

Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café*

Siavosh Sadeghian¹, Beatriz Mejía¹, y Hernán González¹

Introducción

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) (Mengel y Kirkby, 2000). 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 (SICCPHA, 2004). La demanda de Ca, Mg y S depende de la especie o variedad, el nivel de producción, las propiedades del suelo, los componentes ambientales y el manejo (Havlin et al., 1999).

En Colombia, raras veces se observan síntomas de deficiencia de Ca y S en café (**Figuras 1 y 2**, respectivamente), en tanto que son muy frecuentes los síntomas de Mg (**Figura 3**), acompañados de una defoliación que puede ser severa, según la magnitud de la carencia del elemento.

Durante la fase de crecimiento vegetativo inicial – aproximadamente 650 días después de la siembra– una planta de café extrae entre 3.9 y 10.5 g de Ca y de 1.2 a 2.1 g de Mg. Hasta los 2000 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 (Riaño et al., 2004). Parte de lo anterior se remueve del lote a través de la cosecha, mientras que el resto retorna al suelo en forma de hojas,

tallos, raíces, flores, etc. En promedio, por cada 1000 kg de café almendra, equivalentes a 1250 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 (Sadeghian et al., 2006).

El conocimiento acerca de la dinámica de los nutrientes desde la flor hasta el fruto permite identificar los periodos de mayor exigencia, 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,



Figura 1. Síntomas de deficiencias de calcio en las hojas más nuevas.



Figura 2. Síntomas de deficiencias de azufre en las hojas más nuevas.



Figura 3. Síntomas de deficiencias de magnesio en las hojas más viejas.

¹ Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Manizales, Caldas, Colombia. Correo electrónico: Siavosh.Sadeghian@cafedecolombia.com

* Originalmente: Avances Técnicos Cenicafé. 430(Abril 2013):1-8.

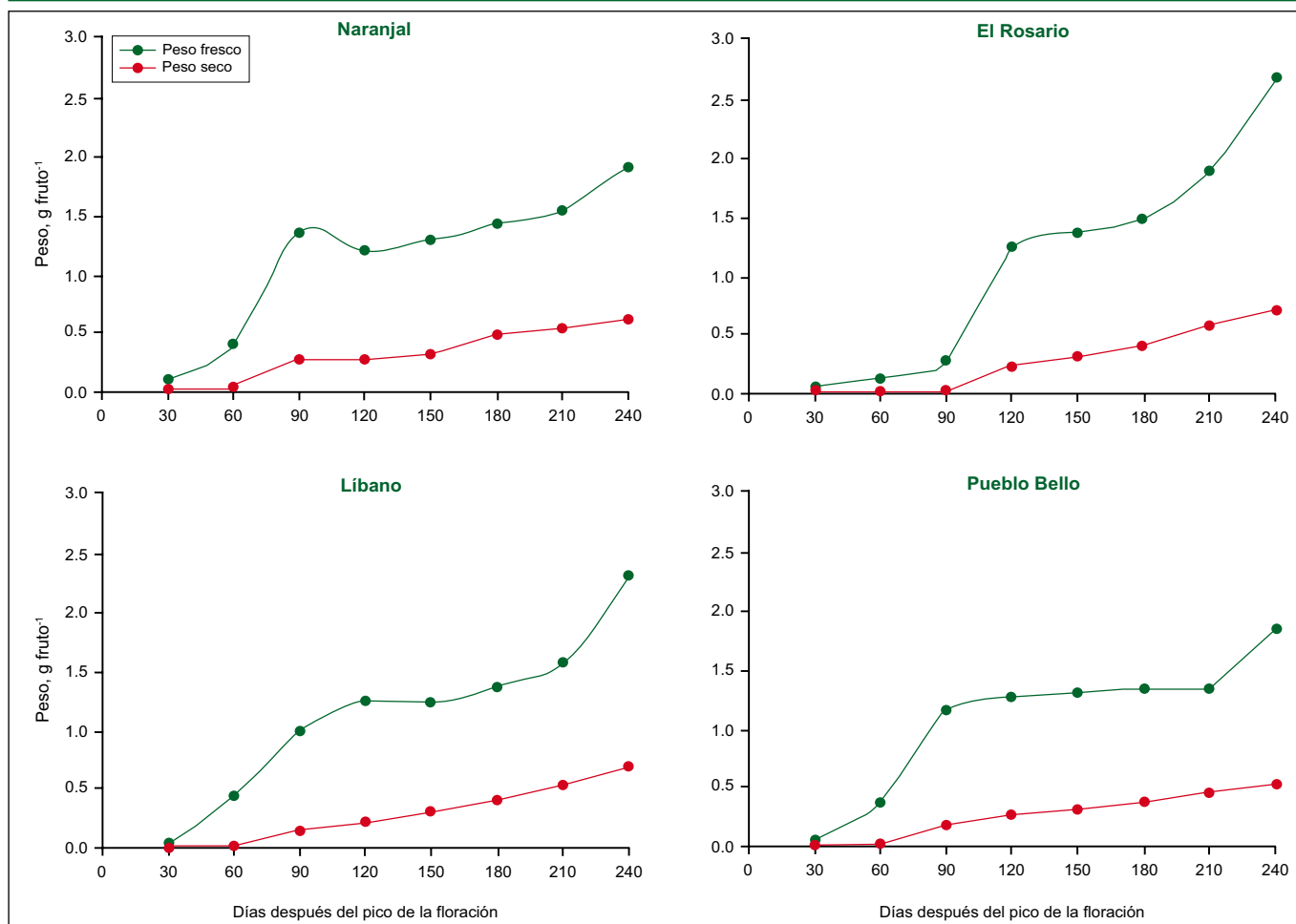


Figura 4. Peso fresco y seco de un fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Tabla 1. Nutrientes suministrados a través de la fertilización durante el año 2010* en los lotes experimentales.

Estación	Nitrógeno N	Fósforo P ₂ O ₅	Potasio K ₂ O	Magnesio MgO
Naranjal	280	60	260	0
Líbano	240	40	180	12
Pueblo Bello	120	40	130	15
El Rosario	260	20	180	12

* Meses de marzo y septiembre en el Rosario y Líbano y, abril y septiembre en Naranjal y Pueblo Bello.

2006 y 2007 (segundo o tercer año de cosecha), con densidades entre 5000 y 10 000 plantas por hectárea. En Pueblo Bello, la plantación se encontraba bajo sombrío regulado, en tanto que las demás estaban a plena exposición solar. El suministro de nutrientes se realizó en dos ocasiones, durante los meses de marzo-abril y septiembre-octubre (Tabla 1), basado en el análisis de suelos realizado previo a la iniciación del trabajo.

permitiendo ajustar los planes de la fertilización de los cultivos (Laviola, 2007).

Acumulación de Ca, Mg y S en los frutos de café

Con el fin de determinar la acumulación de Ca, Mg y S durante el desarrollo de los frutos de café y sus variaciones a través de tiempo en las hojas, se realizó una investigación en las siguientes Estaciones Experimentales de Cenicafé, durante los meses de abril y noviembre de 2010: Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Rosario (Venecia, Antioquia), Líbano (Líbano, Tolima) y Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar). Se seleccionaron lotes de café Variedad Castillo® en buen estado fitosanitario, sembrados o zoqueados entre los años

En cada localidad se identificó el día pico de la floración y, a partir de esta fecha, mensualmente se tomaron muestras de frutos y de hojas en las ramas productivas de 100 plantas que se seleccionaron de manera aleatoria al iniciar la investigación. Tanto en los frutos como en las hojas (tercero o cuarto par, contadas a partir del ápice) se analizaron las concentraciones de Ca, Mg y S.

Crecimiento del fruto

El crecimiento de los frutos, expresado en términos de peso fresco, presentó algunas variaciones entre las localidades (Figura 4). En Naranjal y Pueblo Bello fue lento hasta los 60 días después del pico de floración

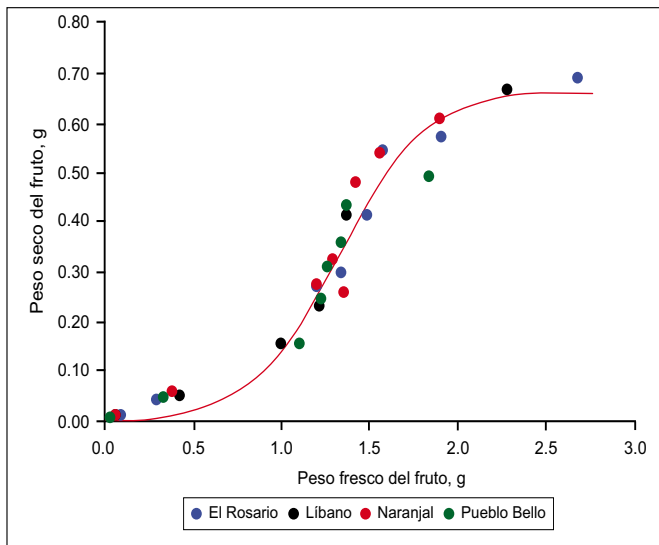


Figura 5. Variaciones del peso seco del fruto en función del peso fresco en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

(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 presentó un crecimiento marcado 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.

En el momento de la cosecha, es decir 240 DDPF, se presentaron los siguientes valores para el peso fresco y seco de los frutos, respectivamente: El Rosario 2.66 y 0.69 g; Líbano 2.28 y 0.67 g; Naranjal 1.91 y 0.61 g; Pueblo Bello 1.83 y 0.49 g. Las anteriores diferencias pueden asociarse tanto al ambiente (suelo y clima) y manejo (principalmente sombrero y fertilización), como al material genético (las líneas que componen la variedad regional).

Las variaciones del peso seco del fruto en función del peso fresco fueron explicadas en el 95% mediante el modelo sigmoide (Figura 5). Este comportamiento sugiere que en la fase inicial del crecimiento una mayor parte del fruto está constituida por agua, pero a medida que avanza la maduración y ocurre el llenado, la proporción del agua disminuye. En una fase final el fruto gana de nuevo humedad, posiblemente debido a los cambios ocurridos en la pulpa.

Concentración de Ca, Mg y S en los frutos

La concentración de Ca disminuyó considerablemente durante los primeros 120 DDPF, para luego estabilizarse hasta el momento de la recolección (Figura 6). 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

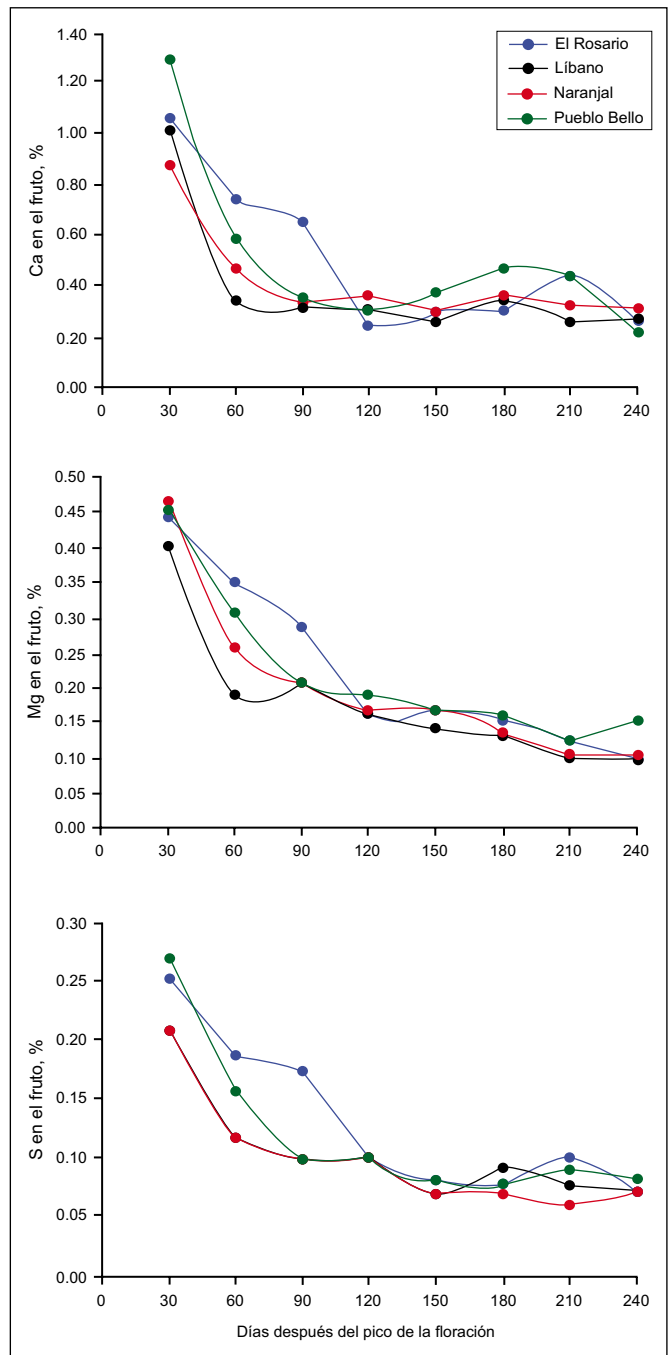


Figura 6. Concentración de Ca, Mg y S en el fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

los 120 DDPF y lenta entre esta fecha y los 240 días. El comportamiento descrito, también reportado para café por Chaves y Sarruge (1984) y Souza et al. (1975), 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), el Mg de 0.44% a 0.12% y el 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. (2006) 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 y la fertilidad del suelo, o en su defecto el plan de fertilización; por lo tanto, parte de este comportamiento se asoció a las diferencias debido al peso de los frutos y el efecto de la dilución.

Acumulación de Ca, Mg y S en el fruto

En la **Figura 7** se presenta la acumulación de Ca, Mg y S en el fruto a través del 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 4**).

Durante todo el periodo del desarrollo de los frutos se observó 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 y los demás macronutrientes, en la **Tabla 2** se consignan las cantidades acumuladas en el fruto 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. (2002) reportan un orden similar para la variedad Caturra (K>N>Ca>P>Mg>S).

Acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto

En la **Figura 8** se presenta la acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto de café, a través de tiempo, tomando como punto de referencia el 100% de lo absorbido. De manera general, la cantidad total de nutrientes acumuladas durante los primeros 60 ó 90 DDPF fue baja (14%), así como en los últimos dos meses antes de la cosecha (21%), mientras que el mayor porcentaje se absorbió entre estos dos periodos (65%). Ramírez et al. (2002), 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 Líbano.

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. (2007 y 2008) 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 9**). Los cambios en referencia estarían más bien relacionados con la disponibilidad de estos elementos para la planta, asociados a las prácticas de fertilización y las lluvias.

En una investigación realizada por Laviola et al. (2007), tampoco se hallaron evidencias claras que indicaran una re-movilización de Ca, Mg ni S desde las hojas. Un comportamiento semejante fue registrado por Chaves y Sarruge (1984), 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 ocho 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 (Valencia, 1999); mientras que las concentraciones de S fueron bajas (Sadeghian y González, 2010).

Consideraciones finales

En las plantaciones de café simultáneamente tienen lugar crecimientos vegetativos y reproductivos, como

Tabla 2. Cantidades acumuladas de macronutrientes en un fruto de café, 240 días después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación experimental	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg fruto ⁻¹					
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

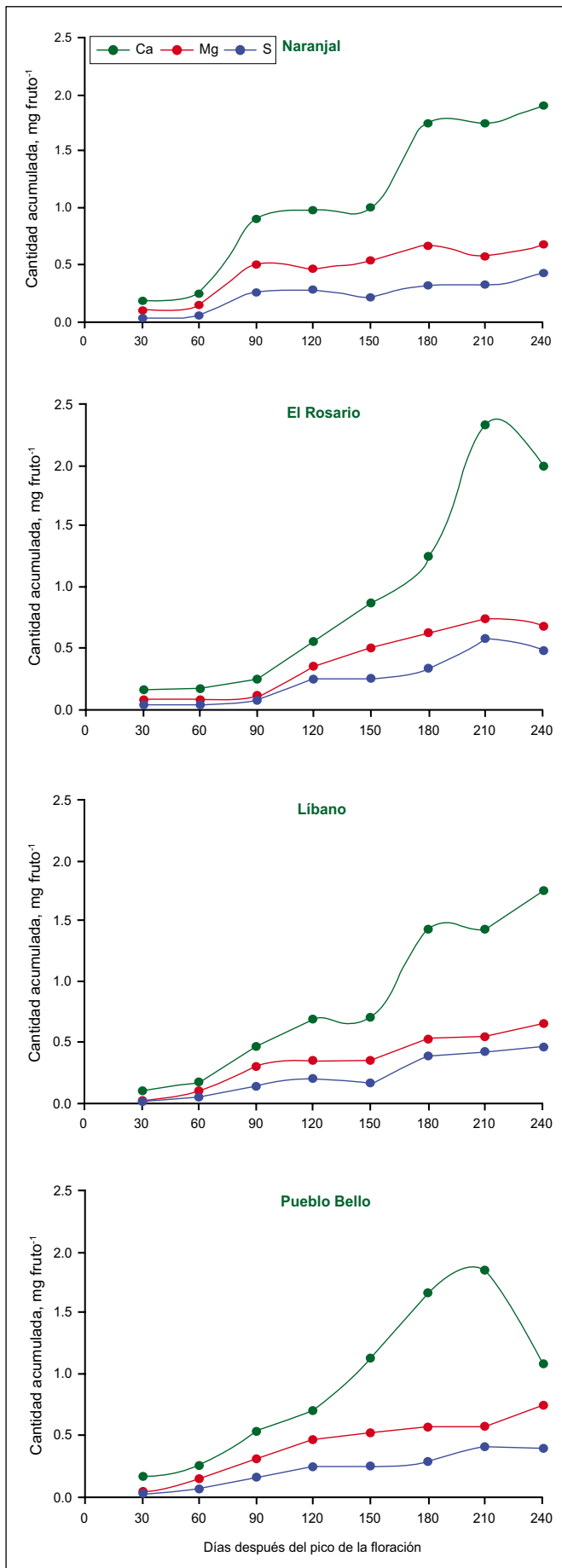


Figura 7. Cantidad acumulada de Ca, Mg y S en los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

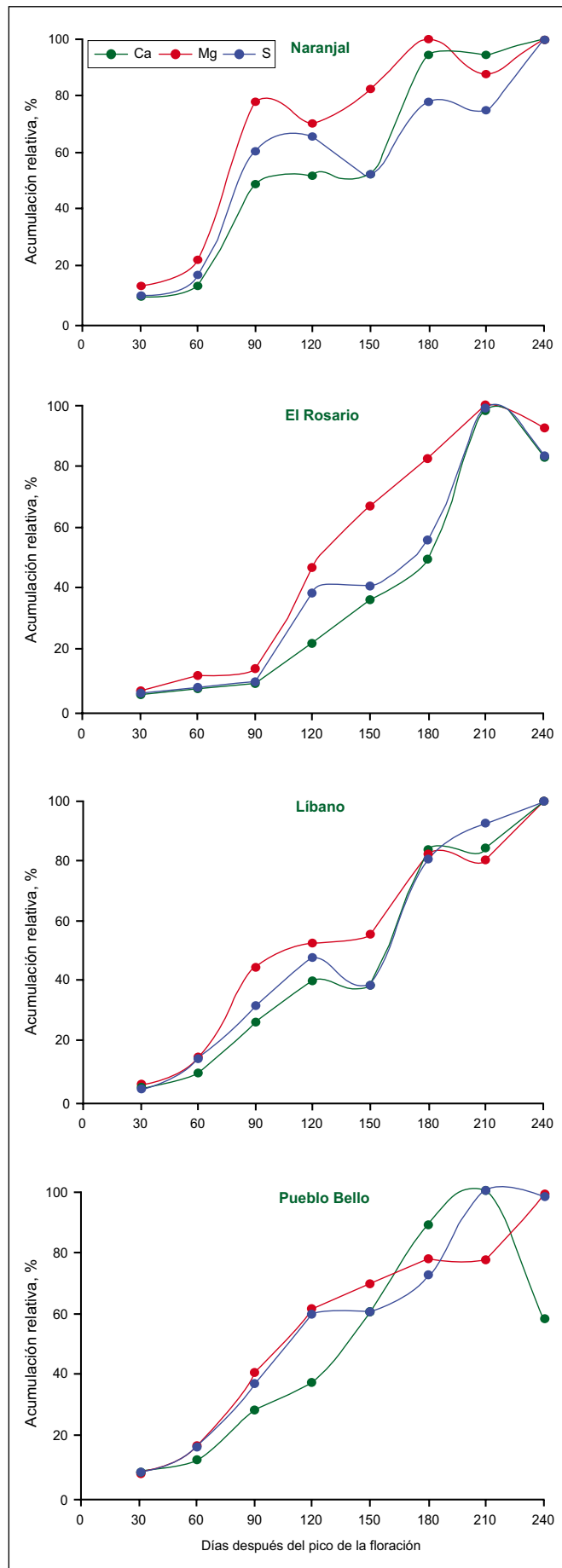


Figura 8. Acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto de café a través de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

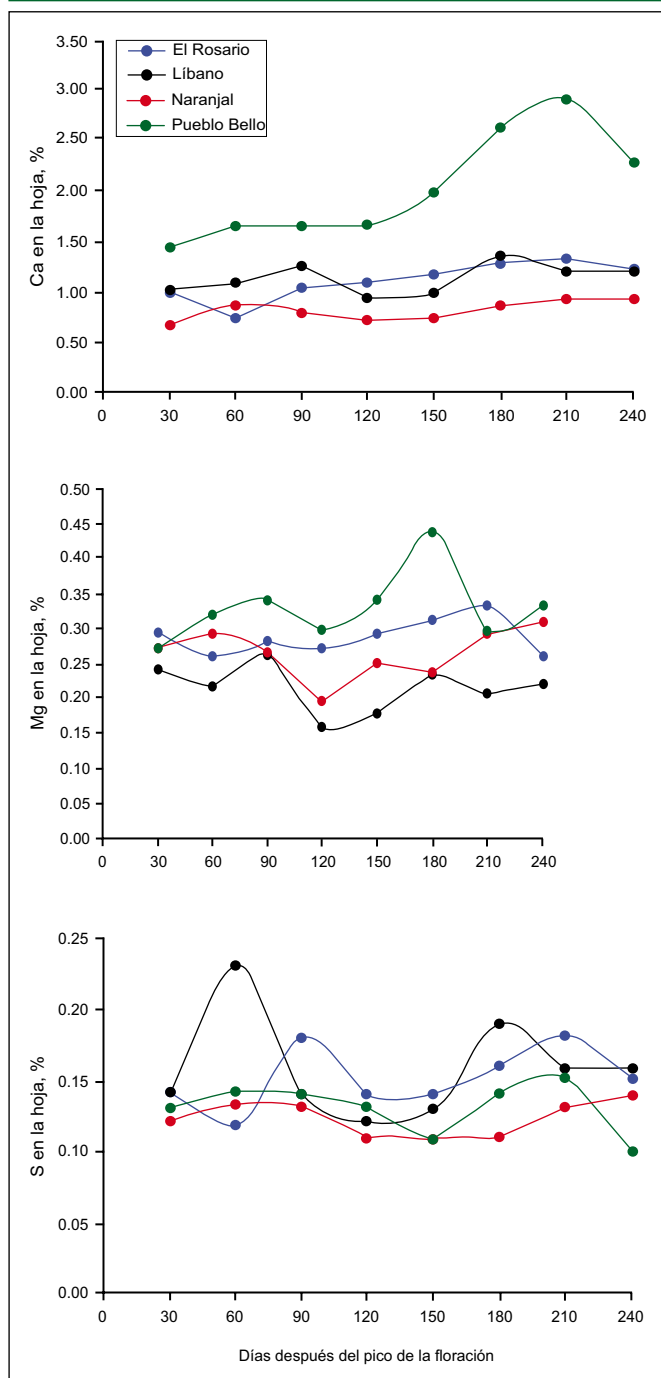


Figura 9. Concentraciones foliares de Ca, Mg y S en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé. Valores observados en el tercero o cuarto par de hojas de las ramas productivas de café.

resultado de estímulos ambientales, particularmente periodos de lluvia y déficit hídrico. La presencia de nudos, hojas, estructuras de floración y frutos en un variado estado de desarrollo, conduce a que exista una permanente competencia por los nutrientes entre los diferentes órganos, de allí que un adecuado plan de nutrición deba enfocarse en satisfacer la demanda de nutrientes de la cosecha actual, como la que se necesita para garantizar la formación de órganos vegetativos que soportarán los siguientes ciclos de producción.

Para la formación de los frutos, los cafetales demandan una alta cantidad de potasio y nitrógeno, y en menores proporciones calcio, fósforo, magnesio y azufre. Para satisfacer estas necesidades y obtener buenas cosechas es necesario establecer un adecuado plan de manejo de la fertilidad del suelo a través de la aplicación oportuna de fertilizantes y enmiendas.

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 Balcázar, así como a Lady Juliet Vargas Gutiérrez y Diego Alejandro Arcila Vasco.

Bibliografía

- Chaves, J.C.D., y J.R. Sarruge. 1984. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brasil) 19(4):427-432.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Laviola, B.G., E.P. Martínez, L.C.C. Salomão, C.D. Cruz, S.M. Mendonça. 2007. 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.
- Laviola, B.G., E.P. Martínez, L.C.C. Salomão, C.D. Cruz, S.M. Mendonça, y L. Rosado. 2008. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. Biosci. J., Uberlândia, 24(1):19-31.
- Mengel, K., E.A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ta edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- Ramírez, F., F. Bertsch, y L. Mora. 2002. Consumo de nutrimentos 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.
- Riaño, N.M., J. Arcila, A. Jaramillo, y B.C. Chaves. 2004. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. Cenicafé (Colombia) 55(4):265-276.
- Sadeghian, S., B. Mejía, y J. Arcila. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé (Colombia) 57(4):251-261.
- Sadeghian, S., y H. González. 2010. 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, 5 p.
- Soil Improvement Committee California Plant Health Association (SICCPHA). 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Noriega Editores. México. 366 p.
- Souza, V.H. da S., M. Maestri, J.M. Braga, y J.R.P. Chaves. 1975. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café *Coffea arabica* L. Var. Mundo Novo. Revista CERES, 22(123):318-331.
- Valencia, G. 1999. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Agro insumos del café S. A. 94 p. ☺