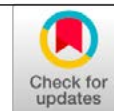


RESPUESTA DEL CAFÉ A LA APLICACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES

Alveiro Salamanca Jiménez *, Hernán González Osorio **

Salamanca, A., & González-Osorio, H. (2020). Respuesta del café a la aplicación foliar de nutrientes. *Revista Cenicafé*, 71(2), 124-142. <https://doi.org/10.38141/10778/71210>



La fertilización es una de las principales prácticas que permite incrementar la productividad del café en Colombia. Esta actividad se realiza aplicando los nutrientes a la zona de las raíces de la planta, no obstante, en algunas condiciones específicas de clima y suelos, su efectividad puede afectarse. Con el objetivo de encontrar estrategias tendientes a mejorar la efectividad de la fertilización del café, se evaluó la aplicación foliar de nutrientes como complemento a la fertilización edáfica, en cuatro localidades de la zona cafetera colombiana con suelos y características climáticas diferentes. Los tratamientos fueron aplicados 60 y 90 días después de la floración, y consistieron en el suministro foliar de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B) y las combinaciones P-N, K-N, Ca-N, Ca-B y N-P-K. Se evaluó la producción café cereza (cc), la relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps), el factor de rendimiento en trilla (FRT) y la absorción foliar de nutrientes. La fertilización foliar a partir de los nutrientes evaluados, dosis, épocas y fuentes de fertilizantes evaluadas no mejoraron significativamente la producción de café cereza ni la calidad física del grano (cc/cps y FRT). Con excepción del B, ninguno de los elementos aplicados vía foliar incrementó su contenido foliar en las hojas; la aplicación de B incrementó sus niveles foliares por encima de 40 mg kg⁻¹, indicando que su aplicación con las dosis y fuentes evaluadas permite corregir esta deficiencia nutricional sin que dicha práctica derive en una toxicidad o en aumentos en producción.

Palabras clave: Fertilización foliar, nutrición, producción, calidad

COFFEE RESPONSE TO FOLIAR APPLICATION OF NUTRIENTS

Fertilization is one of the main practices to increase coffee productivity in Colombia. This activity is done by applying the nutrients through the root zone; however, in specific climate and soils conditions, its effectiveness may be affected. In order to find strategies to improve the effectiveness of coffee fertilization, the foliar application of nutrients, as a complement to soil fertilization, was evaluated in four locations of the Colombian coffee region with different soils and climatic characteristics. The treatments were applied 60 and 90 days after flowering, and consisted of the foliar supply of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), boron (B) and the combinations P-N, K-N, Ca-N, Ca-B and N-P-K. Coffee cherries yield (cc), coffee cherry/dry parchment coffee ratio (cc/cps), threshing performance factor (FRT) and foliar absorption of nutrients were evaluated. Foliar fertilization from the evaluated nutrients, doses, seasons and fertilizer sources evaluated did not significantly improve cc yield or the grain physical quality (cc/cps and FRT). With the exception of B, none of the elements applied to the leaves increased its foliar content; the application of B increased its foliar levels above 40 mg kg⁻¹, indicating that its application with the evaluated doses and sources allows correcting a nutritional deficiency without resulting in a toxicity or yield rises.

Keywords: Foliar fertilization, Nutrition, Yield, Quality

* Investigador Científico I. Disciplina de Suelos (hasta 2017), Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-6400-0283>

** Investigador Científico I. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5716-2172>

La fertilización es una de las principales prácticas que conduce al incremento de la productividad del café en Colombia y es recomendable que se lleve a cabo durante las épocas de lluvia, suministrando los nutrientes requeridos directamente al suelo (Sadeghian, 2010), por ser este el medio donde crecen las raíces y, en función de las condiciones físicas, químicas y biológicas específicas, dichos órganos pueden absorber los elementos en el corto, mediano o largo plazo para suplir los requerimientos del cultivo durante sus diferentes fases fenológicas.

En una amplia gama de plantas, además de la raíz, otros órganos como las hojas están en facultad para absorber nutrientes (Mengel y Kirkby, 2001), razón por la cual la aplicación de fertilizantes vía foliar en muchos casos pueden complementar la nutrición edáfica (Devarpanah et al., 2018; Ierna et al., 2017; Li et al., 2016), particularmente en cultivos situados en áreas donde las condiciones climáticas y de suelos generan algún tipo de estrés que limita la toma de nutrientes vía radical (Silva et al. 2017; Flórez et al. 2015).

A pesar de los efectos potenciales mencionados, en muchos casos dicha práctica no es del todo eficiente, incluso, ha desencadenado la manifestación de resultados adversos (Abdelsalam et al., 2019) dado que su implementación depende significativamente entre otros aspectos, de la fuente fertilizante y la modalidad de aplicación (Rossi et al., 2019), así como de la época en la cual se lleve a cabo (Ashouri et al., 2018).

En lo que al cultivo del café respecta, Malavolta (1982) registra incrementos en el nivel foliar de nutrientes derivados de la aplicación de urea y de otras fuentes fertilizantes portadoras de fósforo (P), potasio (K), boro (B) y zinc (Zn); pero resultados poco consistentes en la producción para diferentes

áreas de Brasil. En aspectos específicos del metabolismo de la planta, Silva et al. (2017), sostienen que el magnesio (Mg) foliar puede ser alternativa cuando la actividad hormonal del café se encuentra limitada por condiciones de altas temperaturas. Por otro lado, mientras que Carvajal (1984), asegura que la fertilización foliar en el cultivo tiene baja efectividad y debe enfocarse sólo en la corrección de deficiencias nutricionales, Clemente et al. (2018), registran que la aplicación foliar de B, Cu y Zn mejora ciertos atributos químicos asociados a la calidad en taza.

Para las condiciones de la zona cafetera colombiana, las inquietudes acerca del posible efecto de la fertilización foliar en el crecimiento del café, su producción y la calidad del grano han sido permanentes. Durante las primeras fases de desarrollo del café, Guzmán y Riaño (1996) evaluaron el efecto de la fertilización foliar con urea y diferentes fertilizantes compuestos durante la etapa de almácigo sin encontrar efecto en el crecimiento de las plantas. Para la etapa de producción, mientras que Caro (1992) reporta una respuesta positiva al suministro foliar de nitrato de potasio como complemento de la fertilización edáfica en un solo año de evaluación, Cenicafé (2006) no encontró respuesta satisfactoria durante 3 años de producción al suministro de fertilizantes foliares aplicados como complemento o sustituto de la fertilización edáfica. Un resultado similar fue reportado por Cenicafé (2003) que, durante 2 años, evaluó el efecto de las aspersiones foliares de una formulación comercial propuesta para suplir y complementar la fertilización edáfica, reportó menores producciones respecto al tratamiento con fertilización según el análisis de suelos.

Según lo anteriormente mencionado y en vista de que la respuesta al suministro foliar de nutrientes en café en la zona cafetera colombiana ha sido poco clara, y en aras de

brindar mejores opciones para el incremento de la productividad de la caficultura del país, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación foliar de algunos nutrimentos, adicional a la fertilización edáfica, sobre la producción de café y la calidad física de la cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cuatro localidades de la zona cafetera colombiana: Estación Experimental Naranjal (Chinchiná – Caldas), Estación Experimental Paraguaicito Buenavista – Quindío, Estación Experimental La Catalina (Pereira – Risaralda) y finca Villa Arcadia (Líbano – Tolima). La ubicación y sus características climáticas se presentan en la Tabla 1.

En cada localidad se seleccionó un lote cafetero que iniciara su edad productiva (entre 2 y 3 años de edad). A continuación, se tomó una muestra general de suelos para análisis químico, con el fin de efectuar las recomendaciones y posterior fertilización y/o correctivos del pH vía edáfica con las fuentes, dosis y frecuencias de aplicación que presenta Sadeghian (2008). Todas las parcelas experimentales recibieron la fertilización edáfica fraccionada dos veces por año (cada semestre), utilizando para ello urea, fosfato diamónico (DAP), cloruro de potasio (KCl) y óxido de magnesio y/o kieserita, con

el fin de suplir los requerimientos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y/o azufre (S). Los requerimientos de calcio (Ca), fueron cubiertos mediante el suministro de cal agrícola, en caso de que el pH de los lotes estuviera por debajo de 5,0.

Una vez fertilizadas las parcelas, de acuerdo al plan descrito anteriormente, se aplicaron los tratamientos, los cuales consistieron en la adición de N, P, K, Ca, Mg, B y la combinación de algunos de estos elementos (Tabla 2), mediante aspersión foliar como un complemento a la fertilización según el análisis de suelos. Las aplicaciones foliares en los tratamientos correspondientes se hicieron cuatro veces por año, es decir, 60 y 90 días luego de los dos picos de floración anual que se presentaron en cada localidad.

La aplicación de los tratamientos con fertilización foliar (tratamientos 1 al 10), se llevó a cabo con un equipo de aspersión previa retenida, referencia 40-100-10, con una boquilla TX 3 (ángulo de pulverización 70°; capacidad nominal de 190 cc min⁻¹), previamente calibrado para cubrir cada planta con un volumen de solución fertilizante entre 40 y 50 mL. Las fuentes evaluadas correspondieron a fertilizantes de uso común tanto en café como para cultivos asociados en la zona cafetera colombiana (Tabla 2).

Tabla 1. Localización y características climáticas de las localidades donde se realizó el estudio.

Departamento	Municipio	Localidad	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación anual (mm)	Humedad relativa (%)
Caldas	Chinchiná	Naranjal	1.381	20,8	2.656	78
Quindío	Buenavista	Paraguaicito	1.203	22,1	2.119	78
Risaralda	Pereira	La Catalina	1.321	21,7	2.062	79
Tolima	Líbano	Villa Arcadia	1.456	20,0	2.128	82

Tabla 2. Descripción de los tratamientos, fuentes y concentración de nutrientes aplicadas.

Tratamiento	Elemento foliar	Convención	Fuentes fertilizantes	Concentración aplicada (%)
1	Nitrógeno	N	Urea (46-0-0)	1,0
2	Fósforo–nitrógeno	P- N	MAP (46-52-0)	1,0
3	Potasio	K	Cloruro potasio (KCl) (0-0-60)	0,25
4	Calcio	Ca	Calcio quelatado (0-0-0-9CaO)	0,25
5	Magnesio	Mg	Magnesio quelatado (0-0-0-9MgO)	0,25
6	Boro	B	Fuente de B (0-0-0-21B)	0,30
7	Potasio–nitrógeno	K-N	Nitrato de potasio (13-0-43)	4,0
8	Calcio – nitrógeno	Ca-N	Nitrato de calcio (15-0-0-26CaO)	1,0
9	Calcio – boro	Ca-B	Calcio quelatado + fuente de B	0,25 + 0,3
10	Nitrógeno – fósforo– potasio	N-P-K	Urea + MAP + KCl	1,0 + 1,0 + 0,25
11	Ninguno	Ninguno	Fertilización edáfica	—

Además, se contó con un testigo relativo en el cual se aplicó fertilización edáfica solamente (tratamiento 11) en el que los criterios de fertilización correspondieron a las actuales recomendaciones de Cenicafé.

La unidad experimental estuvo conformada por una parcela compuesta por 35 árboles, de los cuales 15 fueron efectivos y los 20 restantes bordes. Dichas unidades experimentales fueron asignadas aleatoriamente a los tratamientos, de acuerdo al diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones, donde el factor de bloqueo correspondió al gradiente de fertilidad del terreno.

En cada localidad se registró la producción de café cereza por tratamiento para cada año de evaluación (producción anual) y para el acumulado de cosecha de los tres períodos analizados (producción total).

Se hizo seguimiento a la concentración foliar de los nutrientes suministrados en

los tratamientos respectivos, a través de un muestreo foliar por parcela experimental y tratamiento, durante los dos primeros años de evaluación. Los elementos evaluados fueron N, K, P, Ca, Mg y B.

Finalmente, en el día con mayor volumen de producción en cada localidad objeto de estudio, se llevó a cabo un análisis de calidad física del grano, consistente en la evaluación de la relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y la estimación del factor de rendimiento en trilla (FRT). Dicha evaluación se condujo durante dos años consecutivos en todas las localidades donde se llevó a cabo la investigación, excepto en Naranjal, donde se realizó durante uno de los años del estudio.

Análisis de la información. Tanto para la producción anual y producción acumulada de café cereza, como para el contenido foliar de nutrientes, se llevó a cabo un análisis de varianza asociado al diseño propuesto,

con una significancia del 5%. Cuando el análisis de varianza mostró efecto de los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para determinar diferencias entre los tratamientos.

Para las variables asociadas con la calidad física del grano, para cada año de evaluación se efectuó un análisis de estadística descriptiva basado en el promedio, la desviación estándar e intervalos de confianza al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fertilización edáfica

Los resultados del análisis de suelos realizado durante el primer período de evaluación (año 1), permitieron definir los planes de fertilización y corrección de la acidez durante el ciclo de evaluación, de acuerdo con las actuales recomendaciones de Cenicafé (Sadeghian, 2008).

Se detectaron bajos niveles de pH en los diferentes sitios experimentales (< 5,0), razón por la cual se procedió con las labores de corrección de la acidez, aplicando cal de manera general en todos las parcelas y tratamientos objeto de estudio (Tabla 3). A

través de esta práctica también se neutralizaron los niveles de Al.

Con relación a la materia orgánica del suelo (MO), la cual constituye el principal indicador para la fertilización con N, se recomendaron dosis de 260 kg ha año⁻¹ en Naranjal y La Catalina, en tanto que para Villa Arcadia y Paraguaicito, las cantidades de N aplicadas por año, fueron 240 y 300 kg ha⁻¹, respectivamente. Para elementos como K, se suministraron 300 kg ha año⁻¹ de K₂O en Naranjal, dosis intermedias correspondientes a 260 kg ha año⁻¹ en La Catalina y Villa Arcadia, mientras que en Paraguaicito las dosis fueron de 140 kg ha año⁻¹, dados los altos contenidos de este elemento en el suelo.

El P solo fue suministrado vía edáfica en La catalina y Villa Arcadia, en dosis entre 20 y 40 kg ha-año⁻¹ de P₂O₅. Nutrientes como Mg y S, fueron aplicados a razón de 50 kg ha-año⁻¹ y los requerimientos de Ca, fueron cubiertos a través de los planes de corrección de la acidez, efectuado cada dos años, con cal agrícola según las recomendaciones de Cenicafé.

Con relación a los micronutrientes Fe, Mn, Zn, Cu y B, no fueron incluidos dentro de los planes de fertilización edáfica, dado que

Tabla 3. Niveles de pH, contenidos de materia orgánica, macro y micronutrientes en los suelos de las localidades objeto de estudio.

Localidad	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Mn	Zn	Cu	B	S
		%	cmol _c kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
Naranjal	4,74	12,44	0,16	0,79	0,22	1,66	34,92	200,26	11,33	3,08	10,33	0,38	9,26
Paraguaicito	4,88	7,27	0,71	2,83	0,63	1,21	34,75	238,75	32,92	7,92	17,83	1,19	31,14
La Catalina	4,73	12,21	0,37	1,18	0,32	2,13	8,00	241,26	42,33	8,33	2,00	0,39	7,04
Villa Arcadia	4,78	19,68	0,32	2,00	0,49	2,29	22,06	276,58	30,83	6,58	3,42	0,42	1,96

hasta ahora no se recomienda su inclusión, salvo en condiciones particulares de fertilidad y manejo específico de la nutrición del café.

Producción de café cereza

El suministro individual de N, P, K, Ca, Mg y B o la combinación N-P, K-N, Ca-N, Ca-B y N-P-K, aplicados como alternativa de nutrición foliar complementaria a la fertilización edáfica según el análisis de suelos, no incrementó la producción anual de café cereza (cc) en ninguna de las localidades (Figura 1). Dicho efecto, tampoco se vio reflejado en el acumulado de tres años de producción evaluados (Tabla 4).

Específicamente, para las condiciones de Naranjal, los tratamientos foliares de N y N-P presentaron los más bajos promedios de producción (significancia $P < 0,04$) durante el primer año. Sin embargo, los resultados generan incertidumbre dado que, al evaluar la potencia de la prueba, el resultado obtenido fue del 51%. Esto indica que no habría suficiente certeza para afirmar que la aplicación foliar de estos elementos como complemento a la fertilización edáfica, condujera a reducir la producción.

Los resultados obtenidos pueden indicar que el plan de fertilización edáfica basado en las recomendaciones derivadas de los análisis de suelos fue adecuado para alcanzar el máximo potencial productivo, de acuerdo con las condiciones agroecológicas de los sitios donde se condujo la investigación.

Adicionalmente, en ninguno de los campos experimentales hubo evidencia de algún fenómeno que pudiera condicionar la absorción iónica por flujo en masa, particularmente para nutrientes como N (en forma nítrica), Mg y B, los cuales presentan, para buena parte de las plantas cultivadas, esta ruta preferencial

para ser tomados vía radical (Huang et al., 2018; Silva et al. 2017; Wimmer y Eichert, 2013). En consecuencia, para elementos como el B, cuya aplicación no fue incluida en el plan de fertilización edáfica, un seguimiento a los valores de la acidez del suelo, consistente en mantener el pH en un rango entre 5,0 y 5,5, pudo facilitar su abastecimiento desde la fase orgánica e inorgánica de cada suelo del estudio; pues se trata de un elemento cuya disponibilidad depende entre otros, significativamente de los cambios en el pH (Halvin et al., 1999).

Calidad física del grano

La relación cc/cps fue en promedio de 5,8, 5,0, 5,2 y 4,9 en Naranjal, Paraguaicito, La Catalina y Villa Arcadia, respectivamente (Tablas 5, 6, 7 y 8), sin detectarse un efecto diferencial derivado de la aplicación de los tratamientos. En Paraguaicito y Villa Arcadia, los valores alrededor de 4,9 dan cuenta de índices de conversión asociados con café de buena calidad obtenido bajo la modalidad de beneficio húmedo tradicional (Montilla et al. 2008). Para las demás localidades, con elevados índices de conversión, los cuales se recalca, fueron obtenidos en todos los tratamientos, pueden ser explicados en función de las condiciones climáticas (Rendón et al. 2008), especialmente las limitaciones en la disponibilidad hídrica para el llenado del grano; período crítico que se enmarca entre la semana 6 y 17 después de la floración (Arcila y Jaramillo, 2003).

Respecto al factor de rendimiento en trilla (FRT), considerado como variable de importancia para la asignación de bonificación en los puntos de venta de café, los valores hallados fueron similares en los diferentes tratamientos en su respectivo año de evaluación (Tablas 5, 6, 7 y 8).

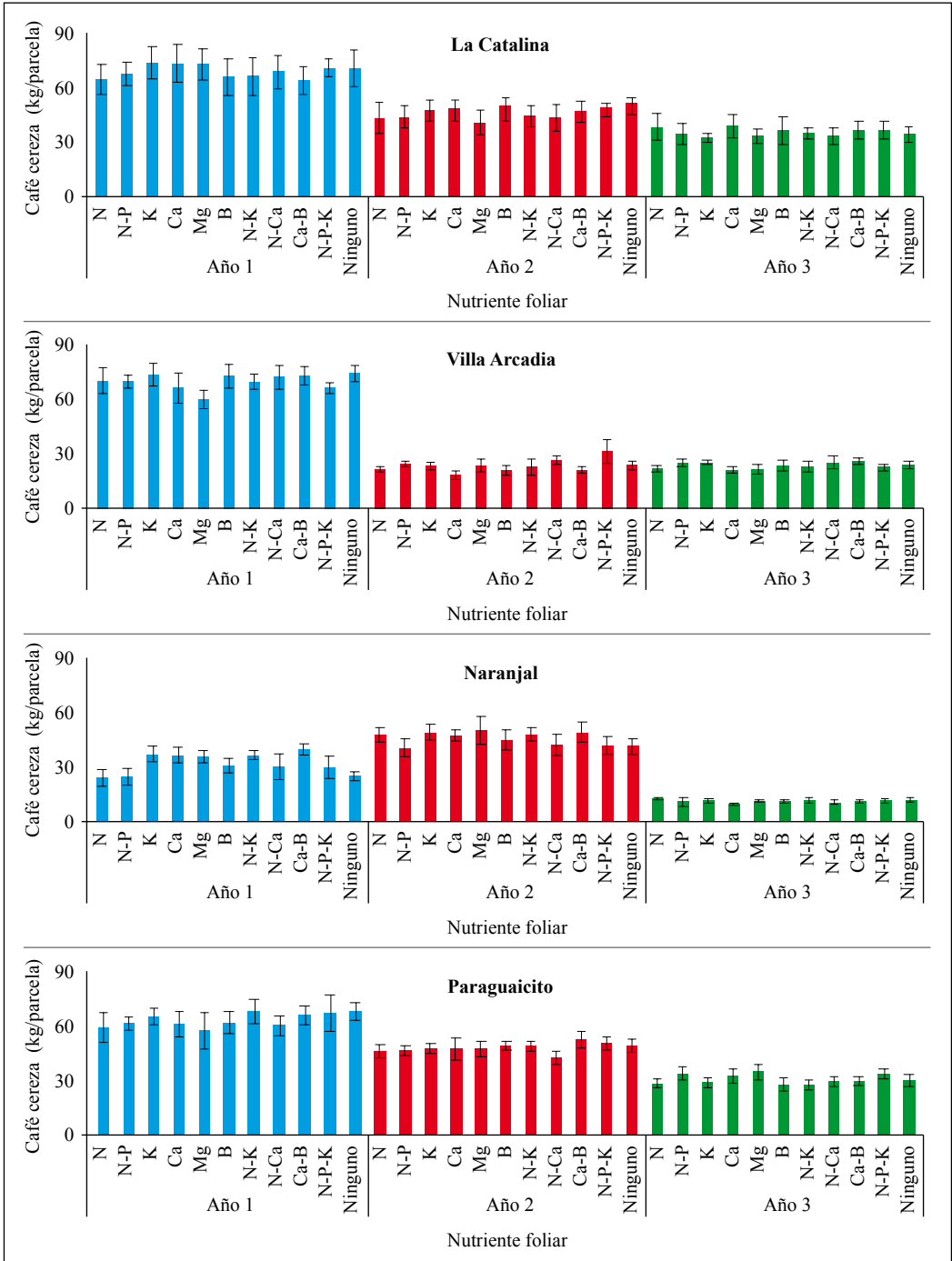


Figura 1. Producción anual promedio en los diferentes tratamientos evaluados. Barras verticales indican error estándar.

Tabla 4. Producción acumulada de café cereza por tratamiento evaluado en las diferentes localidades del estudio.

Nutriente foliar	café cereza (kg/parcela)							
	Naranjal	*EE	Paraguaito	EE	La Catalina	EE	Villa Arcadia	EE
N	80,9	6,82	131,1	9,53	138,4	20,03	120,1	8,72
N-P	73,6	7,20	138,0	3,99	138,3	13,59	125,6	1,60
K	92,9	7,33	137,9	5,51	144,6	14,10	128,1	5,08
Ca	89,1	6,55	137,1	12,35	151,4	18,67	113,1	9,29
Mg	92,3	10,36	135,9	14,15	139,1	13,68	112,6	8,70
B	83,2	7,16	135,4	7,42	143,3	20,86	123,3	7,75
N-K	91,3	5,42	140,4	8,49	137,7	15,59	121,4	6,53
N-Ca	79,9	11,17	129,6	2,32	137,9	16,40	129,3	9,03
Ca-B	94,8	7,37	143,4	7,84	139,3	14,04	126,1	5,38
N-P-K	79,8	8,55	146,4	11,87	147,3	11,96	126,3	8,21
Ninguno	75,7	5,48	142,8	8,58	147,1	16,26	127,7	5,98

*EE: error estándar

Tabla 5. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en la Estación Experimental Naranjal.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)		FRT (kg)	
	Año 1	EE	Año 1	EE
N	5,8	0,15	90,4	2,74
N-P	6,0	0,15	90,4	1,01
K	5,7	0,20	89,2	0,97
Ca	6,1	0,18	89,3	0,84
Mg	5,3	0,40	90,7	1,05
B	5,8	0,24	90,7	1,22
N-K	5,9	0,21	91,1	1,20
N-Ca	5,8	0,25	90,2	1,92
Ca-B	5,8	0,13	91,2	1,70
N-P-K	5,7	0,19	89,9	0,97
Ninguno	5,7	0,34	90,5	0,96

Tabla 6. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en Paraguaicito.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)				FRT (kg)			
	Año 1	EE	Año 2	EE	Año 1	EE	Año 2	EE
N	5,0	0,11	5,1	0,10	88,1	1,42	93,8	1,77
N-P	5,0	0,06	5,3	0,04	88,4	0,92	93,0	2,23
K	5,0	0,11	5,2	0,08	88,7	1,15	96,8	2,57
Ca	5,1	0,14	5,1	0,14	89,6	2,87	96,7	2,20
Mg	6,2	0,85	5,1	0,11	89,9	1,97	91,5	0,92
B	5,2	0,19	5,0	0,10	88,1	1,36	94,8	1,49
N-K	5,0	0,11	5,2	0,17	87,4	0,95	94,8	2,55
N-Ca	5,2	0,19	5,0	0,08	87,5	0,53	95,3	1,84
Ca-B	5,0	0,07	5,3	0,08	87,0	0,63	97,4	2,01
N-P-K	5,1	0,29	5,5	0,11	86,7	1,19	92,3	1,01
Ninguno	5,1	0,19	5,4	0,09	89,2	6,77	93,8	1,13

Tabla 7. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en La Catalina.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)				FRT (kg)			
	Año 1	EE	Año 2	EE	Año 1	EE	Año 2	EE
N	4,7	0,12	5,3	0,16	94,3	0,86	132,4	5,81
N-P	4,9	0,09	5,4	0,22	95,4	1,35	131,0	6,72
K	4,6	0,17	5,4	0,18	94,1	1,38	122,5	4,35
Ca	5,1	0,12	5,5	0,19	94,5	1,08	126,5	7,53
Mg	4,8	0,06	5,5	0,21	92,9	0,67	129,7	5,79
B	4,9	0,13	5,5	0,15	95,8	2,40	123,5	5,22
N-K	4,8	0,03	5,5	0,14	94,2	0,92	124,5	4,19
N-Ca	4,8	0,13	5,4	0,18	94,7	1,03	124,9	7,58
Ca-B	4,9	0,18	5,3	0,18	93,7	0,96	129,3	9,32
N-P-K	4,8	0,05	5,3	0,11	93,9	1,13	120,4	3,47
Ninguno	4,8	0,17	5,5	0,14	94,3	0,58	122,5	9,44

Tabla 8. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en la finca Villa Arcadia.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)				FRT (kg)			
	Año 1	EE	Año 2	EE	Año 1	EE	Año 2	EE
N	5,0	0,05	4,9	0,05	92,0	0,51	97,0	1,55
N-P	5,2	0,06	4,9	0,05	91,9	0,48	95,3	1,12
K	5,2	0,07	4,9	0,04	91,2	0,29	97,0	1,40
Ca	5,1	0,05	5,0	0,04	91,8	0,57	95,6	1,28
Mg	5,2	0,06	4,9	0,05	90,8	0,37	95,0	1,55
B	5,3	0,06	5,0	0,04	91,7	0,38	96,9	1,99
N-K	5,2	0,03	4,9	0,04	91,1	0,15	94,9	1,35
N-Ca	5,3	0,06	5,0	0,09	91,8	0,55	92,7	0,47
Ca-B	5,2	0,08	4,9	0,08	92,1	0,54	95,3	1,39
N-P-K	5,0	0,05	4,8	0,10	92,0	0,29	94,5	1,24
Ninguno	5,1	0,13	4,9	0,08	92,0	0,56	96,3	3,90

Durante el primer año, mientras que en Paraguaicito y Villa Arcadia se presentaron valores promedio inferiores a 92,8, correspondientes al valor máximo de aceptación para el café de buena calidad (Sanz y Oliveros, 2017). En La Catalina el promedio fue 94. Durante 2008, sólo Naranjal registró un valor promedio de 92, y en los demás sitios evaluados, los altos niveles en esta variable de calidad (>94,6), pueden asociarse entre otros factores, con las condiciones climáticas antes mencionadas.

A nivel general, la fertilización foliar se asocia con algunos atributos de la calidad del grano, especialmente con su composición química, particularmente en aspectos relacionados con el contenido de cafeína, trigonelina, sucrosa y glucosa, entre otras (Clemente et al., 2018), las cuales son

transferibles al conjunto de características que determinan la calidad de la bebida (Caporaso et al., 2018; Tolessa et al., 2016). No obstante, ninguna de estas variables fue contempladas en el estudio, debido a que se pretendía en primera instancia, brindar una recomendación práctica a los caficultores conducente al incremento de la producción y calidad de su cultivo, mediante las variables de calidad verificables en los puntos de comercialización disponible en cualquier región del país.

En concordancia con lo expresado anteriormente, es necesario adelantar nuevas aproximaciones experimentales que permitan constatar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes, en variables más específicas pero que se encuentran asociadas con la calidad del grano y de la bebida.

Concentración foliar de nutrientes

Para todas las localidades, los contenidos foliares de nutrientes estuvieron dentro del rango considerado “adecuado” para el cultivo del café de acuerdo con Valencia (1986). El nivel de B se incrementó en algunos casos por efecto de su aplicación alcanzando niveles por encima de 40 mg kg^{-1} , que corresponde al valor mínimo requerido para lograr las mayores producciones del grano en las condiciones de la zona cafetera colombiana (Valencia y Arcila, 1977).

En Naranjal, las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg no presentaron cambios por efecto de uno u otro tratamiento. Las concentraciones promedio para los dos períodos evaluados fueron 2,80%, 0,15%, 1,60%, 0,86% y 0,22%, respectivamente (Figura 2). Se destaca un nivel promedio bajo de Mg respecto al rango adecuado. Para el caso del B, su concentración en el tratamiento donde fue suministrado tanto de manera individual como en asocio con el Ca superó 28% en promedio al registrado en los demás tratamientos, únicamente durante el segundo año (Figura 2).

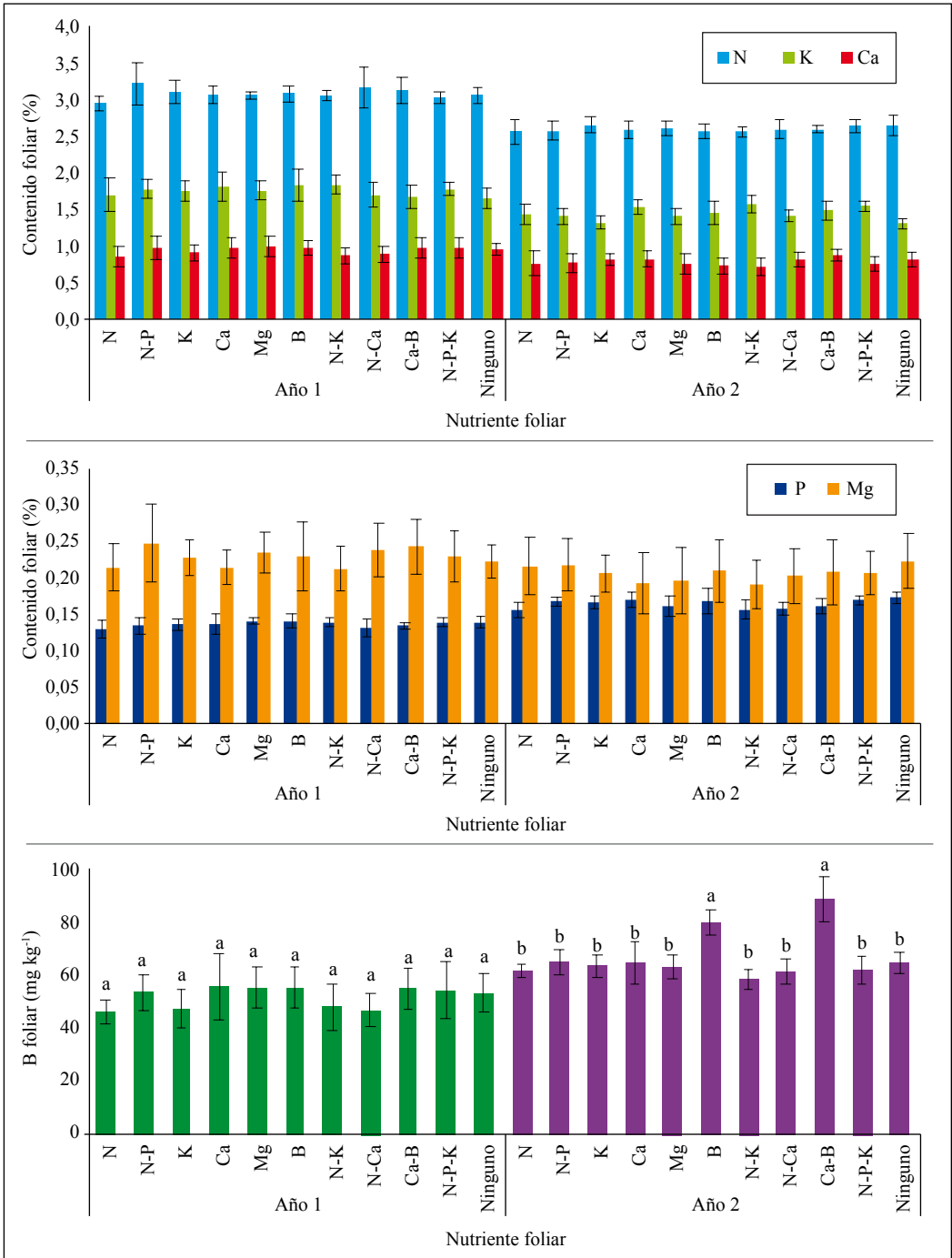
En Paraguaicito, la concentración de macronutrientes y elementos secundarios no varió por efecto de su aplicación en ninguno de los dos períodos en los que fueron evaluados (Figura 3). A nivel general, el N que estuvo entre 2,50% y 3,24%, alcanzó niveles superiores al rango adecuado para el cultivo (Valencia, 1986). El P tuvo niveles entre 0,13% y 0,15%, el K entre 1,30% y 1,80%. Con relación a los contenidos adecuados para el café en Colombia, el Ca y Mg presentaron valores bajos y altos respectivamente (promedios entre 0,20% y 0,70%).

La concentración de B estuvo en un amplio sentido, entre 61 y $81,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3), sin que dicho nivel tuviera afectación en la producción y calidad del grano. Específicamente, durante el primer año, una mayor concentración en las hojas fue detectada a favor del tratamiento con B foliar, respecto al tratamiento donde se aplicó Mg, condición que puede asociarse más a la variabilidad de los registros, que al efecto de los tratamientos propiamente dicho.

Para 2008 las concentraciones de B se incrementaron hasta 89 mg kg^{-1} y fueron estadísticamente diferentes a la concentración hallada en el tratamiento con N y P suministrados conjuntamente (65 mg kg^{-1}).

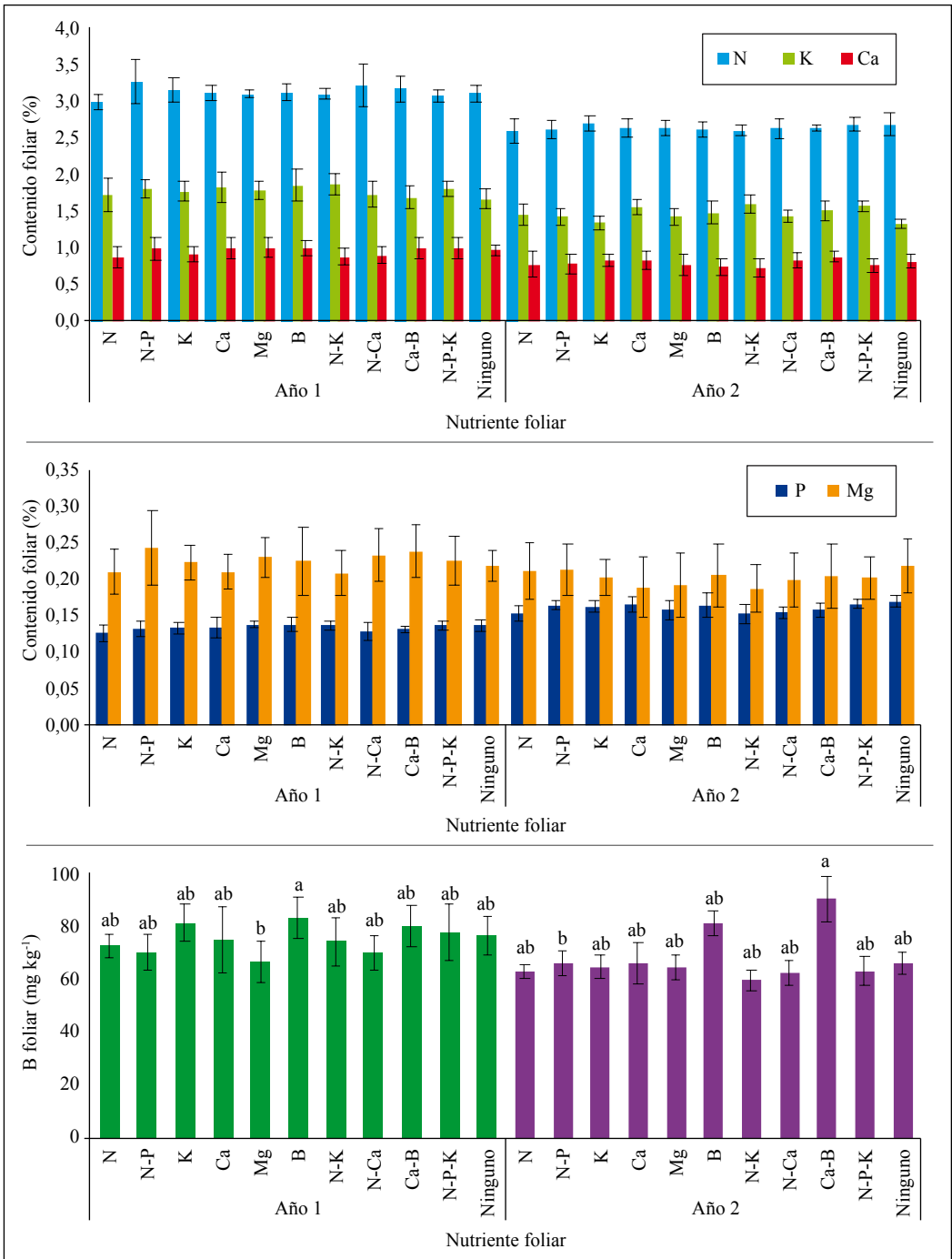
En La Catalina, los niveles de N, P, K, Ca y Mg no se afectaron significativamente por efecto de su aplicación vía foliar (Figura 4). Los valores promedios fueron 2,90%, 0,14%, 2,00%, 0,85% y 0,18%, respectivamente. Igual a lo manifestado en las localidades anteriores, los contenidos de Ca estuvieron en promedio por debajo del rango adecuado (0,30%-0,40%) reportado por Valencia (1986).

Con relación al B, las concentraciones foliares durante los dos períodos de observación estuvieron entre 59,5 y $69,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Los mayores niveles se presentaron cuando este elemento se aplicó conjuntamente con el Ca. Para el segundo año, pese a las tendencias observadas, no pudo establecerse un efecto claro y diferencial a favor de la aplicación de B, tanto individual o conjunta con el Ca, debido a la alta variabilidad en las concentraciones de este nutriente en diferentes tratamientos estudiados.



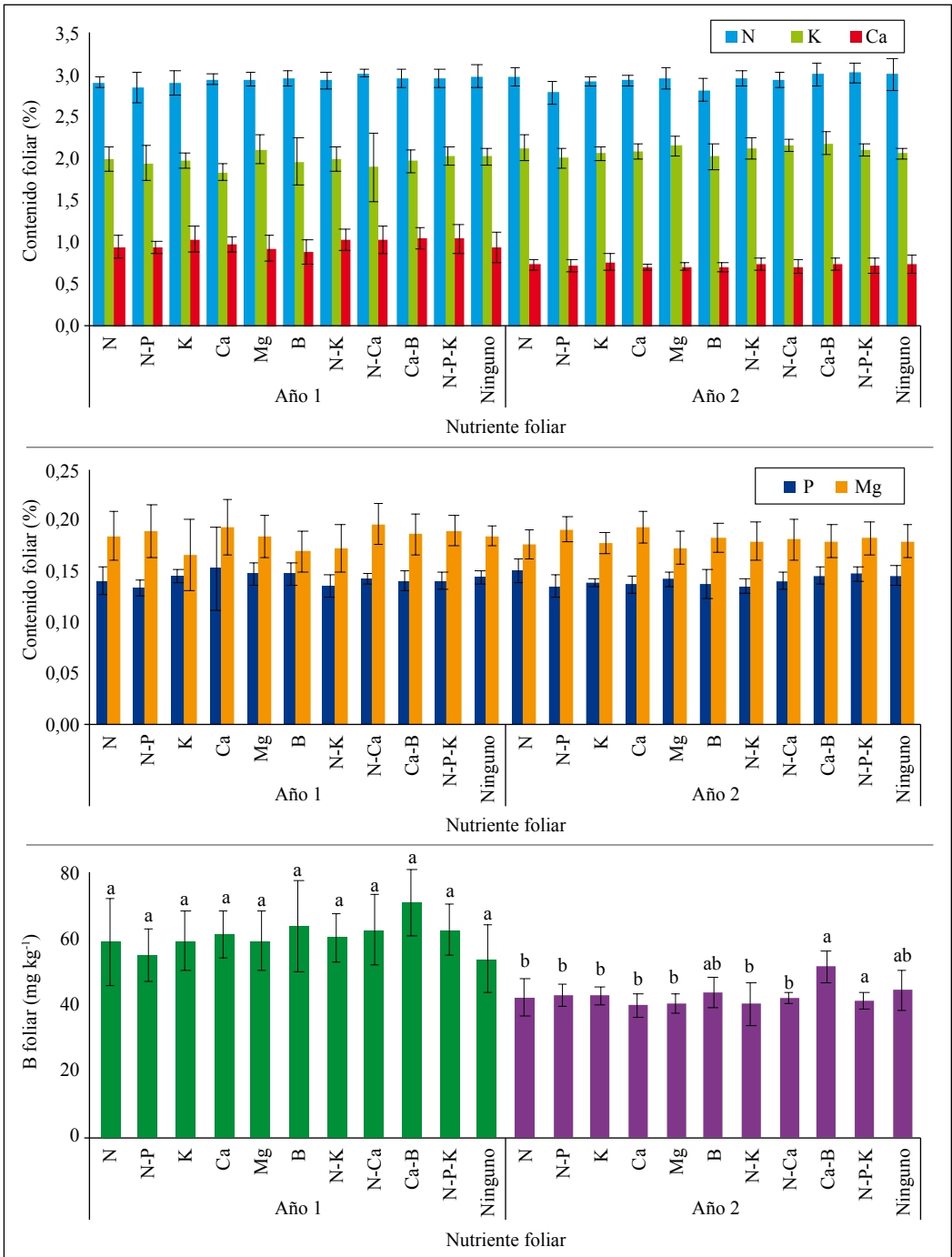
Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 2. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en Naranja. Barras verticales indican error estándar.



Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 3. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en Paraguaicito. Barras verticales indican error estándar.



Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 4. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en La Catalina. Barras verticales indican error estándar.

Finalmente, para las condiciones de Villa Arcadia, la tendencia en los niveles foliares de N, P, K, Ca y Mg, mantuvieron una relación similar a la observada en las demás localidades del estudio. De este modo, la mayor concentración promedio fue de N (2,90%), seguida por K (1,60%), Ca (0,90%), Mg (0,20%) y P (0,10%). Destacándose que el nivel de Mg fue inferior a 0,30% y que se reporta, es el límite por debajo del cual la planta de café presenta una carencia de este elemento (Valencia, 1986). En el tratamiento con fertilización edáfica, los valores promedio fueron respectivamente 2,60%, 1,30%, 0,80%, 0,22% y 0,17% (Figura 5).

El B suministrado provocó incrementos significativos del 34% en su concentración foliar respecto a los demás tratamientos evaluados durante el primer año del estudio (Figura 5). Para el segundo año, los niveles estuvieron en muchos casos por debajo del nivel mínimo requerido según Valencia y Arcila (1977). Efecto que puede asociarse a un fenómeno ambiental ajeno al experimento cuyos resultados vienen en discusión.

Es de resaltar que, para las localidades donde los niveles de Mg foliar estuvieron por debajo del rango “adecuado” para café en Colombia, tal fenómeno puede asociarse con el manejo de la fertilidad del suelo (fertilización, fuentes fertilizantes y manejo de la acidez), por lo tanto, no debería asumirse como efecto antagónico de los nutrientes suministrados en los tratamientos foliares, dado que dicha condición se presentó también en el testigo.

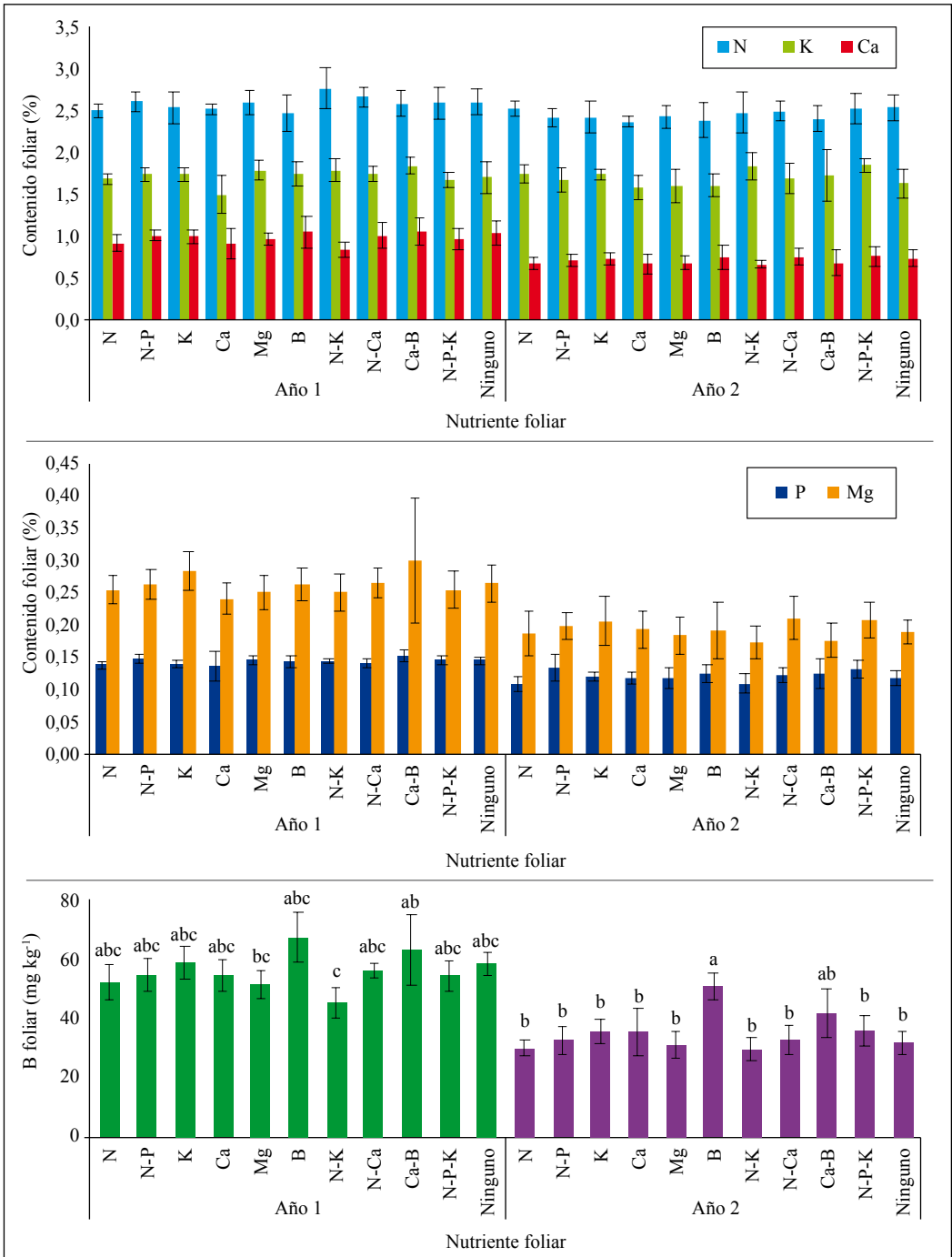
Desde el punto de vista de la época en la que se aplicaron los tratamientos y que correspondió a los 60 y 90 días después de floración, puede decirse que dicha práctica estuvo enmarcada con el momento de mayor demanda de nutrientes por los frutos. Sadeghian et al. (2012) y Sadeghian et al.

(2013), encontraron que entre los 60 y 120 días luego de la floración, se presenta la mayor acumulación de nutrientes en los frutos. Aun así, los resultados muestran que, a excepción del B en algunos sitios y épocas específicas, la absorción de los nutrientes aplicados vía foliar fue prácticamente nula.

La baja respuesta a la aplicación foliar de nutrientes puede asociarse entonces con las características de las hojas del café, cuya composición y anatomía diversa, pueden condicionar la velocidad de absorción de los nutrientes que fueron suministrados al cultivo a través de las fuentes fertilizantes y la modalidad de aplicación descrita en el estudio. Sobre este aspecto se discute con un mayor nivel de detalle a continuación.

Es bien sabido que la anatomía foliar de las plantas incluye superficies cubiertas por cutícula, la cual está compuesta por una matriz de biopolímeros con ceras. Fernández et al. (2015) sostienen que esta condición hace que dichas estructuras sean eficaces para evitar la pérdida de agua desde la planta, y al mismo tiempo limiten la absorción de nutrientes desde el medio. Dichos autores añaden además que, pese a esta consideración, la presencia de grietas cuticulares o la abundancia de algunas estructuras epidérmicas modificadas tipo estomas, pueden contribuir a incrementar el potencial de absorción de minerales a través de las aplicaciones foliares.

En el café específicamente, se ha demostrado que el grosor de la cutícula foliar es variable entre genotipos (Kitagami et al., 2013; Queiroz et al., 1992). Dicha característica sumada al grosor histológico foliar y del parénquima de empalizada, así como de la frecuencia estomática que suele predominar en el envés de las hojas (Dedecca, 1957), presenta variaciones significativas entre especies y variedades de café por efecto de la cantidad de energía



Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 5. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en Villa Arcadia. Barras verticales indican error estándar.

radiante que incide en el sistema de producción (Lima et al., 2013; Rodríguez et al., 2016; Oliveira et al., 2008). Como consecuencia de lo anterior, una baja absorción de nutrientes en las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento era de esperarse, puesto que la aplicación de los tratamientos se efectuó sobre la epidermis adaxial o superior.

En el conjunto de fenómenos que limitan la absorción de los nutrientes aplicados por aspersión foliar, puede haber una excepción cuando se trata del B, dado que su configuración química le permite moverse sin obstáculo a través de la cutícula de la hoja (Fernández et al., 2015). Este fenómeno puede explicar por qué dicho elemento fue el único que se asimiló por esta ruta de manera efectiva, condición que ha sido corroborada por diferentes investigaciones como lo reporta Carvajal (1984). Pese a esto, se recalca que no necesariamente una absorción foliar de B es garantía de su translocación hacia los órganos reproductivos, los cuales a la postre, reflejarían una ganancia en producción.

Finalmente, la literatura presenta experiencias exitosas en materia de absorción de nutrientes vía foliar en café, en la medida en que los fertilizantes empleados presenten una dimensión de sus partículas inferior a 100 nm (nano partículas), con el fin de favorecer su absorción y posterior asimilación a través del complejo sistema foliar antes mencionado. En este sentido, el suministro de nano partículas de Zn ha favorecido el crecimiento y algunas

variables asociadas con el metabolismo de la fotosíntesis de en dos especies de *Coffea arabica* (*C. arabica* var. Anacafé 14 y *C. canephora* var. Nemaya), que crecieron en suelos deficientes en este elemento (Rossi et al., 2019). Dicho efecto puede ser aún más promisorio en la medida en que se trabaje con agentes coadyuvantes o formulaciones cuyo pH se controle minuciosamente para favorecer la permeabilidad de las estructuras foliares, especialmente la cutícula (Fernández et al., 2015).

Lo discutido en este documento, explica el por qué una recomendación de fertilización foliar para los sistemas de producción de café, con las fuentes fertilizantes tradicionalmente aplicadas al suelo, puede derivar resultados inconsistentes.

Puede concluirse que, dadas las mínimas concentraciones de nutrientes absorbidos por las hojas del café, la fertilización foliar, llevada a cabo con los elementos, las concentraciones, las fuentes fertilizantes empleadas y la modalidad de aplicación en las épocas objeto de estudio, no complementa total ni parcialmente la fertilización edáfica según el análisis de suelos.

El suministro foliar de B con las dosis del nutriente y las fuentes empleadas en este estudio, puede conducir a la corrección de una deficiencia nutricional de este elemento, sin que dicha práctica derive en una toxicidad ni en el aumento de la producción.

LITERATURA CITADA

Abdelsalam, N. R., Kandil, E. E., Al-Msari, M. A. F., Al-Jaddadi, M. A. M., Ali, H. M., Salem, M. Z. M., & Elshikh, M. S. (2019). Effect of foliar application of NPK nanoparticle fertilization on yield and genotoxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Science of the Total*

Environment, 653, 1128–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.023>

Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café.

- Avances Técnicos Cenicafé*, 311, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4215>
- Ashouri, M., Fatahi, M. J., & Eshghi, S. (2018). Influence of late season foliar application of urea, boric acid and zinc sulfate on nitrogenous compounds concentration in the bud and flower of Hayward kiwifruit. *Scientia Horticulturae*, 242, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.029>
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., Grebby, S., & Fisk, I. D. (2018). Non-destructive analysis of sucrose, caffeine and trigonelline on single green coffee beans by hyperspectral imaging. *Food Research International*, 106, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.031>
- Caro, H. (1992). Efecto de diferentes concentraciones y frecuencia de aplicación con nitrato de Potasio foliar en la producción de café *Coffea arabica*. *Agronomía*, 5(1), 29–32.
- Carvajal, J. F. (1984). *Cafeto: Cultivo y fertilización* (2ª ed.). Instituto Internacional de la Potasa.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2003). *Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2002-2003*.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2006). *Informe anual de actividades Disciplina de Fitotecnia 2005-2006*.
- Clemente J. M., Prieto, H. E., Woods, A., Poltonieri, Y., Cecon, P. R., & Lonfover, J. L. (2018). Boron, Copper, and Zinc Affect the Productivity, Cup Quality, and Chemical compounds in Coffee Beans. *Journal of Food Quality*, 2018, ID7960231. <https://doi.org/10.1155/2018/7960231>
- Dedecca, D. M. (1957). Anatomía e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. Typica Cramer. *Bragantia*, 16(23), 315–366. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051957000100023>
- Davarpanah, S., Tehranifar, A., Abadía, J., Val, J., Davarynejad, G., Aran, M., & Khorassani, R. (2018). Foliar calcium fertilization reduces fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani). *Scientia Horticulturae*, 230, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.023>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2015). *Fertilización foliar. Principios científicos y prácticas de campo*. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA).
- Flórez, N., Balaguera, H. E., & Restrepo, H. (2015). Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. septentrionale) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. *Scientia Horticulturae*, 186, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.021>
- Guzmán, C. A., & Riaño, N. M. (1996). Respuesta de plantas de café en etapa de almácigo a la fertilización foliar. *Avances Técnicos Cenicafé*, 232, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Halvin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (1999). *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management* (6th ed.). Prentice Hall.
- Huang, L., Li, M., Zhou, K., Sun, T., Hu, L., Li, C., & Ma, F. (2018). Uptake and metabolism of ammonium and nitrate in response to drought stress in *Malus prunifolia*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 127, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.031>
- Ierna, A., Pellegrino, A., & Malvuccio, A. (2017). Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 38–44.
- Kitagami, J. T., Salatino, A., Guerreiro, O., & Faria, M. L. (2013). Foliar cuticular waxes of cultivated species and varieties of *Coffea*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 46, 116–119. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.09.012>
- Li, M., Wang, S., Tian, X., Li, S., Chen, Y., Jia, Z., & Zhao, A. (2016). Zinc and iron concentrations in grain milling fractions through combined foliar applications of Zn and macronutrients. *Field Crops Research*, 187, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.018>
- Lima, R., Santos, T. B., Estevez, L. G., Lucio, M., Ferrarese, O., Donatti, D., Torres, M., & Oliveira, C. L. (2013). Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of leaves (*Coffea arabica* L.). *Carbohydrate Polymers*, 93(1), 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.015>
- Malavolta, E. (1982). Nutricao mineral e adubacao do cafeeiro; passado, presente e perspectivas. En E. Malavolta, T. Yamada, & J. A. Guidolim (Eds.), *Nutricao e adubacao do cafeeiro* (pp. 138–178). Instituto da Potassa e Fosfato.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principios de nutrición de plantas*. International Potash Institute.
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros, C. E. & Cadena, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio

- húmedo tradicional. *Revista Cenicafé*, 59(2), 120–142. <http://hdl.handle.net/10778/59>
- Oliveira, A. R., Puiatti, M., Contin, M., & Cecon, P. R. (2008). Plasticidade anatômica da folha de taro cultivado sob diferentes condições de sombreamento. *Bragantia*, 67(4), 1037–1045. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400028>
- Queiroz, R. B., Fahl, J. I., & Carvalho, M. L. (1992). Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. *Revista Brasileira Fisiologia Vegetal*, 4(2), 99–105.
- Rajabi, A., Ehsanzadeh, P., & Razmjoo, J. (2019). Partial Relief of Drought-Stressed Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Response to Foliar-Applied Zinc. *Pedosphere*, 29(6), 752–763. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60438-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60438-7)
- Rendón, J. R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafé*, 59(3), 238–259. <http://hdl.handle.net/10778/108>
- Rodríguez, L. A., Guevara, F., Gómez, H., Fonseca, M., Gómez, C. J., & Pinto, R. R. (2016). Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* Var. Caturra rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*, 65(3), 248–254. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.46731>
- Rossi, L., Fedenia, L. N., Sharifan, H., Ma, X., & Lombardini, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005>
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 32, 1–44. <http://hdl.handle.net/10778/587>
- Sadeghian, S. (2010). Fertilización: una práctica que determina la producción de los cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 391, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/377>
- Sadeghian, S., Mejía, B., & González, H. (2012). Acumulación de nitrógeno fósforo y potasio en los frutos de café. *Revista Cenicafé*, 63(1), 7–18. <http://hdl.handle.net/10778/519>
- Sadeghian, S., Mejía, B., & González, H. (2013). Acumulación de calcio magnesio y azufre en los frutos de café *Coffea arabica* L. variedad Castillo. *Revista Cenicafé*, 64(1), 7–18. <http://hdl.handle.net/10778/522>
- Sanz, J. R., & Oliveros, C. E. (2017). Calidad del café en cereza. Método CERPER-2 para centrales de beneficio y beneficiaderos comunitarios. *Avances Técnicos Cenicafé*, 481, 1–4.
- Silva D. M., Souza, K.R., Boas, L. V., Alvez, Y. S., & Alves, J. (2017). The effect of magnesium nutrition on the antioxidant response of coffee seedlings under heat stress. *Scientia Horticulturae*, 224, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.029>
- Tolessa, K., Rademaker, M., De Baets, B., & Boeckx, P. (2016). Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. *Talanta*, 150, 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.12.039>
- Valencia, G., & Arcila, J. (1977). Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. *Revista Cenicafé*, 28(4), 119–138.
- Valencia, G. (1986). Niveles adecuados de nutrientes en suelos y en hojas para varios cultivos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 130, 1–4.
- Wimmer, M. A., & Eichert, T. (2013). Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, 203–204, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.12.012>