

Contenido y flujos de nitrógeno en la biomasa y hojarasca de un cafetal a plena exposición solar en Los Andes venezolanos

Biomass, litter fall and nitrogen return in a non shaded coffee plantation of Venezuelan Andes

J. S. Quintero¹ y M. Ataroff²

Resumen

Se estudió la distribución de nitrógeno en la fitomasa de un cultivo de *Coffea arabica* variedades bourbon y caturra a plena exposición solar, así como sus variaciones a lo largo de un año, ubicado sobre fuertes pendientes en Los Andes de Venezuela (Canaguá, estado Mérida, 1700 m.s.n.m.). La mayor parte de la fitomasa aérea corresponde a tallos y frutos de café, mientras la fitomasa subterránea presenta, principalmente, rizomas de *Musa cf. sapientum*. La caída de hojarasca presenta un máximo al final de la estación seca, ocasionando su acumulación en la superficie del suelo, la cual se descompone rápidamente haciendo que esa acumulación sea mínima a comienzos de la época lluviosa. Los resultados muestran que de los 415 kg N ha⁻¹ de la biomasa aérea, la mayor parte se encuentra en los cafetos (326 kg N ha⁻¹), mientras el resto se encuentra en *M. sapientum* (71 kg N ha⁻¹) y especies herbáceas (17 kg N ha⁻¹) las cuales son arrancadas periódicamente durante el deshierbe. Anualmente se incorporan al suelo 118 kg N ha⁻¹ por caída de hojarasca y 20 kg N ha⁻¹ por deshierbe. De los 58 kg N ha⁻¹ que se acumulan en la superficie del suelo, sólo 8 kg N ha⁻¹ se pierden por erosión. El nitrógeno devuelto al suelo a través de la hojarasca es ligeramente mayor que el exportado por la cosecha. El balance entre los requerimientos de nitrógeno del sistema y el retornado al suelo por la hojarasca y el deshierbe presenta un déficit de 163 kg N ha⁻¹, el cual es compensado con fertilizantes. Sin embargo, la aplicación de estos sería más eficiente si la fertilización se hiciera en épocas distintas al período marzo-abril, momento de máxima descomposición de la hojarasca.

Palabras clave: Nitrógeno, café, *Coffea arabica*, biomasa, hojarasca, Andes de Venezuela

Recibido el 25-02-1998 ● Aceptado el 03-07-1998

1. Centro de Ecología. Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC). Apartado 21827. Caracas 1020-A, Venezuela. Tlf: 02-5041633, Fax: 02-5041088, e-mail: jqinter@oikos.ivic.ve

2. Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales (CIELAT), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida 5101, Venezuela. Tlf: 074-401255 y 441575, Fax: 074-401286, e-mail: ataroff@ciens.ula.ve

Abstract

Phytomass and nitrogen distribution and its variation over a year in an unshaded, highly sloped Venezuelan Andean coffee plantation (Canagua, Merida State, 1700 m.a.s.l.) with bourbon and caturra arabic coffee varieties were studied. The principal aerial phytomass corresponds to coffee stems and fruits, while underground phytomass is a little higher in banana rhizomes than in coffee roots. Litterfall peaked at the end of the dry season, producing an accumulation on the soil surface which is quickly decomposed and therefore soil litter is minimal at the beginning of the rainy season. Results show that from 415 kg N ha⁻¹ of aboveground biomass, most is found in the *Coffea arabica* var. bourbon and caturra (326 kg N ha⁻¹), while the rest is found in *Musa sapientum* (71 kg N ha⁻¹) and in herbaceous species (17 kg N ha⁻¹) which are periodically removed by weeding. 118 kg N ha⁻¹ of litter falls yearly, and 20 kg N ha⁻¹ are incorporated through weeding. 58 kg N ha⁻¹ accumulates on the soil surface, from which only 8 kg N ha⁻¹ are lost through erosion. Nitrogen return by litter is a little higher than that exported by harvest. The balance between the nitrogen system requirements and that returned to the soil by litterfall and weeding shows a 163 kg N ha⁻¹ deficit, which is supplied by fertilizers, however more efficient use of these could be made if they were not applied only at the peak of litter decomposition (March-April).

Key words: Nitrogen, coffee, *Coffea arabica*, biomass, leaf litter, Venezuelan Andes

Introducción

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, y en el caso particular del café es altamente restrictivo para el desarrollo de los frutos, así como el de las hojas y ramas nuevas (7, 9, 17). Por ello, el conocimiento del "status" del nitrógeno en el sistema es clave para determinar la necesidad de fertilizar los cafetales, así como una buena programación de esas fertilizaciones.

Estudios del balance de nitrógeno en cafetales bajo sombra muestran que su incorporación al suelo a través de la descomposición de hojarasca es mayor que la salida del sistema por la cosecha de los frutos (2, 3, 8, 10). Este

no parece ser el caso para cafetales expuestos al sol donde los aportes por hojarasca son menos importantes (14). A pesar de su importancia, no existe mucha información sobre el ciclo del nitrógeno en sistemas cafetaleros.

En este trabajo se ha querido evaluar el "status" del nitrógeno, a lo largo de un ciclo anual, en la fitomasa de un cafetal de *Coffea arabica* var bourbon y caturra expuesto al sol en condiciones de manejo común realizado por caficultores de Los Andes de Venezuela, considerando el resto de la vegetación de la plantación y el calendario de actividades agrícolas. Los resultados que se presentan son los primeros dentro de un estudio más glo-

bal que incluye estudios sobre el nitrógeno en agua y suelo de cafetales

a pleno sol y bajo sombra.

Materiales y métodos

El área de estudio. El sitio de estudio se encuentra en Canaguá, Sierra Nevada de Mérida, en los Andes venezolanos (8°39'N, 71°24'W), a una altitud de 1700 m.s.n.m. Esta área se caracteriza por una temperatura media anual de 18°C, y una precipitación anual de 1700 mm, con una estación lluviosa entre abril y octubre y una estación seca entre noviembre y marzo, siendo enero el mes más seco (5). Los cafetales se encuentran sobre pendientes de 3%, donde los suelos son Typic humitropept franco esquelético.

El cafetal bajo estudio está compuesto de arbustos de *C. arabica* con una mezcla de las variedades bourbon y caturra cuya densidad es de 3100 cafetos/ha, plantas de *Musa* cf. *sapientum* (50 plantas/ha) y una escasa cobertura de plantas herbáceas. Es un cafetal de 10 años que está en plena producción.

Toma de las muestras. Los resultados presentados en este trabajo corresponden al ciclo anual mayo 1991-abril 1992.

Para los análisis de aportes y salidas de nitrógeno por la fitomasa se tomaron muestras quincenales de la hojarasca caída y de la arrastrada por erosión. La hojarasca caída fue recolectada utilizando 15 cestas interceptoras distribuidas al azar en el cafetal, construidas con aro metálico de 33 cm de diámetro y tul de nylon. Las muestras de hojarasca arrastrada se obtuvieron de una parcela de erosión

de 6 × 2 m.

Para el análisis del contenido de nitrógeno en la biomasa aérea y subterránea de café, de la musácea y otras especies, así como de la hojarasca sobre el suelo, se realizaron cuatro muestreos correspondientes a cuatro épocas diferentes del año, seleccionadas según el régimen de precipitaciones y la fenología de las especies, tal como se muestra en la figura 1.

En cada uno de estos muestreos se tomaron:

a) para la hojarasca en la superficie del suelo: un área al azar de 0,625 m² y se dividió en 10 cuadrados de 25 × 25 cm cada uno, dispuestos en dos series de cinco cuadrados cada una.

b) para la biomasa aérea de café: se determinó por cosecha total de dos plantas tomadas al azar.

c) para la biomasa aérea de musáceas: se tomaron dos plantas y se aplicó el método de correlaciones utilizado por Jiménez-Avila y Martínez (11).

d) para la biomasa subterránea del café y la musácea: se extrajeron monolitos de suelo de 8 cm de diámetro x 10 cm de profundidad, tomados a 20 cm del tronco en direcciones Norte y Sur (en sentido de la pendiente). Los monolitos se tomaron a dos profundidades 0-10 cm y 10-20 cm. En el caso del rizoma de la musácea se calculó por el método de correlaciones utilizado por Jiménez-Avila y Martínez (11).

e) para la biomasa de las otras

especies (herbáceas): se recolectó toda la parte aérea y subterránea de un área de 0,625 m², dividida en 10 cuadrados de 25 × 25 cm cada uno, dispuestos en dos series de cinco cuadrados cada una (equivale a la biomasa del deshierbe).

f) para la biomasa de frutos cosechados: se tomó toda la cosecha de una parcela de 6 × 2 m, entre noviembre-diciembre de 1991.

Se tomaron muestras de la única fertilización realizada por los caficultores, la cual fue con úrea (abril 1991) justo antes de iniciar el ciclo estudiado.

Procesamiento del material y análisis químico. Las muestras de hojarasca caída y arrastrada fueron separadas en el laboratorio en las siguientes submuestras: a) café: hojas, ramas, frutos y flores, b) otras especies,

y c) una fracción no identificable.

La biomasa total de plantas de café y musácea se separó en: tallos, ramas, hojas verdes, maduras y senescentes, frutos verdes, maduros y secos, flores y raíces de 0-10 cm y de 10-20 cm de profundidad. Las otras especies se separaron en vástagos y raíces.

Todas las submuestras fueron secadas en estufa a 60-70°C hasta peso constante, se midió el peso seco y luego fueron molidas.

Se determinó nitrógeno total de cada submuestra por el método Micro-Kjeldhal (13). Todas las submuestras fueron digeridas con una solución de H₂SO₄ con 25 g de K₂SO₄, 10 g de CuSO₄ 5H₂O, 5 g de Na₂SeO₃ 5H₂O y 10 g de HgO por L.

Resultados y discusión

Biomasa aérea. La biomasa aérea total del sistema fue de 23,55 t ha⁻¹, donde la mayor proporción corresponde al café con 18,08 t ha⁻¹, mientras la musácea tuvo 4,55 t ha⁻¹ y el conjunto de las otras especies 0,92 t ha⁻¹ (figura 2a). De la biomasa aérea del café, los frutos (6,08 t ha⁻¹) y los tallos (5,48 t ha⁻¹) tuvieron la mayor proporción.

El nitrógeno total de la biomasa aérea para todo el sistema fue de 415 kg N ha⁻¹, la mayor parte en las plantas de *C. arabica* con 326 kg N ha⁻¹, seguido por *M. sapientum* (72 kg N ha⁻¹) y en menor cantidad por otras especies (17 kg N ha⁻¹) (figura 2b).

La mayor cantidad de nitrógeno se encontró en los frutos y las hojas de

café (63% del total). Sin embargo, las concentraciones de este elemento no siempre son las mismas sino que varían según el grado de madurez y la época del año. En promedio, las hojas nuevas mostraron mayores concentraciones con 3,3%, mientras las maduras tuvieron 2,6% y las senescentes 2,5%. Resultados similares fueron encontrados por Aranguren *et al.* (3) y Navidad (14), sugiriendo que existe una traslocación del elemento antes de la caída de la hoja. Igualmente, en promedio los frutos verdes mostraron mayores concentraciones con 2,5%, mientras los maduros tuvieron 1,8% y los senescentes 1,6%. Tanto hojas nuevas como frutos verdes presentaron

mayores concentraciones en meses muy lluviosos (3,9% y 3,1% , respectivamente) que en meses secos (2,6% y 1,9%, respectivamente).

Biomasa subterránea. La biomasa subterránea total se calculó en 1,51 t ha⁻¹, la mayor proporción correspondió a rizomas y raíces entre 0-20 cm de profundidad de *M. sapientum* con 0,69 t ha⁻¹, seguido de raíces de *C. arabica* con 0,62 t ha⁻¹ y por último las raíces de otras especies con 0,17 t ha⁻¹ (figura 2a).

Sin embargo, fue en las raíces de los cafetos entre 0-20 cm donde se encontró la mayor cantidad de nitrógeno con 11 kg N ha⁻¹, mientras la parte subterránea de *M. sapientum* (raíces y rizomas) tuvieron 6,8 kg N ha⁻¹ y la de otras especies 2,6 kg N ha⁻¹ (figura 2b).

Aún cuando las plantas de *C. arabica* tienen la mayor proporción de nitrógeno, 46,6% del nitrógeno de la biomasa subterránea se encuentra en *M. sapientum* y otras especies herbáceas, principalmente inmovilizado en los tejidos de los rizomas.

Producción de hojarasca y deshierbe. La caída de hojarasca y el deshierbe conforman la principal vía de retorno de nutrientes en este agroecosistema. El total de hojarasca caída durante el año de estudio fue de 5,69 t ha⁻¹año⁻¹, de la cual el mayor aporte corresponde a hojas de café con 3,75 t ha⁻¹año⁻¹ (66% del material caído).

La caída de hojarasca es continua a lo largo del año, siendo mayor durante la época seca (figura 3a) , cuando los cafetos pierden la mayor parte de sus hojas (figura 1). Este mismo patrón ha sido encontrado por otros autores para distintos tipos de cafetal (2, 5, 11, 14).

El aporte total de nitrógeno por caída de hojarasca fue de 118 kg N ha⁻¹ año⁻¹, siguiendo el mismo patrón anual de variación que el de la biomasa (figura 3b). Las hojas de café tienen la mayor contribución con 85 kg N ha⁻¹año⁻¹ (72%). Sin embargo, la mayor concentración se encontró en flores de café (2,6%), seguida por la de las hojas (2,4%), frutos (2,1%) y ramas finas (1,3%).

El deshierbe permite el retorno de toda la biomasa aérea y subterránea de las especies que conforman el estrato herbáceo del cafetal, lo que en este caso significa 1,09 t ha⁻¹año⁻¹ con 19,6 kg N ha⁻¹año⁻¹. Este componente de la fitomasa es muy variable entre las plantaciones a pleno sol, Navidad (14) lo valoró en 0,17 t ha⁻¹año⁻¹. Estas plantas herbáceas pueden representar un problema de competencia para los cafetos, especialmente a comienzos de la época lluviosa cuando ambos están en su pico de crecimiento. Sin embargo, el nitrógeno tomado por estas herbáceas no es eliminado del sistema, por el contrario es inmovilizado por ellas y devuelto por medio de los deshierbes, los cuales ocurren comúnmente dos veces al año.

La hojarasca del suelo. La hojarasca acumulada sobre el suelo mostró un máximo en plena época seca (3,63 t ha⁻¹) después del máximo de caída de hojarasca, y un mínimo en mayo (2,22 t ha⁻¹, figura 4a) comenzando la estación lluviosa. Esto sugiere que la mayor tasa de descomposición ocurre entre marzo y mayo, período en que la radiación a nivel del suelo es la más alta y la humedad es relativamente alta, ya que

corresponde a los meses de menor cobertura pero con precipitaciones (figura 1).

La tasa de descomposición de la hojarasca, expresada por la constante K ($K = \text{tasa de caída de hojarasca} / \text{hojarasca acumulada sobre el suelo}$) (2, 16) fue 1,91 para todo el material, equivalente a una vida media de la hojarasca de 4,4 meses. Un valor similar ($K=1,49$) fue encontrado en este mismo cafetal durante el período 1988-1989 (4). Para otro cafetal expuesto al sol, Navidad (14) encontró un valor $K=1,67$. Son valores bajos, comparados con muchos ambientes tropicales, indicando una descomposición lenta.

La tasa de descomposición para cada fracción del material que compone la hojarasca fue de $K=5,86$ para las hojas, $K=6,79$ para los frutos y $K=0,95$

para las ramas finas, equivalentes a vidas medias de 1,4, 1,2 y 8,8 meses respectivamente. Navidad (14) calculó valores similares para frutos (6,11) y ramas finas (0,91), pero un valor menor para hojas (1,53). Aranguren *et al.* (3) propusieron utilizar la relación: tasa de transferencia del nitrógeno en la hojarasca caída / nitrógeno almacenado en la hojarasca acumulada en superficie, para estimar la tasa a la cual el nitrógeno es transferido desde la hojarasca hacia el suelo. Los valores calculados para este estudio fueron 5,08 para las hojas, 9,81 para los frutos y 1,02 para las ramas finas, lo cual sugiere que durante la descomposición las hojas pierden masa a una tasa algo mayor que su tasa de pérdida de nitrógeno, mientras que los frutos y las ramas finas pierden masa a una

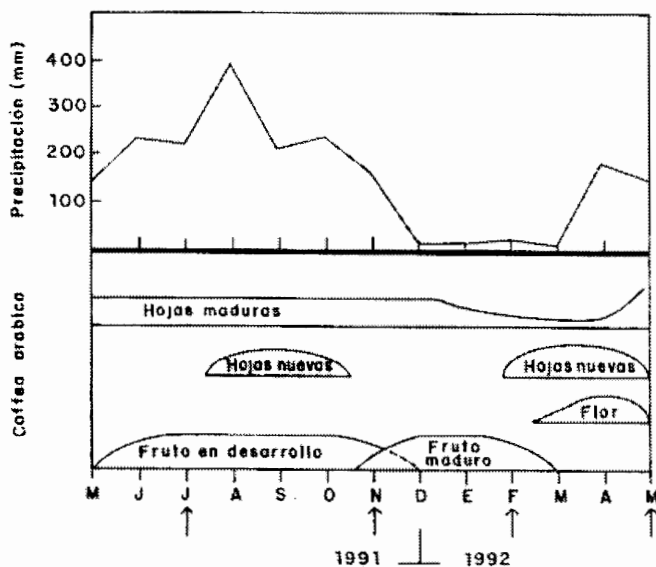


Figura 1. Fenología de *Coffea arabica* var bourbon y caturra, y precipitaciones durante el período de estudio, Canaguá, estado Mérida, Venezuela. Las flechas señalan los momentos de muestreo de fitomasa total.

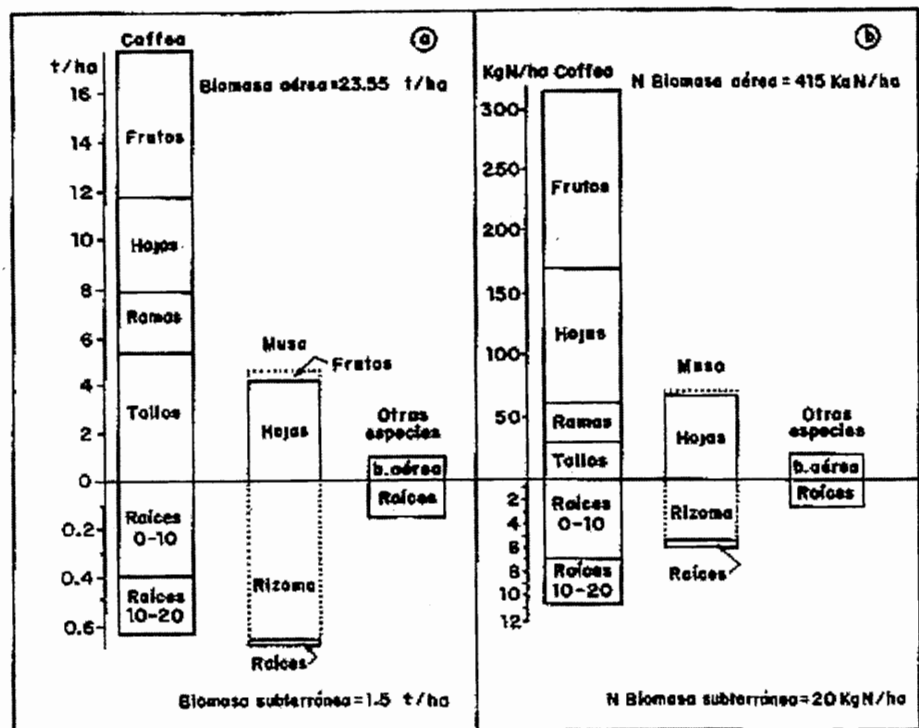


Figura 2. Biomasa (a) y contenido de nitrógeno (b) de los distintos componentes del cafetal estudiado, Canaguá, estado Mérida, Venezuela. FNI: fracción no identificable.

tasa mucho menor que la de pérdida de nitrógeno.

El contenido de nitrógeno en la hojarasca acumulada en superficie, varió desde un máximo en plena época seca con 70 kg N ha^{-1} , hasta un mínimo a comienzos de las lluvias con 51 kg N ha^{-1} (figura 4b). Sin embargo, la concentración de nitrógeno en la estación seca fue menor (1,9%) que la del comienzo de la estación lluviosa (2,3%), lo cual era de esperarse dada la baja concentración de este elemento en las hojas senescentes que caen en su mayoría durante la estación seca.

Hojarasca arrastrada por erosión. Se midió un total de $341,5 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de hojarasca arrastrada, de los cuales $189,4 \text{ kg}$ fueron de hojas de café. La salida de hojarasca del cafetal fue continua durante todo el año, coincidiendo sus máximos con los períodos en los que se realizaron labores agrícolas (figura 5a), es decir, en agosto 1991 cuando se efectuó el deshierbe y en diciembre 1991-enero 1992 meses de la cosecha más intensiva. El monto de hojarasca arrastrada no parece estar influenciada por la cantidad del agua de escorrentía,

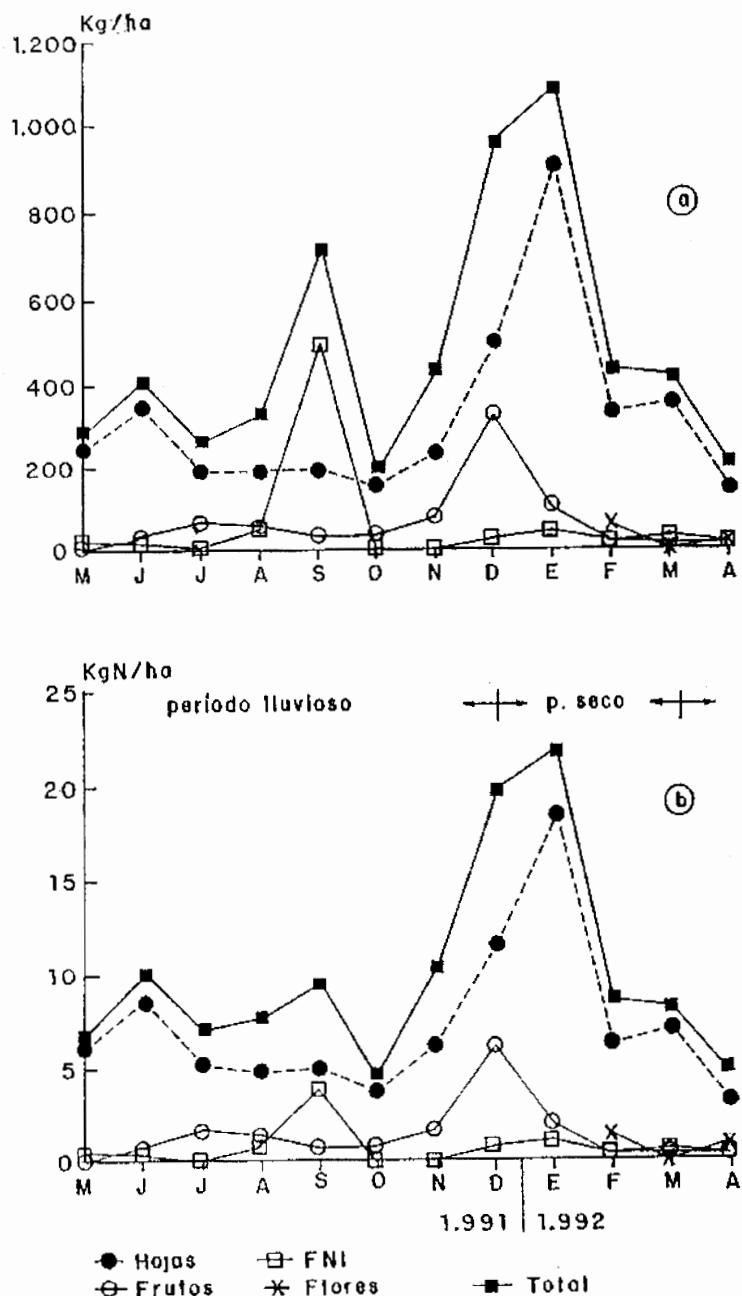


Figura 3. Biomasa (a) y contenido de nitrógeno (b) de la hojarasca caída mensualmente en el cafetal estudiado, Canaguá, estado Mérida, Venezuela. FNI: fracción no identificable.

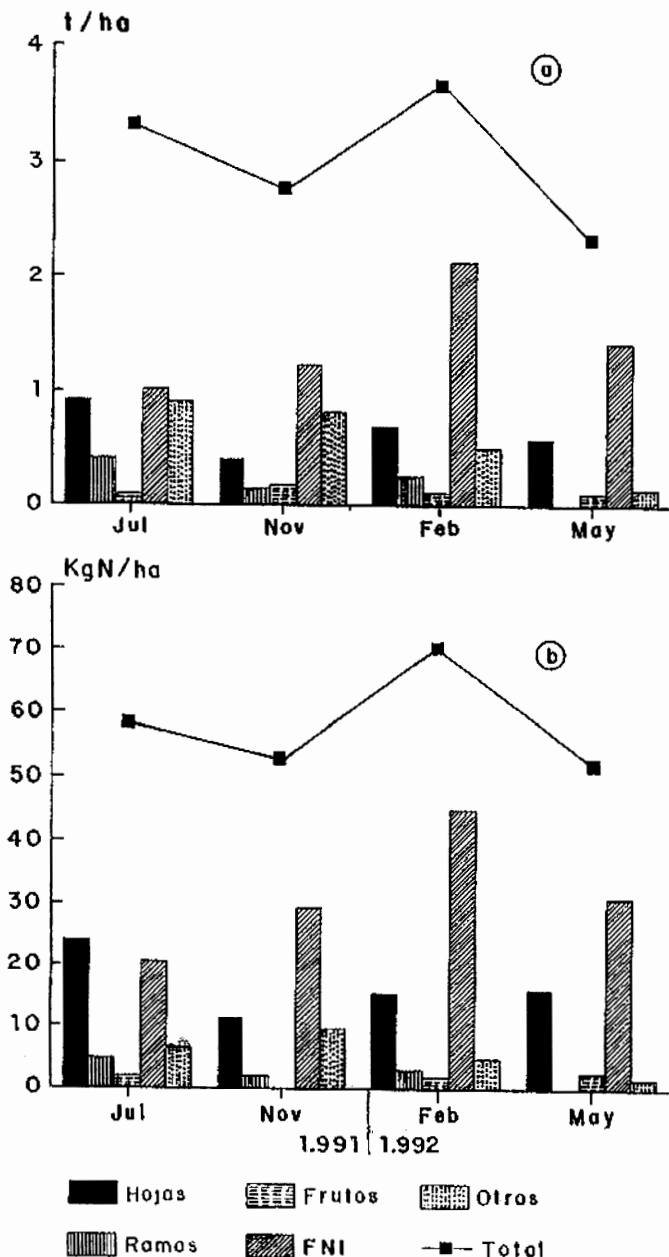


Figura 4. Biomasa (a) y contenido de nitrógeno (b) de la hojarasca acumulada en el suelo en cuatro momentos del año, en el cafetal estudiado, Canaguá, estado Mérida, Venezuela. FNI: fracción no identificable.

ni por la cantidad de hojarasca caída, sino más bien por el tránsito de personas en el momento de realizar las labores agrícolas (6).

Por este arrastre de hojarasca, el cafetal perdió $8 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, coincidiendo sus máximos con los períodos de mayor arrastre (figura 5b). Los mayores valores corresponden a las hojas de café. Comparando con los valores de nitrógeno de la hojarasca caída, es evidente que esta pérdida es pequeña (6,7%).

Cosecha. En el año de estudio se recolectaron $5,37 \text{ t ha}^{-1}$ (peso seco) de frutos durante la cosecha, siendo la salida de nitrógeno por este concepto de 97 kg N ha^{-1} , cerca del 30% del nitrógeno de la planta en pie.

En la zona estudiada, no se utiliza la pulpa como abono, así todo el nitrógeno de los frutos cosechados es exportado, representando la mayor fuente de pérdida de este elemento en su ciclo en la fitomasa.

Fertilización. Con frecuencia se señala que en América Latina las plantaciones reciben cantidades altas de fertilizantes, con adiciones de nitrógeno de entre 100 a $300 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, (7, 8). En el cafetal bajo estudio, los caficultores aplicaron $162 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en abril de 1991, distribuyendo 112 g de úrea por planta.

En otros años, este mismo cafetal se había fertilizado con N:P:K a diferentes concentraciones pero con una cantidad de nitrógeno total menor que con la aplicación de úrea. Otros estudios también señalan cantidades menores de incorporación de este nutriente por fertilización inorgánica por ser hecha en conjunto con otros

elementos (potasio y fósforo), lo cual se supone que aumenta su eficiencia (1, 14, 17).

Ciclo del nitrógeno en la fitomasa del cafetal. En la figura 6 se resumen las características del agroecosistema cafetalero estudiado en cuanto a contenido y principales flujos de nitrógeno. La mayor cantidad de nitrógeno se encuentra en los frutos y las hojas de café, y ambos son movilizados durante el ciclo anual: los frutos salen del sistema por exportación de cosecha perdiéndose así todo el nitrógeno contenido en ellos (salvo una pequeña fracción que cae como hojarasca); por su parte, las hojas son renovadas completamente (aunque al senescer translocan parte de su nitrógeno a la planta) pasando a formar el grueso de la hojarasca, de la cual parte se pierde por erosión. La salida total anual de nitrógeno en este ciclo es de $108 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (contenidos en $5,9 \text{ t ha}^{-1}$ de frutos secos y hojarasca arrastrada por erosión), mientras el retorno por caída de hojarasca y deshierbe es de $138 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, sólo 22% mayor, contenidos en $6,78 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de hojarasca (peso seco).

Los resultados muestran que las especies en este sistema, visto globalmente, tienen un requerimiento de $293 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ destinados a reponer la pérdida de nitrógeno por la caída de hojas, flores y extracción de frutos, el cual no se incorpora totalmente al sistema. El café necesita recuperar $202 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (o bien 261 kg N ha^{-1} si se incluye renovación completa de la biomasa aérea no perenne), es decir, 105 kg N ha^{-1} que

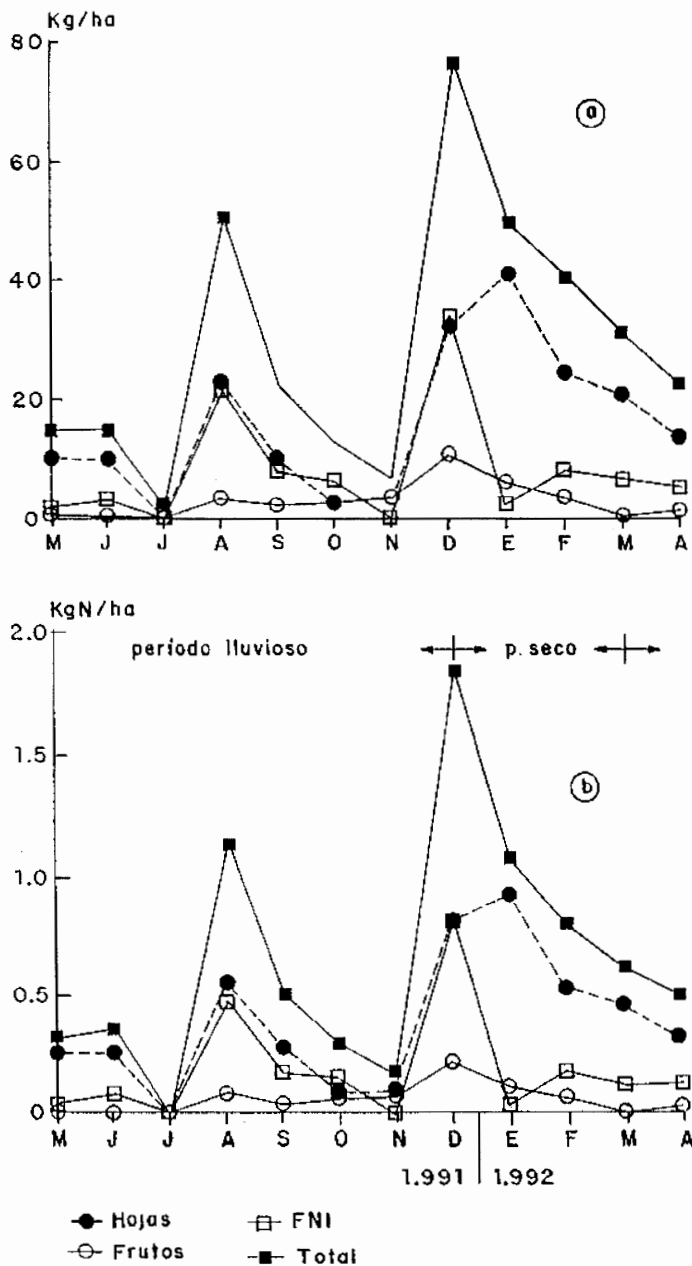


Figura 5. Biomasa (a) y contenido de nitrógeno (b) de la hojarasca arrastrada mensualmente por erosión en el cafetal estudiado, Canaguá, estado Mérida, Venezuela. FNI: fracción no identificable.

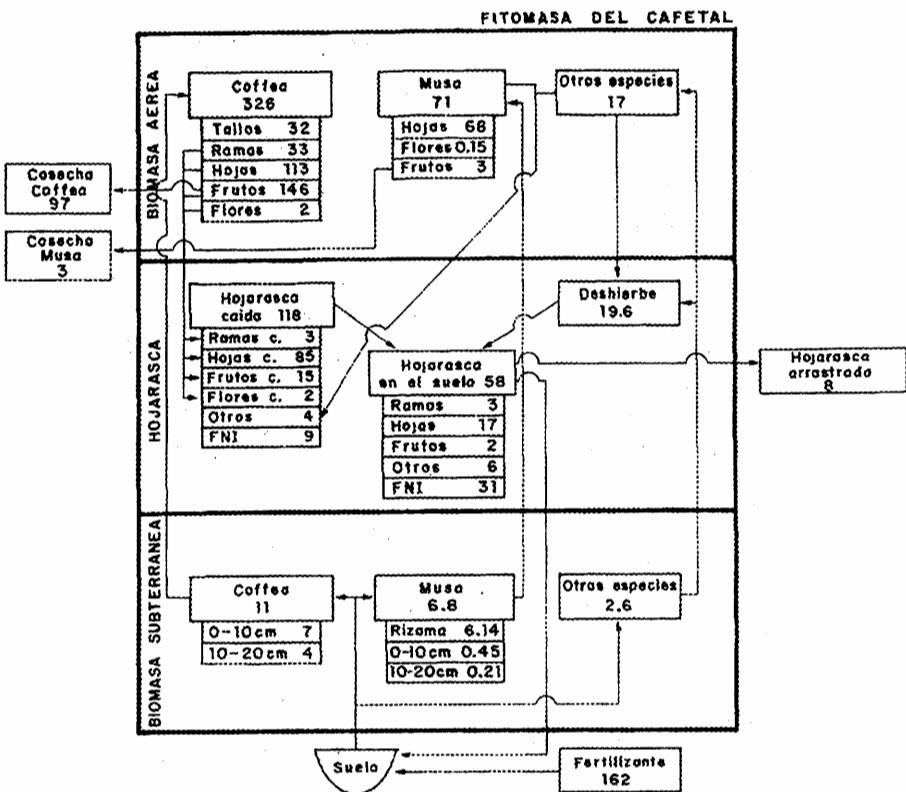


Figura 6. Contenido de nitrógeno ($\text{kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y principales flujos en la fitomasa de los distintos componentes del cafetal estudiado, Canaguá, estado Mérida, Venezuela. FNI: fracción no identificable.

pasaron a la hojarasca más 97 kg N ha^{-1} salidos por cosecha. *M. sapientum* debe recuperar $71 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (*Musa* spp renuevan todo su follaje por lo menos una vez al año (15) y las otras especies $20 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

Llegan al suelo (y eventualmente se incorporan al mismo) un mínimo de $118 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ por hojarasca caída más $20 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ por deshierbe, para un total de $138 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, de los cuales se pierden 8 kg

N por erosión de hojarasca. Es decir que de los $293 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ que el sistema requiere como mínimo para su mantenimiento, 130 kg pueden reincorporarse por la descomposición de la hojarasca, quedando un déficit de $163 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Este es un monto del mismo orden del que fue agregado por fertilizante, de modo que, salvo pérdidas muy altas por drenaje o por volatilización, en lo que respecta al monto de nitrógeno aplicado, el plan

de fertilización utilizado parece adecuado, y se encuentra dentro del límite de 200 kg ha⁻¹año⁻¹ que es lo referido como máximo para generar respuesta en los cafetos a pleno sol (12, 17).

La sincronización entre la liberación del nitrógeno por descomposición de hojarasca y los momentos en que los cafetos lo requieren es tan importante como los montos totales anuales de su incorporación al suelo. Los dos picos de demanda de nitrógeno, durante la

floración y la maduración de los frutos, son marzo-abril y noviembre-diciembre. Los resultados sugieren que la mayor incorporación de nitrógeno al suelo por descomposición ocurre en los dos meses siguientes al pico de caída de hojarasca, lo cual coincide con la floración y formación de hojas nuevas. Dada esta incorporación natural de nitrógeno al suelo, para este período no se requeriría otro tipo de fertilización, pero tal vez sí para el período octubre-noviembre cuando los frutos comienzan a madurar.

Agradecimientos

Agradecemos a la familia Mora Mora, propietarios del cafetal bajo estudio, por permitirnos realizar este trabajo en su cultivo. Este estudio ha recibido financiamiento del CDCHT-ULA (C-537-92 y C-598-93), y del CONICIT (SI-1970). Queremos agradecer las valiosas sugerencias de Maximina Monasterio y Miguel

Montilla sobre todos los aspectos del trabajo, a Lina Sarmiento, Dimas Acevedo, Zulay Méndez, Marcela de Burguera y Cergio Rivas por su asesoramiento y ayuda en el laboratorio, a Luis Nieto y Hely Saul Rangel por su ayuda en el trabajo de campo.

Literatura citada

1. Alpizar, L., Fassbender, H.W., Heuvelodp, J., Enriquez, G. and Fölster H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica: I. Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35:233-242
2. Aranguren, J. 1979. Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra (café y cacao). Tesis Mag. Sc., Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela, 285 p.
3. Aranguren, J., Escalante, G., and Herrera, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees: I. Coffee. In: Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. Plant and Soil 67:247-258
4. Ataroff, M. 1990. Dinámica hídrica, de nutrientes y erosión en dos formas de manejo del cultivo del café en Los Andes del Estado Mérida. Tesis de Doctorado, Universidad de Los Andes (Mérida, Venezuela), 295p.
5. Ataroff, M. y Monasterio, M. 1993. Estudio comparativo de cafetales de sol y sombra en Los Andes venezolanos: Balance hídrico y erosión durante un ciclo anual. p. 79-100. In: M. Rabey (Ed): El uso de recursos naturales en las montañas: tradición y transformación. MAB/UNESCO, Montevideo, Uruguay.

6. Ataroff, M. y Monasterio, M. 1997. Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Soil Technology* 11(1): 95-108
7. Babbar, L.I. and Zak, D.R. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48:107-113
8. Bornemisza, E. 1982. Nitrogen cycling in coffee plantations. In: Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. *Plant and Soil* 67:241-2246
9. Cannell, M.G.R. and Kimen, B.S. 1971. Uptake and distribution of macronutrients in trees of *Coffea arabica* L. in Kenia as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. *Annals of Applied Biology* 68:213-230
10. Fassbender, H.W., Alpizar, L., Heuvelop, J., Enriquez, G., and Fölster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica: III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. *Turrialba* 35:403-413
11. Jiménez-Avila, E., y Martínez, P. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biotica* 4(3):109-126
12. Malavolta, E., e de Moraes, F.R. 1963. Cultura e adubacao do cafeeiro. Instituto Brasileiro de Potassa (S. Paulo).
13. Muller, L. 1961. Un aparato Micro-Kjeldhal simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. *Turrialba* 11:17-25
14. Navidad, E. 1987. Estimación del balance de nitrógeno en una plantación de café cultivada a exposición solar. Tesis Lic. Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 190 p.
15. Norman, M.J.T, Pearson, C.J., and Searle, P.G.E. 1984. The ecology of tropical food crops. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
16. Olson, J. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2):322-331
17. Papaniappan, S. 1993. Growth and nutrient accumulation in young *Coffea liberica* plants. *Café Cacao Thé* 27:303-312