

Suelos y Agroquímica

Descomposición y liberación del nitrógeno por los residuos componentes de un agroecosistema cafetalero¹

Carlos Alberto Bustamante-González,* Alberto Pérez-Díaz,** Gloria Marta Martín-Alonso*** y Ramón Antonio Rivera-Espinosa***

Resumen

La cuantificación de la biomasa ($\text{mg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$) y reciclaje de N ($\text{kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$) de las hojas del cafeto (*Coffea canephora*) y de los árboles de sombra (*Samanea saman*) al suelo del agroecosistema cafetalero se realizó mensualmente desde enero a diciembre (1996-2005) en áreas del Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba. Para estudiar la velocidad de descomposición y liberación de N de los restos vegetales se prepararon 24 bolsas de malla de polietileno de 20 cm x 15 cm con rejillas de 1 mm x 1 mm, y en cada bolsa se depositó el material vegetal a estudiar (50 g de masa fresca de hojas de café, de algarrobo, de arvenses y de los deshijos de los cafetos). Las evaluaciones se realizaron mensualmente hasta los 210 días durante 2003, 2004 y 2005. El aporte de biomasa en el agroecosistema estuvo entre 7-8 $\text{mg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$ de masa seca con un reciclaje de 169 $\text{kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$ de N. El N (proveniente de las hojas de cafeto, la hojarasca de algarrobo, las arvenses y los deshijos) tuvo inicialmente un proceso de inmovilización entre los primeros 30 a 60 días, y posteriormente comenzó la liberación dependiendo su magnitud del material evaluado. La tasa de descomposición y el tiempo de vida de los residuos estuvieron en el orden: restos de arvenses > hojarasca de algarrobo > hojas de café > restos del deshije del café.

Palabras clave: *Coffea canephora*, *Samanea saman*, biomasa, reciclaje de nitrógeno, descomposición, liberación de nutrientes.

Abstract

The quantification of the biomass ($\text{mg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$) and N turnover ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$) of the leaves of the coffee and of the shade trees to the soil of the coffee agroecosystem was carried out monthly from January to December (1996-2005). To study the speed of decomposition and liberation of N of the vegetable remains, they got ready 24 bags of mesh of polyethylene of 20 cm x 15 cm with grills of 1 mm x 1 mm, in each bag the vegetable material was deposited in specific to study (50 g of fresh mass). The evaluations were carried out monthly until the 210 days, during the years 2003, 2004 and 2005. The contribution of biomass in the agroecosystem was among 7-8 $\text{mg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{year}^{-1}$ of dry mass with a turnover of 169 $\text{kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{year}^{-1}$ of N. The coffee leaves, the locust trash, the weeds and the desuckering had a process of immobilization of the N initially among 30 to 60 days and later on they liberated the nitrogen, its magnitude depended on the evaluated material. The rate of decomposition and the time of life of the residuals, they were in the following order: remains of arvenses trash of locust leaves of brown remains of the desuckering of the coffee.

Key words: *Coffea canephora*, *Samanea saman*, biomass, nitrogen re-use, decomposition, liberation of nutritious.

¹ Recibido: 20/7/2012

Aprobado: 3/10/2012

* Estación Experimental Agro-Forestal UCTB Tercer Frente, Santiago de Cuba. bustamante@ecicc.ciges.inf. cu

** Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal de Montaña. Carretera a Santiago de Cuba, Km 2 ½, Guantánamo, aperez@fam.cug.co.cu

*** Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Carretera de Tapaste, Km 3 ½ Gaveta Postal No. 1, San José de Las Lajas, Mayabeque, gloriam@inca.edu.cu, rrivera@inca.edu.cu

Introducción

El estudio del ciclo de nutrientes en los agroecosistemas es fundamental para comprender la dinámica de los elementos y su disponibilidad en un manejo sostenible del sistema productivo (Cardona, 2004). Son significativos los avances en la comprensión del transporte de nutrientes dentro de los cafetales a libre exposición y en asociación con árboles de sombra dentro del agroecosistema cafetalero (Cardona y Sadeghian, 2005).

El cafetal es un sistema cerrado, y las investigaciones deben estar dirigidas a conocer todo su potencial para tratar de utilizar todas sus posibilidades. Entre los eslabones de este ecosistema se encuentran los árboles de sombra, los residuos del control de arvenses y de la cosecha, los materiales utilizados como cobertura y abono verde (Arellano y col., 2004).

La hojarasca juega un papel fundamental en el ciclo de nutrientes y en la transferencia de energía entre las plantas y el suelo, especialmente en agroecosistemas desarrollados en suelos pobres, donde la producción depende del aporte de nutrientes a través del proceso de descomposición.

Una caída consistente de hojarasca a lo largo del año, acoplado con una lenta descomposición, puede proteger a los suelos contra la erosión (Arellano y col., 2004; Philippot *et al.*, 2006).

Las investigaciones en los agroecosistemas cafetaleros en Cuba se han enfocado a caracterizar los aspectos más apremiantes: obtención de dosis de fertilizantes inorgánicos, el fraccionamiento de N más adecuado, la participación del N del fertilizante y del suelo en la nutrición del cafeto (Pérez y col., 2011), quedando pendiente la determinación de los aportes y transferencia de nutrientes de otros componentes del agroecosistema, como los árboles de sombra y del propio manejo del cafeto, aspectos abordados en esta investigación.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en áreas experimentales de la Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao (150 msnm) durante el período 1996-2005 en la localidad de Cruce de los Baños, situada en el municipio del Tercer Frente, 20°09'lat N y 76°16'long O, a 35 km ONO de la ciudad de Santiago de Cuba. Las plantas *Coffea canephora* var. Robusta (L. Linden) A. Chev fueron

plantadas bajo sombra de *Samanea saman* en mayo de 1996 a una distancia de 3 m x 1,5 m, para una densidad de plantación de 2222 plantas x ha⁻¹, y se podaron en febrero de 2003.

Evaluación de la fitomasa y el N reciclado

La estimación de la cantidad de hojarasca caída de los árboles de sombra se realizó por medio de mantas de nailon de polietileno de 1 m x 1 m. Se seleccionaron al azar cuatro árboles de sombra y se colocaron ocho mantas por árbol, cuatro en la calle y cuatro en la hilera del cafeto. Mensualmente se recolectó el material caído en cada manta, se eliminaron los restos de suelo y se separaron los restos por componente en hojas, ramas, flores y raquis.

Para estimar la caída de hojas del cafeto se establecieron mantas de polietileno, que cubrieron ¼ del área vital del cafeto (0,75 m x 1,5 m) y se recolectó mensualmente el material vegetal que cayó de las plantas al suelo, y se separó en hojas, frutos y ramas. Se determinó la masa seca de cada órgano (a 70° C hasta obtener masa constante) y se expresó en mg x ha⁻¹.

Se estimó además el aporte de fitomasa y del N asociado que representan los deshijos que se realizaron al cafeto Robusta. Se colectaron los tallos y ramas de las plantas. La práctica del deshije se realizó tres veces por año según lo recomendado por Díaz y col. (2003).

Para la estimación de las cantidades de fitomasa (mg x ha⁻¹) y de las cantidades de N asociado (kg x ha⁻¹) se calculó el área neta por hectárea (%) correspondiente a las arvenses, descontando las áreas vitales de los árboles de sombra y de los cafetos. Se identificaron por especies (Tabla 1) y se les determinó su porcentaje de participación en la mezcla mediante la fórmula:

$$(MS_{mezcla} \times \%N_{mezcla}) = (MS_{sp1} \times \%N_{sp1}) + (MS_{sp2} \times \%N_{sp2}) \dots + (MS_{spn} \times \%N_{spn})$$

MS: Masa seca (mg x ha⁻¹)

sp: Especies identificadas

n: Total de especies que integraron la mezcla

El contenido de N de los restos se determinó mediante digestión húmeda con H₂SO₄ + Se, y la evaluación colorimétrica con el reactivo de Nessler, y se expresó en porciento de masa seca por órganos (Paneque y col., 2010).

Tabla 1. Identificación de la mezcla de arvenses presentes en los agroecosistemas cafetaleros estudiados. Frecuencia de aparición en las limpieas

| Nombre vulgar | Nombre científico | % aparición en las limpieas |
|-----------------|--|-----------------------------|
| Ají culebra | <i>Rivina humilis</i> Lin. | 92,9 |
| Amor seco | <i>Priva lappulacea</i> , Lin. | 50 |
| Anamú | <i>Petiveria alliacea</i> , Lin. | 78,6 |
| Canutillo | <i>Comnelina elegans</i> , H. B. K. | 64,3 |
| Cañamazo | <i>Stenotaphrum secundatum</i> , Walt. | 85,7 |
| Caramaná | <i>Cyperus rotundus</i> , Lin. | 78,6 |
| Dormidera | <i>Mimosa pudica</i> , Lin. | 57,1 |
| Empanadilla | <i>Desmodium adscendens</i> , P.D.C. | 71,4 |
| Garro blanco | <i>Spermacoce tenuior</i> , Lam. | 78,6 |
| Lespedeza | <i>Lespedeza polytachya</i> , Michx | 85,7 |
| Leucaena | <i>Leucaena glauca</i> , Lin. | 71,4 |
| Malva | <i>Bastardia viscosa</i> , Lin | 92,9 |
| Pata de gallina | <i>Dactyloctenium aegyptium</i> , Lin. | 50 |
| Sanguinaria | <i>Achyranthes polygonoides</i> , Lin. | 100 |
| Súrbana | <i>Panicum fasciculatum</i> , SW. | 100 |
| Zorra | <i>Tricholaena rosea</i> , Nees. | 71,4 |

Descomposición y liberación de N por la hojarasca

Para estudiar la velocidad de descomposición de algunos de los restos vegetales presentes en el ecosistema se utilizó el método de las bolsas (Anderson & Ingram, 1996).

Para cada uno de los residuos se prepararon 24 bolsas de malla de polietileno de 20 cm x 15 cm con rejillas de 1 mm x 1 mm. En cada bolsa se depositó el material vegetal a estudiar (50 g de masa fresca) y se distribuyó de forma homogénea en todo el área de la bolsa, procurando que no quedaran compactas para facilitar la descomposición y simular el estado en que quedan naturalmente en la superficie del suelo después de su caída. Las bolsas se distribuyeron aleatoriamente en la plantación, debajo de los cafetos y se colocaron en marzo de 2003, 2004 y 2005.

Se estudió la descomposición de diferentes residuos, para cada uno de los cuales se realizó un en-

sayo específico. Los residuos estudiados fueron los siguientes:

Hojas de cafetos: se utilizaron hojas recién caídas de *Coffea canephora*.

Hojarasca de algarrobo: compuesta por hojas, flores y vainas caídas.

Hijos del café: se tomaron al momento de realizar los deshijes.

Arvenses: se tomaron de la mezcla de las especies encontradas en el área en el momento de realizar la limpia.

Se recolectaron mensualmente tres bolsas para su evaluación hasta los 210 días. Al material remanente se le eliminaron los residuos de suelo y de otras especies; se secaron a 70° C hasta alcanzar valores de peso constantes mediante una balanza analítica.

Para evaluar la descomposición de los materiales vegetales se determinó la masa seca remanente (MSR) en las bolsas en cada momento de muestreo y se expresó como porcentaje de la masa seca inicial.

$$MSR (\%) = \frac{\text{masa seca muestreo (g)} \times 100}{\text{masa seca inicial (g)}}$$

La determinación de la tasa de descomposición del material vegetal se estimó a través de un modelo exponencial simple del orden:

$$y: y_0 e^{-kt} \text{ (Jiménez y col., 2005)}$$

y : Porcentaje de masa seca remanente.

y_0 : Porcentaje de masa seca inicial.

t : Tiempo.

k : Tasa relativa de descomposición mensual o constante de velocidad de descomposición.

El coeficiente de descomposición (k) indica la velocidad con que se transforman o descomponen los residuos vegetales, y se determinó por la fórmula (Jiménez y col., 2005):

$$k = - [\ln (y/y_0)]/t$$

y : Porcentaje de masa seca remanente.

y_0 : Porcentaje de masa seca inicial.

t : Tiempo.

Mediante el método colorimétrico se determinó la concentración de nitrógeno (% N) en la masa seca remanente de los diferentes residuos vegetales y de cada una de las bolsas.

El flujo o transferencia de nitrógeno liberado mensualmente se determinó por la fórmula descrita por Jiménez y col. (2005):

$$\% N \text{ liberado} = 100 - [(Nm/Ni) \times MSR]$$

$\% N \text{ liberado}$: Porcentaje del nutrimento liberado mensualmente.

Nm : Concentración de nutrimento en la muestra residual mensual (%)

Ni : Concentración del nutrimento en la muestra inicial (%)

MSR : Masa seca remanente (%)

El tiempo medio de vida de la materia seca y del nutriente en el residuo vegetal, o lo que es lo mismo, el tiempo necesario para que la mitad de ese residuo desaparezca o para que el N se libere, se calculó por la ecuación $t_{1/2} = \ln (2)/k$ (Gourette, 2007).

En todas las evaluaciones realizadas se determinó la media y la desviación estándar para cada tipo de material en estudio.

Resultados y discusión

Evaluación de la fitomasa reciclada

En el primer año de establecimiento del cafeto (1996) la planta se encuentra en una etapa de crecimiento vegetativo (aéreo y radical) y no está presente la formación de frutos, lo cual condiciona entre otros aspectos la caída de las hojas. Por esta razón el retorno por caída de hojas apareció a partir del segundo año de plantados los cafetos (1997), con valores de 0,30 mg x ha⁻¹ de masa seca, correspondiente al año del despunte (Fig. 1A). Al pasar a la etapa productiva la caída de hojas se incrementó y su magnitud dependió de la cosecha del año; así, a partir del tercer año (1998) el retorno de las hojas estuvo entre 1,2 a 1,60 mg x ha⁻¹ x año⁻¹ de masa seca, lo que representó entre el 26 y el 32 % del total de las hojas de la planta, correspondiente con altas cosechas del cafeto (Fig. 1A).

Como el cafeto después de la poda adelanta en un año la entrada en producción, se encontraron retornos iniciales de caída de hojas en el orden de 0,24 mg x ha⁻¹ de masa seca en el primer año del segundo ciclo productivo (Fig. 1A). La caída de hojas en el segundo y tercer año después de la poda fue similar a la obtenida en igual período del ciclo anterior, con valores que alcanzaron 1,40 a 1,50 mg x ha⁻¹ x año⁻¹ de masa seca, lo que representó el 33 % del total (Fig. 1A).

El retorno por caída de las hojas de *Samanea saman* tuvo poca variación de un año a otro respecto al cafeto. Esto se debe a que los árboles de sombra están en equilibrio y anualmente puede esperarse, dependiendo del régimen de precipitaciones, un comportamiento homogéneo. La media de los años evaluados fue de 1,51 mg x ha⁻¹ de masa seca de hojas (Fig. 1B).

Además de la caída de las hojas del cafeto y de los árboles de sombra, existen otros materiales u órganos que también se reciclan en el agroecosistema, como los frutos, las flores, los pecíolos y las ramas del cafeto. Se encontró que, a diferencia del cafeto, los mayores aportes de biomasa de los árboles de sombra lo constituyen los otros restos, más que la caída de sus hojas. El algarrobo aportó por otros componentes (flores, frutos, pecíolo y ramas) 2,62 mg x ha⁻¹ x año⁻¹ de masa seca (Fig. 2A y B).

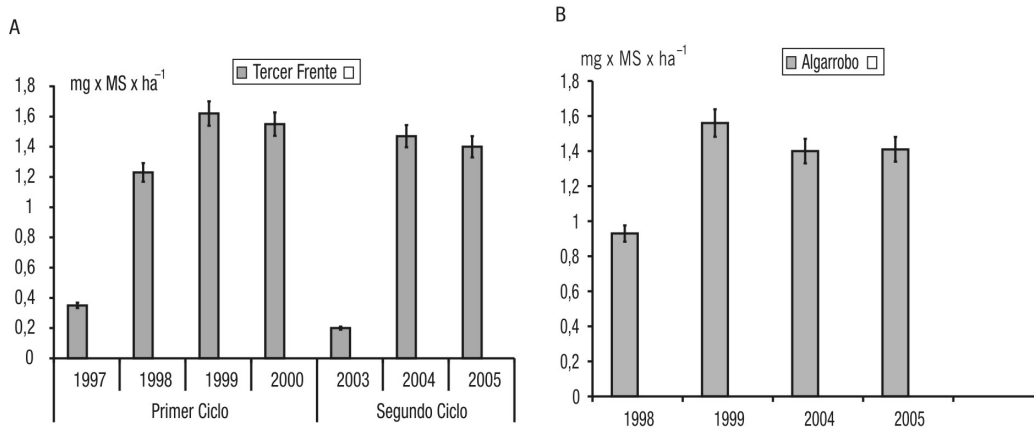


Fig. 1. Aporte de biomasa (t x ha⁻¹ de masa seca) por las hojas de caféto (A) y los árboles de sombra. (B): Barras verticales representan la desviación estándar de las medias.

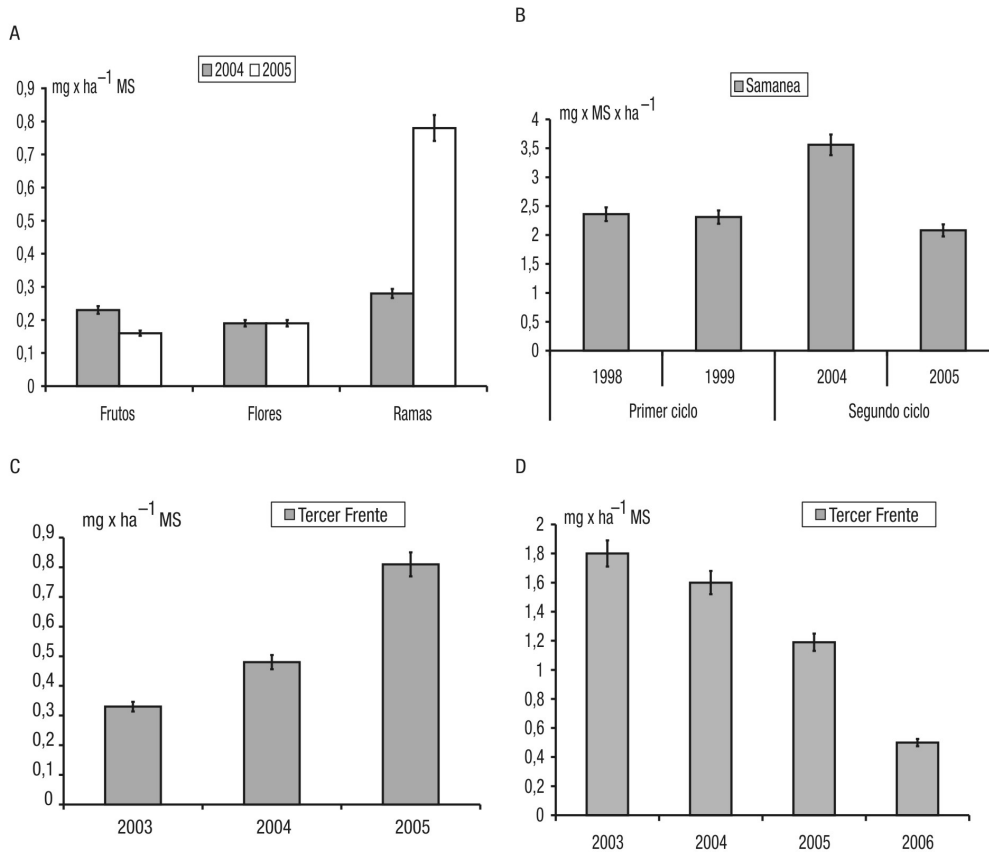


Fig. 2. Aporte de biomasa de los diferentes componentes del agroecosistema cafetalero analizado. (A): Restos de caféto (flores, frutos y ramas). (B): Restos (flores, frutos, pecíolo y ramas) de Samanea saman (C): Restos del deshije de los cafétos. (D): Restos de las arvenses. Barras verticales representan la desviación estándar de las medias.

En relación con esto, Philpott *et al.* (2006) informaron que la sombra proporciona un hábitat propicio para ayudar al ciclo de nutrientes por medio del aporte de hojarasca al suelo, como vía de reciclar sus elementos químicos y a la conservación del suelo. En condiciones de Brasil, Gourete (2007) encontró una gran cantidad y diversidad de material orgánico de varias especies forestales utilizadas como sombra para café.

Otro de los componentes que contribuyen al aporte de biomasa en el agroecosistema cafetalero lo constituyó el deshije. La contribución por el retorno de esta práctica dentro del manejo del café se incrementó por año (Fig. 2C). Esta es una medida muy necesaria en la especie por la formación de numerosos tallos ortotrópicos, con una abundante producción de hijos. Es por eso que, en la tecnología para el manejo de la poda quinquenal en *Coffea canephora* en Cuba, se propone realizar de tres a cinco deshijos al año para mantener el número de vástagos seleccionados siempre fijo (Díaz y col., 2007). La realización de al menos tres deshijos por año permitió un retorno de $0,54 \text{ mg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$.

La fitomasa producida por las arvenses depende, entre otros factores, del manejo de la sombra y del desarrollo del café dentro del área. Así, la realización de cuatro limpiezas anuales de las arvenses (en las condiciones experimentales se encontraron 16 especies, como se muestra en la tabla 1) y el mantenimiento de un 30 % de la sombra en el *canephora* (Díaz y col., 2003), retornó en el año de la poda (2003) valores

de $1,80 \text{ mg x ha}^{-1}$ de masa seca, pero disminuyó en el tiempo como consecuencia del propio desarrollo del café que tiende a cerrar la calle, y en unión con los árboles de sombra provocan un autosombreo y limitan su crecimiento.

Los retornos por las arvenses el resto de los años fue de $1,6 \text{ mg x ha}^{-1}$ en 2004 y de $1,19 \text{ mg x ha}^{-1}$ de masa seca en 2005 (Fig. 2D), mientras que en 2006 se redujo a $0,50 \text{ mg x ha}^{-1}$ de masa seca. Como media del período de investigación, el retorno por las arvenses fue de $1,53 \text{ mg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$ en todo el ciclo productivo evaluado.

Estos resultados fueron similares a lo alcanzado por Quintero y Ataroff (1998) en Venezuela con aportes de biomasa por las arvenses de $1,9 \text{ mg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$ de masa seca.

Reciclaje de N de las hojas y otros componentes del café y los árboles de sombra

Las hojas del café retornaron importantes cantidades de N al suelo, desde $6,1 \text{ kg x ha}^{-1}$ en el segundo año de establecimiento del café (año de menor caída de hojas), 45 kg x ha^{-1} en el tercer año y 48 kg x ha^{-1} de N en el cuarto año (Fig. 3A). En el segundo ciclo los retornos de N comenzaron desde el primer año y llegaron en el tercer año a 35 kg x ha^{-1} . Como media, los retornos anuales de N por la caída de las hojas del café *canephora* durante los años evaluados fueron del orden de los $29,92 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$.

Los restos del café retornaron por medio de los frutos $4,96 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$; por las flores, $2,09 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$,

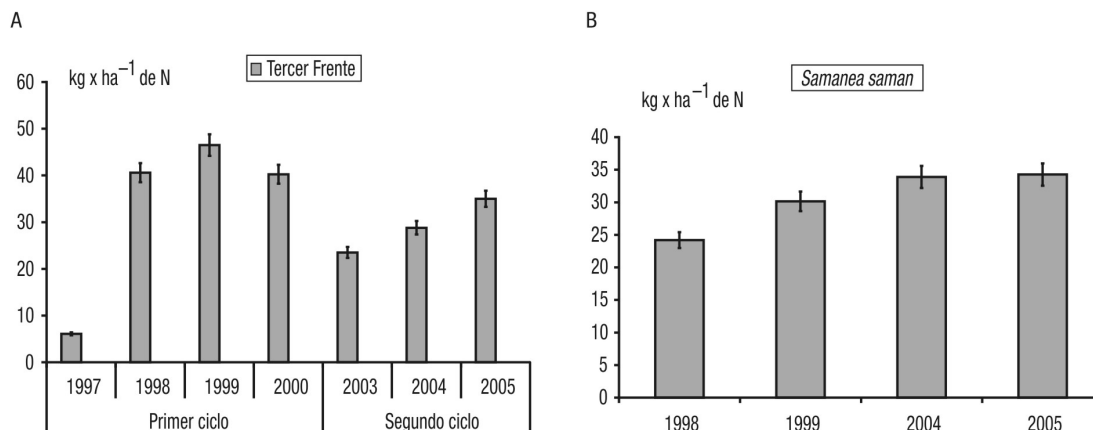


Fig. 3. Reciclaje de N (kg x ha^{-1}) por las hojas de café (A) y los árboles de sombra (B) en el área de goteo de *Samanea saman*. Barras verticales representan la desviación estándar de las medias.

y las ramas contribuyeron con $10,50 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$ de N, mientras que los restos del algarrobo incorporaron $44,09 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$ de N (Figs. 3A y B).

Por el deshierbe del cafeto se incorporaron como media de las evaluaciones realizadas $18,42 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$ (Fig. 4C). Estos resultados fueron similares a los encontrados en Venezuela, donde los deshierbes del cafeto aportaron como valores medios $19,6 \text{ kg x ha}^{-1} \text{ x año}^{-1}$ de N (Quintero y Ataroff, 1998).

El deshierbe permite el retorno de toda la biomasa aérea de las especies que conforman el estrato herbáceo del cafetal y con ella el N, el cual tuvo un comportamiento diferenciado por año, disminuyendo en la medida en que las plantas de cafeto crecen y cierran las calles. Los mayores contenidos del elemento se encontraron en el año de la poda (38 kg x ha^{-1}), y disminuyó con el tiempo hasta 2006 (Fig. 4D).

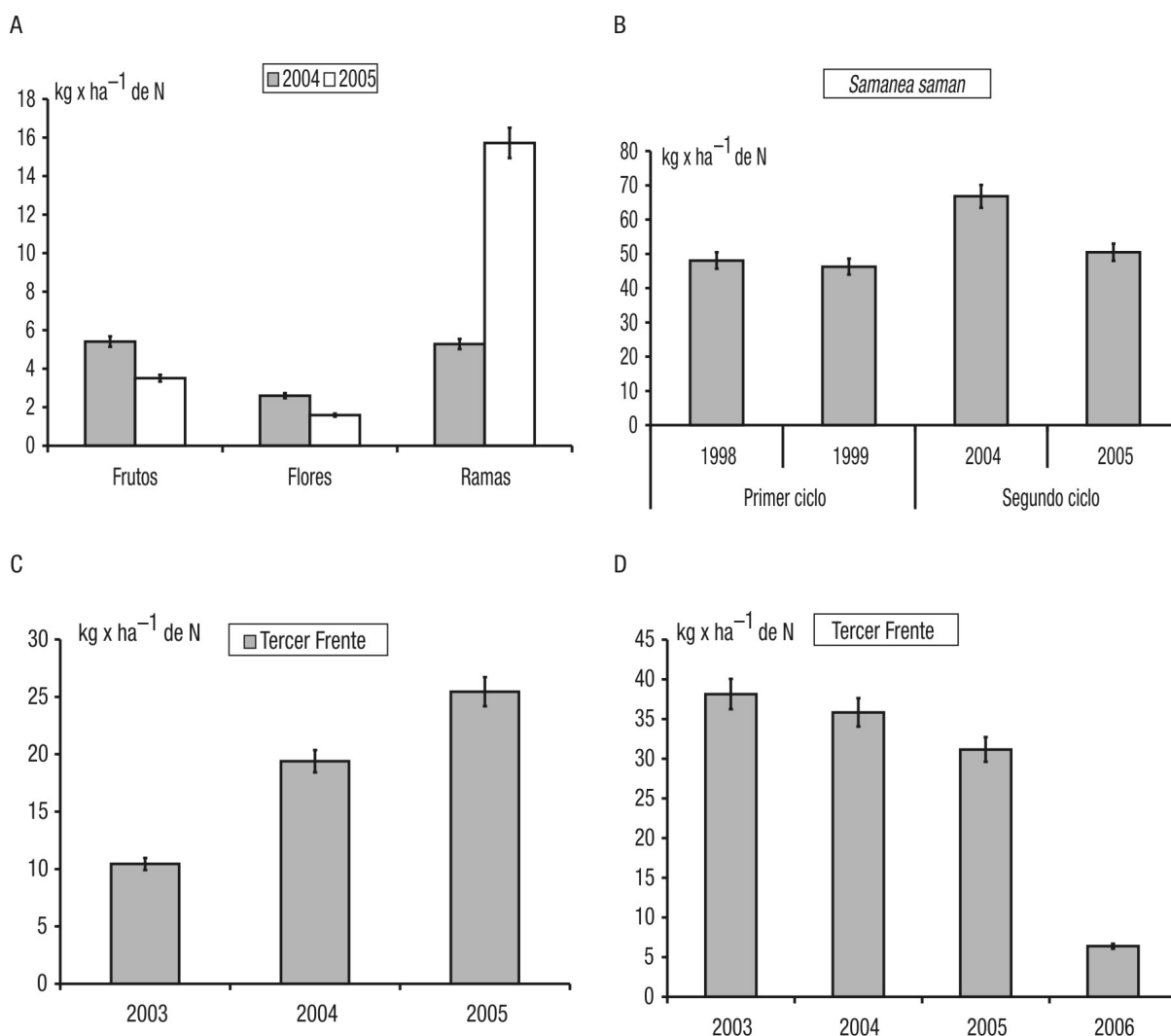


Fig. 4. Reciclaje de N (kg x ha^{-1}) por los diferentes componentes del agroecosistema cafetalero analizado. (A): Restos de café (flores, frutos y ramas). Sitio Tercer Frente. (B): Restos (flores, frutos, pecíolo y ramas) de *Samanea saman* y *Gliricidia sepium*. (C): Restos del deshierbe de los cafetos. (D): Restos de las arvenses. Barras verticales representan la desviación estándar de las medias.

Contribución general del agroecosistema

Se encontró que los árboles de sombra contribuyen con el mayor aporte de biomasa y de N, seguido de los retornos del cafeto, y por último de las arven-

ses (Tabla 2). De manera general, el agroecosistema formado por *Coffea canephora* y *Samanea saman* retornaron al suelo de 8,55 Mg x ha⁻¹ x año⁻¹ de masa seca y 169 kg x ha⁻¹ x año⁻¹.

Tabla 2. Producción de biomasa y reciclaje de nitrógeno por algunos componentes del agroecosistema cafetalero (medias anuales de las evaluaciones realizadas. 1997-2005)

| Componentes | Biomasa (mg x ha ⁻¹ x año ⁻¹) | N kg x ha ⁻¹ x año ⁻¹ |
|---|---|--|
| Hojas de café | 1,43 (± 0,22) | 29,92 (± 10,49) |
| Restos ¹ | 0,92 (± 0,05) | 12,85 (± 0,89) |
| Deshijos | 0,54 (± 0,02) | 18,42 (± 0,92) |
| Contribución del cafeto | 2,89 | 61,19 |
| Hojas del árbol | 1,51 (± 0,08) | 36,86 (± 1,48) |
| Restos ² | 2,62 (± 0,13) | 44,09 (± 2,20) |
| Contribución de la sombra | 4,13 | 80,95 |
| Arvenses | 1,53 (± 0,07) | 27,75(± 1,75) |
| Total del sistema | 8,55 | 169,89 |
| ¹ Restos de la planta de cafeto: flores, frutos, ramas; ² Restos de los árboles de sombra: flores, frutos, ramas y peciolo. Árbol de sombra: algarrobo (<i>Samanea saman</i>). Número entre paréntesis: desviación estándar de las medias. | | |

En los trabajos de Bustamante y col. (2007) se informa que el aporte al agroecosistema cafetalero por el algarrobo puede llegar a 2,3 mg x ha⁻¹ de masa seca, valores no muy diferentes de los encontrados en este estudio.

Tasa de descomposición de los diferentes componentes del agroecosistema

La tasa de descomposición varió por cada material y se incrementó con el tiempo; así las arvenses fueron las más rápidas en descomponerse, con una masa seca remanente (MSR) a los 210 días del 17 %, seguida del algarrobo con una MSR del 33 % (Fig. 5).

La tasa de descomposición encontrada en el algarrobo fue similar a lo reportado por Gourete (2007), donde la hojarasca de las especies *Erythrina* sp. e *Inga* sp. presentaron las menores masas remanentes a partir de los 150 días, y llegó a ser alrededor del 30 %.

Las arvenses presentaron una favorable relación C/N de 12,20, influenciada tal vez por la propia mezcla de

especies existente en el agroecosistema (Tabla1), muchas de ellas leguminosas, mientras que la hojarasca del algarrobo tuvo una relación C/N de 13,43, muy apropiada para una rápida descomposición.

Las hojas del cafeto presentaron una MSR a los 210 días del 41 %, similar al comportamiento obtenido por *C. arabica* cultivado en Costa Rica con valores del 44 % de masa remanente del follaje a los 240 días (Moreno, 2004). La lenta descomposición de las hojas de café respecto a las hojarasca de algarrobo y de las propias arvenses pudo estar influenciada por diversas causas. Entre ellas se pueden mencionar una mayor relación C/N (20,08) y a la presencia de contenidos de lípidos, resinas, celulosa, taninos y lignina que ejercen un efecto resistente que prolonga la biodegradación de las hojas por inhibición del crecimiento y el funcionamiento de los microorganismos.

Hay autores que plantean que aunque los rangos de descomposición del material vegetal añadido al suelo

dependen de numerosos factores biológicos y ecológicos (Dawoe *et al.*, 2009), la composición química de las

plantas es el factor más importante de la mineralización (Vigil, 2001).

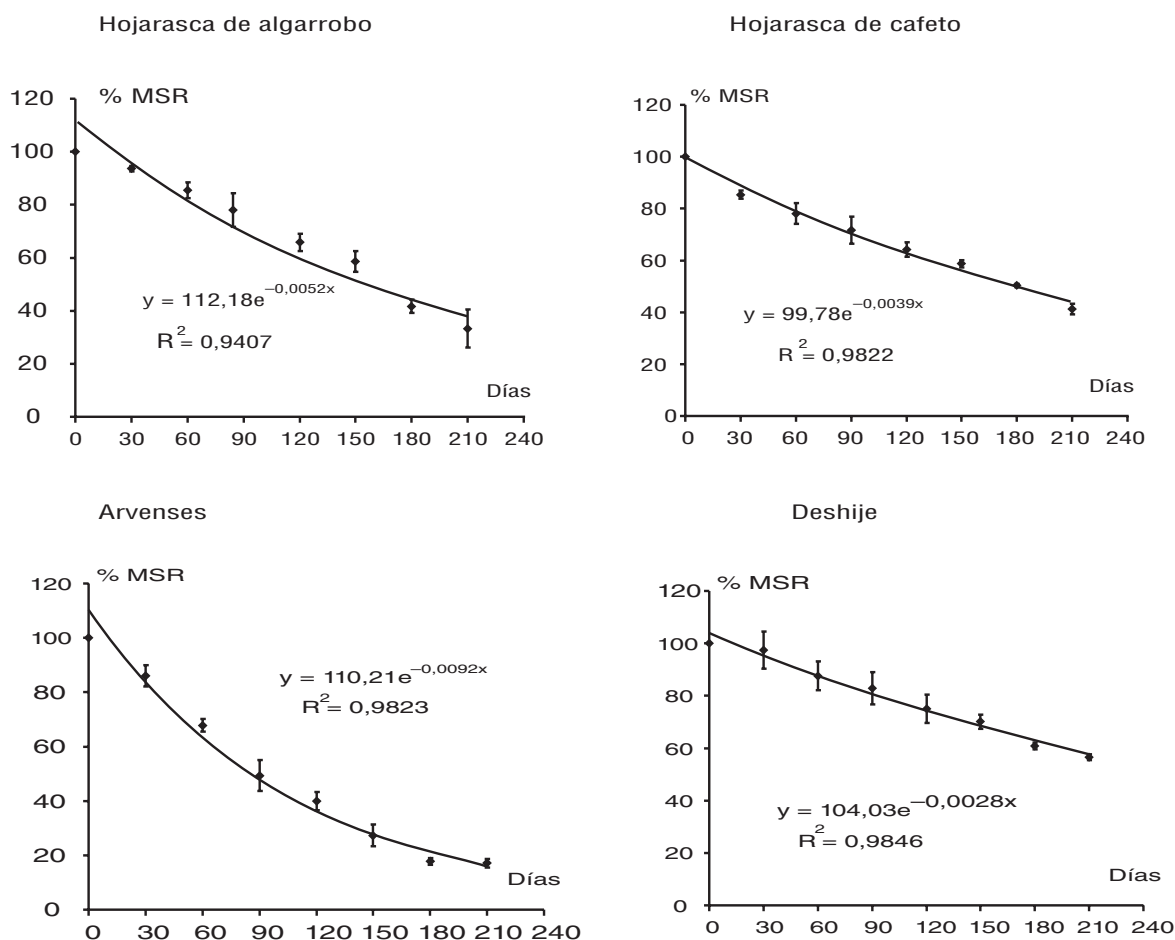


Fig. 5. Tasa de descomposición de los diferentes restos estudiados. Medias de tres años de estudios.

MSR: Masa seca remanente.

Barras verticales: desviación estándar de las medias. 2003-2005

La tasa de descomposición de los restos de los deshijos (relación C/N de 30,2) fue la más lenta dentro de los materiales evaluados; así, a los 210 días quedaba el 56 % de la MSR. Navarro y Navarro (2003) informan que el aumento de la proporción de celulosa disminuye el porcentaje de N en el material, y por consiguiente se eleva la relación C/N. El hecho que los deshijos tuvieran menor tasa de descomposición que el resto de los materiales estudiados se debe a que normalmente las hojas presentan mayor tasa de descomposición, en razón de su concentración inicial más elevada de nitrógeno y de fósforo que los materiales más lignificados. Estos últimos son más resistentes a la descomposición (Caldato *et al.*, 2010).

Como resultado, el patrón de descomposición de los diferentes residuos estuvo en función de los materiales vegetales, su relación C/N y el tiempo de duración del experimento. Esto concuerda con lo referido por Poggiani y Schumacher (2004) y Pallardy (2008), quienes informaron que la forma y velocidad de descomposición de los restos están relacionadas principalmente con las condiciones climáticas, la relación C/N y los microorganismos que efectúan el proceso.

En términos generales puede decirse que si la relación C/N es mayor que 30, no existe una liberación inmediata del nitrógeno aprovechable en el suelo; por el contrario, si dicha relación es de 20, algo del N se mineraliza y queda a disposición de la planta (Córdova, 2010).

Liberación del nitrógeno

Las hojas de cafeto, la hojarasca de algarrobo, las arvenses y los deshijos tuvieron inicialmente un proceso de inmovilización del N y su magnitud dependió del material evaluado. Las hojas de cafeto tuvieron un período de inmovilización entre los 30-50 días, a partir del cual se comenzó a liberar N al suelo de forma creciente hasta los 210 días que duró la investigación y alcanzó el 40 % de liberación (Fig. 6).

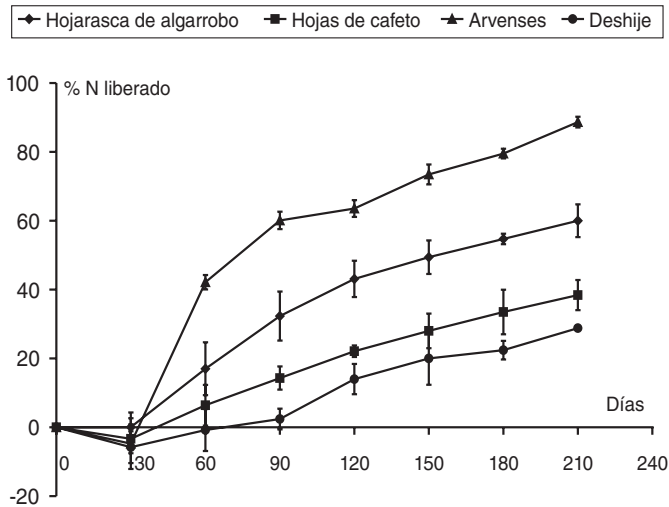


Fig. 6. Flujo de N en diferentes restos del agroecosistema cafetalero. Medias de los tres años evaluados. Barras verticales: desviación estándar de las medias. 2003-2005

El período de inmovilización del N en la hojarasca de algarrobo estuvo por debajo de los 30 días. A partir de ese momento comenzó la liberación del N por parte de la hojarasca del algarrobo. A los 210 días se había liberado el 60 % de nitrógeno que se encontraba en la masa seca (Fig. 6). En coincidencia, la hojarasca de las especies de leguminosas *Erythrina poeppigiana*, *Inga edulis* y *Albizia gumifera* como árboles de sombras en los agroecosistemas cafetaleros presentaron inmovilización inicial de los nutrientes, para luego incrementar la tasa de mineralización (Moreno, 2004).

Al respecto, Partielli *et al.* (2009) explican que la liberación de los nutrientes para el suelo ocurre en función de algunos factores, como la época del año (estación seca o lluviosa, verano o invierno), la localidad, la edad de la planta y la especie utilizada.

El nitrógeno en las arvenses también se inmovilizó durante un mes, pero su liberación en el tiempo fue su-

perior al resto de los materiales, y llegó a los 210 días al 88 % del contenido inicial.

Los restos de los deshijos también se inmovilizaron en un período de 30-50 días; pero la magnitud de liberación de N fue la más lenta de todas, al alcanzar a los 210 días el 28 % de nitrógeno inicial contenido en la masa seca.

La tasa de descomposición y el tiempo de vida media varió para cada uno de los restos evaluados (Tabla 3). La mayor descomposición se encontró en las arvenses > hojarasca de algarrobo > hojas de café > restos del deshije del café.

Tabla 3. Coeficiente de descomposición ($k \times \text{día}^{-1}$) y período de vida media de los restos vegetales. 2003-2005

| Restos vegetales | Coefficiente de descomposición | Período medio de vida $t_{1/2}$ (días) |
|------------------------|--------------------------------|--|
| Hojas de cafeto | 0,0039 | 203,02 |
| Hojarasca de algarrobo | 0,0052 | 188,54 |
| Arvenses | 0,0092 | 76,3 |
| Restos de deshijos | 0,0028 | 252,99 |

La tasa de descomposición de las hojas de cafeto en las condiciones objeto de estudio fue superior a lo alcanzado en la hojarasca de *C. arabica* cultivado a pleno sol ($0,0017 \text{ k} \times \text{día}^{-1}$) y bajo sombra de *Gliricidia sepium* ($0,0012 \text{ k} \times \text{día}^{-1}$) en Nicaragua (Pérez & Souza, 2006), mientras que la hojarasca del algarrobo fue similar a lo encontrado en la especie *Inga* sp. ($0,0030 \text{ k} \times \text{día}^{-1}$) en Brasil por Gourete (2007). e inferior a *Gliricidia sepium* ($0,012 \text{ k} \cdot \text{día}^{-1}$) en Nicaragua (Pérez & Souza, 2006).

Los restos del algarrobo tuvieron un período de vida media de 188 días, inferior a los resultados con la especie *Inga* sp. utilizada como sombra para el cafeto en Brasil, con un tiempo de vida media de su hojarasca de 236 días (Gourete, 2007), y a lo reportado para la descomposición de la hojarasca de la selva mixta del sur de Brasil, donde se encontró un tiempo de vida media de 3,89 años (Caldato *et al.*, 2010).

En el caso de las hojas café, la vida media de sus residuos fue de 203 días aproximadamente, mientras que los residuos del deshije no perdieron el 50 % de su peso durante los 210 días que duró la investigación.

De manera general, las especies que producen materias de diferente velocidad de descomposición pueden interactuar en el mismo sistema, de forma que los diversos restos se mezclen y pasen a tener una tasa de descomposición intermedia, liberando continuamente nitrógeno y pudiendo realizar un reciclaje de este elemento más equilibrado en el agroecosistema y ser aprovechado de una manera más eficiente por el cafeto.

Conclusiones

- El agroecosistema formado por *Coffea canephora* y *Samanea saman* retornó al suelo 8,55 t x ha⁻¹ x año⁻¹ de masa seca y 169 kg x ha⁻¹ x año⁻¹ de N.
- Los restos de hojas y deshijos de *Coffea canephora*, de *Samanea saman* y las arvenses tuvieron inicialmente un proceso de inmovilización entre 30 y 60 días, y posteriormente liberaron el nitrógeno, y su magnitud dependió del material evaluado.
- La tasa de descomposición y el tiempo de vida de los residuos estuvieron en el orden siguiente: restos de arvenses > hojarasca de algarrobo > hojas de cafeto > restos del deshije.

Bibliografía

Anderson, J. M. y J. S. I. Ingram: Tropical soil fertility: a handbook of methods. Cab International, 2nd edition, UK, pp., 36-40, 1996.

Arellano, R.; Paolini, J., Vásquez, L. y E. Mora: Producción y descomposición de la hojarasca en tres agroecosistemas de café en el estado Trujillo, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* (48): 7-14, 2004.

Bustamante, C.; Rodríguez, Maritza I.; Viñals, R. y A. Pérez: Contribución al ciclo de nutrientes en el agroecosistema cafetalero. Biomasa y aporte de nutrientes al suelo. *Café Cacao* (8): 29-35, 2007.

Caldato, Silvana L.; Paulo, A. Floss and Elzira C. Serafini Floss: Litter production and decomposition in a mixed araucaria forest in the south of Brazil. *Bosque*: 31: 3-8, 2010.

Cardona, D. y S. Sadeghian: Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de *Inga* spp. *Cenicafé*. 56: 127-141, 2005.

Cardona, D. A.: Caracterización de la fertilidad del suelo y ciclo de nutrientes en monocultivo de café (*Coffea arabica* L.) y bajo sombrero de guamo (*Inga* spp.). Bogota, Universidad Distrital Francisco José de Cladas. Facultad de Medioambiente y Recursos Naturales. 178 pp., 2004.

Córdova, G.: "Mineralización de nitrógeno de diferentes abonos orgánicos" [inédito], tesis de candidatura. Tabasco. Colegio de Posgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Tabasco. México, 2010.

Dawoe, E. K.; Isaac, M. & J. Quashie-Sam: Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant and Soil*. DOI 10.1007/s11104-009-0173-0. 2009.

Díaz, W.; Bustamante, C.; Caro, P. y B. Cumbá: Establecimiento y manejo de plantaciones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. En: *Informe Final Proyecto Nacional 007-03-016*. Cruce de los Baños: Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao. 352 pp., 2003.

Díaz, W.; Vázquez, E.; Molina, G. y R. Reyes: Manejo de la poda quinquenal de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, *Café Cacao* 8: 15 – 23, 2007.

Gourete Duarte, E.: "Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica" [inédito], tesis de candidatura. Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais. Brasil, 2007.

Jiménez, A.; Farfán F. y C. Morales: Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé*. 56:216-236, 2005.

Moreno, Victoria Eugenia: "Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café" [inédito], tesis de candidatura. Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2004.

Navarro, G. G. y S. Navarro: Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Madrid: Editorial Mundi-Prensa. 200 pp., 2003.

Pallardy, S. G.: Physiology of woody plants. 3rd Eds. New York, USA. Elsevier. 454 p. 2008.

Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, Maida; Borges, Yenía; Hernández, T. C. y M Caruncho: Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana: Ediciones Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 160 pp., 2010.

Partielli, L.; Duarte, H. y F. Ribeiro: Cultivo como plantas de cobertura: alternativa viável. *A lavoura*. 671: 42- 47, 2009.

- Pérez, A.; Bustamante, C.; Martín, G. y R. Rivera: Fertilización nitrogenada después de la poda del cafeto robusta en Cambisoles. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 46: 935 – 943, 2011.
- Pérez, D. y O. Souza: "Producción, descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca bajo café a pleno sol y con sombra de *Gliricidia sepium* (Jacq) en Carazo, Nicaragua." [inédito], tesis de candidatura. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua. Nicaragua. 2006.
- Philpotts, S. M.; Perfecto, I and J. Vandermeer: Effects of management system and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. *Biodiversity and Conservation*. 15: 139-155, 2006.
- Poggiani F. & M. V. Schumacher: Nutrient cycling in native forests. In Gonçalves JLM, V Benedetti eds. Forest nutrition and fertilization. Piracicaba, Brasil. IPEF p. 287-305. 2004.
- Quintero, J. S. y M. Ataroff: Contenido y flujos de nitrógeno en la biomasa y hojarasca de un cafetal a plena exposición solar en Los Andes venezolanos. *Revista Facultad de Agronomía* 15: 501-514, 1998.
- Vigil, M. F.: Factors affecting the rate of crop residue decomposition under field conditions. *Conservation Tillage Fact Sheet*. 3: 95, 2001.

**Café
Cacao**

PUBLICACIÓN SEMESTRAL



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRO-FORESTALES
SANTIAGO DE CUBA**