

Fertilización nitrogenada después de la poda del café robusta en Cambisoles

Alberto Pérez Díaz⁽¹⁾, Carlos Alberto Bustamante González⁽²⁾, Gloria Marta Martín Alonso⁽³⁾, Ramón Antonio Rivera Espinosa⁽³⁾, Rolando Viñals Núñez⁽²⁾ y Maritza Idilia Rodríguez Castro⁽²⁾

⁽¹⁾Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal de Montaña, Carretera a Santiago de Cuba, Km 2,5, CP 95300, Municipio Guantánamo, Provincia Guantánamo, Cuba. E-mail: aperez@fam.cug.co.cu ⁽²⁾Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao, Cruce de los Baños, Tercer Frente, CP 92700, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: bustamante@ecicc.ciges.inf.cu, mirodriguez@ecicc.ciges.inf.cu ⁽³⁾Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Carretera de Tapaste, Km 3,5, Gaveta Postal nº 1, San José de las Lajas, CP 32700, Mayabeque, Cuba. E-mail: gloriam@inca.edu.cu, rivera@inca.edu.cu

Resumen – El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la fertilización mineral nitrogenada, después de la poda del café robusta, sobre la productividad del cultivo y algunos indicadores químicos (pH, materia orgánica) y microbiológicos (respiración biológica y nitrificación) de dos Cambisoles en Tercer Frente, Santiago de Cuba y La Alcarraza, Holguín, durante los años 2003–2007. Se estudió la respuesta a dosis crecientes de nitrógeno (0 hasta 400 kg ha⁻¹), en presencia de un fondo fijo de P (50 kg ha⁻¹) y K (160 kg ha⁻¹), en un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro réplicas. Para productividades entre 0,50 y 0,84 Mg ha⁻¹ de café, son suficientes 75 kg ha⁻¹ de N. Aplicaciones de 100 kg ha⁻¹ de N permitieron productividades de 1,22 a 1,25 Mg ha⁻¹ de café. Con dosis de 153 kg ha⁻¹ de N, se logran producciones de 1,80 Mg ha⁻¹ de café, mientras que para productividades superiores a 2 Mg ha⁻¹ se necesita aplicar 200 kg ha⁻¹ en ambos suelos. Se encontró un incremento importante en las productividades del café por cada quilogramo de N aplicado, que osciló entre 2,13 y 7,80. Las dosis propuestas por sitio no afectaron la actividad microbiana y la materia orgánica de los suelos. Se encontró disminución del pH del suelo respecto a su estado inicial.

Términos para indexación: *Coffea canephora*, materia orgánica, nitrificación, productividad, respiración microbiana.

Nitrogen fertilization after robusta coffee pruning in Cambisols

Abstract – The objective of this work was to evaluate the influence of nitrogen mineral fertilization, after robusta coffee pruning, on crop yield and some chemical (pH, organic matter) and microbiological (biological gas exchange and nitrification) soil indicators in two Cambisols in Tercer Frente, Santiago de Cuba, and La Alcarraza, Holguín, during the years 2003–2007. The response to increasing doses of N (0 up to 400 kg ha⁻¹), in the presence of fixed amounts of P (50 kg ha⁻¹) and K (160 kg ha⁻¹), was studied in a randomized block design with four replicates. To obtain coffee yields between 0.50 and 0.84 Mg ha⁻¹, 75 kg ha⁻¹ N are sufficient. In both soils, applications of 100 kg ha⁻¹ N allowed for coffee yields between 1.22 and 1.25 Mg ha⁻¹. With a dose of 153 kg ha⁻¹ N, 1.80 Mg ha⁻¹ coffee yields are obtained, whereas for yields higher than 2 Mg ha⁻¹, it is necessary to apply 200 kg ha⁻¹ N. There was a significant coffee yield increment per each kilogram of N applied, which ranged from 2.13 to 7.80. The proposed doses per site did not affect the microbial activity or soil organic matter. There was a soil pH reduction compared to its initial stage.

Index terms: *Coffea canephora*, organic matter, nitrification, yield, microbial breathing.

Introducción

La introducción de *Coffea canephora* var. *robusta* (L. Linden) A. Chev. en Cuba data desde la década de 1930 (Bustamante, 2006; Díaz Hernández et al., 2007). En la actualidad, se cultivan en Cuba 16,8 mil hectáreas de la variedad robusta (20% del total del área cultivada con café), con el 85% localizado en cuatro provincias orientales del país (Bustamante et al., 2010).

Las investigaciones realizadas en plantaciones de *C. canephora* var. *robusta*, en Cuba, se orientaron sobre la base de los estudios de la superficie foliar, la poda, la sombra (Blanco, 2005) y la conducción de tallos (Díaz Hernández et al., 2007).

Resultados de estudios en diversas regiones del mundo reportan que menos del 30 al 50% de la productividad de los cultivos es atribuible a la optimización de los sistemas de suministro de nutrientes

(Stewart et al., 2005; Fixen & García, 2007). De los macronutrientes, el N es el elemento que más influye sobre las productividades de los cultivos agrícolas (Reis et al., 2006; Leal-Varón et al., 2009), en parte por las altas cantidades que se requieren de este nutriente, como por lo que puede aportar el suelo para garantizar las productividades (Rivera, 2006).

Las investigaciones sobre el uso del fertilizante nitrogenado en Cuba se caracterizaron por enfocar los aspectos más apremiantes en *Coffea arabica* L., como: obtención de dosis; fraccionamiento más adecuado; el establecimiento de métodos de diagnóstico; y la participación del N del fertilizante y del suelo en la nutrición de las plantas (Rivera, 1987).

A pesar de las diferencias entre las especies, los aspectos relacionados con la nutrición nitrogenada de *C. canephora* se han manejado según lo orientado para *C. arabica*, sin tener en cuenta las características propias de la especie: porte diferente, capacidad de formar múltiples tallos, sembrarse a densidades menores y condiciones de suelos desiguales; de ahí la importancia de determinar los requerimientos de N de la variedad robusta, cultivada sobre Cambisoles, y el papel de los indicadores de calidad del suelo en éste contexto.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la fertilización mineral nitrogenada, después de la poda del café robusta, sobre el rendimiento del cultivo y algunos indicadores químicos y microbiológicos del suelo.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló durante el período de 2003 a 2007, en dos localidades cafetaleras de Cuba: Tercer Frente, en el Municipio Tercer Frente (20°09'N, 76°16'W, a 150 m de altitud), en la provincia Santiago de Cuba, con temperatura media anual (promedio de 18 años) de 24,5°C, temperatura mínima de 15,5°C y máxima de 31°C, precipitación de 1.609 mm, con 109,4 días con lluvia. El suelo es Pardo ócrico sin carbonatos (MINAG, 1999), que corresponde a un Cambisol Háplico (éutrico arcílico) en el sistema internacional (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006), con: pH de 5,96; 28,7 g kg⁻¹ de materia orgánica; 66,40 mg dm⁻³ de P; 0,55 cmol_c dm⁻³ de K; y una relación Ca/Mg de 2,31.

La localidad La Alcarraza está situada en el Municipio Sagua de Tánamo (20°35'N, 75°15'W, a 300 m de altitud), provincia Holguín, Cuba. La

temperatura media anual (promedio de 18 años) es de 24,1°C, y la precipitación media (promedio de 15 años) entre 1.588,5 y 1.922 mm, con 120 días de lluvia. El suelo es Pardo gleyzoso sin carbonatos (MINAG, 1999), que corresponde a un Cambisol estágnico (éutrico arcílico), en el sistema internacional (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006), con: pH de 5,20; 30,7 g kg⁻¹ de materia orgánica; 73,57 mg dm⁻³ de P; 0,55 cmol_c dm⁻³ de K; y una relación Ca/Mg de 1,52.

Para el análisis químico, se emplearon los métodos: pH (H₂O), por el método potenciométrico, con relación suelo:solución de 1:2,5% de materia orgánica, por el método de Walkley y Black; P asimilable, por extracción con H₂SO₄ 0,1 N, con relación suelo:solución 1:2,5; cationes intercambiables (cmol_c kg⁻¹), por extracción con NH₄Ac 1 mol L⁻¹ a pH 7; y determinación por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (K).

El comportamiento de las precipitaciones que influyeron en el cultivo, durante el período de desarrollo del experimento, se observan en la Figura 1. Los cafetos fueron plantados en 1996, a 3x1,5 m, en la densidad de 2.222 plantas ha⁻¹, y se podaron a 0,30 cm de altura, en febrero-marzo de 2003.

Se estudió la respuesta de dosis crecientes de N (Cuadro 1), en presencia de un fondo fijo de P y de K, en un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro réplicas. Las parcelas fueron constituidas por siete plantas, y fueron muestreadas las cinco centrales, para el total de 20 plantas por tratamiento. El área total del experimento fue de 0,5 ha.

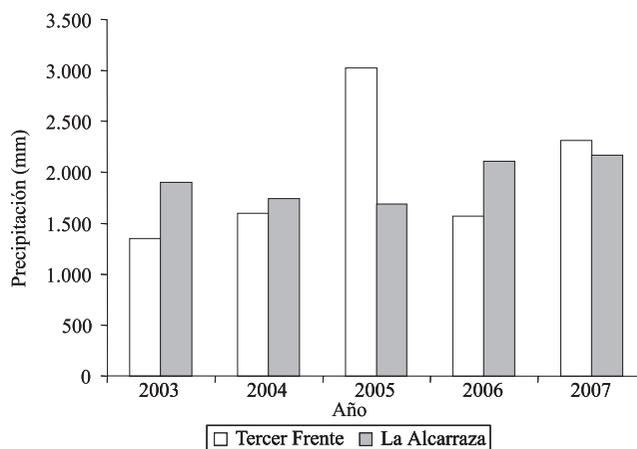


Figura 1. Precipitación anual en las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2003–2007.

El N se fraccionó y se aplicó todos los años, en tres oportunidades (abril, junio y octubre). El P se aplicó a razón de 50 kg ha⁻¹, en el mes de abril de los años 2005 y 2007, debido a las altas concentraciones del elemento en el suelo, por las aplicaciones del primer ciclo productivo del café. El K se fraccionó igual que el N, con la dosis de 160 kg ha⁻¹. Como portadores, se utilizaron la urea, el superfosfato simple y el KCl. Los fertilizantes se aplicaron en la banda de abonamiento.

Para determinación de la productividad, en cada año, se cosecharon los frutos maduros de cada parcela, se les pesaron (kg) y se extrapolaron los pesos a megagramos de café cereza y, posteriormente, se los llevaron a megagramos de café oro por hectárea, considerándose la productividad industrial del café robusta para estas condiciones (factor de conversión 0,22).

El ajuste de los datos de la respuesta al fertilizante se realizó según el modelo discontinuo rectilíneo, descrito por Waugh et al. (1973), tomándose las medias de las productividades obtenidas en todos los tratamientos.

La eficiencia agronómica (EA) para la dosis óptima, propuesta en cada año y sitio experimental, se calculó según la fórmula de Stewart (2007): $EA = (R - R_0)/D$, en la cual: R es la productividad del cultivo, con la aplicación del nutriente (kg ha⁻¹); R₀ es la productividad del cultivo, sin la aplicación del nutriente (kg ha⁻¹); y D es la dosis del nutriente (kg ha⁻¹).

Para evaluar la influencia de la fertilización de N sobre algunos indicadores químicos y microbiológicos edáficos, se seleccionaron cinco plantas y se tomaron tres muestras de suelo por planta, en cada uno de los tratamientos, a la profundidad de 0–0,30 m por 0,10 m de diámetro, dentro de la banda de fertilización, las cuales se mezclaron entre sí para formar una muestra compuesta.

Para la respiración biológica (Rb), se utilizó el sistema de frasco cerrado, con humedecimiento de 25 g de suelo al 60% de la capacidad máxima de retención de humedad, y la determinación del CO₂ se realizó al cabo

de 24 horas de incubación a 30°C. Se utilizó la ecuación (Calero Martín et al., 1999),

$$Rb \text{ (mg dm}^{-3} \text{ de CO}_2\text{)} = [(K - M) \times 2,2 \times Vt]/P \times V,$$

en la cual: K es la cantidad (mL) de HCl 0,1 N gastada por el control; M es la cantidad (mL) de HCl 0,1 N gastada por la muestra; 2,2 es la constante, cuando se trabaja con HCl 0,1 mol L⁻¹; Vt es el volumen total de solución colectora; P es el peso de la muestra de suelo (g); V es la cantidad (mL) que se escoge de la solución colectora para evaluar.

La capacidad nitrificadora se determinó por el método de incubación de 25 g de suelo durante 15 días. La extracción de nitratos se realizó con K₂SO₄ al 0,01%, y se utilizó ácido disulfofenólico para el desarrollo del color. La nitrificación se cuantificó a partir de la fórmula (Calero Martín et al., 1999) – nitrificación (mg dm⁻³ de NO₃) = [(a × v × 100 × 4,43)/b × v₁] × (c/c₁), en la cual: a es la lectura en la curva; v es la solución extractora; 100 es el coeficiente para llevar a 100 g de suelo; 4,43 es el coeficiente de conversión de N a NO₃; b es el peso del suelo (g); v₁ es la cantidad (mL) que se evapora; c es el volumen al cual se lleva la solución; c₁ es la cantidad (mL) tomada para la dilución.

Se determinó, además, el efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunas propiedades químicas del suelo: pH, por el método potenciométrico; y materia orgánica (%), por el método de Walkley y Black. Las evaluaciones se realizaron al inicio (marzo) y final de cada año (diciembre).

Se comprobó la normalidad de los datos y la homogeneidad de la varianza. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza de los datos obtenidos. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias fueron comparadas por la prueba de rango múltiple de Duncan, al 5% de probabilidad. Se establecieron regresiones entre los valores de respiración biológica, en función del pH, y la nitrificación del suelo encontrado en cada uno de los tratamientos.

Resultados y Discusión

El café robusta, al igual que *C. arabica*, respondió positivamente a la poda baja total, debido a que en el año siguiente de haber realizado esta actividad (2004), se obtuvo la primera cosecha del nuevo ciclo, la cual fue inferior al resto de los años. En ambos sitios

Cuadro 1. Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), aplicadas por año, para los suelos de las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2003–2007.

Tratamiento	2003	2004	2005–2007
N ₀	0	0	0
N ₁	50	75	100
N ₂	100	150	200
N ₃	150	225	300
N ₄	200	300	400

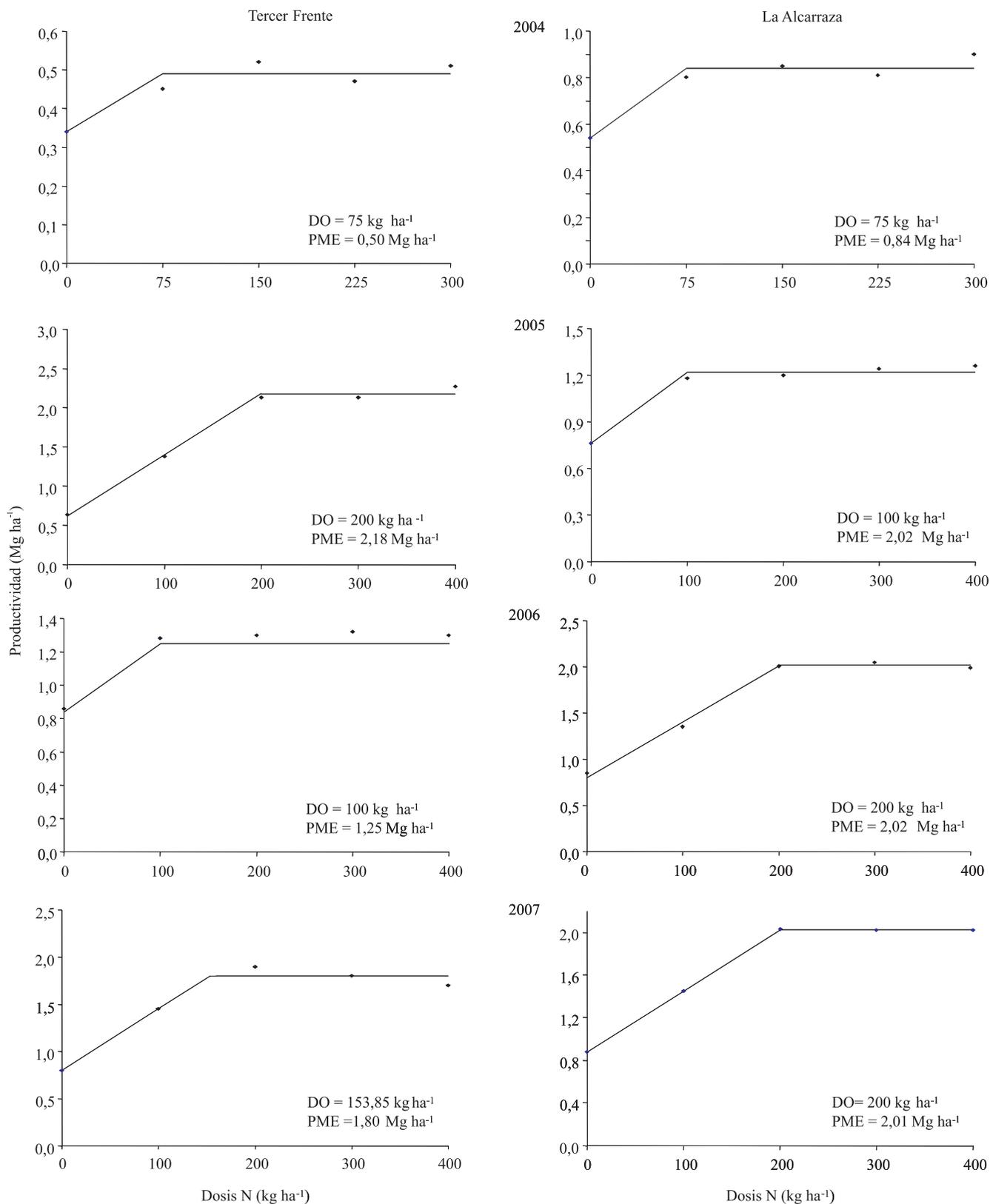


Figura 2. Efecto de la fertilización nitrogenada en suelo sobre la productividad de *Coffea canephora*, en las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2004–2007. DO, dosis óptima recomendada; PME, productividad máxima estable.

experimentales, se alcanzaron productividades estables que oscilaron entre 0,50–0,84 Mg ha⁻¹ de café oro, con una dosis óptima de 75 kg ha⁻¹ (Figura 2).

En este comportamiento, pudo haber incidido la capacidad adaptativa de los cafetos al estrés producido por la poda y a la regulación de la sombra. Blanco (2005) y Rivera (2006) encontraron que, independientemente del manejo, la producción del primer año resultó la más baja de los cuatro años de estudio. Esto se debe a que el café podado crece inicialmente con más vigor y entra en producción con un año de antelación, respecto a la primera cosecha después del establecimiento de las plantaciones.

En las cosechas posteriores, se encontró que las dosis de 100 kg ha⁻¹ de N fueron suficientes para lograr productividades estables del orden de 1,22–1,25 Mg ha⁻¹ de café oro.

Kibirige-Ssebunya et al. (1993) no pudieron establecer una curva de respuesta en Uganda, pero encontraron que la aplicación de N al café robusta es económicamente rentable.

Pérez et al. (2005) informaron que una fertilización adecuada confiere a las plantas de *C. canephora* mayor productividad y mejor calidad de los frutos. Este trabajo corrobora los resultados de Blanco (2005), que encontró que las productividades obtenidas con la fertilización nitrogenada fueron superiores a las obtenidas para *C. canephora* cultivado sobre suelo Pardo de Cuba, con diferentes manejos de sombra y sin aplicación de fertilizantes. En las condiciones de este experimento, Rivera (2006) encontró que, en *C. arabica*, dosis de 100 kg ha⁻¹ de N sólo garantizaron productividades anuales de 1 Mg ha⁻¹ de café oro. Esto sugiere que *C. canephora* es capaz de producir con mayor eficiencia y con igual dosis de N, en condiciones de premonaña, indicativo de mejor adaptación para aquellas zonas consideradas como marginales para *C. arabica* en Cuba.

Para productividades superiores a 2 Mg ha⁻¹ de café oro, fue necesario aplicar 200 kg ha⁻¹ de N. Coincidentemente, las productividades de 2 Mg ha⁻¹ se obtuvieron en los años de mayor precipitación y días de lluvia, en ambos sitios experimentales (Figura 1). También es necesario destacar que estas elevadas productividades se obtuvieron con las mayores dosis óptimas requeridas por el cultivo.

Bosveld & Bouten (2001) determinaron que, en *C. canephora*, la existencia de condiciones favorables de humedad y temperatura permiten que las plantas

manifiesten una buena respuesta fisiológica, aún cuando la nueva planta es el producto de la regeneración por medio de la poda.

A nivel internacional, las dosis de N para el café oscilaron entre 80–412 kg ha⁻¹ por año y estuvieron relacionadas con la productividad esperada, la tecnología de cultivo y condiciones edafoclimáticas concretas (Sadeghian-Khalajabadi, 2003; Rivera, 2006; Silva et al., 2008; Leal-Varón et al., 2009).

Al integrar todas las cosechas, en ambos sitios (Figura 3), se encontró un alto ajuste positivo y significativo ($R^2 > 0,96$), lo que indicó que el esquema de recomendación de dosis de fertilizante N, en función de las productividades máximas anuales, es válido a su vez para cualquiera de los dos sitios, lo que sugiere su aplicación para condiciones de plantaciones de robusta sobre Cambisoles, en regiones con precipitaciones anuales entre 1.450 y 2.000 mm.

Un aspecto que debe quedar claro, para entender adecuadamente las relaciones entre productividad máxima anual y la fertilización nitrogenada, es el hecho de que la productividad del café depende de la variedad, producción de ramas nuevas, densidad de plantación, nivel de precipitaciones del año anterior y del propio año, intensidad de la cosecha anterior y tipo de suelo, de forma tal que estas variables predeterminan un nivel de productividad y que la fertilización permitirá alcanzarlo.

Al evaluar la eficiencia agronómica de las dosis óptimas recomendadas, se observa que, en ambos sitios experimentales, hubo un incremento importante en las

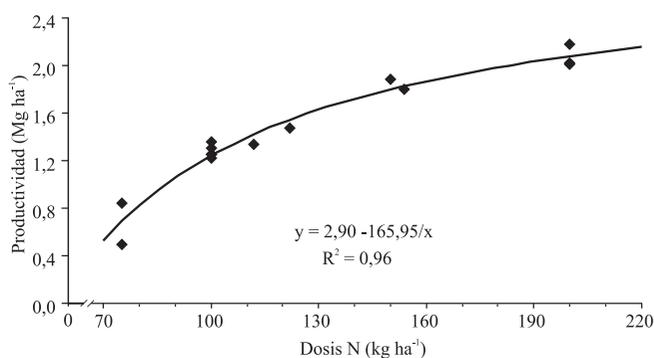


Figura 3. Relación entre dosis óptima de N y las productividades máximas de *Coffea canephora* obtenidas en las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2004–2007.

productividades por cada quilogramo de N aplicado, que osciló entre 2,13 y 7,8 en el sitio Tercer Frente y entre 4,0 y 6,15 en La Alcarraza (Cuadro 2).

Las actividades microbianas, como indicadores de la calidad de los suelos, dependen de las dosis aplicadas de N y están en correspondencia con las dosis recomendadas para alcanzar productividades estables de café. Así, al valorar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la respiración biológica del suelo de los dos sitios experimentales, se encontró que ésta actividad se vio favorecida con la aplicación de dosis de N entre 100 y 150 kg ha⁻¹ (Figura 4).

Se ha observado que la presencia de determinadas cantidades de N mineral en el suelo permite altos niveles de descomposición del material carbonado, al posibilitar una adecuada relación C/N en el protoplasma microbiano, aumentando de esta manera el CO₂ desprendido como producto de la biodegradación microbiana (Rodríguez, 2010).

Además, en los dos sitios experimentales, se encontró que a medida que las dosis de N aumentaron hasta 400 kg ha⁻¹, la respiración disminuyó. Esta disminución pudo deberse a que los productos ácidos derivados de la nitrificación (ácidos nitroso y nítrico) provocan rápidamente la acidificación del suelo, en grado tal, que se inhiben la respiración y el desarrollo de las bacterias nitrificantes (Rodríguez, 2010).

De esta forma, la aplicación de N entre 100 y 150 kg ha⁻¹, con obtención de productividades entre 1,22 y 1,8 Mg ha⁻¹ de café oro, no afectó el papel de los grupos microbianos y la respiración microbiana del suelo como indicadores biológicos de la calidad del suelo; e, incluso la aplicación de 200 kg ha⁻¹ aunque disminuyó la respiración biológica, respecto al tratamiento N₁, mantuvo valores semejantes o superiores al testigo sin fertilización.

Cuadro 2. Eficiencia agronómica del *Coffea canephora* (kg incremento de productividad kg⁻¹ N aplicado) y productividad máxima estable (Mg ha⁻¹ de café oro), de las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante tres años (2005–2007).

Año	Tercer Frente		La Alcarraza	
	Eficiencia	Productividad	Eficiencia	Productividad
2005	7,8	2,13	4,6	1,22
2006	4,1	1,25	6,15	2,02
2007	6,5	1,8	5,65	2,02

Al analizar la nitrificación, se encontró que la continuada aplicación de dosis entre 300 y 400 kg ha⁻¹, en 2006, deprimió la nitrificación del suelo por debajo de lo alcanzado en la parcela N₀ (Figura 5). Al respecto, Font Vila (2007) informó que a medida que la nitrificación aumenta, revela la presencia de microorganismos capaces de llevar a cabo la conversión del amonio a nitrato de una forma más favorable.

Los valores de nitrificación, alcanzados en las dosis propuestas en el Cambisol Háptico, oscilaron entre 460 y 530 mg dm⁻³ de NO₃ de suelo, mientras que en el Cambisol estagnico fueron de 300 y 330 mg dm⁻³ de NO₃ de suelo. La mayor capacidad nitrificante del primero sobre el segundo tipo de suelo se debe a que este último puede permanecer húmedo por período de tiempo prolongado, lo que propicia condiciones adversas para la permanencia de la microflora nitrificante (Font Vila et al., 2003).

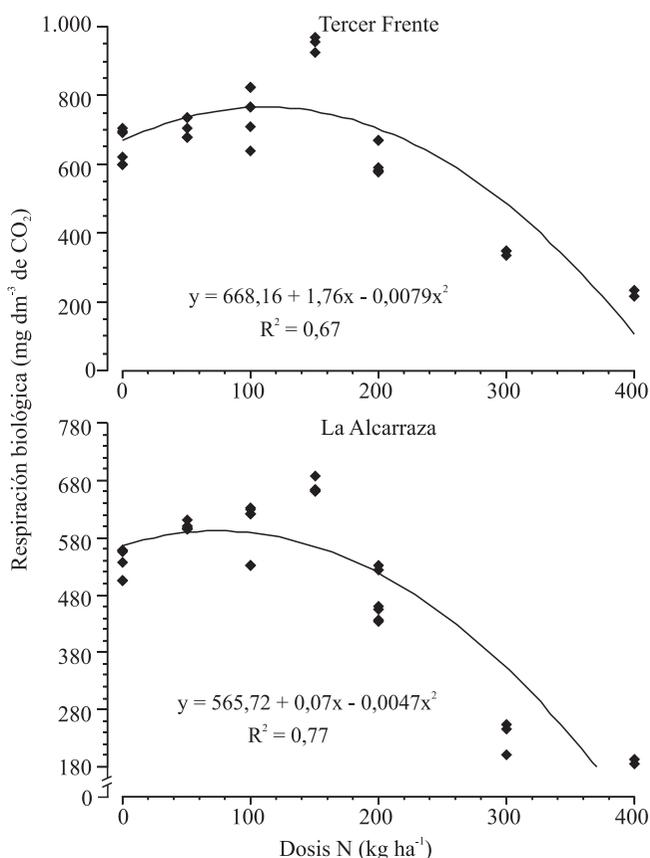


Figura 4. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la respiración biológica de los suelos en la banda de abonamiento, en las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2004–2006.

En general, la nitrificación en los suelos cafetaleros resultó ser superior a la de suelos dedicados al cultivo de arroz y cítricos de Cuba (Font Vila et al., 2003), donde estos autores encontraron valores que oscilaron entre 80 y 100 mg dm⁻³ de NO₃ de suelo.

Los parámetros microbiológicos sirven para indicar posibles cambios netos en el equilibrio del suelo, por causas diversas, que no podrían detectarse con métodos tradicionales.

Garbisu et al. (2007) hacen referencia a la evaluación de procesos biológicos con potencialidad para ser utilizados como indicadores de calidad de suelo, como respiración biológica, grupos funcionales de la microflora, actividades enzimáticas, así como la composición y diversidad de la comunidad microbiana.

En relación al efecto de la fertilización sobre algunos indicadores químicos del suelo, se encontró disminución del pH de los suelos en comparación a su estado inicial, en la medida que se incrementaron las dosis de N por año, que se acentuó con la aplicación de 300 hasta 400 kg ha⁻¹ en 2006 (Cuadro 3). Esto se debe a la rápida disolución e hidrólisis de la urea, que produce una disminución del pH del suelo

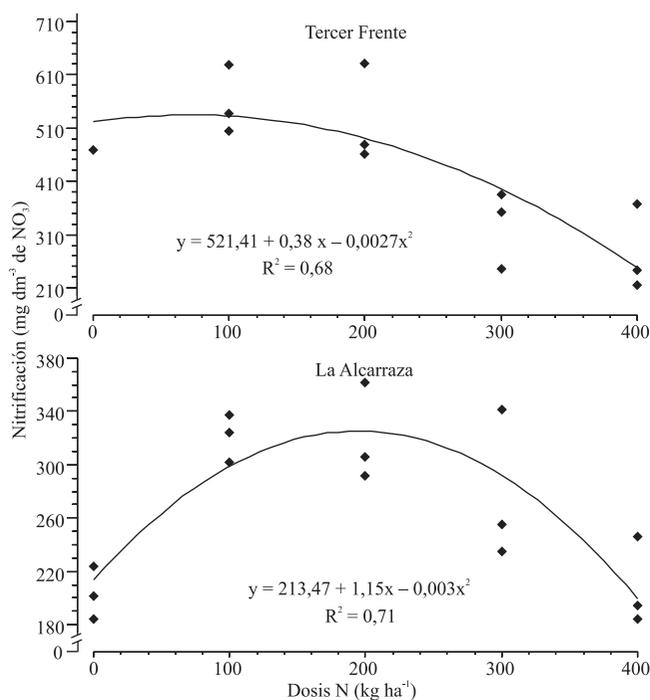


Figura 5. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la nitrificación real de los suelos en la banda de abonamiento, en las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2004–2006.

(Leal-Varón et al., 2009). Esto puede atribuirse al empleo de la urea como portador, pues el N de esta se va transformando hasta amonio y es adsorbido sobre las partículas de arcilla y de materia orgánica. La absorción de este catión por la planta va acompañada por una transferencia de H⁺ desde la raíz hacia la solución del suelo, para mantener el balance de carga del citoplasma, lo que incrementa la acidez del suelo (Havlin et al., 1999). Sagedhian-Khalajabadi (2003) encontró comportamiento similar de disminución del pH, por efecto de la fertilización nitrogenada, en suelos cafeteros colombianos, tendencia que fue relacionada con una mayor dosis de N.

Al valorar el efecto del pH sobre la respiración microbiana, se encontró relación positiva entre la respiración biológica, obtenida en ambos suelos, y el pH; en la medida que este disminuyó por debajo de 5, la respiración biológica se deprimió (Figura 6). Valores de pH superiores a 5,5 incrementaron la respiración biológica, en ambos tipos de suelos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Heinze et al. (2010), en el cultivo de cereales en Alemania, en un Cambisol Háplico fertilizado con 140 kg ha⁻¹ de N, donde encontraron relación positiva entre el pH del suelo, la biomasa microbiana y la respiración biológica.

La materia orgánica y la biología del suelo desempeñan un papel importante en la calidad del suelo. Cardona-Calle & Sadeghian-Khalajabadi (2005) opinan que la materia orgánica es un buen indicador de la disponibilidad de N en el suelo.

En los dos sitios no se observaron efectos negativos de la fertilización nitrogenada sobre la materia orgánica de los suelos, que se incrementó en comparación a su estado inicial, debido probablemente a los aportes de

Cuadro 3. Efecto de las dosis de N en la materia orgánica (MO, %) y pH del suelo de las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, en 2006.

Dosis	Tercer Frente		La Alcarraza	
	MO	pH	MO	pH
N ₀	3,19	5,42a	3,65	5,20a
N ₁	3,50	5,10b	3,71	5,00b
N ₂	3,99	4,89c	3,35	4,57c
N ₃	3,99	4,72c	3,30	4,55c
N ₄	3,85	4,70c	2,96	4,53c
Esx ⁽¹⁾	0,35 ^{ns}	0,12*	0,32 ^{ns}	0,95*

⁽¹⁾ Esx, Error standart de las medias. ^{ns}No significativo. *Significativo al 5% de probabilidad. Medias con letras iguales no difieren, por la prueba de Duncan, al 5% de probabilidad.

hojarasca, tanto por el cafeto como por los árboles leguminosos utilizados como sombra. Esto corrobora las observaciones de Pavan et al. (1999), que encontraron que, en 15 años, el establecimiento de cafetales de alta densidad contribuyó a incrementar el carbono orgánico del suelo, como consecuencia de la acumulación de residuos orgánicos. Sin embargo, en Colombia, Sadeghian-Khalajabadi (2003) no encontró cambios en la materia orgánica, a través del tiempo, con la aplicación de 240 kg ha⁻¹ de urea.

En este experimento, las dosis propuestas de N entre 100 y 200 kg ha⁻¹ no afectaron éste indicador. El análisis realizado mostró la necesidad de integrar los indicadores químicos y microbiológicos, para una mejor interpretación del efecto de la fertilización sobre la calidad de los suelos, correspondiéndose con lo referido por Font Vila (2007).

Es importante señalar que los indicadores de calidad de suelo, evaluados en esta investigación, han sido utilizados de forma individual para evaluar el estado de fertilidad o deterioro del suelo y estudiar el efecto del factor antropogénico sobre el sistema suelo-planta (Calero-Martín et al., 1999; Font Vila et al., 2003; Font

Vila, 2007; Moscatelli et al., 2007) y coincidieron con los criterios de valores aceptables, según la tabla de interpretación que se dispone en cada indicador para los Cambisoles de Cuba recomendada por Font Vila (2007).

Conclusiones

1. Para productividades entre 0,50 y 0,84 Mg ha⁻¹ de café oro, son suficientes 75 kg ha⁻¹ de N; aplicaciones de 100 kg ha⁻¹ permiten productividades de 1,22 a 1,25 Mg ha⁻¹ y con dosis de 153 kg ha⁻¹, se logran producciones de 1,80 Mg ha⁻¹ de café oro, mientras que para productividades por encima de 2 Mg ha⁻¹, es necesario aplicar 200 kg ha⁻¹ en ambos suelos.

2. Hay un incremento importante en las productividades del cafeto por cada quilogramo de N aplicado, que oscila entre 2,13 y 7,80.

3. Las dosis propuestas por sitio no afectan la actividad microbiana ni el contenido de materia orgánica de los suelos.

4. Hay disminución del pH del suelo en comparación a su estado inicial, aunque los valores de pH encontrados luego de la fertilización nitrogenada con el sistema, se encuentren dentro del rango establecido para el cafeto.

5. El conjunto mínimo de indicadores seleccionados – respiración biológica, nitrificación, materia orgánica y pH –, en ambos suelos, es efectivo para evaluar la aplicación de N en los agroecosistemas cafetaleros.

Agradecimientos

A los colegas de la Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao de Cuba, por la asesoría brindada en el trabajo; al Ministerio de Educación Superior de Cuba, por la beca otorgada.

Referencias

- 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.** 2005. 100p. Tesis (Doctor) - Universidad Agraria de La Habana, La Habana.
- BOSVELD, C.E.; BOUTEN, W. Evaluation of transpiration models with observations over a Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.108, p.247-264, 2001.
- BUSTAMANTE, C. La fertilización de *Coffea canephora* en Cuba. In: RIVERA, R.; SOTO, F. (Ed.). **El cultivo del cafeto en Cuba.** Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006 p.451-489.
- BUSTAMANTE, C.; VIÑALS, R.; PÉREZ, A.; RODRÍGUEZ, M.I.; ARAÑO, L. **Fertilización mineral y uso de abono verde en *Coffea canephora* Pierre ex-Froehner cultivado bajo poda**

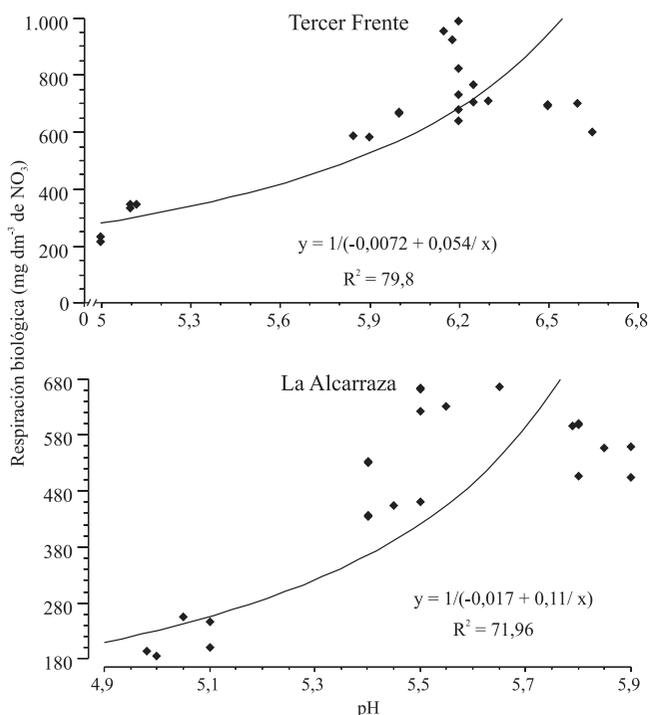


Figura 6. Relación entre el pH del suelo y la respiración biológica en las localidades Tercer Frente (Tercer Frente, Santiago de Cuba) y La Alcarraza (Sagua de Tánamo, Holguín), Cuba, durante los años 2004–2007.

- sistemática en los macizos montañosos de la Sierra Maestra y Sagua-Nipe-Baracoa.** Cruce de los Baños: Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao de Cuba, 2010. 253p. (Informe Final Proyecto Nacional 07.03.087).
- CALERO MARTÍN, B.J.; GUERRERO, A.; ALFONSO, C.A.; SOMOZA, V.; CAMACHO, E. Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. **La Ciencia y el Hombre**, v.11, p.89-94, 1999.
- CARDONA-CALLE, D.A.; SADEGHIAN-KHALAJABADI, S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de *Inga* spp. **Cenicafé**, v.56, p.127-141, 2005.
- DÍAZ HERNANDEZ, W.; VÁZQUEZ LOPEZ, E.; MOLINA ARIAS, G.; REYES, R. Tecnología para el manejo de la poda quinenal de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Café y Cacao**, v.8, p.15-22, 2007.
- FIXEN, P.E.; GARCÍA, F.O. Decisiones efectivas en manejo de nutrientes... mirando más allá de la próxima cosecha. **Informaciones Agronómicas**, v.64, p.5-11, 2007.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World reference base for soil resources.** Rome: FAO, 2006. Available at: <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/newkey.stm>>. Accessed on: 17 Jan. 2007.
- FONT VILA, L. **Estimación de la calidad del suelo:** criterios físicos, químicos y biológicos. 2007. 155p. Tesis (Doctor) – Instituto de Suelos, La Habana.
- FONT VILA, L.; CHAVELI CHÁVEZ, P.; CALERO MARTÍN, B.; FRANCISCO CERVANTES, A.; LÓPEZ LABARTA, P.; CABALLERO ALVAREZ, R.; VALENCIANO ABREU, M. Impacto de algunos procesos degradantes sobre el estado microbiológico de un suelo Ferrasol cultivado de arroz. **Centro Agrícola**, v.3, p.67-72, 2003.
- GARBISU, C.; BECERRIL, J.M.; EPELDE, L.; ALKORTA, I. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. **Ecosistemas**, v.16, p.44-49, 2007.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.R. **Soil fertility and fertilizers:** an introduction to nutrient management. 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499p.
- HEINZE, S.; RAUPP, J.; JOERGENSEN, R.G. Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture. **Plant and Soil**, v.328, p.203-215, 2010.
- HERNANDEZ, A.; PÉREZ JIMÉNEZ, J.M.; BOSCH, D. **Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.** La Habana: Agrinfor, 1999. 64p.
- KIBIRIGE-SSEBUNYA, I.; NABASIRYE, M.; MATOVU, J.; 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 Sciences**, v.1, p.5-12, 1993.
- LEAL-VARÓN, L.A.; SALAMANCA-JIMÉNEZ, A.; SADEGHIAN-KHALAJABADI, S. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. **Informaciones Agronómicas**, v.74, p.1-4, 2009.
- MOSCATELLI, M.C.; DI TIZIO, A.; MARINARI, S.; GREGO, S. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. **Soil and Tillage Research**, v.97, p.51-59, 2007.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUIERA, R.; ANDROCIOLO FILHO, A.; COLOZZI FILHO, A.; LIBRIO, E. High coffee population density to improve fertility of an Oxisol. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.34, p.459-465, 1999.
- 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 cultivado en un suelo Pardo ócrico sin carbonatos. **Cultivos Tropicales**, v.26, p.65-71, 2005.
- REIS, A.R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, A. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v.65, p.163-171, 2006.
- RIVERA, R. Nutrición y fertilización de *Coffea arabica* en Cuba. In: RIVERA, R.; SOTO, F. (Ed.). **El cultivo del café en Cuba.** Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006.
- RIVERA, R. **Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado para el café en un suelo ferralítico rojo compactado.** 1987. 145p. Tesis (Doctor) - Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de La Habana, La Habana.
- RODRÍGUEZ, P. **Compendio sobre microbiología agrícola.** Cuba: Universidad de Oriente, 2010. 276p.
- SADEGHIAN-KHALAJABADI, S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. **Cenicafé**, v.54, p.242-257, 2003.
- SILVA, S.A. da; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M.G. da. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2717-2722, 2008. Número especial.
- STEWART, W.M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. **Informaciones Agronómicas**, v.67, p.1-6, 2007.
- STEWART, W.M.; DIBB, D.W.; JOHNSTON, A.E.; SMYTH, T. The contribution of commercial fertilizer to food production. **Agronomy Journal**, v.97, p.1-6, 2005.
- WAUGH, D.L.; CATE JUNIOR, R.B.; NELSON, L. **Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelo y las respuestas a los fertilizantes.** Raleigh: North Carolina State University, 1973. 106p. (Boletín técnico, 7).
- ZAGAL, E.; CÓRDOVA, C. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. **Agricultura Técnica**, v.65, p.186-197, 2005.