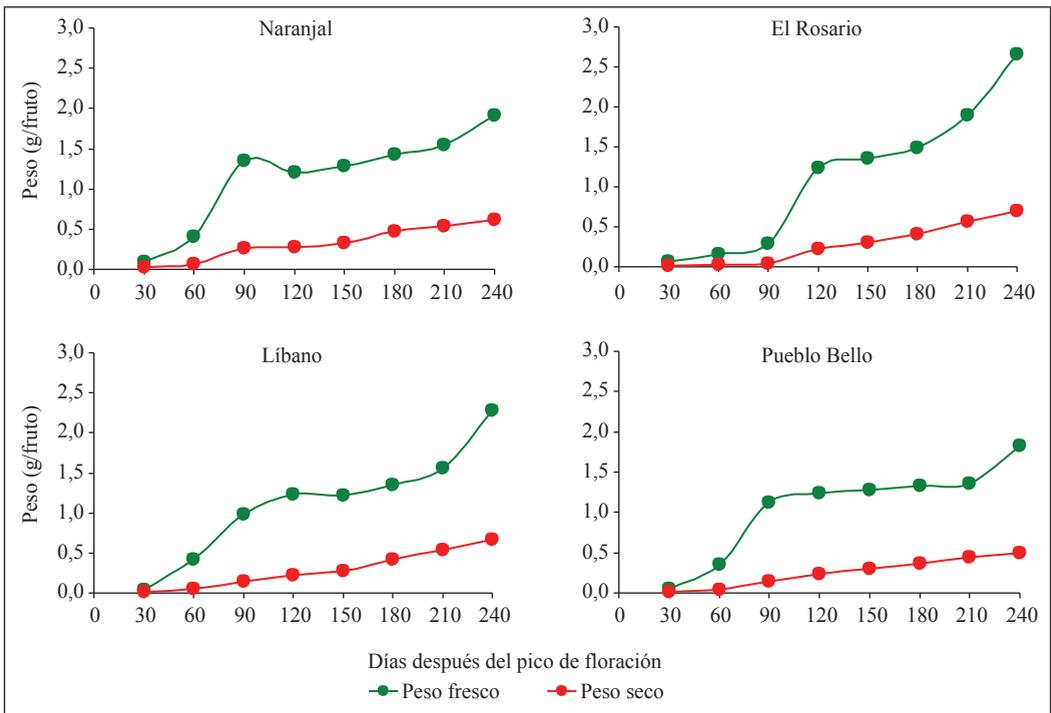
En El Rosario la fase de crecimiento lento se prolongó hasta los 90 días, en el siguiente mes se presentó un crecimiento más acelerado y, a partir de este momento y hasta el último día exhibió un aumento progresivo.

El comportamiento registrado en Líbano fue similar al de El Rosario, con la diferencia que en esta localidad el crecimiento inicial fue más sostenido hasta los 90 DDPF.

Los cambios en la biomasa de los frutos en función del tiempo se ajustaron al modelo

sigmoïdal doble, como también lo evidencian Ramírez *et al.* (10) y Laviola *et al.* (6); en este sentido, la diferencia entre los parámetros de las ecuaciones obtenidas corroboran que el patrón de las curvas varió según la localidad (Tabla 4).

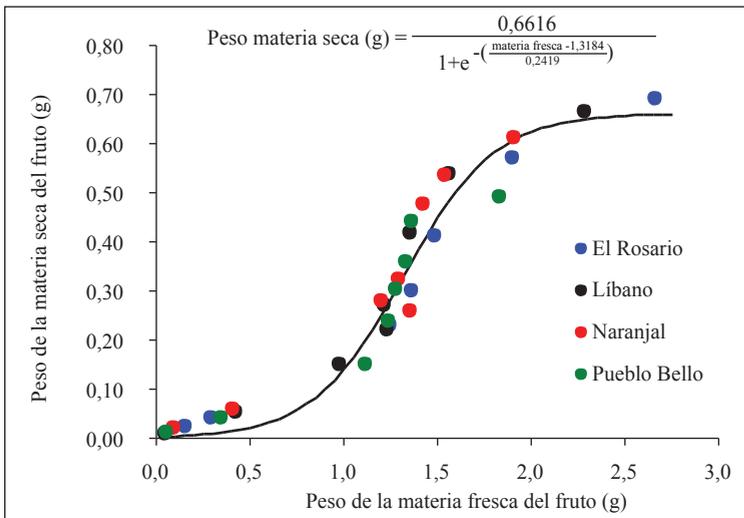
Las variaciones de la materia seca del fruto en función de la materia fresca fueron explicadas en el 95% mediante el modelo sigmoïdal (Figura 2). Este comportamiento sugiere que en la fase inicial del crecimiento una mayor parte del fruto está constituida por el agua, pero a medida que avanza la maduración y ocurre el llenado, la proporción del agua disminuye. En la fase final el fruto gana de nuevo humedad, posiblemente en consecuencia de los cambios ocurridos a nivel de pulpa.



**Figura 1.** Peso de la materia fresca y seca de los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

**Tabla 4.** Ecuaciones de regresión del peso de la materia fresca del fruto de café en función del tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación	Período (DDPF)	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
Naranjal	30 a 150	$y=1,280/(1+\exp(-(x-60,990)/1,310))$	98,4
	120 a 240	$y=1,129+269,900/(1+\exp(-(x-563,300)/55,230))$	99,3
Libano	30 a 150	$y=1,237/(1+\exp(-(x-70,126)/14,146))$	99,8
	120 a 240	$y=1,204+121,900/(1+\exp(-(x-370,100)/27,550))$	99,9
Pueblo Bello	30 a 150	$y=1,265/(1+\exp(-(x-60,990)/10,313))$	99,9
	120 a 240	$y=1,270+206,800/(1+\exp(-(x-345,90)/17,91))$	98,5
El Rosario	30 a 150	$y=1,379/(1+\exp(-(x-101,084)/9,068))$	98,4
	120 a 240	$y=1,209+5,573/(1+\exp(-(x-274,049)/32,596))$	99,9



**Figura 2.** Variaciones del peso de la materia de fruto en función del peso fresco, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

**Concentración de Ca, Mg y S en el fruto.** La concentración de Ca disminuyó considerablemente durante los primeros 120 DDPF, para luego estabilizarse hasta el momento de la recolección (Figura 3). En el caso de S, la fase de estabilización se logró a los 150 DDPF, en tanto que para el Mg la reducción fue rápida durante los 120 DDPF y lenta entre esta fecha y los 240 días. El comportamiento descrito, también reportado para café por Chaves y Sarruge (2) y Souza *et al.* (18), está asociado a las variaciones en el crecimiento del fruto a través del tiempo y se conoce como el efecto de la dilución.

El promedio de la concentración de Ca pasó de 1,07% (30 DDPF) a 0,27% (240 DDPF), la de Mg de 0,44% a 0,12% y de S de 0,24% a 0,07%, lo que representa reducciones cercanas al 70%. Los valores más bajos, correspondientes a los 240 DDPF, son similares a los reportados por Sadeghian *et al.* (14) para dos localidades de la zona cafetera del país (Ca 0,28% a 0,32%, Mg 0,10% a 0,12% y S 0,08%).

Sólo durante los primeros 90 DDPF se registraron diferencias relativamente grandes entre los sitios; al respecto se puede decir que El Rosario y Pueblo Bello presentaron

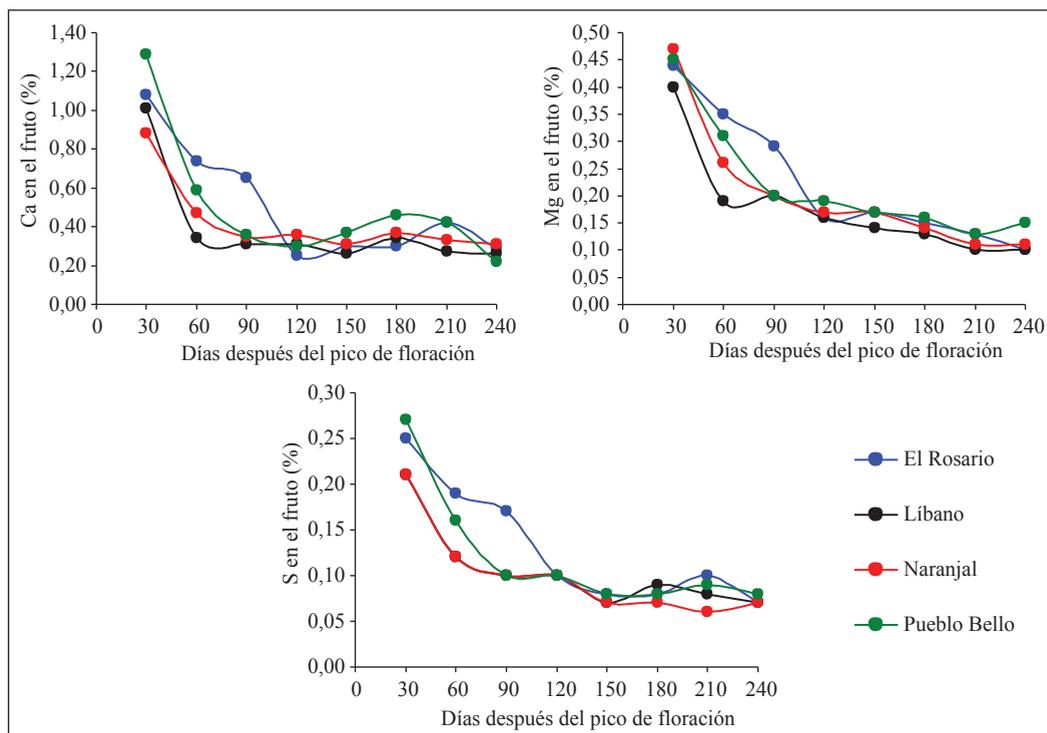
los valores más altos para los tres elementos objeto de estudio. También se debe aclarar que no se halló una relación clara entre la concentración de los nutrientes en el fruto y la fertilidad del suelo, o en su defecto el plan de fertilización; por lo tanto, se asoció parte de este comportamiento a las diferencias debido al peso de los frutos y el efecto de la dilución. Lo expuesto sugiere que la concentración de los nutrientes en el fruto puede no ser tan sensible a cambios de su disponibilidad en el suelo, como ocurre con la hoja.

### Acumulación de Ca, Mg y S en el fruto.

En la Figura 4 se presenta la acumulación de Ca, Mg y S en los frutos a través de tiempo. Dado que esta variable resulta de

multiplicar la concentración del elemento (en porcentaje) por el peso del fruto (en gramos), su comportamiento resulta similar a la observada para la biomasa fresca y seca, especialmente para el Mg y S (Figura 1).

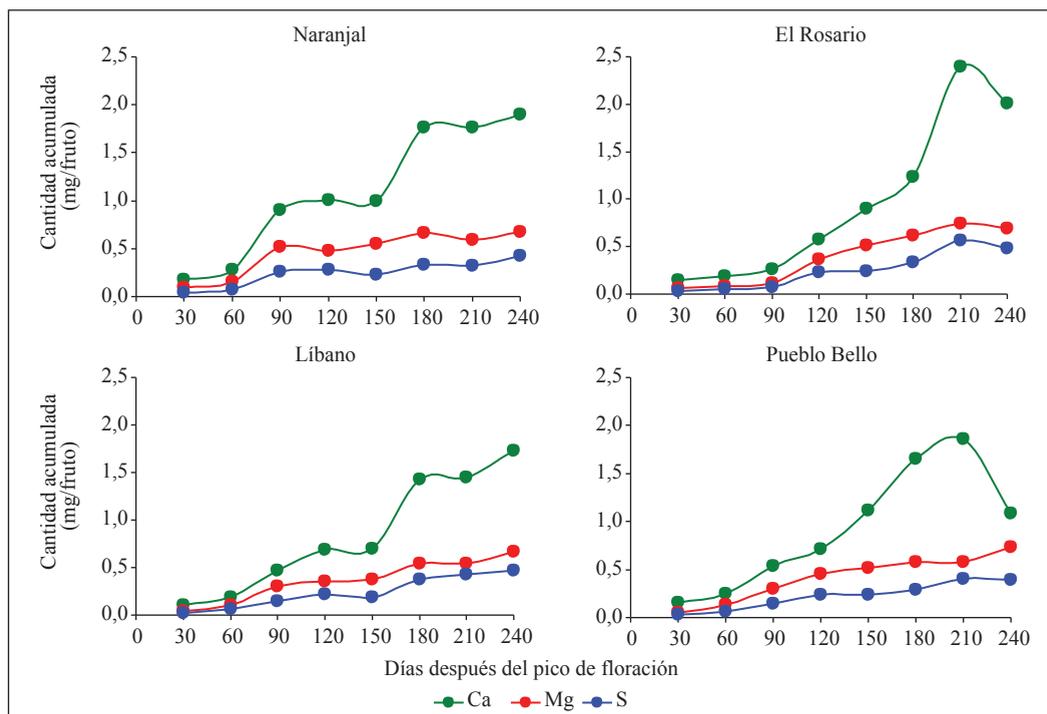
Durante todo el período del desarrollo de los frutos se presentó el siguiente orden en los contenidos de los elementos en las cuatro Estaciones Experimentales:  $S < Mg < Ca$ . Las relaciones halladas presentaron los siguientes rangos: Ca/S: 3,08–4,58, Mg/S 1,42–2,18 y Ca/Mg 1,76–3,06. Las diferencias en los contenidos de Ca con respecto a Mg y S se hicieron mayores a partir de 90 DDPF. Con el fin de establecer una comparación entre los nutrientes estudiados en este documento



**Figura 3.** Concentración de calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

y los demás macronutrientes, en la Tabla 4 se consignan las cantidades acumuladas en los frutos de café 240 DDPF, es decir, al momento de la cosecha. Se presentó el siguiente orden en todas las localidades: K>N>Ca>P>Mg>S. Ramírez *et al.* (10) reportan un orden similar para la variedad Caturra (K>N>Ca>Mg>P>S).

**Acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto.** En la Figura 5 se presenta la acumulación relativa de Ca, Mg y S en los frutos de café a través de tiempo, tomando como punto de referencia el 100% de lo asimilado. Se puede comentar que de un modo general la cantidad total de nutrientes acumuladas durante los primeros



**Figura 4.** Cantidad acumulada de calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en los frutos de café, en función del tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

**Tabla 5.** Cantidades acumuladas de macronutrientes en el fruto de café, 240 días después del día pico de la floración, para cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación	Cantidad acumulada de nutriente (mg/fruto)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
El Rosario	9,61	0,76	12,78	0,96	0,40	0,25
Líbano	7,78	0,87	12,71	0,84	0,37	0,24
Naranjal	8,63	0,67	11,14	1,10	0,46	0,25
Pueblo Bello	8,12	0,54	9,45	0,92	0,42	0,23

60 ó 90 DDPF fue baja (14%), así mismo en los últimos 2 meses antes de la cosecha (21%), mientras que el mayor porcentaje se almacenó entre estos dos períodos (65%). Ramírez *et al.* (10) hallaron que para la variedad Caturra el 50% de los requerimientos totales de Ca, Mg y S son consumidos por el fruto durante los primeros 90 días. Esta condición concuerda con lo hallado para Naranjal, no así para El Rosario, Pueblo Bello y Libano.

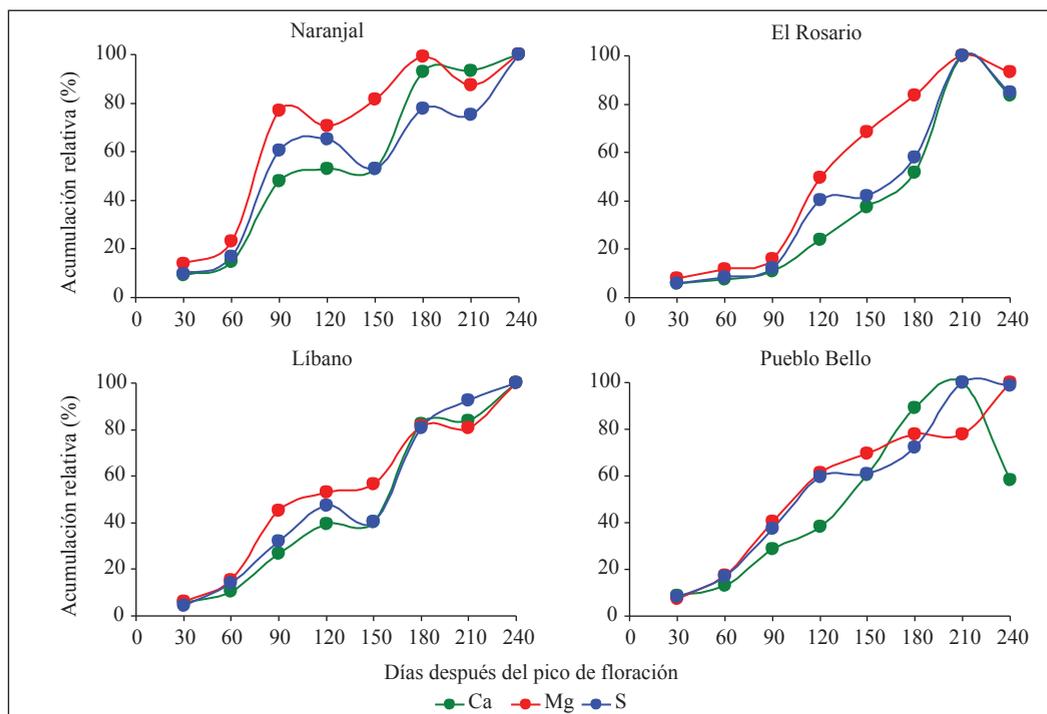
Los resultados expuestos revelan que pese a cierta similitud, la acumulación de los nutrientes puede variar entre sitios, dependiendo de las condiciones predominantes. Los estudios desarrollados por Laviola *et al.* (4, 6) confirman lo expuesto, al demostrar que la acumulación

de macronutrientes cambia de acuerdo a la temperatura, factor climático afectado por la altitud.

### Concentración foliar de Ca, Mg y S.

Las concentraciones de los tres nutrientes, contenidos en el tercero o cuarto par de hojas, presentaron algunas variaciones a través del tiempo, sin que pudieran relacionarse con el proceso del crecimiento y desarrollo de los frutos (Figura 6). Los cambios en referencia estarían más bien relacionados con la disponibilidad de estos elementos para la planta, asociada al aporte de los nutrientes vía fertilización y a las lluvias.

En una investigación realizada por Laviola *et al.* (5), tampoco se hallaron evidencias claras que indicaran una re-movilización de Ca, Mg



**Figura 5.** Acumulación relativa de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

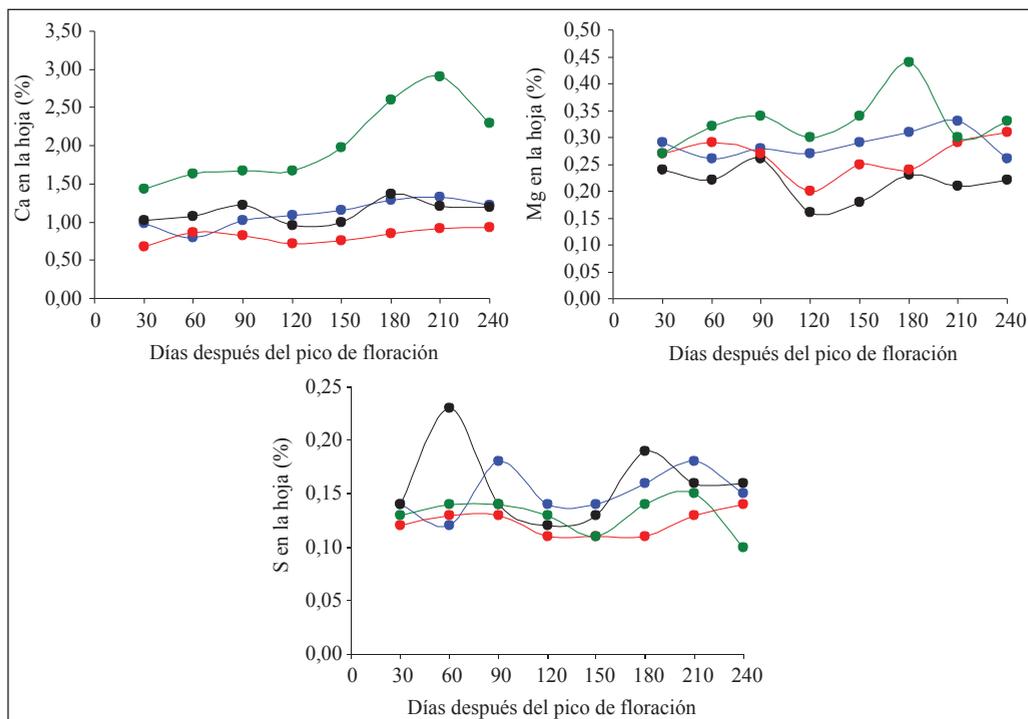
ni S desde las hojas. Un comportamiento semejante fue registrado por Chaves y Sarruge (2), quienes no encontraron relación entre estos nutrientes en la fuente (hoja) y en el vertedero (frutos). Según estos últimos, la respuesta de Ca y S puede relacionarse con su baja movilidad en la planta, no así la de Mg.

Durante los 8 meses de evaluación las concentraciones foliares más altas de Ca y Mg se observaron en Pueblo Bello (en promedio 2,02% y 0,33%, respectivamente) y las concentraciones más bajas de Ca y S en Naranjal (en promedio 0,81% y 0,12%, respectivamente). En el ámbito general, los valores detectados para Ca estarían en el rango catalogado como normal para

condiciones de Colombia y los de Mg medios (19), mientras que las concentraciones de S fueron bajas (15).

De acuerdo a los resultados obtenidos puede concluirse que:

- Las concentraciones de Ca, Mg y S en el fruto de café disminuyen durante los primeros 120 días después de la floración, para luego estabilizarse hasta el momento de la recolección, aproximadamente 240 días después.
- Durante todo el período de desarrollo del fruto de café Variedad Castillo® fueron mayores los contenidos de Ca con respecto al Mg, y los de Mg frente al S.



**Figura 6.** Concentración relativa de calcio, magnesio y azufre en las hojas de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

- Los frutos de café acumulan, en promedio, el 14% de la cantidad total de Ca, Mg y S durante los primeros 60 días después de la floración, entre los 60 y 180 días el 65% y entre los 180 y 240 días el 21%.
- Las concentraciones foliares de Ca, Mg y S presentaron algunas variaciones a través del tiempo, en consecuencia de las lluvias y, en el caso de Mg, en respuesta a la fertilización, sin que pudieran relacionarse con el proceso del crecimiento y desarrollo de los frutos.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los ingenieros Juan Carlos García López, John Wilson Mejía Montoya, José Raúl Rendón Sáenz, Jorge Camilo Torres Navarro y José Enrique Baute Balcazar, así como a Lady Juliet Vargas Gutiérrez y Diego Alejandro Arcila Vasco.

### LITERATURA CITADA

1. CARRILLO P., I.F.; MEJÍA M., B.; FRANCO A., H.F. Manual de laboratorio para análisis foliares. Chinchiná : Cenicafé, 1994. 52 p.
2. CHAVES, J.C.D.; SARRUGE, J.R. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. Pesquisa agropecuária brasileira 19(4):427-432. 1984.
3. HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6a. ed. Nueva Jersey : Prentice Hall, 1999. 499 p.
4. LAVIOLAG.,B.; MARTÍNEZP.,H.E.; SALOMÃOC., L.C.; CRUZD.,C.; MENDONÇAM.,S. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: Cálcio, magnésio e enxofre. Revista brasileira de ciência do solo 31:1451-1462. 2007.
5. LAVIOLA G., B.; MARTÍNEZ P., H.E.; SOUZA, R.B. DE; ÁLVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio

e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. Revista brasileira de ciencia de solo 31(2):319-329. 2007.

6. LAVIOLAG.,B.; MARTÍNEZP.,H.E.; SALOMÃOC., L.C.; CRUZD.,C.; MENDONÇAM.,S.; ROSADO, L. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. Bioscience 24(1):19-31. 2008.
7. MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCÍA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. Cultura de café no Brasil: Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro : MAPA : PROCAFÉ, 2005. 438 p.
8. MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principios de nutrición vegetal. Basel : Internacional Potash institute, 2000. 692 p.
9. MORAES, F.R.P. DE; CATANI, R.A. Absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. Bragantia 23(26):331-336. 1964.
10. RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. Agronomía costarricense 26(1):33-42. 2002.
11. RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. Cenicafé 55(4):265-276. 2004.
12. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 43 p. (Boletín Técnico No. 32).
13. SADEGHIAN K., S.; HERNÁNDEZ G., E.; ROSS, M.; GUERRERO R., R. Fuentes solubles de magnesio y azufre en la producción y calidad del café. En: CONGRESO Colombiano de la ciencia del suelo. (13 : Octubre 4-6 2006 : Bogotá). Bogotá : SCCS, 2006. 7 p.
14. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé 57(4):251-261. 2006.
15. SADEGHIAN K., S.; GONZÁLEZ O., H. Respuesta del café a la fertilización con azufre y su relación con el azufre foliar. En: Congreso colombiano de la ciencia del suelo (15 : Octubre 27-29 2010 : Pereira). Pereira: SCCS, 2010. 5 p.

16. SALAZARG.,M.R.;CHAVESC.,B.;RIAÑO H.,N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* var. Colombia. *Cenicafé* 45(2):41-50. 1994.
17. SOILIMPROVEMENTCOMMITTEECALIFORNIA PLANT HEALTH ASSOCIATION–SICCPHA. 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Noriega Editores. México. 366 p.
18. SOUZA, V.H. DA S.; MAESTRI, M.; BRAGA, J.M.; CHAVES, J.R.P. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café *Coffea arabica* L. var. Mundo novo. *CERES* 22(123):318-331. 1975.
19. VALENCIA A., G. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Bogotá : Agroinsumos del café, 1999. 94 p.