

EFECTO DEL MANEJO DE LA SOMBRA EN LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES EN EL CAFETO CULTIVADO SOBRE UN SUELO FERSIALÍTICO PARDO ROJIZO DEL MACIZO DE LA SIERRA MAESTRA

E. Velasco[✉], R. Medina, L. Rodríguez, Idalmis Fonseca y J. Verdecia

ABSTRACT. Results of an assay with the aim to compare mineral contents of coffee leaves (*Coffea arabica* L var. Caturra Rojo) under different shade managements and two planting distances within rows, on a Reddish Brown Fersialitic soil in "Sierra Maestra" mountains, are presented. Samples were taken five times each year during the three first fruit productions. Factor effects were strongly observed just before and during the flowering step of the second reproductive cycle, when a significant interaction between shade management and planting distance took place; another shade management effect was also observed just before that time. When shade management effect was found, usually P contents were higher under open sun, K and Mg contents being higher under shade; N and Ca responses were more dependent on time. Structure of correlation matrix, studied by factor analysis at the critical end of flowering, underscored K-Mg antagonism in both shade managements, while N and Ca contents related to that antagonism was different depending on shade management.

RESUMEN. Se presentan los resultados de un ensayo en el que se comparan los contenidos de los elementos mayores (N, P, K Ca y Mg) en *Coffea arabica* L., variedad Caturra Rojo, cultivado bajo diferentes manejos de sombra y con dos distancias de plantación sobre un suelo Fersialítico Pardo Rojizo en el macizo de la Sierra Maestra a 450 m snm. Las evaluaciones se repitieron cinco veces al año durante las primeras tres producciones de frutos. El efecto de los factores bajo estudio se manifestó con mayor fuerza poco antes y durante la floración del segundo ciclo reproductivo, momento en el que se encontró interacción significativa entre el manejo de la sombra y la distancia de plantación; también se encontró efecto del manejo de la sombra justamente antes. Cuando el efecto del manejo de la sombra resultó significativo, se vio que el manejo a plena exposición solar conduce a concentraciones de P más elevadas, siendo las concentraciones de K y Mg más altas bajo sombra; la respuesta del N y el Ca resultó más diferenciada respecto al momento de evaluación. El estudio de la estructura de la matriz de correlaciones mediante el análisis factorial puso de relieve el antagonismo K-Mg tanto al sol como a la sombra al final de la floración de la segunda producción de frutos, resultando diferente la relación de los contenidos de N y Ca con dicho antagonismo en dependencia del manejo de la sombra.

Key words: *Coffea arabica*, mineral nutrients, shade, statistical analysis, light regimes, spacing

Palabras clave: *Coffea arabica*, nutrientes minerales, sombra, análisis estadístico, regímenes de luz, espaciamiento

INTRODUCCIÓN

Siempre se ha considerado que el nivel de exposición a la radiación solar tiene una influencia marcada sobre la nutrición mineral en *Coffea arabica*. Se ha indicado que uno de los beneficios del cultivo del café a plena exposición solar es, sin duda, el aumento de la absorción de nutrientes minerales, lo que genera finalmente producciones más elevadas (1), aunque a veces estas

diferencias tienden a desaparecer luego de algunas cosechas (2). También se ha puesto énfasis en la relación existente entre la nutrición en el café y su cultivo a la sombra o al sol, señalándose que los cafetales al sol necesitan un suministro más elevado de minerales, debido principalmente a la intensificación de su metabolismo y a las elevadas producciones con la correspondiente extracción (3).

En Cuba se ha desarrollado un extenso trabajo de investigación, que ha tenido como objeto el sistema de fertilización de *C. arabica* en distintos ecosistemas y se ha llegado a concluir que el estado nutricional del nitrógeno expresado por el contenido de N en hojas es relativamente independiente de las condiciones de manejo, y que es el nivel de exportación de nutrientes derivado de la cosecha el factor determinante para la recomendación

E. Velasco, Investigador Auxiliar del Departamento de Ciencias Básicas, Universidad de Granma, Apartado 21; Ms.C. R. Medina y Ms.C. L. Rodríguez, Investigadores Agregados; Idalmis Fonseca, Investigadora y J. Verdecia, Especialista del Departamento de Fisiología Vegetal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", CITMA, Gaveita Postal 2140, Bayamo, Granma CP 85100.

✉ ervalasco@udg.co.cu

de las dosis de fertilizante nitrogenado (4). Sin embargo, son sumamente escasos los datos experimentales que permitan comparar las concentraciones de minerales en las hojas de café cultivado a distintos niveles de exposición a la radiación en el mismo sitio.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del manejo de la sombra sobre los contenidos de macronutrientes así como estudiar la estructura de las correlaciones entre estos, en el café conducido con altas densidades de plantación sobre un suelo Fersialítico Pardo Rojizo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca "Calila", cercana a la localidad de Banco Abajo, municipio de Buey Arriba, provincia de Granma, situada a los 20°7'N y 76°47'W. Se establecieron, según se muestra en la Figura 1, tres franjas de 20 x 60 m cada una con los siguientes manejos de sombra: plena exposición solar (PES, eliminación de los árboles sombreadores), sombra regulada (SRG, se manejaron los árboles de sombra para dar paso al 70 % de la energía radiante), sombra no regulada (SNR, los árboles de sombra se dejaron a libre crecimiento).

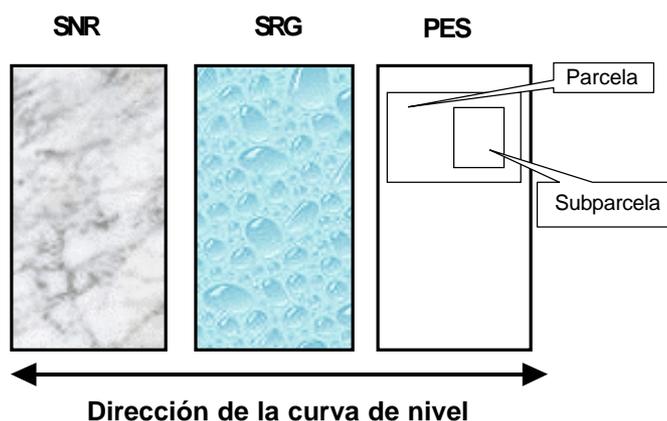


Figura 1. Representación simplificada del diseño experimental

Dentro de cada franja se establecieron dos distancias entre plantas (subparcela) dentro de la hilera: 40 y 70 cm, las que se distribuyeron al azar dentro de cada parcela con distinta variante de sombreado (tres réplicas); la distancia entre hileras fue de 2 m en toda el área y la variedad utilizada fue Caturra Rojo. Las especies de sombra fueron *Gliricidia sepium*, *Samanea saman* e *Inga vera*. El área se encuentra a 450 m snm y la dirección del azimut topográfico es aproximadamente al norte, con una pendiente variable entre 20 y 30°. Otras características del diseño y el área experimental ya han sido informadas (5).

El suelo en esta localidad fue clasificado como Fersialítico Pardo Rojizo (6); el antecedente cultural fue el propio cultivo de café. Justamente antes del trasplante se realizó el análisis agroquímico, el cual arrojó un pH (en KCl) de 5,8 y un valor muy bajo de materia orgánica

(1.42 %). Los contenidos de fósforo y potasio asimilables fueron también bajos (6.2 mg $P_2O_5 \cdot 100 g^{-1}$ y 4.5 mg $K_2O \cdot 100 g^{-1}$ de suelo respectivamente). En el complejo catiónico se encontraron 27 meq de Ca^{+2} , 7,3 meq de Mg^{+2} y solamente 0,11 meq de K^+ por 100 g de suelo. Los contenidos de calcio y magnesio son altos y el contenido de potasio, tanto absoluto como su proporción en relación con la suma de los tres cationes (0.32 %) fue muy bajo (3).

Se aplicó fertilizante nitrogenado (urea) a razón de 105 $kg \cdot ha^{-1}$ durante los dos primeros años, 300 $kg \cdot ha^{-1}$ durante el tercer año y 375 $kg \cdot ha^{-1}$ durante el cuarto, fraccionado tres veces al año. El fósforo se suministró solo al trasplante, a razón de 270 $kg \cdot ha^{-1}$ y el potasio (KCl) a razón de 600 $kg \cdot ha^{-1}$ al trasplante, volviéndose a aplicar a partir del tercer año en adelante a razón de 375 $kg \cdot ha^{-1}$. Además, se administró materia orgánica (estiércol vacuno) a razón de 2 $kg \cdot planta^{-1}$ en el momento del trasplante.

Para el análisis foliar se seleccionaron cinco plantas dentro de cada subparcela (una de cada una de las cinco hileras centrales), tomando de ellas el tercer y el cuarto pares de hojas de dos ramas opuestas del tercio superior de la planta, para un total de 20 hojas por muestra. Los muestreos se repitieron cinco veces al año en los meses de febrero, abril, junio, septiembre y noviembre, durante tres años, los cuales coincidieron con el segundo (primera producción de frutos), tercero (segunda producción) y cuarto años (tercera producción) a partir del trasplante. Se evaluó el contenido de los elementos mayores: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (N, P, K, Ca, y Mg).

El análisis estadístico se realizó utilizando un enfoque multivariado, dada la correlación existente entre los contenidos evaluados en la generalidad de los muestreos y teniendo en cuenta el objetivo de la investigación. Para ello se realizaron análisis de varianza multivariados (AVM) en cada momento de evaluación, de clasificación doble, con el manejo de la sombra y la densidad de plantación como causas de variación, incluida esta última como un efecto de mediciones repetidas de acuerdo con el diseño (7). Cuando este análisis arrojó significación para algún efecto se acudió a la prueba univariada, para determinar las variables que incidían en el resultado del AVM, estimando la diferencia entre las medias por la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

En especial para el muestreo realizado al final de la floración del segundo ciclo reproductivo (a los 31 meses a partir del trasplante), debido al distinto signo de las correlaciones entre el N y el K entre las diferentes variantes de sombreado, lo que supone una fuerte violación del supuesto de la homogeneidad de las matrices de varianza y covarianza, se incluyeron por separado como variables dependientes el N y el P en un análisis y el resto de los elementos K, Ca y Mg en otro, de acuerdo con lo que se ha recomendado en estos casos (7). Este momento resultó crítico en cuanto a la respuesta de los contenidos de minerales al manejo de la sombra y también el momento en que las correlaciones entre estos contenidos alcanzaron mayores valores.

Fue por ello que, para profundizar en la estructura de la matriz de correlaciones, se realizó un análisis factorial (clásico) sobre la base de un modelo de dos factores, utilizando el método de componentes principales. En este análisis se agruparon los datos de las dos variantes de sombra, previa demostración, mediante un contraste "a priori" considerando todas los elementos minerales evaluados, de que para este muestreo, ambas variantes sombreadas podían considerarse pertenecientes a la misma población.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones estacionales de los elementos y efecto de las condiciones de sombreado. El estado nutricional del área se caracterizó por valores satisfactorios de N, P y Mg (Figura 2), salvo durante un lapso comprendido entre el término de la recolección de la primera producción y el posterior período de floración, en el cual se registraron niveles de N inferiores a 2.50 %, los cuales se consideran generalmente bajos (4) y el contenido de P, que se acercó a 0.10 % al comenzar la segunda recolección (a los 36 meses del trasplante), límite por debajo del cual suele manifestarse deficiencia de este elemento (8).

No puede decirse lo mismo del K y el Ca: el primero porque se mantuvo inferior a 1.50 % durante prácticamente todo el segundo ciclo reproductivo, alcanzando incluso valores inferiores a 1.00 % durante la floración, y el Ca porque se mantuvo bajo durante todo el primer ciclo (Figura 2), rangos de contenidos que generalmente han sido considerados bajos o incluso indicativos de deficiencia (3, 8). El contenido de Mg se mantuvo todo el tiempo a niveles elevados, lo cual está dado por sus niveles en el suelo.

Los análisis de varianza multivariados indicaron efecto significativo de la interacción entre los factores bajo estudio en las evaluaciones consecutivas realizadas a los 29 y 31 meses a partir del trasplante, los que corresponden a la etapa de floración del segundo ciclo reproductivo de la plantación. Esta respuesta se vio precedida por una respuesta del factor manejo de sombra a los 26 meses, o sea, al final de la anterior recolección. Fuera de estos momentos, no existió respuesta a ninguno de los efectos, salvo otro efecto del manejo de la sombra a los 43 meses y que coincide, al igual que el de los 31 meses, con el final de la etapa de la floración, en este caso correspondiente al tercer ciclo reproductivo.

Los resultados de la estimación múltiple de las medias (análisis univariado) muestran que, en general, la PES deprime los contenidos de K y Mg y elevan el contenido de P (Tabla I); con respecto al N y el Ca la respuesta es algo variable, ya que a los 29 meses y principalmente en el espaciamiento entre plantas más estrecho, los contenidos de estos elementos son superiores a la sombra y luego (a los 31 meses) son superiores a PES. Resulta interesante ver cómo en el muestreo realizado a los 43 meses, que coincide respecto a la fenología del cultivo (final

de la floración) con el muestreo de los 31 meses, el contenido de N, a diferencia de este último, crece con el nivel de sombreado (Tabla I).

Se evidencia entonces que el período comprendido entre la recolección de la primera producción de frutos y el final de la próxima floración resulta crítico para el estado nutricional de la plantación, lo que ya ha sido reconocido por otros autores (9), y es precisamente cuando se manifiesta el efecto del manejo de la sombra, interactuando con la distancia de plantación. Son varios los factores que pueden determinar esta respuesta, entre ellos, la extracción realizada por los frutos recolectados (4); otras prioridades que como destino de sustancias asimiladas y minerales pueda establecer la planta, como el sistema radical, por ejemplo; el desarrollo fenológico (3) y las condiciones climáticas, en especial la disminución de la humedad del suelo asociada con la escasez de precipitaciones típica de la estación.

En este ensayo, todos estos factores pueden haberse manifestado y haber dado como resultado el efecto ya visto sobre los contenidos de los elementos, pero en el caso de la extracción de la cosecha es dudoso que, dados los niveles de la primera producción y el contenido de los elementos en los frutos (Tabla II) para los distintos manejos de sombra, haya tenido un efecto diferenciado sobre ellos. Es más, no se encontró, a nivel de subparcela (datos no mostrados), correlación significativa entre los contenidos de los minerales y el volumen de la cosecha. Resulta más viable una explicación sobre la base de las condiciones climáticas, especialmente para los efectos de la interacción entre el manejo de sombra y la distancia de plantación, que no se manifiesta de manera uniforme en todos los elementos evaluados, teniendo en cuenta también las características diferenciadas que tiene la absorción de estos.

En relación con el N, contenidos superiores de este elemento son típicos de plantas cultivadas a altas irradiancias, siempre que exista un buen suministro (10), lo cual se considera una respuesta metabólica tendiente a reforzar el aparato fotosintético. Para el cafeto no se tiene una respuesta consistente, ya que se han encontrado valores superiores tanto al sol (11) como a la sombra (12, 13). El P también es un elemento estrechamente vinculado, por su función de carácter estructural, al metabolismo vegetal (14), por lo cual no es de extrañar que su contenido se eleve en las parcelas al sol. En relación con esto también debe señalarse que el suministro de P está asociado con la acción de las citoquininas promotora de formación de flores (15), teniendo en cuenta también que el cultivo al sol produce mayor diferenciación de yemas hacia el estado reproductivo (16). La diferencia en la respuesta del N en los muestreos realizados a los 29 (febrero) y 31 meses (abril) debe estar relacionada con la humedad del suelo, ya que las precipitaciones se comienzan a incrementar a partir de marzo en esta localidad.

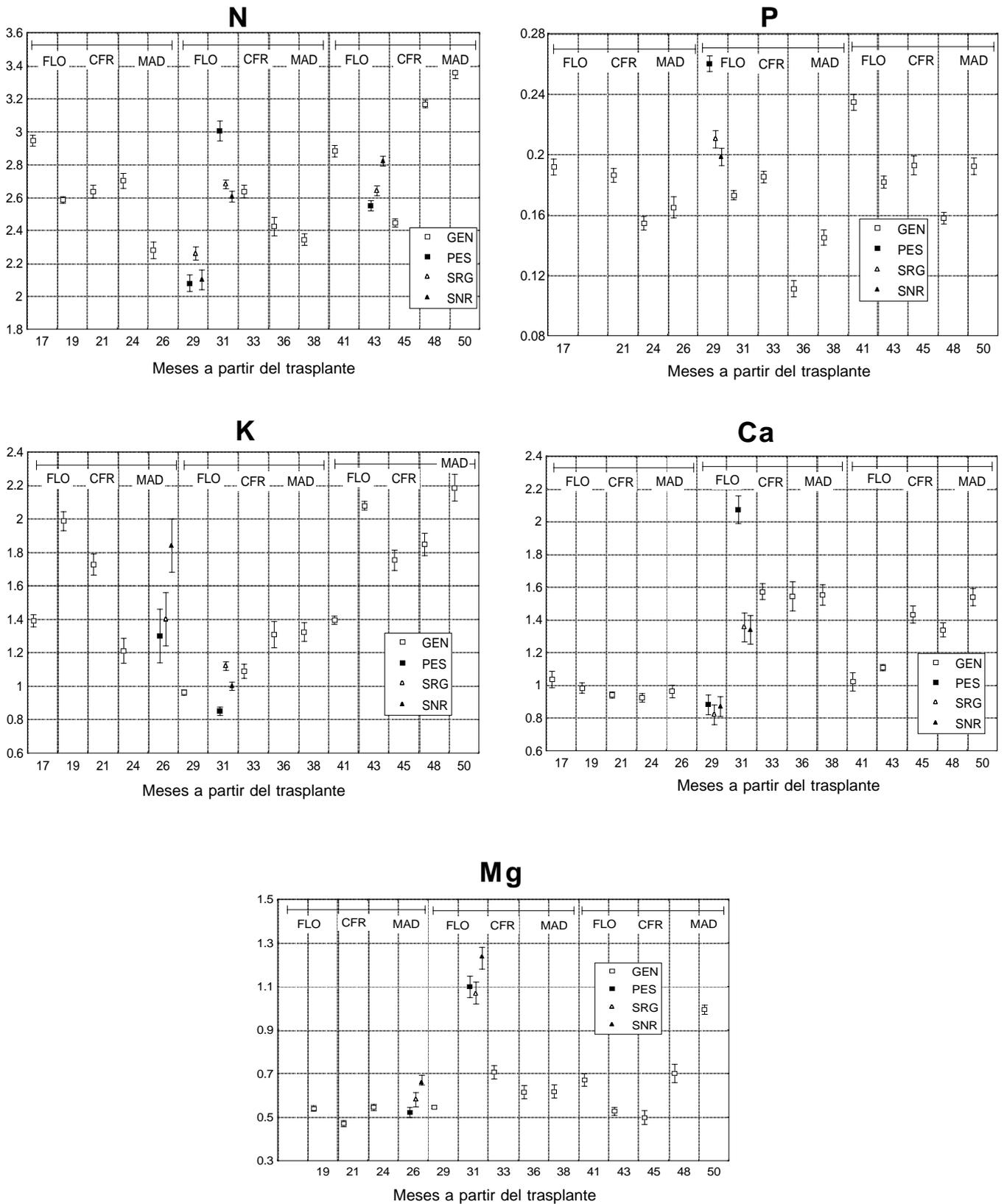


Figura 2. Variaciones estacionales del contenido de los elementos evaluados (%). Se muestran las medias por separado para las variantes de sombra cuando este efecto resultó significativo ($p < 0.05$), ligeramente desplazadas en la dirección horizontal para su mejor apreciación. GEN: media general. En la parte superior del gráfico se presenta la etapa fenológica, FLO: floración, CFR: crecimiento de los frutos y MAD: maduración

Tabla I. Valores medio correspondientes a las pruebas univariadas, derivadas del análisis de varianza. Distancia de plantación D₁: 2 x 40 m y D₂: 2 x 0.70 m

Efecto principal manejo de sombra								
	26 meses		43 meses					
	K	Mg	N					
PES	1.30 b	0.52 b	2.55 b					
SRG	1.40 b	0.58 b	2.64 b					
SNR	1.84 a	0.66 a	2.82 a					
ES	0.159	0.033	0.032					
Efecto de la interacción manejo de sombra por distancia de plantación a los 29 meses								
	N		P		Ca			
	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂		
PES	2.05 cd	2.10 bc	0.27 a	0.25 a	0.84 bc	0.93 ab		
SRG	2.20 abc	2.33 a	0.19 d	0.22 c	0.83 bc	0.82 bc		
SNR	2.23 ab	1.97 d	0.21 cd	0.20 c	1.00 a	0.74 c		
ES	0.031		0.0027		0.028			
Efecto de la interacción manejo de sombra por distancia de plantación a los 31 meses								
	N		K		Ca		Mg	
	D ₁	D ₂						
PES	3.13 a	2.87 b	0.87 d	0.84 e	2.24 a	1.90 b	1.00 b	1.20 ab
SRG	2.59 d	2.55 d	1.06 b	1.18 a	1.30 d	1.40 c	1.07 b	1.07 b
SNR	2.72 c	2.71 c	0.99 c	1.00 c	1.42 c	1.20 e	1.28 a	1.19 b
ES	0.014		0.006		0.018		0.024	

Medias con letras comunes no difieren significativamente para $p < 0.05$

Tabla II. Rendimiento por unidad de superficie (t.ha⁻¹ café cereza) y contenido de minerales en los frutos (%)

	Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg
Primera producción (despunte)						
PES	6.05	1.78	1.78	2.00	0.39	0.21
SRG	6.95	1.82	1.82	2.05	0.34	0.23
SNR	7.03	1.75	1.75	2.11	0.39	0.20
Segunda producción						
PES	11.7	2.21	0.16	1.37	0.55	0.18
SRG	17.0	2.16	0.17	1.61	0.53	0.25
SNR	12.7	2.29	0.18	1.99	0.60	0.21
Tercera producción						
PES	3.6		0.21	2.41	0.63	0.27
SRG	5.3		0.18	2.68	0.54	0.26
SNR	3.8		0.17	2.38	0.54	0.28

La tendencia al decrecimiento del contenido de K más acentuado a PES en relación con las variantes sombreadas corrobora los resultados de otros autores (12, 13). Por su rol fisiológico, que cumple siempre en forma iónica, no es de esperar que su concentración se eleve en los cafetos a PES como ocurre con el N y el P, que forman parte de estructuras moleculares importantes para el metabolismo. En este punto es conveniente recordar la vieja observación de que la acción de la sombra sobre el metabolismo mineral en el cafeto se traduce en una utilización más eficiente del potasio (1).

También debe tenerse en cuenta el efecto del reciclaje de minerales en el ecosistema sombreado que beneficia a los cafetos por la incorporación al suelo de la hojaras-

ca, la cual puede alcanzar la cifra de 136 kg.ha⁻¹ de potasio que regresa al suelo por este concepto en un cafetal sombreado por árboles de *Inga spp* (17), una de las especies presentes en el área experimental y la elevada movilidad que caracteriza al K dentro de la planta, en comparación con la de otros cationes (18).

El desarrollo del sistema radical también puede influir sobre la dinámica de variación de los elementos minerales en las hojas, ya sea por constituir un destino que compite con estas y más aún por la influencia que tiene su crecimiento sobre la absorción relativa de los minerales.

En efecto se ha planteado que algunos elementos, entre ellos el Ca y el Mg, son absorbidos principalmente por la zona de crecimiento de la raíz (19), en tanto otros, como el K también son absorbidos por las regiones más suberizadas. Esto quizás explique los efectos interactivos entre el manejo de la sombra y la distancia de plantación en el supuesto caso de que las raíces de las plantas plantadas en marcos más estrechos se extiendan más, especialmente las conducidas a PES.

Relaciones entre los elementos. El aumento de las concentraciones de Ca y Mg, que ocurre especialmente al final de la segunda floración, puede estar relacionado con el descenso ocurrido en el contenido de K, dado el antagonismo que existe entre estos elementos (20, 21). En la Tabla III se muestran las correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre los minerales evaluados para cada uno de los momentos de evaluación y separadas para las variantes de sol y de sombra en dependencia de los resultados de los análisis de varianza. Entre las correlaciones intercatiónicas la que más se presenta es la correlación (siempre negativa) entre el K y el Mg, antagonismo ya mencionado.

Tabla III. Correlaciones significativas entre los minerales evaluados por separado para la variante de PES y las dos sombras de conjunto cuando este factor tuvo efecto significativo en el AVM. Se ha supuesto que la nutrición nitrogenada es de índole aniónica solamente

Meses a partir del trasplante	Entre aniones	Entre cationes	Aniones-cationes
17			P:Ca= -0.55
19		K:Ca= -0.70	P:K= 0.55
21		K:Mg= -0.59	
24	N:P= 0.61		N:Mg= 0.71
26 sol			N:K= -0.92
26 sombra	N:P= 0.85		
29	Ninguna correlación resultó significativa		
31 sol		K:Ca= 0.97	N:K= 0.92
		K:Mg= -0.91	N:Ca= 0.94
		Ca:Mg= -0.82	
31 sombra		K:Mg= -0.71	N:K= -0.85
			N:Mg= 0.87
			P:Ca= -0.58
33	Ninguna correlación resultó significativa		
36	N:P= 0.72	K:Mg= -0.68	N:Ca= 0.63
			P:Ca= -0.91
38	Ninguna correlación resultó significativa		
41			N:Ca= -0.71
			N:Mg= -0.69
43	Ninguna correlación resultó significativa		
45	Ninguna correlación resultó significativa		
48			N:Mg= -.48
50			P:Ca= 0.59

Dentro del grupo de las que se establecen entre aniones y cationes se aprecia que el N se correlaciona con mayor frecuencia con los cationes, especialmente con el K, con el que se correlacionó varias veces negativamente y el P con el Ca. De manera general, las correlaciones cambian al transcurrir el tiempo, lo que está dado, tanto por la fenología del cultivo como por el efecto del nivel de exposición.

El análisis factorial de la matriz de correlaciones obtenida con los contenidos evaluados al final de la floración en el segundo ciclo (31 meses a partir del trasplante), efectuado por separado para la variante de PES y para las dos variantes sombreadas de conjunto se muestra en la Tabla IV y en la Figura 3. Los resultados de la factorización coinciden en el peso que tienen los contenidos de K y Mg (en sentido contrario) en la definición del primer factor y en el peso del P en el segundo factor y difieren en las correlaciones entre los factores y los otros elementos, es decir, el N y el Ca.

Tabla IV. Estructura de los factores determinados por el análisis factorial sobre las matrices de correlación entre los elementos minerales evaluados a los 31 meses a PES y para las dos variantes sombreadas de conjunto. Se destacan las correlaciones mayores de 0.700

	Sol		Sombra	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
N	0.980	0.030	-0.972	0.070
P	0.190	0.979	0.001	0.890
K	0.951	0.282	0.915	-0.198
Ca	0.924	0.316	0.009	-0.882
Mg	-0.863	-0.322	-0.918	-0.297
VarExt	70.0 %	24.9 %	52.5 %	34.1 %

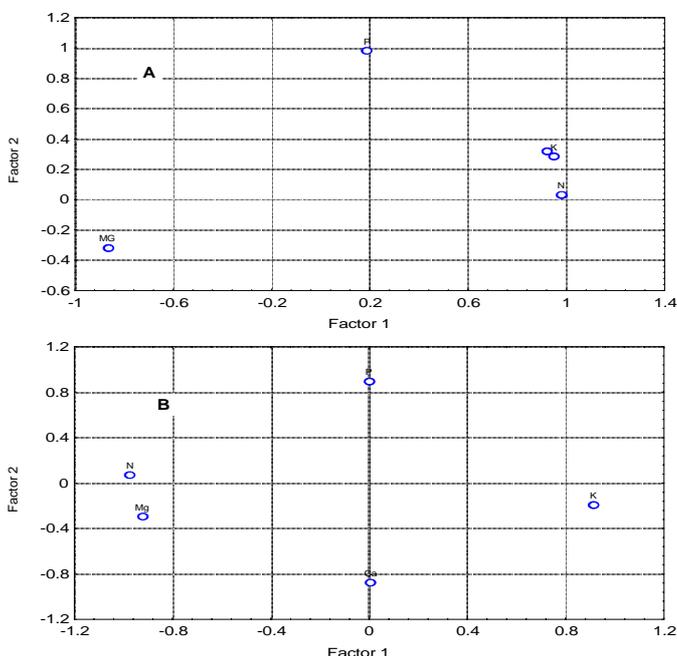


Figura 3. Representación gráfica de los resultados del análisis factorial sobre las matrices de correlaciones entre los elementos evaluados a los 31 meses a partir del trasplante. A: PES, B: SRG y SNR, datos combinados

En los cafetos a PES, el N y el Ca se correlacionaron en el mismo sentido que el K con el factor 1, a diferencia de lo que ocurrió en los cafetos sombreados, en los cuales el N se correlacionó con el factor 1 en sentido contrario al K y el Ca se correlacionó entonces con el segundo factor, en sentido contrario al P. El total de la varianza extraída por el método supera lo que se ha informado por otros autores con este objeto de análisis (22, 23).

El antagonismo K-Mg subyace en la interpretación de la factorización a los 31 meses, momento en que se demostró se hace más patente el efecto del nivel de exposición a la radiación solar. En efecto, la correlación de signos distintos entre estos elementos y el primer factor en ambos casos (al sol y bajo sombra) permite interpretarlo como una expresión de este antagonismo; la estructura del factor es diferente en ambas variantes de sombreado, primordialmente por la participación del N y del Ca que es diferente. En relación con esto, es oportuno mencionar que se han registrado mayores niveles de actividad nitrato reductasa en hojas de cafetos con alto suministro de Ca en la solución nutritiva en un ensayo a PES (24), por lo que pudiera existir un vínculo metabólico entre estos elementos que se expresa precisamente en esta variante de cultivo.

De forma general, los resultados de este ensayo sugieren que el esquema de fertilización potásica a mediano plazo, para estas condiciones, justamente para este tipo de suelo, debe ser revisado, especialmente si se aspira a conducir áreas a PES. La Figura 2 confirma que, cuando se reinician las aplicaciones del fertilizante potásico, los contenidos de este elemento ascienden de forma sostenida hasta alcanzar valores relativamente altos en el tercer ciclo reproductivo, tanto al sol como a la sombra. Además, la caracterización de los suelos del macizo de la Sierra Maestra señala que la interacción entre los cationes es típica en los suelos Fersialíticos (25); estos resultados lo demuestran.

REFERENCIAS

- Wellman, F. L. Coffee. Leonard Hill Books. 1961, p. 59.
- Ramírez, J. E. Fertilización de café a plena exposición solar y con sombra regulada. Resultados y Avances de Investigación, Memorias. CICAPE-ICAFE. 1997. <http://www.infoagro.go.cr/tecnología/cafe97/cafe10.html>.
- Carvajal, J. F. Café. Cultivo y Fertilización. Segunda Edición. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, 254 pp.
- Rivera, R.; Bustamante, C.; Ochoa, M.; Martín, J. R.; Molina, J.; González, C.; Mederos, J. D.; Sánchez, C. y Rodríguez, M. La fertilización nitrogenada del café en diferentes condiciones edafoclimáticas de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 1994, vol. 15, no. 1, p. 5-11.
- Rodríguez, L. A.; Orozco, V.; Velasco, E.; Verdecia, J. y Fonseca, I. Niveles óptimos de radiación solar y su relación con el crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del café (*Coffea arabica* L.). *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 4, p. 45-49.

6. Instituto de Suelos. Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, MINAGRI. Ciudad de la Habana, 1999, 64 p.
7. von Ende, C. N. Repeated-Measure Análisis: Growth and other Time-Dependent Measures. En Design and Analysis of ecological experiments. Ed. por S. M. Schneier y Jessica Gurevitch. Chapman & Hall, Inc. 1993.
8. Ochoa, M.; Rivera, R.; Bustamante, C. y Rodríguez, M. I. La fertilización fosfórica del *Coffea arabica* L. en suelo Ferrítico Oscuro. Parte I. Fertilización Mineral. *Cultivos Tropicales*, 2000, vol. 21, no. 1, p. 73-79.
9. González, C. /et al./ Extracción de nutrimentos por el café hasta los 52 meses de plantado. Vías para restituirlos. Simposio Internacional de Café y Cacao CUBACAFÉ99, Programa, Conferencias y Resúmenes. Santiago de Cuba, 25-27 de Noviembre de 1999. p. 65. 1999.
10. Hikosaka, K. y Terashima, I. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C_3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. THEORETICAL PAPER. *Plant, Cell and Envir.* 18:605-618. 1995.
11. Carvalho-Carelli, M. L.; Fahl, J. I.; Trivelin, P. C. O. y Queiroz-Voltan, R. B. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. *Rev. Bras. Fis. Veg.*, 1999, vol. 11, no. 2, p. 63-68.
12. Castro, P. R. C.; Martínez, H. E. P.; Carelli, D. H. y Marchetti, M. E. Comportamiento de cafeeiros (*Coffea arabica* Lin. Cv. Mundo Novo) oriundos de ecosistemas diversos, sob condicoes uniformes. Anais da ESA "Luis de Quiroz" XL: 1-30. 1983.
13. Dios-A. R. de y Goffe-Sánchez, S. Estudio de los principales macronutrientes foliares en *Coffea arabica* var. Caturra bajo tres niveles de iluminación en un suelo Ferralítico-Rojo. VII Seminario Científico INCA, Resúmenes, p. 17. 1990.
14. Taiz, L. y Zeiger, E. *Plant Physiology*. Second Edition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, 792 pp. 1998.
15. Marshner, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press, 889pp. 1995.
16. Castillo, Z. J. y López, A. R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del café. *CENICAFÉ*, 1966, p. 1751-1760.
17. Severino, L. S. y Oliveira, T. S. de. Sistema de cultivo sombreado de cafeeiro (*C. arabica* L.) na regio de Batunté, Ceará. *Revista Ceres*, 1999, vol. 46, no. 268, p. 635-652.
18. Bundt, M. /et al./ Seasonal dynamics of nutrients in leaves and xylem sap of coffee plants as related to different soil compartments. *Plant and Soil*, 1997, vol. 197, no. 1, p. 157-166.
19. Pimentel, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: Edur. 1998, 150 p.
20. Larcher, W. *Physiological Plant Ecology*. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Third Ed. Springer Verlag. Berlin. 506 p.
21. Guillobez, S.; Castaing, X. y Sallée, B. L'Antagonisme potassium-magnésium chez le caffier Arabica dans la région de l'Ouest Cameroun. *Café, Cacao, Thé*, 1990, vol. 34, no. 4, p. 265-280.
22. Vardaka, E.; Cook, C. M. y Lanaras, T. Interelemental relationships in the soil and plant tissue and photosynthesis of field-cultivated wheat growing in naturally enriched cooper soils. *J. Plant Nutr.* 1997, vol. 20, no. (4-5), p. 441-453.
23. Cook, C. M.; Kustidov, A.; Vardaka, E. y Lanaras, T. Effects of copper on the growth, photosynthesis and nutrient concentrations of *Phaseolus* plants. *Photosynthetica*, 1997, vol. 43, no. 2, p. 179-193.
24. Cadena-Romero, M. E. y Arcila-Pulgarín, J. Actividad nitrato reductasa (aNR) como indicador de la concentración de Mg^{+2} , K^+ y Ca^{+2} en hojas de café. *CENICAFÉ*, 2000, vol. 51, no. 2, p. 85-96.
25. Soto, F. Zonificación Agroecológica del café en los mazorros montañosos Sagua-Nipe-Baracoa, Sierra Maestra y Guamuha. Informe Científico del Proyecto. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Junio 2001.

Recibido: 5 de marzo del 2001

Aceptado: 31 de octubre del 2001

Cursos de Verano

Precio: 200 USD

Análisis Multivariado de Datos.
Aplicación a las Ciencias Agrícolas

Coordinador: Dr.C. Mario Varela Nualles

Duración: 30 horas

Fecha: 8 al 12 de julio



SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (64) 6-3773
Fax: (53) (64) 6-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu