

Respuesta de Cafetales al Sol y Bajo Semisombra a Nitrógeno y su Relación con la Materia Orgánica del Suelo

Coffee Crops Response to Nitrogen on Direct Sunlight and Semi-Shadow and its Relationship with the Soil's Organic Matter

Siavosh Sadeghian Khalajabadi¹

Resumen. La materia orgánica del suelo (MO) puede llegar a ser una fuente importante de nitrógeno (N) para las plantas. Mediante el desarrollo de esta investigación se evaluó la respuesta de cafetales a plena exposición solar y bajo semisombra al suministro de N y su relación con la MO. Para ello se seleccionaron 20 plantaciones al sol y 12 con semisombra en 25 municipios de Colombia, contrastantes en su contenido de MO (desde 4 hasta 28%). Se evaluaron dos tratamientos, uno con N, P, K y Mg y el otro sin N, el cual se aplicó en dosis de 240 kg ha⁻¹ año⁻¹ como urea. En los cafetales al sol el efecto de la carencia de N sobre la producción se manifestó a partir del segundo año y se aumentó gradualmente, hasta alcanzar reducciones cercanas al 50% en el cuarto año; bajo semisombra se registró un comportamiento similar pero de menor magnitud. En ambos sistemas de producción, el comportamiento del rendimiento relativo en función del contenido de materia orgánica, se ajustó a un modelo cuadrático, con punto de inflexión en el 18% de la variable independiente. El suministro de N disminuyó el pH del suelo y aumentó las pérdidas de K⁺ en los dos sistemas; en los cafetales al sol se incrementaron los contenidos foliares de N, Mg y Mn por el efecto del N, mientras que las concentraciones de P, K, Cu y B disminuyeron. En las plantaciones desarrolladas bajo semisombra la fertilización nitrogenada sólo aumentó el contenido foliar del Mn y redujo el B.

Palabras clave: Fertilidad del suelo, calibración, nitrato, acidez, nutrientes foliares.

Abstract. Soil's organic matter (OM) can be an important source of nitrogen (N) for plants. Through the development of this investigation the response of coffee in full sunlight and under light shade to the supply of N and its relationship to OM was evaluated. For this, 20 plantations exposed to direct sunlight and 12 under semi-shade were selected in 25 municipalities in Colombia, with different content of OM (from 4 to 28%). Two treatments were evaluated, one with N, P, K and Mg and the other without N, which was applied in doses of 240 kg ha⁻¹ yr⁻¹ as urea. In the sunlight exposed plantations, the effect of N deficiency on production was expressed from the second year and gradually increased. It reached close to 50% reductions in four years. The plantation under semi-shade registered a similar pattern but of lesser magnitude. The relationship between OM and relative yield was adjusted to a quadratic model, whose behaviour was similar for both systems, with an average inflection point of 18%. The supply of N decreased the soil's pH and increased loss of K⁺ in the two systems. In sunlight-exposed coffee plantations the foliar contents of N, Mg and Mn increased by the effect of N, while the concentrations of P, K, Cu and B decreased. The N fertilization of the semi-shade plantations only increased the leaf content of Mn and reduced the B.

Key words: Soil fertility, calibration, nitrate, acidity and foliar nutrients.

El nitrógeno (N) es el nutriente de mayor demanda por muchas de las especies cultivadas; éste se encuentra en los diversos compuestos orgánicos, incluyendo los aminoácidos, las proteínas y los ácidos nucleicos (Epstein y Bloom, 2004). En el suelo se halla básicamente asociado a la materia orgánica (MO), y sólo una pequeña fracción se encuentra en formas inorgánicas (N₂O, NO, NH₃, NO₂⁻, NH₄⁺ y NO₃⁻), de las cuales el amonio y el nitrato son las más aprovechables por las plantas (White, 2006). Para la fertilización con N, al igual que para los demás elementos, se deben tener en cuenta los requerimientos del cultivo y la disponibilidad del elemento en el suelo; adicionalmente, es necesario conocer las pérdidas del

elemento por volatilización, lixiviación, inmovilización y erosión (Malavolta, 2006).

En café, las cantidades totales de N extraídas durante el período vegetativo y reproductivo (520 kg·ha⁻¹), son similares a las del K, y más del doble de los demás elementos mayores (Riaño *et al.*, 2004). De acuerdo con los reportes de Sadeghian *et al.* (2006), por cada 1.000 kg de café almendra, equivalentes a 1.250 kg de café pergamino seco, se remueven del suelo 31 kg·ha⁻¹ de N; por lo tanto, en los cafetales a plena exposición solar, donde las producciones frecuentemente alcanzan los 4.000 kg·ha⁻¹·año⁻¹, las cantidades removidas llegan a superar los 120 kg·ha⁻¹·año⁻¹ de N.

¹ Investigador Científico II, Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ). Sede Planalto, km 4 vía Chinchiná, Caldas, Colombia. <siavosh.sadeghian@cafedecolombia.com>

Recibido: Febrero 3 de 2011; aceptado: Abril 18 de 2011

Parte de los anteriores requerimientos se suple mediante la mineralización de la MO, cuyo contenido varía significativamente en las diferentes regiones cafeteras del país (normalmente entre el 5 y 25%); el restante debe suministrarse a través de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que lo contengan. Para Colombia se reporta una relación de tipo cuadrático entre el contenido de la MO y el de N total del suelo (Carrillo y Chaves, 1994), pese a ello, no hay informes que demuestren el efecto de la MO sobre el rendimiento de café.

Un factor determinante de la productividad de los cafetales es la radiación solar dentro del cultivo; así mismo, existe una relación inversa entre el nivel de la sombra y la respuesta a la fertilización (Farfán y Mestre, 2004). Para cafetales a plena exposición solar, el efecto del N ha sido positivo en casi todas las localidades en donde se ha evaluado su respuesta, independiente de los contenidos de la MO del suelo (Uribe y Mestre, 1976). Con respecto a la fertilización de los cultivos bajo semisombra, los estudios realizados no han tenido en cuenta los diferentes elementos de manera individual. En este sentido cabe aclarar que la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FNC (1993), define como semisombra aquel sistema en el cual el efecto de regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea superior a 20 e inferior a 50 árboles por ha, y/o cualquier especie arbustiva semipermanente con más de 300 y menos de 750 sitios por ha.

Mediante esta investigación se buscó determinar el efecto de la fertilización con N sobre la producción de cafetales al sol y bajo semisombra, y calibrar la respuesta obtenida con respecto al contenido de la MO del suelo, como indicador de la disponibilidad de este elemento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante cuatro años en 32 localidades de la zona cafetera colombiana, ubicadas en 25 municipios y 10 departamentos (Antioquia, Caldas, Cauca, Cesar, Cundinamarca, Guajira, Quindío, Risaralda, Santander y Tolima), contrastantes en su contenido de MO. En éstas se seleccionaron 20 plantaciones tecnificadas de café a plena exposición solar y 12 bajo sombrero parcial de guamo (*Inga* spp.) o de plátano (*Musa* sp.), con densidades entre 4.000 y 10.000 árboles por ha y edades entre 2 y 3 años.

En cada sitio se evaluaron dos tratamientos, uno sin N y el otro con este nutriente, el cual fue suministrado como urea (46% de N) en cantidades equivalentes a 240 kg·ha⁻¹·año⁻¹ y fraccionado en dos épocas (marzo–abril y agosto–septiembre). En los dos tratamientos se aplicaron 240 kg·ha⁻¹·año⁻¹ de potasio (K₂O), 80 kg·ha⁻¹·año⁻¹ de fósforo (P₂O₅) y 60 kg·ha⁻¹·año⁻¹ de magnesio (MgO), suministradas a través de KCl (60% de K₂O), superfosfato triple (46% de P₂O₅) y óxido de magnesio (88% de MgO), respectivamente. En 28 de las localidades se estableció una sola repetición de cada tratamiento, en dos se instalaron dos repeticiones y en tres de ellas tres repeticiones, bajo el diseño de bloque completos al azar. Las dimensiones de las parcelas experimentales y su arreglo espacial fueron diferentes en cada sitio, como consecuencia de las variaciones en las densidades de siembras de las plantaciones y la forma de los lotes. El área ocupada por cada tratamiento, incluyendo su borde, fluctuó entre 100 y 120 m². La duración del experimento fue de tres años en 21 sitios, y de cuatro años en las once localidades restantes.

El efecto del N fue evaluado sobre la producción de café, las características del suelo y el contenido foliar de los nutrientes. Las muestras del suelo en cada parcela se tomaron en la zona del "plato" del árbol a 20 cm de profundidad al iniciar el estudio y dos años después. Se valoraron las siguientes propiedades, siguiendo las metodologías de análisis descritas por Carrillo (1985): pH (método potenciométrico–relación suelo:agua desionizada 1:1 p/p), carbono orgánico (método Walkley–Black y valoración por colorimetría a 585 nm), P (extracción con Bray II, coloración Bray–Kurtz y lectura por colorimetría a 660 nm), K, Ca y Mg (extracción con acetato de amonio 1N a pH 7,0 y lectura por espectrofotometría de absorción atómica) y Al (extracción con KCl 1N y valoración por espectrofotometría de absorción atómica). En el segundo muestreo de suelos se determinaron los contenidos de nitratos por método de RQ–Flex.

La determinación del contenido de los nutrientes en la hoja (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B) se llevó a cabo dos años después de haber iniciado la investigación, mediante los métodos descritos por Carrillo *et al.* (1994). Se tomó el contenido de la MO como indicador de la disponibilidad de N, dada la alta correlación entre estas dos propiedades en la zona cafetera de Colombia.

Se empleó la prueba t al 5% para comparar los tratamientos en cada uno de los dos sistemas (al sol

y semisombra) y para comparar los promedios de los sistemas. Con el fin de calibrar el análisis de suelo, se correlacionó el rendimiento relativo (R.R.) con respecto a la MO del suelo, para cada sistema y año. Dado que el número de sitios para el cuarto año se redujo a 11, la calibración sólo se llevó a cabo para los primeros tres años. Se evaluaron diferentes modelos para la calibración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores de la disponibilidad del N y cambios en las propiedades del suelo. Como consecuencia de la alta diversidad de las condiciones en las que se desarrolló el estudio, se registró una

elevada variación de las propiedades químicas de los suelos al iniciar el experimento, en especial para Al^{3+} y P, seguido por Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ ; en contraposición a lo anterior el pH fue la propiedad menos variable, como consecuencia de su escala logarítmica (Tabla 1). En lo que a la MO respecta, su contenido explicó los cambios del N total a través de un modelo cuadrático para cada sistema (Figura 1). Las curvaturas de los modelos en mención fueron similares; en el caso de los cafetales al sol el punto de inflexión (33,662% de MO) fue mayor que bajo semisombra (26,415% de MO); sin embargo, estas diferencias antes de deberse al efecto del sistema de manejo, fueron relacionadas con las variaciones en los puntos de muestreo.

Tabla 1. Propiedades químicas iniciales del suelo plantado con café en condiciones distintas de disponibilidad lumínica.

Propiedad	Sistema							
	Al sol				Bajo semisombra			
	Promedio	Min.	Max.	C.V. (%)	Promedio	Min.	Max.	C.V. (%)
pH	5,10	4,20	6,20	8,24	4,95	3,90	5,80	8,46
MO (%)*	12,11	4,00	27,80	43,46	13,39	6,20	27,20	48,06
N (%)	0,47	0,16	0,86	40,59	0,51	0,12	0,89	44,06
P ($mg \cdot kg^{-1}$)	18,23	2,00	140,00	156,15	18,15	0,00	127,00	169,54
Ca ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	3,49	0,15	10,50	75,18	4,29	0,20	18,80	110,60
Mg ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	0,89	0,10	3,00	71,64	0,94	0,10	2,90	73,92
K ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	0,47	0,09	1,31	64,05	0,37	0,14	1,05	56,11
Al ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	1,22	0,00	9,60	159,27	1,37	0,00	8,60	156,37

* Se calculó multiplicando el contenido de carbono orgánico por 1,742. Min.: valor mínimo, Max.: valor máximo, C.V.: Coeficiente de variación.

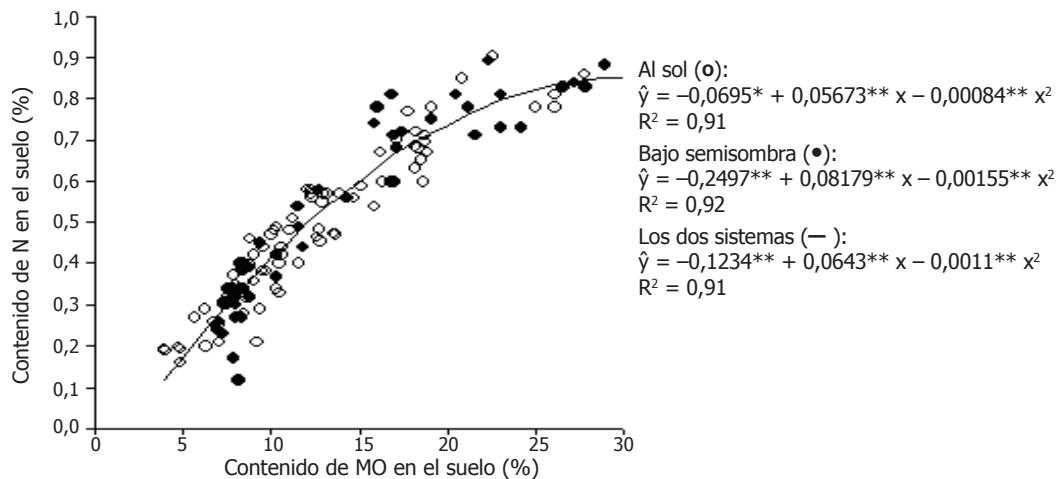


Figura 1. Variaciones del contenido del N total en función de la MO del suelo en cafetales al sol y bajo semisombra. Número de datos: cafetales al sol 80 (20 sitios, 2 épocas y 2 tratamientos), cafetales bajo semisombra 48 (12 sitios, 2 épocas y 2 tratamientos). La línea sólida corresponde a la ecuación para el conjunto de los dos sistemas.

Debido al tiempo relativamente corto del experimento, los contenidos de la MO y N total no presentaron cambios a través de tiempo ni entre tratamientos (Tabla 2). Cardona y Sadeghian (2005) registraron incrementos en la MO del suelo, especialmente en los primeros 5 a 10 cm de profundidad, como resultado de los aportes significativos de materiales orgánicos de especies como el guamo (*Inga spp*) que se utilizan con el fin de proporcionar sombra a los cafetales. En

este mismo sentido, Pavan *et al.* (1999), indican que sólo a largo plazo (15 años) el establecimiento de cafetales de alta densidad contribuye a incrementar el carbono orgánico del suelo, como consecuencia de la acumulación de residuos orgánicos y un mayor control de la erosión. Rangel *et al.* (2008) hallaron que el incremento de la MO y de N total ocurre en los primeros 5 cm de profundidad de las interlíneas de café y no en la proyección de la copa.

Tabla 2. Cambios en el pH y en los contenidos de MO, calcio, magnesio, potasio y aluminio por el efecto de los tratamientos, en suelos plantados con café al sol y semisombra.

Propiedad	Tratamiento	Sistema			
		Al sol		Bajo semisombra	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
pH	Con N	5,27 a	8,89	4,99 a	7,71
	Sin N	5,41 a *	8,49	5,22 a	9,24
MO (%)	Con N	12,04 a	41,77	14,48 a	49,47
	Sin N	12,60 a	47,70	14,83 a	47,79
N (%)	Con N	0,47 a	36,47	0,49 a	42,32
	Sin N	0,47 a	40,39	0,52 a	42,19
N-NO ³⁻ (µg·kg ⁻¹)	Con N	15,84 a	46,65	15,42 a	29,96
	Sin N	16,24 a	43,23	16,58 a	48,73
P (mg·kg ⁻¹)	Con N	51,62 a *	187,99	61,33 a *	184,39
	Sin N	44,63 a *	132,43	68,83 a *	225,56
Ca (cmol _c ·kg ⁻¹)	Con N	4,16 a	108,22	2,92 a	104,28
	Sin N	3,84 a	70,20	4,78 a	105,79
Mg (cmol _c ·kg ⁻¹)	Con N	2,11 a	114,46	2,25 a	88,92
	Sin N	3,02 a	135,66	2,63 a	78,09
K (cmol _c ·kg ⁻¹)	Con N	0,85 b	64,54	0,70 b	76,28
	Sin N	1,34 a	60,02	1,09 a	90,99
Al (cmol _c ·kg ⁻¹)	Con N	1,04 a	111,60	1,81 a	116,30
	Sin N	0,93 a	145,20	1,26 a	142,02

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos en el mismo sistema, según prueba t al 5 %

* indica diferencias significativas frente al valor inicial, según prueba t al 5 %

C.V.: Coeficiente de variación

Los contenidos de nitratos, evaluados seis meses después de haber realizado la última fertilización, fueron similares en los dos tratamientos; tendencia que coincide con los registros de Aguilar (1997), quién bajo condiciones de la zona cafetera central colombiana, registró una reducción gradual de los nitratos provenientes de la fertilización nitrogenada a través del tiempo, hasta llegar a niveles cercanos a los iniciales, 4 ó 6 meses después de su aplicación. En contraposición a lo anterior, Carvajal (1984), reportó residualidad de esta fracción 5 y 8 meses luego de la fertilización en un suelo de Costa Rica, clasificado como andosol.

Cuando se excluyó el N de los planes de fertilización hubo un incremento del pH en los suelos de los cafetales al sol, y aunque bajo semisombra también se detectó un efecto similar, no fue estadísticamente significativo, probablemente debido a la alta variación de los resultados en este sistema. Según Prezotti y Da Rocha (2004), los suelos cultivados densamente en café presentan algunas variaciones en sus propiedades químicas frente a los que tienen baja densidad, siendo lo evidente la reducción de los contenidos de H⁺ y Al³⁺, comportamiento que no se observó en este estudio. Pavan *et al.* (1999)

justifican el descenso del pH en suelos cultivados con café, como resultado de un excedente de iones H^+ que se genera en la nitrificación de amonio, y que no es neutralizado por la liberación de iones OH^- en el proceso de absorción de NO_3^- por las raíces de las plantas.

La aplicación de P, K y Mg en los dos tratamientos incrementó sus contenidos en el suelo, mientras que el suministro de N vía urea contribuyó a la pérdida de K^+ , resultado que puede deberse a factores como: la acidez generada en la nitrificación del amonio- NH_4^+ (Zapata, 2004), la competencia del NH_4^+ en el complejo de cambio (Bohn *et al.*, 1993), la menor selectividad por el K frente a otros cationes intercambiables de mayor valencia (Sparks, 1995) y la alta solubilidad de la fuente empleada (KCl) (Guerrero, 2004).

Efecto del sistema de manejo en la producción y la respuesta al nitrógeno. En los cafetales a plena exposición solar el promedio de la producción de café pergamino seco (cps) fue mayor que bajo semisombra; tendencia que tuvo lugar durante los cuatro años de evaluación (Figura 2). Lo anterior se puede relacionar básicamente con tres aspectos de las

plantaciones al sol: una mayor densidad de siembra, un menor nivel de sombra y mejores condiciones ambientales, tanto climáticos como edáficos. La densidad promedio de siembra en los cafetales a plena exposición solar fue de 8.340 plantas/ha, frente a 6.400 plantas/ha bajo semisombra. De acuerdo a los resultados de Paulo *et al.* (2005) y Uribe y Mestre (1988) el aumento de la población de cafetos conlleva al incremento de la productividad; en tanto que para Prezotti y Da Rocha (2004) no se observaron diferencias significativas de la producción en función de la densidad de plantas. Con respecto a la radiación solar, se ha demostrado una relación inversa entre el nivel de la sombra y la producción de café (Farfán y Mestre, 2004), y en cuanto a los factores del medio ambiente, la mayoría de las plantaciones bajo semisombra estaban ubicadas en los departamentos de Cesar y La Guajira (Tabla 2), los cuales presentan un déficit hídrico marcado en algunos meses del año (Jaramillo y Arcila, 1996), que afecta negativamente la producción, adicional a las limitaciones de índole físico que exhiben los suelos de esta región, que en su mayoría son de origen ígneo y en menor grado metamórfico y sedimentario (Gómez *et al.*, 2000).

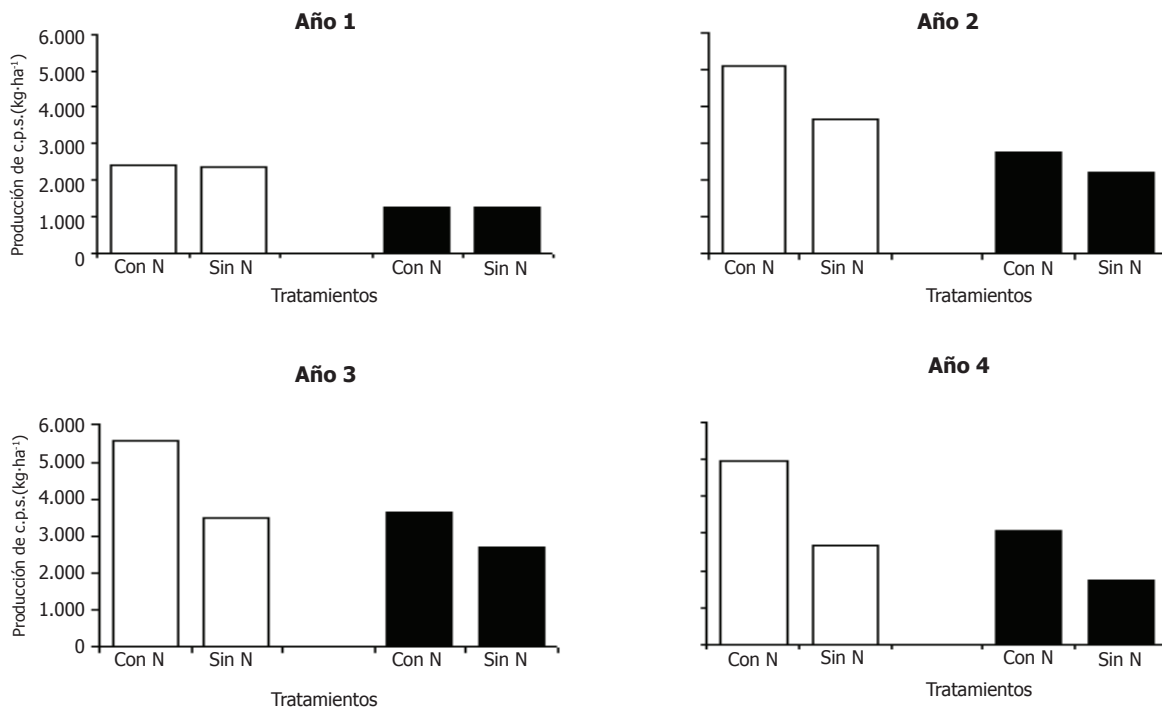


Figura 2. Producción de café pergamino seco (cps.), obtenido con y sin la aplicación de N durante cuatro años en los cafetales al sol (□) y bajo semisombra (■). Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos en el mismo sistema, según prueba t al 5%.

En el primer año no se registraron diferencias entre los tratamientos; resultado que posiblemente estaría relacionado con la baja demanda de nutrientes por la menor cosecha en este ciclo productivo y la disponibilidad de reserva de los elementos requeridos en el suelo y en la planta al iniciar el experimento. A partir del segundo año la producción en el tratamiento sin N fue menor en los dos sistemas, sólo en el último ciclo de evaluación este comportamiento no fue significativo estadísticamente bajo semisombra.

Para la primera cosecha el rendimiento relativo (RR) fue del 97% en cafetales al sol (Figura 3), lo cual significa

que al suspender el suministro de N, el promedio de la producción para los 20 sitios sólo se afectó en 3%; para el segundo ciclo de evaluación el RR se redujo a 71%; comportamiento que se conservó en los dos años siguientes, pues en el tercer ciclo el RR fue del 63% y 54% para el cuarto. En los cafetales bajo semisombra se observó una tendencia similar pero de menor magnitud, pues para el acumulado de la producción el RR en este sistema fue de 75%, frente a 67% en los cafetales al sol. Este hecho pone de manifiesto la relevancia que tiene el suministro del N en la producción de los cafetales tecnificados, en especial aquellos que se cultivan a plena exposición solar.

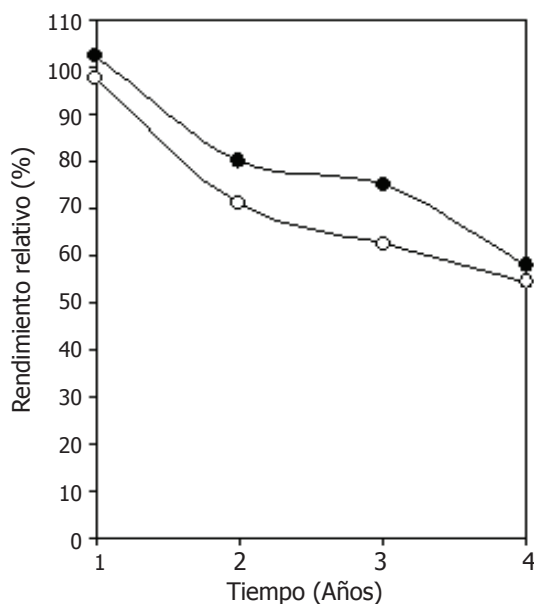


Figura 3. Rendimiento relativo a través de tiempo en los cafetales al sol (●) y bajo semisombra (○). El rendimiento relativo se calculó mediante la siguiente fórmula: $[\text{producción de café sin N} / \text{producción de café con N}] \times 100$].

Calibración de la materia orgánica del suelo como fuente de N. En los primeros dos años de evaluación no fue claro el efecto de la MO del suelo sobre el RR, en tanto que para el tercero la respuesta en los dos sistemas de manejo se ajustó a modelos cuadráticos (Figura 4). El punto de inflexión de la curva para cafetales al sol fue de 17,9% de MO y 18,5% para cafetales con semisombra, con un promedio de 18,3%. Dado que el comportamiento de la respuesta fue similar en los dos sistemas, es posible utilizar la ecuación obtenida con el fin de calibrar la respuesta de café en función de la MO como fuente de N para el conjunto de los datos y establecer los diferentes rangos de fertilidad de la MO.

No existe una norma definida para establecer las diferentes categorías de fertilidad del suelo en los estudios de calibración; en ocasiones se establecen cinco rangos (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) y en otras sólo tres (bajo, medio y alto). Cantarutti *et al.* (2007) resaltan que estas clases son subjetivas, y sugieren tener en cuenta los siguientes rangos de producciones relativas para las cinco categorías antes mencionadas: menor de 50%, entre 50 y 70%, entre 70 y 90%, entre 90 y 100%, y más de 100%, respectivamente. Puesto que el modelo obtenido en este estudio no es asintótico y el valor más alto del RR es inferior al 90%, no será posible aplicar los rangos señalados; por lo tanto, una alternativa consiste en las siguientes categorías para la MO: menor de

4,1% Muy Bajo (MB), entre 4,1 y 8,2% Bajo (B), entre 8,2 y 12,4% Medio (M), entre 12,4 y 16,8 Alto (A), y mayor de 16,8 Muy Alto (MA). Según éstos se espera que para niveles de MO iguales a 4% el R.R. sea del 20% cuando se elimina el N de los planes de fertilización, es decir que la producción se reduce en 80%; si la MO es cercana al 8% el RR será de 50% y con valores entre 16 y 20% de MO el RR alcanza su

máximo nivel (aproximadamente 80%), para luego caer. El hecho que en suelos con MO superiores a 20% disminuyera el RR, estaría sugiriendo reducción de la tasa de mineralización. Puesto que el RR nunca alcanza el 100%, se puede afirmar que siempre será necesario proporcionar N en los cafetales, pues aún con niveles óptimos de MO existe probabilidad de respuesta a su aplicación, pero de menor magnitud.

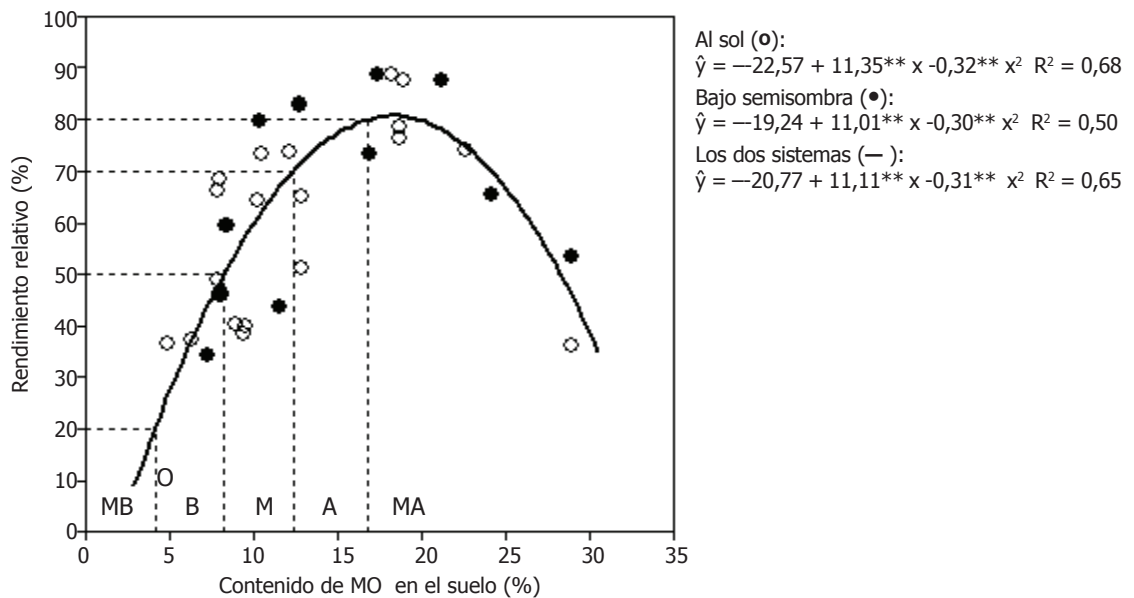


Figura 4. Relación entre el contenido de la MO del suelo y el rendimiento relativo de café al sol y bajo semisombra, obtenida en el tercer año de evaluación. La línea sólida corresponde a la ecuación para el conjunto de los dos sistemas.

Para Colombia, el ICA (1992) se basa en el piso térmico como indicador de la disponibilidad del N en función de la MO, en este sentido, para regiones de clima medio o templado (como es el caso de café), se cataloga como un nivel alto aquel suelo cuyo contenido sea mayor a 5%, límite que corresponde a los valores más bajos encontrados en este estudio. Lo anterior se debe al hecho de que la gran mayoría de los suelos en cuestión tienen origen volcánico o influencia de cenizas, resistentes a la mineralización, en respuesta a la presencia de la alofana como mineral predominante (Zech *et al.*, 1997).

los suelos donde desarrollaron los estudios de calibración, los cuales son relativamente pobres en esta propiedad. En contraposición a lo anterior otros sí la tienen en cuenta; por ejemplo, Malavolta (1993) establece las siguientes tres categorías de MO para el abonamiento modular con base en una producción esperada: menor de 1,5, entre 1,5 y 4,0, y mayor de 4,0; Prezotti *et al.* (2000) sugiere reducir la dosis de N conforme el incremento de la MO, hasta llegar a 9,4%, contenido después del cual se recomienda suspender el suministro de N, sugerencia que no tendría cabida para las condiciones similares a las que se desarrollaron este estudio.

Algunos autores de Brasil (Chaves, 2002; Raij *et al.*, 1996; Guimarães *et al.*, 1999) y Kenya (Coffee Research Foundation, 1991), no tienen en cuenta el contenido de la MO del suelo para ajustar las dosis de N en el cultivo de café. Esta recomendación puede deberse a las pocas variaciones que presentan

Efecto de la fertilización sobre los contenidos foliares de elementos. En los cafetales al sol la aplicación de N en forma de urea conllevó al incremento de las concentraciones foliares de N, Mg y Mn, mientras que las de P, K, Cu y B se disminuyeron

(Tabla 3). En las plantaciones desarrolladas bajo semisombra el efecto de la fertilización nitrogenada sólo fue significativo para Mn y B. Para el promedio de los dos sistemas, en general las tendencias fueron similares a las observadas en los cultivos a plena exposición solar. Estos resultados concuerdan con los de Valencia y Arcila (1977), quienes registraron que las aplicaciones de N al suelo aumentaban los contenidos de N y Mn en las hojas, mientras que P y B disminuían.

En cuanto al N, a pesar de haber detectado efecto de los tratamientos, la diferencia entre estos fue baja; además, en el tratamiento con N la concentración de este elemento estuvo por debajo de los rangos que normalmente se consideran adecuados para café (2,3–2,8%), (Malavolta, 1993; Valencia y Arcila, 1977), lo cual puede deberse al tiempo prolongado entre la

fertilización y el muestreo (6 meses). En un trabajo desarrollado por Prezotti y Da Rocha (2004), los tenores foliares de N también fueron poco afectados por las dosis de N aplicado; en otra investigación desarrollada por Zamora *et al.* (1988) no se hallaron diferencias significativas entre los contenidos de N foliar en los distintos tratamientos de fertilización nitrogenada. En cuanto al Mn, su incremento puede relacionarse con el aumento de la acidez generada por la aplicación de la úrea; resultados similares son mencionados por García (1983), al evaluar el efecto de diferentes niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y producción de café. Con respecto al Mg, su incremento sería consecuencia de la reducción del K foliar en respuesta a la fertilización nitrogenada; en este sentido el incremento de la concentración de K foliar se reflejó en la disminución del Mg (Figura 5).

Tabla 3. Concentración foliar de nutrientes en café como respuesta a la fertilización nitrogenada.

Nutriente	Tratamiento	Sistema				Promedio	C.V. (%)
		Al sol		Bajo semisombra			
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)		
N (%)	Con N	2,13 a	9,84	2,17 a	12,61	2,14 a	10,69
	Sin N	1,95 b	12,47	2,04 a	13,17	1,98 b	12,73
P (%)	Con N	0,16 b	21,01	0,15 a	19,53	0,16 b	20,48
	Sin N	0,19 a	22,28	0,16 a	16,23	0,18 a	22,27
K (%)	Con N	1,97 b	15,77	1,66 a	23,13	1,87 b	19,41
	Sin N	2,18 a	12,94	1,77 a	20,00	2,04 a	17,53
Ca (%)	Con N	1,10 a	23,59	1,29 a	34,33	1,16 a	28,96
	Sin N	1,12 a	18,50	1,38 a	35,21	1,20 a	28,18
Mg (%)	Con N	0,26 a	25,00	0,31 a	43,73	0,28 a	34,08
	Sin N	0,22 b	28,48	0,30 a	25,10	0,25 b	30,25
Fe (mg·kg ⁻¹)	Con N	105,60 a	29,63	137,00 a	39,81	116 b	36,48
	Sin N	121,96 a	44,05	147,42 a	41,99	130 a	43,72
Mn (mg·kg ⁻¹)	Con N	149,08 a	47,25	232,17 a	45,70	176 a	51,76
	Sin N	119,16 b	52,98	174,75 b	49,61	137 b	54,79
Zn (mg·kg ⁻¹)	Con N	8,44 a	20,26	8,75 a	18,31	8,54 a	19,44
	Sin N	8,44 a	17,47	9,08 a	23,69	8,65 a	19,88
Cu (mg·kg ⁻¹)	Con N	10,84 b	50,86	31,08 a	95,66	17,4 b	112,39
	Sin N	19,64 a	54,95	33,50 a	91,93	24,1 a	83,97
B (mg·kg ⁻¹)	Con N	48,08 b	31,75	38,58 b	38,56	45,0 b	34,66
	Sin N	64,80 a	28,80	46,83 a	33,78	59,0 a	33,12

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos en el mismo sistema, según prueba t al 5 %.

*: indica diferencias significativas frente al valor inicial, según prueba t al 5 %.

C.V.: Coeficiente de variación.

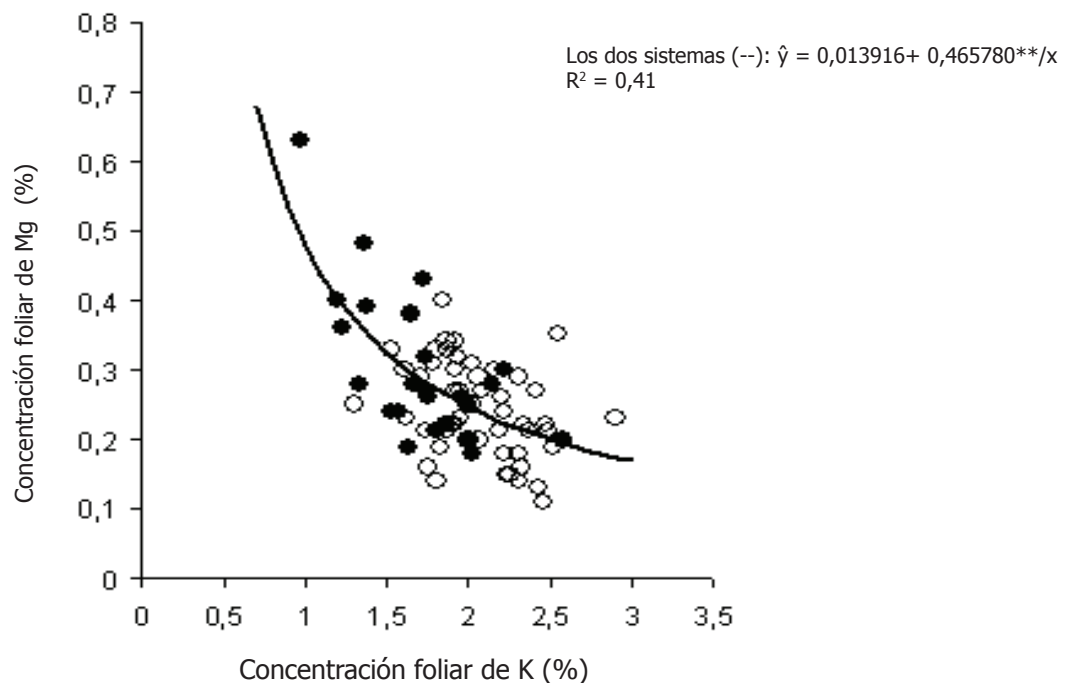


Figura 5. Concentración foliar de Mg en función de K foliar en los cafetales al sol (○) y bajo semisombra (●).

CONCLUSIONES

La relación entre el contenido del N total en el suelo y la MO se ajusta a un modelo cuadrático y tiende a ser similar en los cafetales al sol y bajo semisombra.

La residualidad del N nítrico resultante de la fertilización es inferior a seis meses.

El suministro de N vía urea contribuye a incrementar la acidez activa y a las pérdidas de K intercambiable.

Cuando se suspende el suministro de N en los cafetales jóvenes, la reducción de la producción tiende a ser pequeña en el primer año, pero conforme avanza el tiempo aumenta, hasta alcanzar niveles cercanos al 50% en el cuarto año.

La relación entre el contenido de la MO del suelo, como fuente de N, y el rendimiento relativo de café, se ajusta a un modelo cuadrático, cuyo comportamiento es similar para plantaciones al sol y bajo semisombra.

El efecto del suministro de N en las concentraciones foliares de los nutrientes es más evidente en las plantaciones al sol que semisombra; en general se

incrementan las de N, Mg y Mn y se reducen las de P, K, Cu y B.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a los propietarios de las fincas en las cuales se llevó a cabo el experimento, a los extensionistas y los líderes de extensión de los Comités Departamentales de Caldas, Cesar-Guajira: Sergio Aranada, Luis Cortés, Francisco Bustamente, Arturo Valencia, Carlos León, Roberto Mejía, Edgar de los Ríos, Jorge Paez, Flor Zuluaga, Fredy Aguirre, Felipe Toro, Milton Herrera, Gabriel García, Arturo Valencia, Armando Pavón, Víctor Pacheco, José Molina y Euder Maestre. A los Jefes de las Subestaciones Experimentales de CENICAFÉ: Juan García, John Mejía, Jorge Torres, Celso Arboleda (q.e.p.d), José Arias, José Baute, Piedad Henao, Carlos Solarte y Pedro Sánchez.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, A.A. 1997. Dinámica de la biomasa microbiana en un suelo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Trabajo de Grado de Bacteriología. Facultad de Bacteriología. Universidad Católica de Manizales, Manizales. 66 p.

- Bohn, H.L., B. McNeal and G. O'Connor. 1993. Química del Suelo. Limusa S.A., México. 370 p.
- Cantarutti, R., N. De Barros, H. Prieto e R. Novais. 2007. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. pp. 769–850. Em: Novais, R., V. Álvarez, N. Barros, R. Fontes, R. Cantarutti e J. Neves. (eds.) Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), Viçosa. 1.017 p.
- Cardona, C. y S. Sadeghian. 2005. Ciclo de nutrimentos y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de *Inga* spp. *Cenicafé* 56(2): 127–141.
- Carrillo, P. 1985. Manual de laboratorio de suelos. Cenicafé, Chinchiná, Colombia. 111 p.
- Carrillo, P. y C. Chaves. 1994. La materia orgánica y su relación con el nitrógeno. pp. 82–83. En: VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bucaramanga.
- Carrillo, P., M. Mejía y A. Franco. 1994. Manual de laboratorio para análisis foliares. Cenicafé, Chinchiná, Colombia. 52 p.
- Carvajal, C. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. Second edition. International Potash Institute, Berna, Suiza. 254 p.
- Chaves, J. 2002. Manejo do solo. Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira. Instituto Agronômico do Paraná, Londrina. 36 p. (Circular No. 120).
- Coffee Research Foundation – CRF. Ruiru. Kenya. 1991. Standard recommendations for fertilizer. Kenya Coffee 56: 1153–1160.
- Epstein, E. and A. Bloom. 2004. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Second edition. Sinauer Associates, Massachusetts. 400 p.
- Farfán, V. y M. Mestre. 2004. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. *Cenicafé* 55(2): 161–174.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FNC. 1993. Manual de uso de fotografías aéreas. Aplicación al Sistema de Información Cafetera, Bogotá. 53 p.
- García, M. 1983. Efecto de diferentes niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y producción de cafeto en una densidad de población de 7143 plantas por hectárea. pp. 96–101. En: Resúmenes de Investigación de Café 1982–1983. ISIC, San Salvador, El Salvador.
- Gómez, G., R. Caballero y R. Baldión. 2000. Ecotopos cafeteros de Colombia: zonificación agroecológica. En: Simposio sobre Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. Cenicafé, Chinchiná. 24 p.
- Guerrero, R. 2004. Propiedades generales de los fertilizantes sólidos. Cuarta edición. Monómeros Colombo Venezolanos, Bogotá. 46 p. (Manual Técnico).
- Guimarães, P., A. García, V. Álvarez, L. Prezotti, A. Viana, A. Miguel, E. Malavolta, J. Corrêa, A. Lopes, F. Nogueira e A. Monteiro. 1999. Cafeeiro. pp. 289–302. Em: Memórias. V Aproximação Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta edición. ICA, Tibaitatá, Colombia. 64 p.
- Jaramillo, R., P. Arcila. 1996. Épocas recomendables para la siembra de los cafetos. Avances Técnicos Cenicafé 229: 1–8.
- Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 631 p.
- Malavolta, E. 1993. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas econômica máximas. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 210 p.
- Paulo, E., E.J. Furlani e L. Fazuoli. 2005. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. *Bragantia* 64(3): 397–409.
- Pavan, M., J. Dias, R. Siqueira, A. Androcioli, A. Colozzi e E. Libro. 1999. High coffee population density to improve fertility of an Oxisol. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34(3): 459–465.
- Prezotti, L., A. Da Rocha. 2004. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. *Bragantia* 63(2): 239–251.
- Prezotti, L., R. Novais, V. Álvarez, R. Cantarutti e N. De Barros. 2000. Adubação e manutenção de cafezais (Sistema para recomendação de fertilizantes e

- correctivos de solo para a cultura do café arabica). pp. 125-147. In: Zambolim, L. (ed). *Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade*. Suprema Gráfica Editora, Viçosa. 396 p.
- Raij, B., H. Cantarella, J. Quaggio, e A. Furlani. 1996. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo Segunda edição*. IAC, Campinas. 100: 285. (Boletim Técnico).
- Rangel, P., C. Silva, G. Guimarães, A. Melo and C. De Oliveira Junior. 2008. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2051–2059.
- Riaño, H., P. Arcila, R. Jaramillo y C. Chaves. 2004. Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. *Cenicafé* 55(4): 265–276.
- Sadeghian, S., M. Mejía y P. Arcila. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4): 251–261.
- Sparks, D.L. 1995. *Environmental soil chemistry*. Second edition. Academic Press, Elsevier Science, California. 299 p.
- Uribe, H. and M. Mestre. 1988. Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. *Cenicafé* 39(2): 31–42.
- Uribe, H. and M. Mestre. 1976. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. *Cenicafé* 27(4): 158–173.
- Valencia, A. and P. Arcila. 1977. Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. *Cenicafé* 28(4): 119–138.
- White, R.E. 2006. *Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource*. Fourth edition. Blackwell Publishing, Victoria, Australia. 363 p.
- Zamora, Z., G. Bustamante, C. Rodríguez, O. Camejo y A. Acebal. 1988. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento, contenido foliar y rendimiento del cafeto bajo sombra. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie: Café y Cacao (Cuba)* 10(1): 7–20.
- Zapata, H.R. 2004. *Química de la acidez del suelo*. Cargraphics, Cali. 208 p.
- Zech, W., N. Senesi, G. Guggenberger, K. Kaiser, J. Lehman, T. Miano, A. Miltner and G. Schorff. 1997. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79 (1197): 117–161.