

LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE *Coffea canephora* Pierre var. Robusta EN FUNCIÓN DEL RENDIMIENTO Y ALGUNOS INDICADORES QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE SUELOS CAMBISOLES DE CUBA

A. Pérez, C. Bustamante, R. Rivera y R. Viñals

Ms.C. A. Pérez, Investigador Auxiliar de la facultad Agroforestal de Montaña, Universidad de Guantánamo; Dr.C. C. Bustamante, Investigador Titular y Ms.C. R. Viñals, Investigador Agregado de La Estación de Café y Cacao, III Frente, Santiago de Cuba; Dr.C. R. Rivera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32700

Email: aperez@fam.cug.co.cu

RESUMEN. La investigación se desarrolló desde 1996 al 2002 en plantaciones de *Coffea canephora* Pierre var. Robusta cultivadas en suelos Cambisoles en dos regiones: La Alcarraza y Tercer Frente, con el objetivo de determinar los requerimientos de N y algunos indicadores químicos (% materia orgánica, pH) y microbiológicos del suelo (respiración biológica). Se evaluaron dosis crecientes de fertilización nitrogenada en dependencia de la etapa del cultivo, que oscilaron entre 0 y 200 kg.ha⁻¹. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Para el primer año de plantado (1997), las dosis de 60 kg N.ha⁻¹ garantizaron crecimientos adecuados del diámetro de la copa, mientras que en el segundo año (1998), los requerimientos de N aumentaron y fueron necesarios 72 y 90 kg.ha⁻¹ para alcanzar el diámetro máximo estable de los cafetos en La Alcarraza y Tercer Frente, respectivamente. Las dosis de 90 kg.ha⁻¹ garantizaron rendimientos estables a partir de la segunda cosecha, con valores de 1.25 a 1.30 t café oro.ha⁻¹. Desde la tercera cosecha, los requerimientos de N se incrementaron y fueron necesarios 100 kg.ha⁻¹ para obtener rendimientos de 1.30 a 1.36 t café oro.ha⁻¹ en Tercer Frente y de 1.48 a 2.00 t en La Alcarraza. Las dosis de N recomendadas para *C. canephora* en la etapa de establecimiento y producción no provocaron efecto negativo en la respiración biológica, materia orgánica y el pH de los suelos.

Palabras clave: *Coffea canephora*, nitrógeno, respiración biológica, indicadores microbianos, pH, materia orgánica del suelo

ABSTRACT. The investigation was developed from 1996 to 2002 in *Coffea canephora* Pierre var. Robusta plantations on Cambisols in two regions: *La Alcarraza* and *Tercer Frente*, with the objective of determining N requirements as well as some soil chemical (% organic matter, pH) and microbiological (biological breathing) indicators. Growing doses of N fertilization were evaluated depending on crop stage that ranged between 0 and 200 kg.ha⁻¹. A randomized complete block design with four replicates was used. For the first year of plantation (1997), a dose of 60 kg N.ha⁻¹ guaranteed appropriate canopy diameter growths, whereas during the second year (1998), N requirements increased and were necessary 72 and 90 kg.ha⁻¹ to reach the top stable canopy diameter of coffee trees in *La Alcarraza* and *Tercer Frente*, respectively. A dose of 90 kg.ha⁻¹ guaranteed stable yields since the second harvest, with values of 1.25 to 1.30 t coffee berries.ha⁻¹. From the third harvest, N requirements increased and were necessary 100 kg.ha⁻¹ to achieve yields of 1.30 to 1.36 t coffee berries.ha⁻¹ in *Tercer Frente* and 1.48 to 2.00 t in *La Alcarraza*. The recommended N doses for *C. canephora* for the establishment and production stage did not have any negative effect on the biological breathing, organic matter and soil pH.

Key words: *Coffea canephora*, nitrogen, biological breathing, microbial indicators, pH, soil organic matter

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, la producción de *Coffea canephora* Pierre ha representado el 37 % de la producción mundial de café (1). La introducción del *C. canephora* Pierre ex Froehner var. Robusta en Cuba data de la década de los años 30 (2). En la actualidad, se cultivan aproximadamente 12.1 miles de hectáreas de la especie *C. canephora* (13 % del total del área cultivada con caféto); de ellas el 85 % se

localiza en las provincias orientales (3), con rendimientos a nivel nacional que no superan las 0.13 t café oro.ha⁻¹ (4).

El nitrógeno es el elemento que más influye en los rendimientos de los cultivos agrícolas (5, 6), en parte por las altas cantidades que se requieren, así como por lo que pudiera aportar el suelo para garantizar los rendimientos (5, 7, 8). A nivel internacional, las dosis de N para el café oscilan entre 80 y 412 kg.ha⁻¹.año⁻¹ y dependen fundamentalmente del nivel de rendimiento obtenido (7, 8, 9, 10).

Las investigaciones en Cuba sobre el uso del fertilizante nitrogenado en el café se han caracterizado por enfocar los aspectos más apremiantes: obtención de dosis; fraccionamiento más adecuado, establecimiento de métodos de diagnóstico y participación del N del fertilizante y el suelo en la nutrición de las plantas.

Desde el punto de vista de la nutrición de la especie *Coffea canephora*, se ha manejado según lo orientado para *Coffea arabica* (11), sin tener en cuenta las características específicas de esta especie (porte diferente, capacidad de formar múltiples tallos, sembrarse a densidades más pequeñas, condiciones de suelos diferentes), por lo que se hace necesario establecer el manejo específico de la fertilización nitrogenada para esta especie cultivada en suelos Cambisoles.

Por estas razones y unido con lo incipiente de las investigaciones relacionadas al respecto en la especie *C. canephora* Pierre var. Robusta en Cuba, se realizó esta investigación, con el objetivo de determinar los requerimientos de N para la fase de establecimiento y producción de *C. canephora* cultivado sobre suelos Cambisoles en función del rendimiento, teniendo en cuenta algunos indicadores químicos y microbiológicos del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales generales. Desde 1996 al 2002 se llevaron a cabo investigaciones, con el objetivo de determinar las necesidades anuales de fertilizantes nitrogenados y algunos indicadores químicos y microbiológicos del suelo. El café se sembró en mayo de 1996 en Tercer Frente y en diciembre del mismo año en La Alcarraza, con un marco de plantación de 3 x 2 m para una densidad de 1666 plantas.ha⁻¹.

Caracterización de las localidades donde se desarrollaron los experimentos. Algunas propiedades de los suelos se presentan en la Tabla I.

- *Tercer Frente:* situada en el Tercer Frente, Santiago de Cuba, a una altura de 150 m.snm; temperatura media anual (promedio de 10 años): 25.5°C; precipitación (promedio de 10 años): 1446-1640 mm y 114 días de lluvia; vegetación predominante: *Samanea saman* (Jacq) Merrill; tipo de suelo: Cambisol eútrico, que se corresponde con un Pardo ócrico sin carbonatos (12).
- *La Alcarraza:* situada en Sagua de Tánamo, Holguín, a una altura de 300 m snm; temperatura media anual (promedio de 10 años): 24.1°C; precipitación (promedio de 10 años): 1588.5-1922 mm y 120 días de lluvia; vegetación: *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp; tipo de suelo: Cambisol eútrico-stagrico, que se corresponde con un Pardo gleyzoso sin carbonatos (12).

Tabla I. Principales características químicas (0.30 cm) de los suelos bajo estudio.1996

Suelos	pH	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg.100 ⁻¹)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CIC (cmol.kg ⁻¹)
				(cmol.kg ⁻¹)			
Cambisol eútrico	6.3	2.54	8.7	0.19	32.3	11.8	44.6
Cambisol eútrico-stagrico	5.8	2.07	9.72	0.21	21.4	13.8	34.7

Determinaciones químicas: pH H₂O potenciómetro, MO (materia orgánica): Walkley Black, P₂O₅ Oniani, Cationes NH₄Ac pH 7. CIC: Capacidad de intercambio catiónico

Se estudió la respuesta de diferentes dosis de fertilización nitrogenada en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro réplicas. Los tratamientos estudiados se observan en la Tabla II. Las parcelas experimentales estuvieron compuestas por cuatro hileras de siete plantas cada una; de ellas las cinco centrales se consideraron como área de cálculo.

En 1996, el nitrógeno se fraccionó al 50 % en dos aplicaciones anuales para la localidad del Tercer Frente y se utilizó la dosis completa correspondiente en La Alcarraza. En 1997, se fraccionó al 33 % (junio, agosto y octubre) en ambas localidades. En 1998, las condiciones climáticas permitieron hacer dos aplicaciones (julio y octubre). En 1999, se aplicó al 33% (abril, julio y octubre) de la dosis del año, el resto de los años se realizó al 50 % en junio y octubre para cada sitio experimental. De fondo se aplicó fósforo en dosis de 40 kg.ha⁻¹.año⁻¹ y el potasio a razón de 160 kg K₂O.ha⁻¹.año⁻¹. Como portadores se utilizaron la urea, el superfosfato sencillo y el cloruro de potasio, respectivamente.

Tabla II. Esquema de fertilización nitrogenada (kg.ha⁻¹.año⁻¹)

Niveles	Primer ciclo productivo		
	1 ^{er} año	2 ^{do} año	3 ^{ero.} , 4 ^{to} , 5 ^{to} año
N ₀	0	0	0
N ₁	30	45	50
N ₂	60	90	100
N ₃	90	135	150
N ₄	120	180	200

Determinación de algunos indicadores químicos y microbiológicos del suelo. Se tomaron muestras de suelo de la rizosfera de seis plantas a la profundidad de 0–30 cm por 10 cm de diámetro en cada tratamiento y dentro de la banda de fertilización, las cuales se mezclaron entre sí para formar una muestra compuesta.

Método para determinar la respiración biológica. En el 2000 y 2001, en el Tercer Frente, las determinaciones se hicieron a partir del sistema de frasco cerrado por humedecimiento de 25 g de suelo al 60 % de la capacidad máxima de retención de humedad (13) y la del CO₂ se realizó al cabo de 24 horas de incubación a 30°C (14).

Para cuantificar la respiración biológica (Rbc) se utilizó la fórmula siguiente (15):

$$Rbc \text{ (mg CO}_2\text{.g}^{-1} \text{ suelo)} = \frac{(K-M) \times 2.2 \times V_t}{P_1 V_1}$$

Donde:

K: mL de HCl 0.1N gastado por el control

M: mL de HCl 0.1N gastado por la muestra

2.2. mg de CO₂ que se desprenden con 1 mL de HCl 0.1N

V_t: cantidad de solución colectora

P₁: Peso de la muestra

V₁: mL que se escoge de la solución colectora para valorar 5 mL

Métodos de determinación del pH y la materia orgánica del suelo. De igual forma, se determinó el efecto de la fertilización sobre la materia orgánica (%) por el método de Walkley-Black en 1996, 1998 y 2001, y el pH (H₂O) por el método potenciométrico, en la relación suelo:solución de 1:2.5 durante el 1998, 1999 y 2001.

Determinación morfológica. El diámetro de la copa (cm) se evaluó a los 12 y 24 meses después de plantado el cafeto en ambas localidades. Esta variable se utilizó como un indicador de respuesta de la planta a la fertilización, pues en los dos primeros años no hay rendimientos agrícolas y fue necesario determinar la dosis óptima de fertilización.

Producción. Cada año se cosecharon los frutos maduros de cada parcela, se pesaron (kg) y se extrapolaron los resultados a tonelada de café oro por hectárea (t café oro.ha⁻¹).

Procesamiento de datos. La interpretación de los datos de la respuesta al fertilizante nitrogenado se realizó según el modelo discontinuo rectilíneo (16). Para la valoración del pH y la materia orgánica se

realizaron análisis de varianza y se hizo análisis de regresión entre la respiración biológica y las diferentes dosis de N aplicadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento del cafeto en dependencia de los niveles de nitrógeno aplicados al suelo. Para el primer año de plantado (1997) en Tercer Frente y La Alcarraza, las dosis de 60 kg.ha^{-1} garantizaron crecimientos estables del diámetro de la copa, con valores entre 50 y 55 cm. En el segundo año (1998), los requerimientos aumentaron y fue necesario aplicar 72 kg.ha^{-1} en La Alcarraza y 90 kg.ha^{-1} en Tercer Frente, para alcanzar crecimientos estables de diámetro de la copa (Figura 1). Estos resultados fueron similares a los obtenidos en La India, donde se recomiendan 80 kg.ha^{-1} para garantizar un adecuado crecimiento y productividad de *C. canephora* (17).

En Costa de Marfil, se encontró una respuesta lineal en la altura y el diámetro de la copa de esta especie, al estudiar niveles de N hasta de 100 kg.ha^{-1} (18), mientras que en Uganda, no se pudo establecer una curva de respuesta; sin embargo, se reafirmó que es económicamente rentable la aplicación de N al cafeto Robusta (19).

Los requerimientos de N por *Coffea canephora* Pierre en el primer y segundo años fueron inferiores a las necesidades de *Coffea arabica* L. de similar edad (100 kg.ha^{-1}) para suelos Pardos (20), lo cual sugiere las ventajas de esta especie en sus menores necesidades de nutrientes, para lograr un óptimo crecimiento en la fase de establecimiento de la plantación.

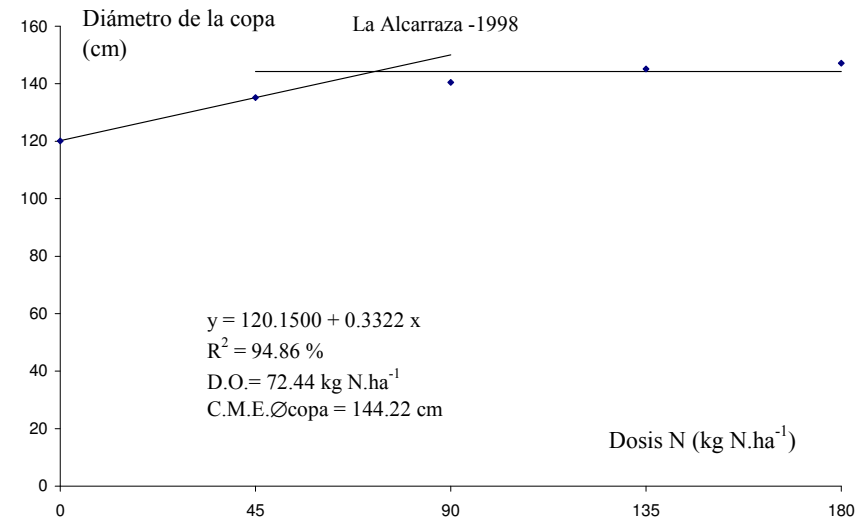
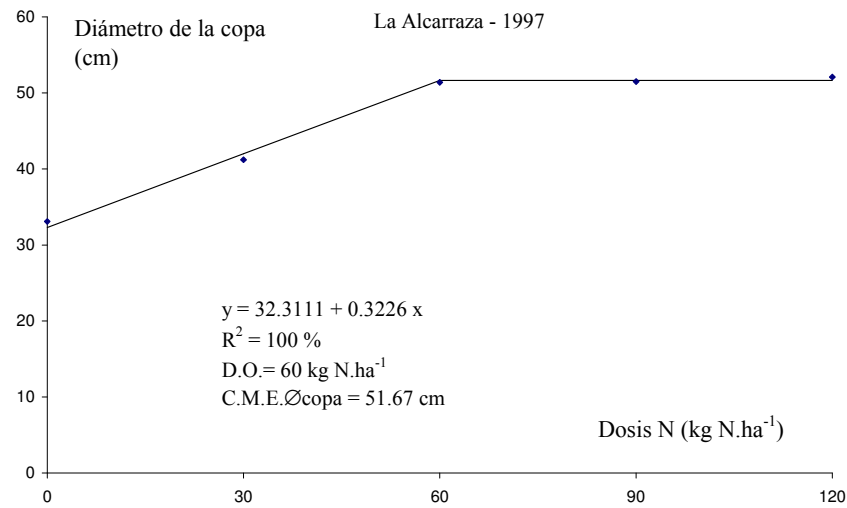
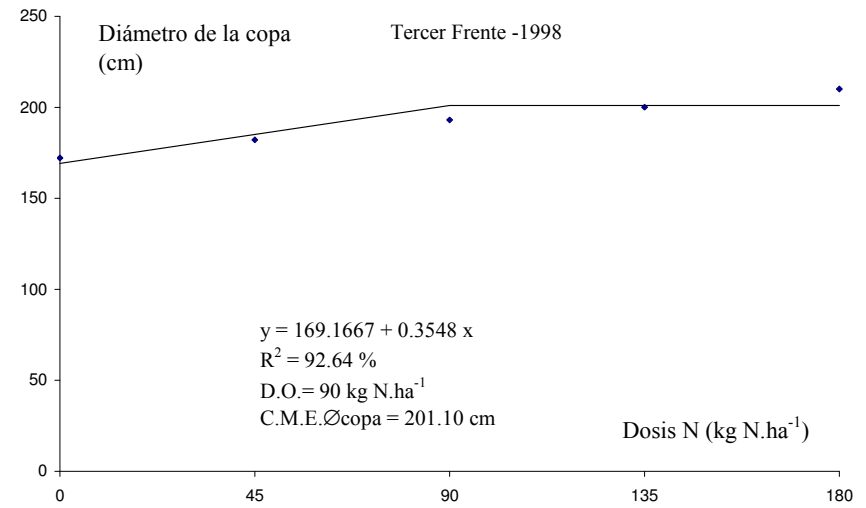
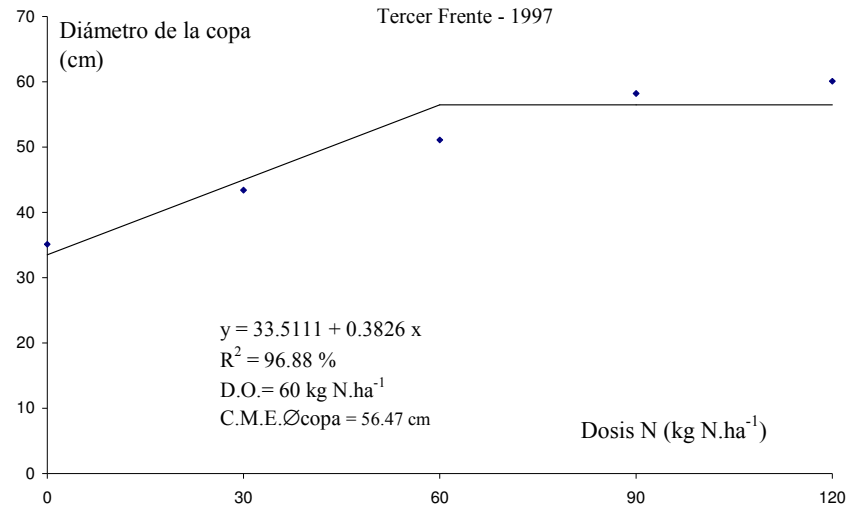


Figura 1. Efecto del N sobre el diámetro de la copa de *Coffea canephora* en ambos sitios experimentales. DO dosis óptima de fertilización nitrogenada para lograr un crecimiento estable de la variable analizada. CMEØcopa: crecimiento máximo estable del diámetro de la copa

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de C. canephora. Se observó relación entre el rendimiento del café obtenido en los diferentes años y la dosis de fertilizantes aplicada. En la primera cosecha (1999), las dosis de 90 kg.ha⁻¹ garantizaron rendimientos máximos estables entre 0.25 y 0.85 t café oro.ha⁻¹, superiores a lo alcanzado como media nacional para la especie *C. canephora* var. Robusta (0.13 t café oro.ha⁻¹) sin aplicación de N (4). En la segunda cosecha se mantuvo el mismo requerimiento (90 kg.ha⁻¹) para ambas localidades, pero los rendimientos se elevaron a 1.25 y 1.30 t café oro.ha⁻¹ en Tercer Frente y La Alcarraza, respectivamente (Figuras 2 y 3).

A partir de la tercera cosecha, los requerimientos se incrementaron y fueron necesarios 100 kg.ha⁻¹ para rendimientos estables de 1.36 t café oro.ha⁻¹ en Tercer Frente y entre 1.48 y 2.00 t en La Alcarraza (Figuras 2 y 3).

Una fertilización adecuada confiere a las plantas de *Coffea canephora* mayor productividad, mejor calidad de los frutos y mayor tolerancia a plagas y enfermedades (21). En Venezuela, se estableció que incluso en vivero, dosis bajas de N fueron suficientes para llevar a las posturas de *Coffea arabica* a buen término previo a su plantación (22).

Los suelos Cambisoles donde se condujeron las investigaciones fueron de media fertilidad, con características similares, por lo que la fertilización nitrogenada realizada favoreció las exigencias nutricionales de *C. canephora*, al obtenerse rendimientos a partir de la tercer cosecha por encima de 1 t café oro.ha⁻¹. En el caso del N, la mineralización de la materia orgánica de los suelos dedicados al café en Cuba resulta, de forma general, insuficiente para garantizar las altas exigencias del cultivo y como resultado la respuesta a la fertilización nitrogenada será positiva (7). Al respecto, se informa que si no se aplica N, la producción puede reducirse a menos de la mitad, cuando el contenido de materia orgánica sea menor del 8 % (23).

La no existencia en el suelo de desbalances nutricionales debido a la fertilización realizada, implicó que las diferencias en los rendimientos de *C. canephora* alcanzados en condiciones de pre-montaña, al parecer estuvieron influidas por los factores climáticos existentes en cada localidad. Así, en La Alcarraza las condiciones fueron más favorables para el desarrollo de la especie, al existir menor temperatura ambiente (24.1°C), precipitaciones entre 1588.5 y 1950 mm, con 120 días de lluvia (promedio de 10 años). En Tercer Frente, las temperaturas medias fueron más altas (25.5 °C), con menores precipitaciones (1446-1640 mm) y 114 días de lluvia.

Un déficit hídrico en el café produce una disminución en los rendimientos y en la tasa neta de asimilación de carbono de esta especie, independientemente de las dosis de fertilizante nitrogenado recibidas (24).

En el continente africano, las formas más comunes de *C. canephora* aparecen en regiones de baja altitud, con precipitaciones de 1 500 a 1 800 mm anuales (19). La precipitación media anual requerida por el café oscila entre 1800 y 2000 mm, distribuidos a través del año, con un período de sequía relativa de dos a tres meses. Las temperaturas y precipitaciones son los factores climáticos que más afectan el cultivo (25).

En La Alcarraza, en el 2002, a pesar de encontrarse respuesta positiva a la fertilización nitrogenada, se evidenció un descenso en los rendimientos en cada uno de los tratamientos, debido probablemente a las características propias del café y la alternancia en la producción, independientemente del nivel nutricional del suelo.

En condiciones de altas temperaturas y con fuerte luminosidad, se promueven mayores floraciones y fructificación, con un intenso ritmo de transportación de nutrientes hacia los frutos, lo cual, de forma general, conduce inicialmente a una defoliación, que será más extrema en la medida que la producción potencial fuera más alta y que con posterioridad puede originar un cese del crecimiento vegetativo (7), lo que conlleva a la alternancia en la producción, aún sin desbalances nutricionales.

Si se comparan estos resultados con los obtenidos en *Coffea arabica* durante dos ciclos productivos en suelos Pardos, las dosis de $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ solo garantizaron rendimientos anuales de $1 \text{ t café oro}\cdot\text{ha}^{-1}$ (7). Esto sugiere que la especie *Coffea canephora* es capaz de producir con mayor eficiencia y con igual dosis de N en condiciones de pre-montaña, indicativo de mejor adaptación para aquellas zonas consideradas como marginales para *C. arabica*.

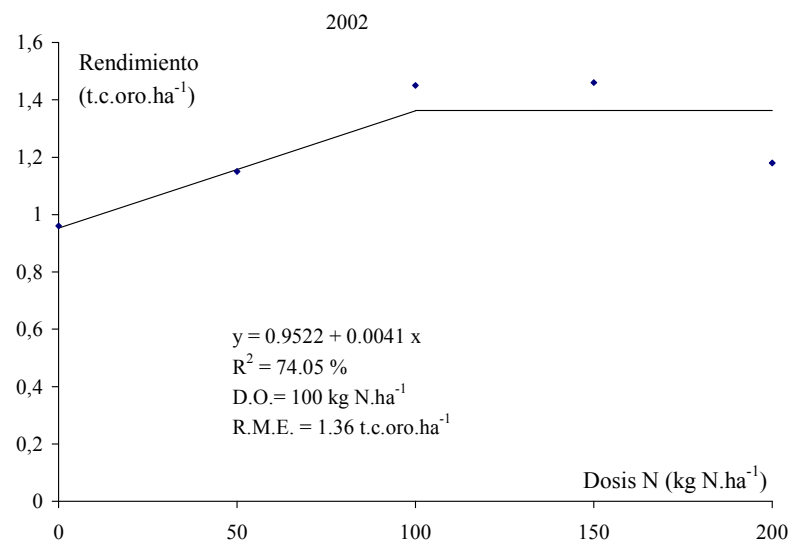
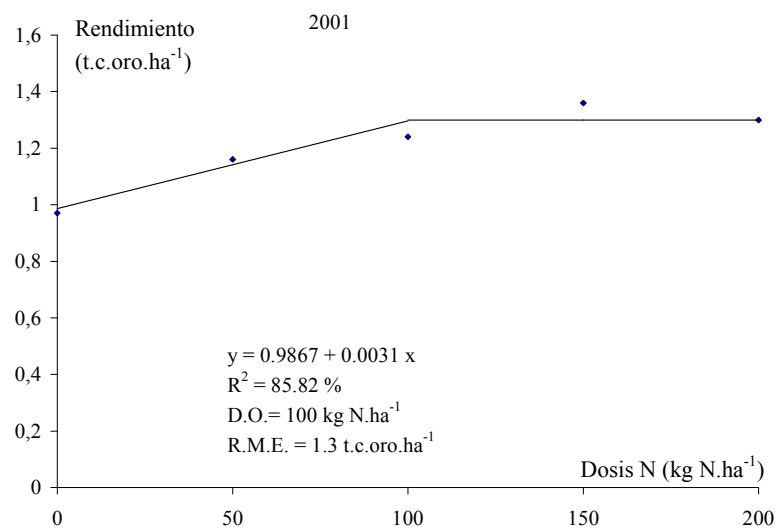
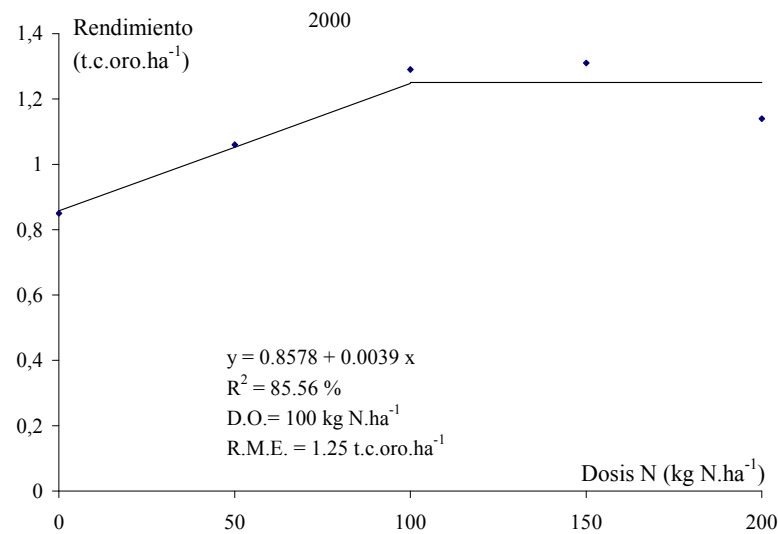
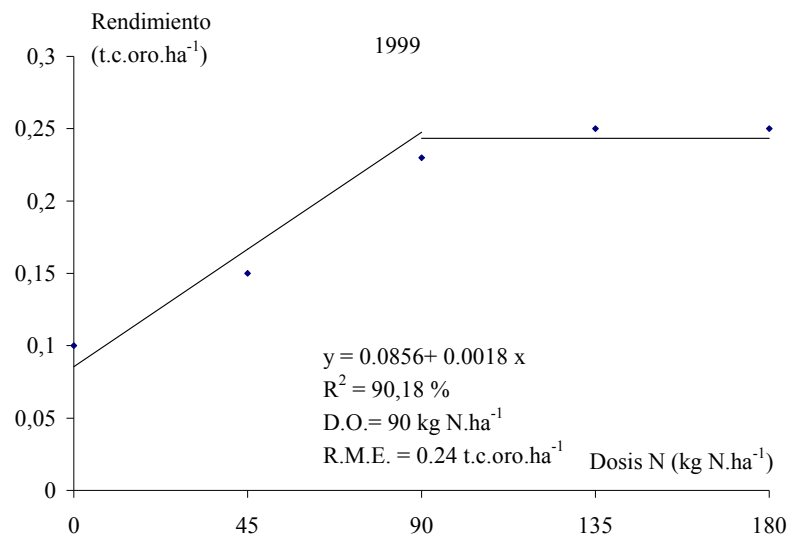


Figura 2. Respuesta de *Coffea canephora* a la fertilización nitrogenada en el primer ciclo del cultivo. Tercer Frente. DO Dosis óptima recomendada. RME Rendimiento máximo estable

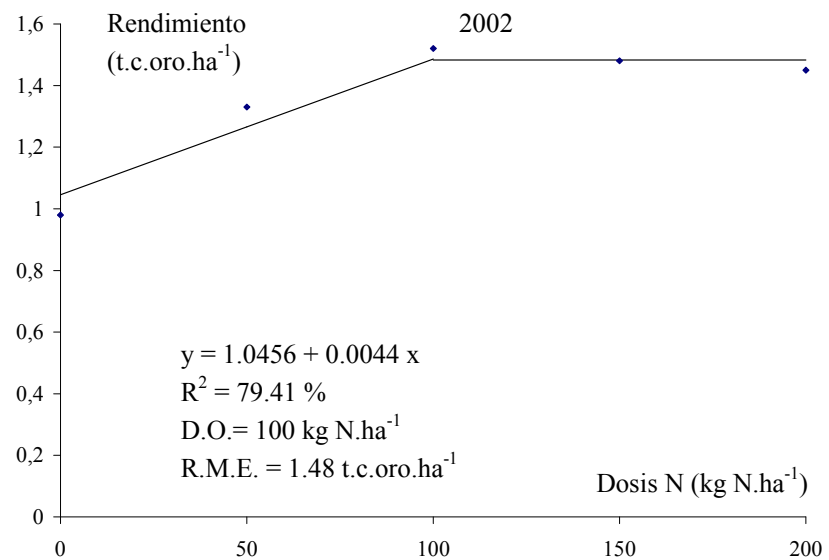
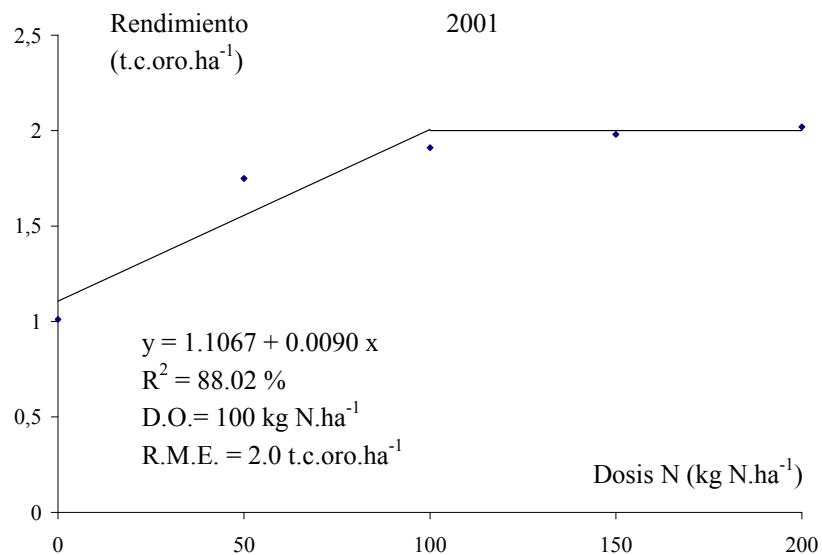
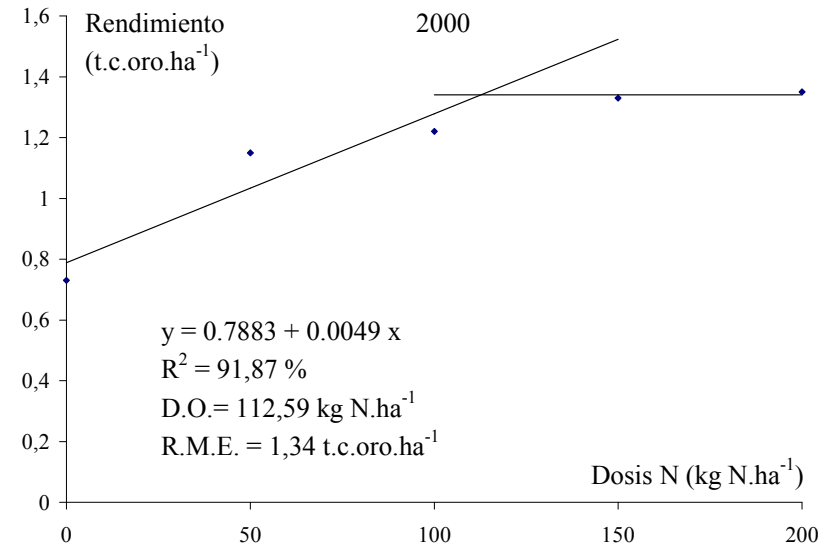
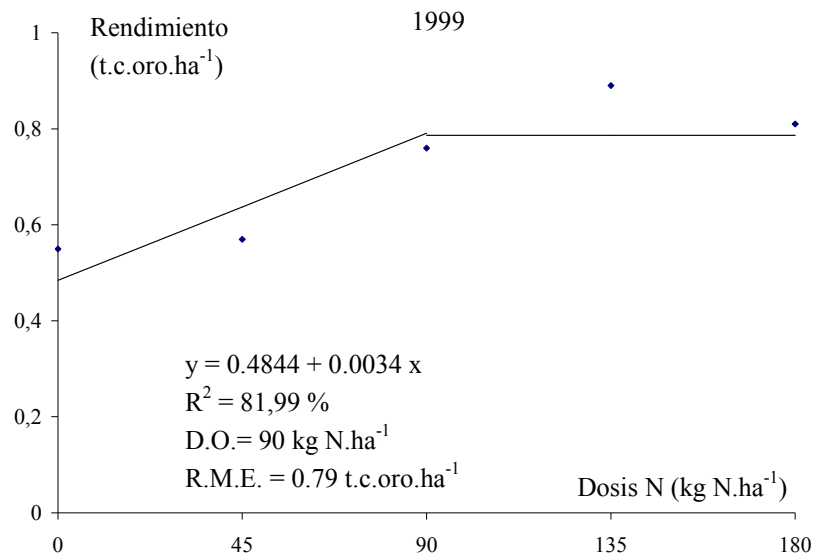


Figura 3. Respuesta de *Coffea canephora* a la fertilización nitrogenada en el primer ciclo del cultivo. La Alcarraza. DO Dosis óptima recomendada. RME Rendimiento máximo estable

Efecto del N sobre algunos indicadores químicos y microbiológicos del suelo

- Respiración biológica del suelo. Sitio Tercer Frente

Uno de los efectos encontrados al evaluar este indicador fue la respuesta de la microflora edáfica a la fertilización nitrogenada en comparación con el testigo (Tabla III). Esto evidenció la existencia en este agroecosistema de cantidades importantes de microorganismos y reservas energéticas de la materia orgánica proveniente del propio suelo y la hojarasca, que permitieron sustentar el metabolismo microbiano para poder degradar fuentes orgánicas externas. En los agroecosistemas cafetaleros de la región oriental de Cuba, se ha reportado abundante microflora edáfica asociada a la rizosfera del café (26, 27).

Sin embargo, la intensidad de esta respuesta dependió de la dosis de N aplicada; así, dosis de 150 kg.ha⁻¹ favorecieron este indicador, pero se deprimió con el incremento hasta de 200 kg.ha⁻¹ (Tabla III).

Tabla III. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la respiración biológica del suelo (mg CO₂.g⁻¹ suelo). Sitio Tercer Frente

Dosis	2000	2001
N0	60,1 d	70,13 c
N1	67,73 c	73,36 c
N2	76,66 b	82,21 b
N3	97,41 a	98,83 a
N4	58,11 d	48,83 d
Es χ	1,10 *	1,13 *

* Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para $p < 0.05$

N₀ (0 kg.ha⁻¹); N₁ (50 kg.ha⁻¹); N₂ (100 kg.ha⁻¹); N₃ (150 kg.ha⁻¹); N₄ (200 kg.ha⁻¹)

En estudios realizados en cítricos cultivados sobre suelo Ferralítico Rojo, dosis superiores a 100 kg.ha⁻¹ resultaron perjudiciales para la microflora y sus actividades en el suelo, por lo que se recomendó aplicar esta cantidad para lograr un mejor equilibrio biológico, mejorar la fertilidad del suelo y obtener mayores rendimientos (28). Una fertilización racional no solo incrementará los rendimientos de los cultivos, sino además los retornos de C y N orgánico al suelo, como sustrato para el crecimiento de las poblaciones microbianas edáficas (29).

Si se relaciona la actividad respiratoria del suelo y la dosis óptima de N recomendada en el 2001 en el sitio Tercer Frente, la dosis propuesta (100 kg.ha⁻¹) garantizó rendimientos estables de 1.3 t café oro.ha⁻¹ y no afectó la respiración biológica del suelo.

- Efecto del N sobre el pH

Como tendencia se encontró descenso del pH del suelo a medida que aumentaron las dosis en los tres años evaluados, la cual se acentuó en el 2001 con la aplicación de 200 kg.ha⁻¹ (Figura 4). La rápida hidrólisis de la urea en el suelo produce disminución del pH alrededor del gránulo y facilita la formación de NH₃ a partir del amonio (NH₄⁺), producto de la primera reacción de la urea y la liberación de H⁺ (6, 30), aspecto que se acentuará en la medida que las dosis de N en forma de urea sean mayores.

No obstante, los valores de pH luego de la fertilización nitrogenada con el tratamiento N₂ (60-100 kg.ha⁻¹) se encontraban dentro del rango establecido para el café (31).

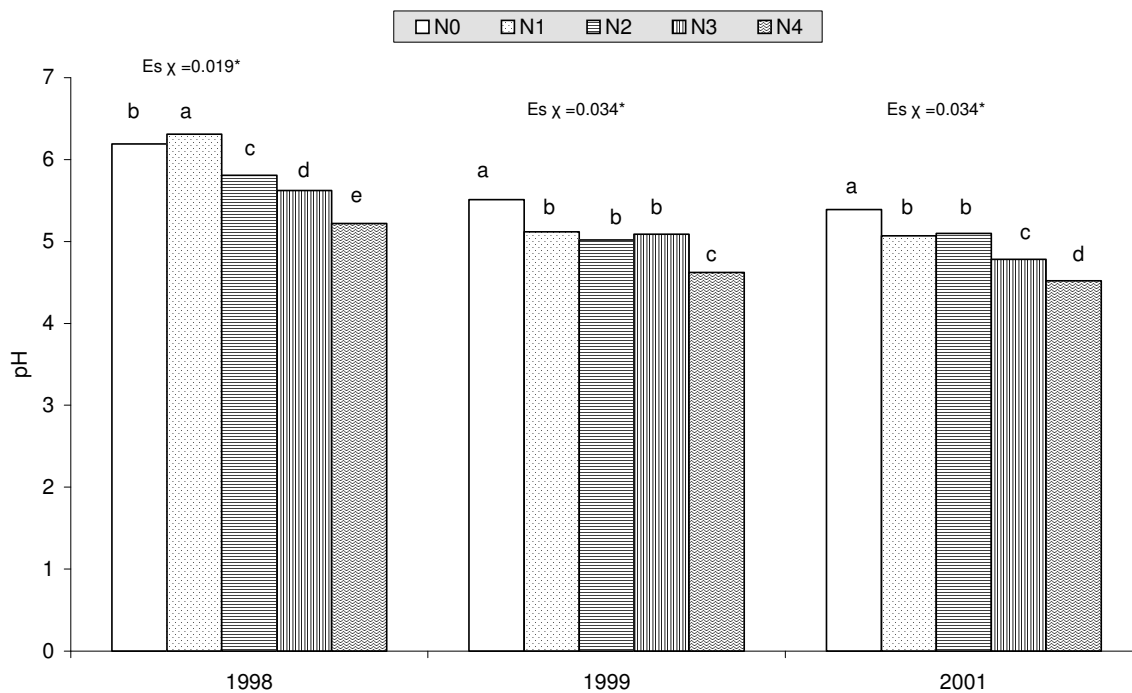


Figura 4. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el pH del suelo. Sitio Tercer Frente N₀ (0 kg.ha⁻¹); N₁ (50 kg.ha⁻¹); N₂ (100 kg.ha⁻¹); N₃ (150 kg.ha⁻¹); N₄ (200 kg.ha⁻¹). Medias con letras iguales dentro de cada año no difieren significativamente según prueba de Duncan (p<0.05)

Las propiedades químicas de los suelos no suelen variar con la misma facilidad que sus propiedades biológicas y dependen del tipo del suelo y el manejo que realiza el hombre (32).

En estudios realizados sobre las características del suelo en diferentes agroecosistemas de Colombia, se encontró mayor acidez en cafetales tecnificados frente al tradicional, tendencia que fue relacionada con una mayor dosis de N (33). En La Alcarraza se encontró un efecto similar en la evaluación realizada en el 2001 (Figura 5).

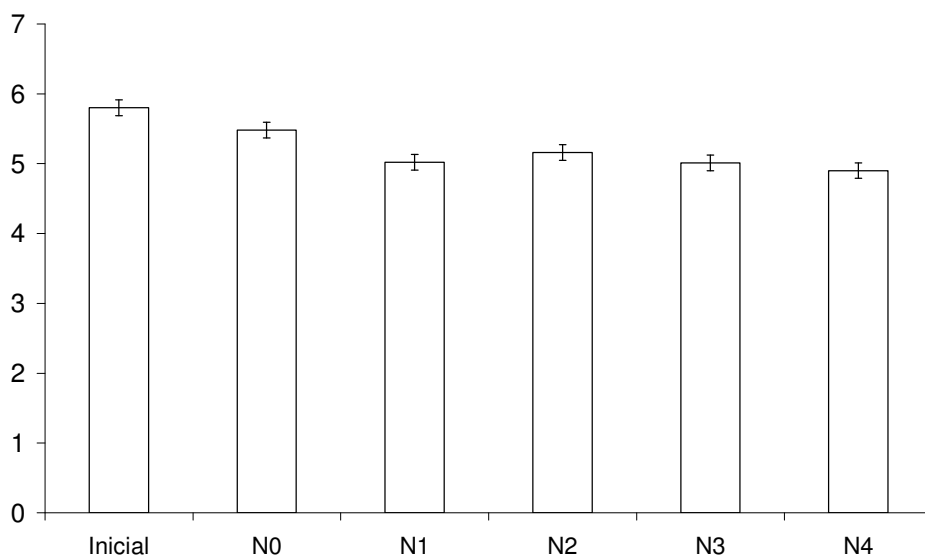


Figura 5. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el pH del suelo. Sitio La Alcarraza. 2001 N₀ (0 kg.ha⁻¹); N₁ (50 kg.ha⁻¹); N₂ (100 kg.ha⁻¹); N₃ (150 kg.ha⁻¹); N₄ (200 kg.ha⁻¹). Las barras verticales representan los intervalos de confianza de las medias

- Efecto del N sobre la materia orgánica del suelo

El efecto de la fertilización nitrogenada aplicada al café sobre la materia orgánica del suelo varió por tipo de suelo (Tabla IV). No se observaron efectos en Tercer Frente, mientras que en La Alcarraza, después de cinco años de aplicaciones de fertilizantes, se observó que la dosis N4 presentó una tendencia a disminuir los contenidos de materia orgánica del suelo.

Tabla IV. Efecto de las dosis de N en la materia orgánica (%) del suelo

Dosis	Tercer Frente			La Alcarraza		
	Inicial	1998	2001	Inicial	1998	2001
N0	2.78	2.28	4.86	3.13	2.65	2.88 a
N1	3.03	3.03	4.54	3.23	2.7	2.92 a
N2	2.66	3.49	5.13	2.71	2.58	3.09 a
N3	2.71	3.08	4.73	3.18	2.60	2.61 a
N4	3.00	3.00	4.46	2.94	2.62	1.65 b
Esx	0.31 N.S.	0.25 N.S.	0.19 N.S.	0.26 N.S.	0.20 N.S.	0.24 *

Inicial: N₀ (0 kg.ha⁻¹); N₁ (30 kg); N₂ (60 kg); N₃ (90 kg); N₄ (120 kg.ha⁻¹)

1998 N₀ (0 kg.ha⁻¹); N₁ (45 kg); N₂ (90 kg); N₃ (135 kg); N₄ (180 kg.ha⁻¹)

2001 N₀ (0 kg.ha⁻¹); N₁ (50 kg); N₂ (100 kg); N₃ (150 kg); N₄ (200 kg)

Medias con letras diferentes en cada columna difieren significativamente, según prueba de Duncan (p<0.05)

Esto pudo estar influido por el aporte de hojarasca no solo del café sino también de los árboles leguminosos que se utilizan como sombra, lo que permite que en los agroecosistemas cafetaleros existan suficientes reservas energéticas para mantener la actividad microbiana del suelo (3).

Es importante señalar que los indicadores han sido empleados individualmente, para evaluar el estado de fertilidad o deterioro del suelo y estudiar el efecto del factor antropogénico sobre el sistema suelo-planta (34, 35, 36).

Recomendación de dosis de N para la fase de establecimiento y producción de C. canephora cultivado sobre suelos Cambisoles en función del rendimiento y los indicadores de calidad del suelo. De manera general, los requerimientos de N de la especie *C. canephora* var. Robusta, cultivada en suelos Pardos en su primer ciclo productivo, tuvo un comportamiento diferenciado entre la fase de establecimiento y producción.

Para el primer año después de la siembra, la dosis de 60 kg.ha⁻¹ y entre 72 y 90 kg.ha⁻¹ para su segundo año mantuvo un crecimiento estable del diámetro de la copa de los cafetos (Tabla V). Estos resultados establecen las dosis de N necesarias para el establecimiento de *C. canephora* con un ahorro de N, según lo recomendado para *C. arabica* cultivado en suelo Pardos, donde se propuso 100 kg.ha⁻¹ para el primer y segundo años (20).

Tabla V. Recomendación de N (kg.ha⁻¹) para suelos Cambisoles cultivados con *Coffea canephora* var. Robusta en la fase de establecimiento y producción

Tipo de suelo	Establecimiento		Producción (primer ciclo)			
	1 ^{er} año	2 ^{do} año	1 ^{era}	2 ^{da}	3 ^{era}	4 ^{ta}
Cambisol eutric	60	90	90	90	100	100
Cambisol eutric- stagric	60	72	90	90	100	100

Cambisol eutric se corresponde con un Pardo ócrico sin carbonatos

Cambisol eutric-stagric se corresponde con un Pardo gleizoso sin carbonatos

En la fase de producción (primer ciclo), las dosis de 90 kg.ha⁻¹ garantizarán rendimientos entre 1.25 y 1.30 t café oro.ha⁻¹. Para rendimientos estables del orden de 1.36-2.0 t café oro.ha⁻¹, es necesario aplicar 100 kg.ha⁻¹.

Estos requerimientos del cultivo para su primer ciclo productivo no afectaron la respiración biológica, la materia orgánica y el pH del suelo durante el período que duró la investigación.

Las dosis recomendadas para la especie *C. canephora* se encuentran dentro del rango establecido al nivel nacional e internacional para el cultivo del cafeto, que oscilan entre 80 y 412 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (6, 7, 9).

REFERENCIAS

1. DaMalta, F. y Rodríguez, N. Producción sustentable de cafetales en sistemas agroforestales del geotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, 2007, vol. 25, no. 1, p. 113-128.
2. Díaz, W., Vázquez, E., Molina, G., Reyes, R. Manejo de la poda quinquenal de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner en la zonas cafetaleras oriental de Cuba. En: III Simposio Internacional de Café y Cacao. Programa y Resúmenes. Santiago de Cuba. ECICC. 2005.
3. Bustamante, C. La fertilización de *Coffea canephora* en Cuba. El cultivo del cafeto en Cuba. Investigaciones y resultados. 2006, p. 500.
4. Blanco, A. Manejo de la sombra en la regeneración de la variedad Robusta (*Coffea canephora* Pierre). Su influencia en el desarrollo vegetativo y la producción de café oro/A. Blanco. Tesis de grado (Doctor en Ciencias Agrícolas), UNAH. 2005, 100 p.
5. Dos Reis, A. R.; Furlani, E.; Buzetti, S. y Andreotti, A. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*, 2006, vol. 65, no. 1, p. 163-171.
6. Leal, L.; Salamanca, A. y Sadeghian, S. K. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Informaciones Agronómicas*, 2009, no. 74, p. 1-5.
7. Rivera, R. Nutrición y fertilización de *Coffea arabica* en Cuba. En: R. Rivera, F. Soto editores. El cultivo del cafeto en Cuba. Investigaciones y resultados, 2006. p.500.
8. Silva, A. da; Arf, O.; Buzetti, S. y Silva, M. da. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008, vol. 32, p. 2717-2722, número especial.
9. Santana, M. Fijación biológica de nitrógeno por leguminosas arbóreas para sombra de café en Puerto Rico. Tesis en opción al grado de Maestría en Ciencias en Agronomía. Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüey. 2007, 70 p.
10. Sadeghian, K. S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía Práctica. *Boletín Técnico Cenicafé*, 2008, vol. 32, p. 1-43.
11. Bustamante, C.; Viñals, R.; Pérez, A.; Rodríguez, M. y Araño, L. Fertilización mineral y uso de abono verde en *Coffea canephora* Pierre ex-Froehner cultivado bajo poda sistemática en los macizos montañosos de la Sierra Maestra y Sagua-Nipe-Baracoa. Informe Final de Proyecto Nacional 07.03.087. Documento Interno. Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao. 2009, 90 p.
12. Hernández, A., Ascanio, M. O., Cabrera, A., Morales, M. y Medina, N. Nuevos aportes a la clasificación de suelos en el ámbito nacional e internacional. En: Problemas actuales de la clasificación de suelos: Énfasis en Cuba. Veracruz: Universidad Veracruzana. México. 2003, 130 p.
13. Forster, J. C. Soil physical analysis. Determination of the gravimetric water content and soil dry mass. En: Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Ed. Kassem Alef and Paolo Nannipieri, Chapter 3, 1995, p. 105-116.
14. Dommergues, Y. La notion de coefficient de mineralization du carbone dans les sols. Un exemple d'utilisation des techniques biologiques. *Agron. Trop.*, 1960, vol. 1, no. 1, p. 54-60.
15. Calero, B. J.; Guerrero, A.; Alfonso, C. A.; Somoza, V. y Camacho, E. Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. *La Ciencia y el Hombre*, 1999, vol. 11, p. 89-94.

16. Waugh, D. L.; Cate, R. B. Jr. y Nelson, L. A. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelo y la respuesta a la fertilización. Boletín Técnico. Proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo. North Carolina State University. 1972, 106 p.
17. Jayarama, R. P.; Alwar, A.; Naidu, R. Latest concept of fertiliser usage in coffee plantations with respect to nitrogen, phosphorus and potassium. *Indian Coffee*, 1994, vol. 58, no. 9, p. 9-12.
18. Oliveira, J. A.; Matiello, J. B.; Pinheiro, M. R. y Santinato, R. Primeiras observações sobre adubação NPK em cafetos Conilon en el estado Rio de Janeiro. En: 8vo Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Resumos. Campos do Jordão: IBC. 1980, p. 395–398.
19. Kibirige-Sebunya, I.; Nabasirye, M.; Matovu, J. y Musoli, P. A comparison among various Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre) clonal materials and their seedling progenies at different levels of nitrogen. *Uganda Journal of Agricultural Science*, 1993, vol. 1, no. 1, p. 5–12.
20. Bustamante, C.; Rodríguez, M. I.; Camejo, R.; Ochoa, M. Informe de etapa. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento e índices agroquímicos en el período. Informe del resultado 003-046. Cruce de los Baños: ECICC. 1989, 30 p.
21. Veloso, C. A. C., Souza, F. R. de; Correa, J. R. V., Ribeiro, S. I., Oliveira, M. C. M. de Jr y Carva, E. J. M. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro (*Coffea canephora*) na região da Transamazonica. Anais do III Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Brasilia: *Embrapa Café*, 2003, p. 397–398.
22. Arizaleta, M. y Pire, R. Respuesta de plántulas de café al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia*, 2008, vol. 42, no. 1, p. 47-55.
23. Sadeghian, K. S. Calibración de análisis de suelo para N, P, K y Mg en cafetales al sol y bajo semi sombra. *Cenicafé*, 2009, vol. 60, no. 1, p. 7-24.
24. Matta, F. M. da; Loos, R. A.; Silva, E. A., Loureiro, M. E. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a result of N and water availability. *Journal of Plant Physiology*, 2002, no. 159, p. 975-981.
25. Soto, F. Crecimiento y requerimientos ecológicos del café. En: R. Rivera, F. Soto (editores). El Cultivo del café en Cuba. Investigaciones y Resultados. 2006, p.500.
26. Pérez, A.; Bustamante, C.; Rodríguez, P.; Viñals, R. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la microflora edáfica y algunos indicadores del crecimiento y el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre cultivada en suelo Pardo ócrico sin carbonatos. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 2, p. 68-72.
27. Pérez, A., Bustamante, C.; Rodríguez, P. y Viñals, R. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre algunos indicadores químicos-biológicos edáficos de un suelo Pardo ócrico sin carbonatos cultivado con *Coffea canephora* Pierre. *Café y Cacao*, 2007, vol. 8, no. 2, p. 8-11.
28. Font, L. Estado microbiológico del suelo Ferralítico como base para la planificación, el uso y manejo integral del agroecosistema citrícola. Boletín No.4. Sociedad Cubana de las Ciencias del Suelo. La Habana. 2001, p. 73.
29. Zagal, E. y Córdova, C. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. *Agricultura Técnica*, 2005, vol. 65, no. 1, p. 186-197.
30. Villa-Boas, R.; Boaretto, A. E.; Grava, L.; Godoy, J. de; Fernández, D. M. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho. *Bragantia*, 2005, vol. 64, no. 2, p. 263-272.
31. Carvajal, J. F. Café, cultivo y fertilización/J. F. Carvajal-Berna: Ed. Instituto Internacional de la Potasa, 1984, 254 p.

32. Rodríguez, P. Microbiología Agrícola. Curso de Posgrado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. 2006, 25 p.
33. Sadeghian, S., Murgueitio, E., Mejías, C., Rivera, J. Ordenamiento ambiental y reglamentación del uso de suelo en la zona cafetalera. En: Suelos del eje cafetalero. Pereira, Proyecto UTP-GTZ. 2001, p. 96-108.
34. Font, L.; Chaveli, P.; Calero, B.; Guerra, A.; López, P.; Valenciano, M. Evaluación del estado microbiológico de un Cambisol Ferrálico cultivado de papa con diferentes manejos de fertilización. *Centro Agrícola*, 2005, no. 1, p. 71-79.
35. Garbisu, C.; Becerril, J. M.; Epelde, L. y Alkorta, I. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistema*, 2007, vol. 16, no. 2, p. 1697-2473.
36. Moscatelli, M. C., Ditzio, A., Marinari, S., Grego, S. Microbial indicators related to soil carbon Mediterranean land use systems. *Soil and Tillage Research*, 2007, vol. 97, p. 51-59.