

Concentraciones de carbono y nitrógeno en el suelo bajo *Erythrina poeppigiana* en plantaciones orgánicas y convencionales de café

Fidel Payán Z¹, John Beer², David Jones³, Jean Michel Harmand², Reinhold Muschler²

Palabras claves: Agricultura orgánica; carbono; *Coffea arabica*; materia orgánica; nitrógeno; suelo.

Soil carbon and nitrogen concentrations below *Erythrina poeppigiana* in organic and conventional coffee plantations

RESUMEN

Se comparó el efecto de *Erythrina poeppigiana*, utilizado como árbol de sombra, en las concentraciones de C y N total en el suelo a tres diferentes posiciones con respecto al árbol y a tres profundidades del suelo, en fincas orgánicas y convencionales de café. Se compararon seis pares de fincas con condiciones de manejo y ambientales similares dentro de cada par. Las concentraciones de C y N en la capa 0-5 cm fueron similares para las tres posiciones en el sistema orgánico, pero en el sistema convencional, la posición cercana al árbol tuvo la concentración más alta de C y N con respecto a las posiciones situadas a más de 2 m del árbol (5,04 vs. 4,03% para C y 0,44 vs. 0,35% para N). El promedio general de C y N fue mayor en el sistema orgánico que en el convencional (5,06 vs. 4,35%; 0,42 vs. 0,37%, respectivamente).

ABSTRACT

The impact of the shade tree *Erythrina poeppigiana* on soil total C and N concentrations, at three different positions relative to the tree, and for three different soil depths, was compared using six pairs of farms (organic and conventional) with similar management and environmental conditions for each pair. C and N concentrations within the 0-5 cm layer were similar for all positions in the organic system, but in the conventional system higher C and N concentrations were found close to the shade tree vs. the positions 2 m from the trunk (5.04 vs. 4.03% for C and 0.44 vs. 0.35% for N). The average soil C and N concentrations in organic farms were higher than conventional farms (5.06 vs. 4.35%; 0.42 vs. 0.37%, respectively).

INTRODUCCIÓN

Las constantes caídas de precios en el mercado del café han provocado la búsqueda de alternativas de producción y de nichos de demanda no saturados. Una opción es la caficultura orgánica, un sistema agroforestal que ha crecido en superficie e importancia económica (Lyngbaeck *et al* 1999) y que mitiga algunos de los impactos negativos del uso de agroquímicos en la agricultura convencional (Reganold *et al* 1993). Sin embargo, las posibles ventajas ecológicas de los sistemas orgánicos en comparación con los sistemas de producción convencionales deben ser evaluadas en un mayor número

de sitios con diferentes suelos. También hace falta más estudios sobre el impacto del manejo orgánico en los costos e ingresos de las fincas cafeteras, para poder asegurar su sostenibilidad económica, además de ecológica.

Uno de los problemas principales para llevar a cabo una producción orgánica eficiente, desde el punto de vista económico, es la falta de materiales orgánicos vegetales o animales, accesibles para el abonado de los cafetos (Lyngbaeck *et al* 1999). Se conoce que los residuos orgánicos de hojas y raíces, aportados por los árboles de

¹ Estudiante Ph.D. CATIE-UWB- Turrialba E-mail: payan@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

² Profesores-investigadores CATIE. E-mails: jbeer@catie.ac.cr; muschler@catie.ac.cr; harmand@catie.ac.cr

³ Profesor-investigador Universidad de Wales – Bangor E-mail: d.jones@bangor.ac.uk

sombra, constituyen una importante fuente de nutrientes (Beer 1988; Fassbender 1993) y que dichos árboles tienen un importante papel en el reciclamiento de nutrientes para los cultivos (Young 1999). Sin embargo, existe aún la necesidad de realizar estudios más profundos acerca de su efecto sobre las variables edafológicas; especialmente sobre la acumulación/descomposición de los diferentes tipos de materiales orgánicos dentro de sistemas “orgánicos” (Vaast y Snoeck 1999; Fernández y Muschler 1999) y sobre el rol de las diferentes fracciones de la materia orgánica (MO) en el aprovechamiento por los cafetos de los nutrientes contenidos en los residuos de poda de los árboles (Beer *et al* 1998).

Los avances que se presentan en este trabajo forman parte de una investigación más amplia, cuyo objetivo es analizar el efecto del árbol de sombra *Erythrina poeppigiana* sobre algunas variables químicas y biológicas del suelo dentro de cafetales orgánicos y convencionales. En este artículo se analizará el efecto específico de este árbol de sombra sobre las concentraciones de C y N del suelo, en tres diferentes posiciones con respecto al árbol y a tres profundidades, contrastando sistemas orgánicos y convencionales de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Criterios de selección de fincas

Se utilizó una comparación de seis pares de fincas (una orgánica y una convencional) con menos de 500 m entre las fincas de cada par en los cantones de Aserri (Aserri 1 y Aserri 2), Turrialba (CATIE), Paraíso (Paraíso y Pejivalle) y San Ramón, Costa Rica. Se escogieron fincas con características de manejo lo más similares posibles dentro del par, solo difiriendo en el uso de insumos químicos. Las fincas orgánicas tuvieron un mínimo de cuatro años de haber hecho la conversión tecnológica (rango de 4 a 10 años) y se buscó que estuvieran certificadas como orgánicas. También se buscó que existiera cierto “liderazgo tecnológico” de los propietarios, pero siempre tratando de que el paquete técnico aplicado por el agricultor en su finca fuera representativo de su región. Las fincas con tecnología convencional fueron seleccionadas por su cercanía a la finca orgánica previamente escogida y por aplicar un paquete tecnológico contrastante con aquella, en lo que se refiere al uso de herbicidas, fungicidas sintéticos y fertilizantes químicos. Sin embargo, estas fincas deberían tener condiciones de cultivo similares en lo que se refiere al uso de sombra de *E. poeppigiana*, variedades de café y densidad de siembra, tipo de suelo y condiciones topográficas, climáticas y de altitud (msnm), así como tamaño de la finca y capacidad económica del

agricultor. Dada la dificultad para encontrar pares de fincas con estas características, en algunos casos se incluyeron pares que no tenían todas las características deseables: en dos pares de fincas, las fincas orgánicas tuvieron una sombra un poco más densa que las convencionales, debido a una poda menos intensa y frecuente de los árboles de *E. poeppigiana*; en otro caso, la finca orgánica tenía una pendiente mayor que su vecina tradicional. También se incluyó otro par de fincas en las que tanto en la finca orgánica como en la tradicional no se utilizaba sombra por la alta nubosidad durante todo el año. Sin embargo, dado que si cumplían con la mayoría de los requisitos para ser comparables se decidió incluirlas en el estudio.

Se realizaron entrevistas con los agricultores para registrar la historia del uso de suelo y el manejo agronómico de su cafetal. Dado que la investigación se llevó a cabo mayormente en fincas privadas, es muy importante remarcar que la experimentación en este tipo de propiedades está sujeta a una gran variabilidad espacial interna de las características topográficas, edafológicas y de los componentes vegetales, puesto que los cafetos y árboles de sombra tienen generalmente diferentes edades, espaciamientos y hasta variedades por las “resiembras” (Somarriba *et al* 2000).

Selección de sitios y posiciones de muestreo

En cada finca seleccionada se identificó una parcela de estudio de alrededor de 30 x 50 m, ubicada de preferencia en el centro de la finca para evitar efectos de colindancia con otras fincas. Dentro de estas parcelas se seleccionaron al azar tres sitios, cada uno determinado por la presencia de cuatro árboles de *E. poeppigiana* y aproximadamente cuatro hileras de café (Figura 1). En cada uno de los tres sitios seleccionados, se muestreó el suelo en tres posiciones, determinado por la mayor o menor distancia a un árbol de *E. poeppigiana* seleccionado al azar dentro del sitio. De esta manera resultaron muestreados: 1) una posición entre dos hileras de café a 2 m del árbol (“calle”); 2) una posición debajo de una mata de café a 2 m del árbol (“bc>2”); y 3) una posición situada debajo de una mata de café y a menos de 1 m de un árbol (“bc<1”).

Toma de muestras

En la posición entre dos hileras de café, las muestras fueron tomadas en el centro de la calle (Figura 1). En las posiciones ubicadas debajo de una mata de café, las barrenaciones se tomaron a una distancia de 30 a 40 cm del tronco del cafeto. En caso de encontrarse con una

raíz estructural se hizo una nueva barrenación a la par. Se utilizó un barreno helicoidal de hierro para obtener muestras a tres profundidades: 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Después de retirar manualmente la hojarasca hasta encontrar el suelo mineral, se realizaron entre 4 y 5 barrenaciones por cada profundidad para obtener muestras compuestas representativas de cada posición. En cada barrenación, excepto en la de 0-5 cm, se desecharon los primeros 2-3 cm de suelo suelto en la parte superior del barreno porque se trataba de suelo desprendido de las paredes del agujero de la barrenación anterior, correspondiente a una menor profundidad. Finalmente se mezclaron las muestras correspondientes de los tres sitios en cada finca (para cada posición y profundidad) y de esta manera se obtuvieron 9 muestras compuestas por cada finca (3 posiciones x 3 profundidades)

una lámina delgada de estaño para ser analizadas por gasificación en un analizador CHN2000 (Leco Corporation St. Joseph, MI, USA). La mayor parte de las pruebas se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad de Gales en Bangor, Reino Unido.

Diseño y análisis estadístico

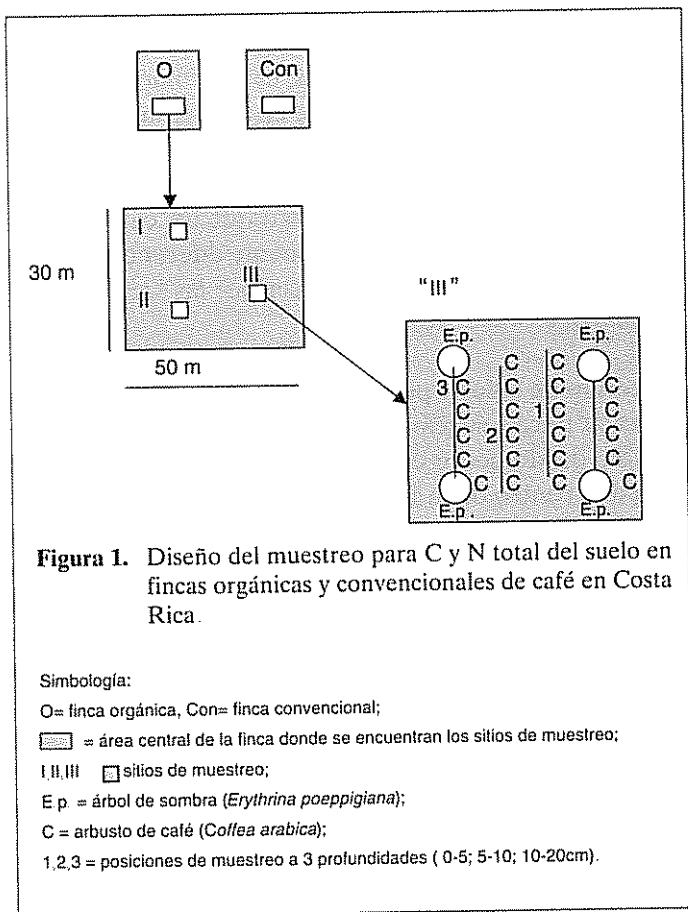
Los datos se analizaron como un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con seis repeticiones. Se analizaron con ANDEVA y con pruebas de t para pares de muestras utilizando la versión 8 de SAS (Instituto SAS Inc., Cary, NC, EEUU 1999). También se realizó un análisis de frecuencias, comparando las concentraciones de C y N, entre los dos sistemas de cultivo para cada par de fincas; es decir, tabulando el número de fincas que tenían una concentración mayor, menor o igual en relación con su vecina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la cercanía del árbol de sombra y/o del café en las concentraciones de C y N total en el suelo

En el análisis de varianza, el coeficiente de variación (CV) fue menor al 12%, lo cual indicó una adecuada precisión del diseño experimental utilizado. Sin embargo, es necesario aumentar el número de pares de fincas muestreadas para mejorar la sensibilidad del ANDEVA, ya que con el número actual, un solo par de fincas con resultados contrarios a la tendencia general de las variables (Aserrí 1 en la Figura 2) eliminó las diferencias estadísticamente significativas con esta prueba. Al ser retirado este par de fincas del análisis, dado que la finca orgánica se encontraba en la parte superior de una pendiente debajo de la cual se encontraba la finca tradicional (pudiéndose haber depositado materiales orgánicos y suelo en esta última alterando los resultados), se encuentran diferencias altamente significativas para la concentración de carbono tanto para sistema, como para posiciones.

En el análisis de frecuencias, se encontró que en general para la profundidad 0-5 cm las concentraciones de C y N en los seis pares de fincas se comportaron de manera similar: para las posiciones "calle" y más de 2 m del árbol y debajo de un cafeto ("bc>2"), cuatro de las seis fincas orgánicas tuvieron mayores concentraciones de C que las convencionales (Figura 2), y solo en un par de fincas (dos en el caso del N) la tendencia fue contraria; en la posición cercana al árbol ("bc<1"), dos pares de fincas para C y tres para N (de los cinco pares de fincas analizados para esa posición) mostraron concentraciones idénticas. Al calcularse un promedio de las



Preparación de muestras y análisis de laboratorio

Después de ser extraídas del campo, las muestras se mantuvieron frías en hieleras y se conservaron en refrigeración a 4°C. Posteriormente se secaron y fueron pasadas por un tamiz acerado de 2 mm. Para los análisis de C y N total, alrededor de 3 g de suelo fueron pulverizados en un mortero de porcelana. Entre 0,1 y 0,2 g de suelo de cada muestra fueron pesados y envueltos en

tres posiciones para cada finca, cinco de las seis fincas orgánicas tuvieron mayor concentración de C y de N que su contraparte convencional.

Cuando se analizaron los promedios de las concentraciones de C y N para las posiciones en la capa 0-5 cm, se observó que en las fincas orgánicas las tres posiciones no mostraron diferencias en cuanto a la concentración de C (Figura 3), ni a la de N (Figura 4). En las fincas bajo sistema convencional, la concentración de C en las dos posiciones a distancias mayores a 2 m del árbol, fue similar entre ellas, pero inferior al valor obtenido en la posición a menos de 40 cm del árbol (4,03 y 4,00 vs. 5,04%; $p < 0,05$, prueba de t). La concentración de N mostró un comportamiento muy similar ya que la posición cercana al árbol, tuvo mas concentración que las dos alejadas del árbol. Cuando se compararon los sistemas de cultivo, no hubo diferencias para la posición cercana al árbol, pero en las posiciones situadas a más de 2 m del tronco, hubo más C y N en el suelo del sistema orgánico ($p < 0,05$ para C en la prueba de t, Figura 3; en N solamente significativo [$p < 0,05$] para "calle", Figura 4). Se calculó un promedio general para cada sistema, observándose que el suelo en el sistema orgánico tuvo una concentración mayor de C y N que el convencional (5,06 vs. 4,35%; y 0,42% vs. 0,37%, respectivamente). Las concentraciones de C y N disminuyeron desde la capa mas superficial hasta las de mayor profundidad como era esperado.

En las profundidades 5-10 y 10-20 cm las concentraciones de ambos elementos fueron parecidas entre posiciones para un sistema dado y entre sistemas de producción. Por tanto, las diferencias en las concentraciones de C y N entre los sistemas y entre las posiciones dentro de un sistema solamente fueron evidentes en la capa 0-5 cm. Eso indicaría que el efecto de la deposición superficial y descomposición de la materia orgánica (MO) de los residuos de hojas y ramas de los árboles y de las arvenses fue más importante que el aporte de la descomposición de las raíces de los árboles. Vaast y Snoeck (1999) señalan que el aporte de N de la MO proviene mayoritariamente de la parte aérea de los árboles, que de la descomposición de nódulos y raíces en el suelo.

El efecto de los árboles en la concentración de C y N en el suelo circundante fue más notable en los sistemas convencionales debido posiblemente a que tienen menos residuos vegetales sobre el suelo y a la falta de una cubierta protectora del suelo, debido al uso de herbicidas. En algunos casos las fincas con manejo convencional tuvieron una menor densidad de sombra y también una mayor frecuencia en las podas, lo cual concentra los residuos en el área cercana al tronco de los árboles.

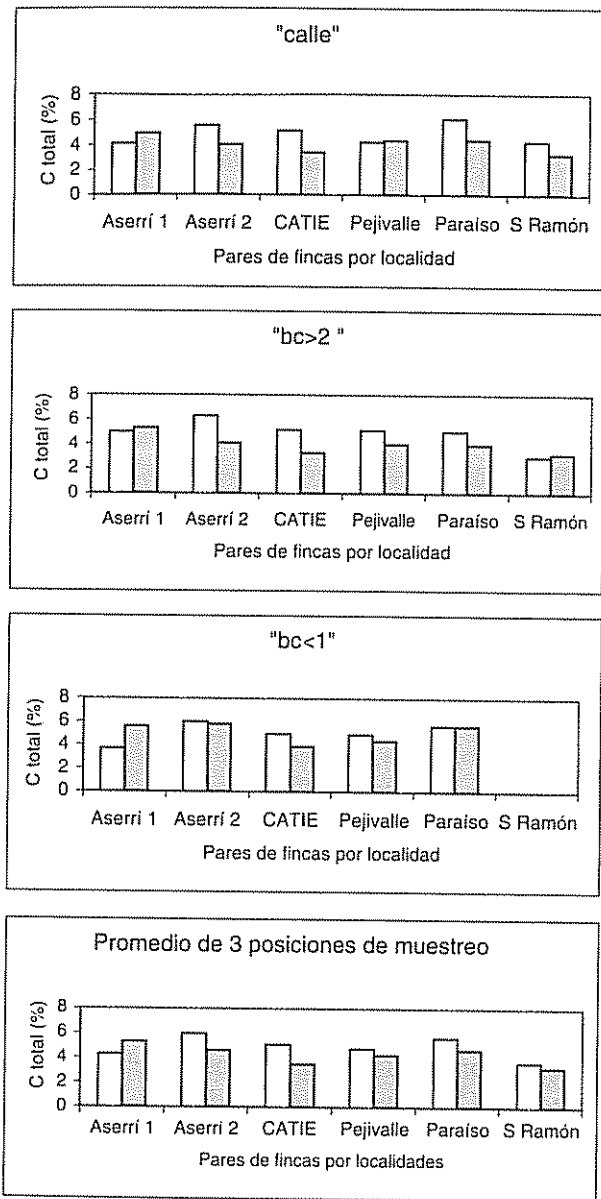


Figura 2. Concentraciones de C en el suelo a 0-5 cm de profundidad para seis pares de fincas orgánicas (□) y convencionales (■) de café en seis localidades de Costa Rica. Tratamientos: calle = entre hileras de café y mas de 2 m de un árbol de sombra; bc > 2 = debajo de un cafeto y mas de 2 m del árbol de sombra; bc < 1 = debajo de un cafeto y menos de 1 m de un árbol de sombra (no existe para San Ramón donde no hay árboles de sombra).

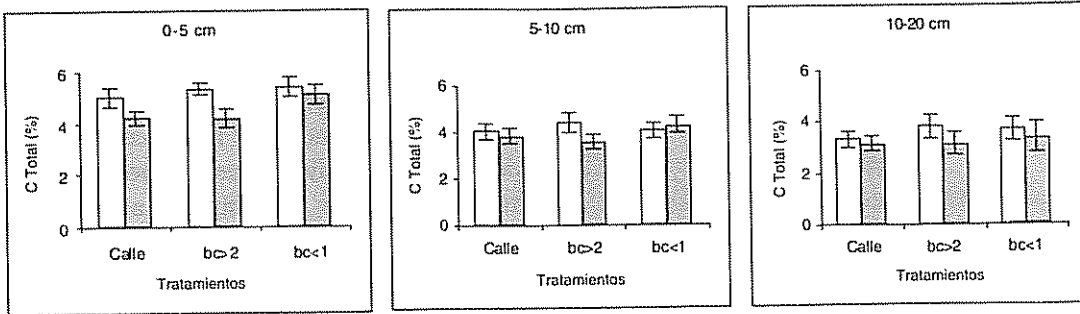


Figura 3. Carbono total en el suelo de fincas orgánicas y convencionales de café en Costa Rica. Tratamientos: calle = entre hileras de café y mas de 2 m de un árbol de sombra; bc>2= debajo de un cafeto y mas de 2 m del árbol de sombra; bc <1= debajo de un cafeto y menos de 1 m de un árbol de sombra. Sistema orgánico (□), sistema convencional (■).

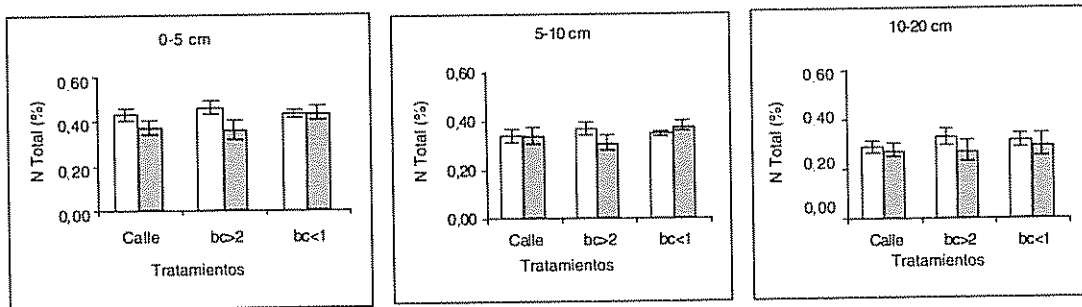


Figura 4. Nitrógeno total en el suelo de fincas orgánicas y convencionales de café en Costa Rica. Tratamientos: calle = entre hileras de café y mas de 2 m de un árbol de sombra; bc>2= debajo de un cafeto y mas de 2 m del árbol de sombra; bc <1= debajo de un cafeto y menos de 1 m de un árbol de sombra. Sistema orgánico (□), sistema convencional (■).

La ausencia de un efecto espacial de los árboles de sombra en el sistema orgánico pudo deberse al uso de abonos orgánicos, coberturas verdes y al uso de las arvenses cortadas como mulch. Las ligeras diferencias en las concentraciones de C y N en la capa 0-5 cm y la falta de ellas en las capas 5-10 y 10-20 cm, podrían ser el resultado de una saturación del C del suelo, que es independiente del manejo que se de al mismo (Six *et al* 2002).

En los sistemas convencionales, la cercanía de *E. poeppigina* aumentó la concentración de C y N, contrarrestando los efectos negativos sobre la MO del suelo, debido al uso de los plaguicidas y a la erosión que han sido reportados como consecuencia del manejo convencional (Reganold *et al* 1993; Fliebbach y Mäder 2000). Esta compensación que realizaron los ár-

boles en la zona mas cercana a ellos, se debería al mayor aporte de MO a través de los residuos de poda que son dejados cerca del tronco (Beer 1988). La relación C/N se mantuvo prácticamente igual (entre 11 y 12) para los sistemas y posiciones de muestreo a las tres profundidades. Esto significaría que en las fincas bajo el sistema orgánico, con un periodo de aplicación de entre 4 y 10 años (el promedio de años de haber dejado la aplicación de plaguicidas y fertilizantes sintéticos es de siete), todavía no se ha podido modificar una relación tan estable entre las variables del suelo como es la relación C/N.

Es muy importante tomar en cuenta que únicamente se presentan las concentraciones totales de C y N, lo cual solo indica una tendencia general de la disponibilidad de estos dos elementos; no indica su estado biológico y

dinámico entre las diferentes fracciones de la MO del suelo. Por lo tanto, no es posible hacer inferencias definitivas al comparar los dos sistemas. Mayores concentraciones de C no necesariamente indican una mayor disponibilidad de energía para la actividad biológica. Por ejemplo, el C y el N podrían estar protegidos en la fracción arcillosa (Feller 1994). Es necesario analizar en qué compartimiento funcional de la MO se encuentra ese C y los materiales nitrogenados asociados con él. En futuras etapas de la investigación se hará un fraccionamiento funcional de la MO del suelo, de acuerdo a la técnica granulométrica que considera cada fracción asociada a un componente de la textura del suelo. Dicha técnica separa la MO utilizando tamices en un lavado en agua y obtiene tres fracciones principales: a) fracción del tamaño de las arenas (>53-150 mm), también llamada fracción macro-orgánica; b) la fracción del tamaño de los limos (2-53 mm); y c) la fracción del tamaño de las arcillas (<2 mm) (Kouakoua 1998). Se analizará también la actividad respiratoria del suelo y la mineralización de la MO; buscando encontrar asociaciones que permitan inferir la conveniencia de mantener sistemas orgánicos de producción agroforestal para el manejo sostenible del suelo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En los sistemas orgánicos no se encontraron diferencias espaciales con respecto a los árboles de sombra; en los sistemas convencionales, las posicio-

nes de muestreo situadas a más de 2 m de los árboles resultaron con menores valores de C y N. Las áreas cercanas a los árboles presentaron valores similares para C y N en los dos sistemas, indicando que los árboles ejercieron una acción benéfica en los sistemas convencionales para contrarrestar los efectos negativos sobre las concentraciones de C y N que los agroquímicos, plaguicidas, etc., pudieran tener. La capa 0-5 cm fue la más adecuada para observar las diferencias entre sistemas.

- De los datos analizados se desprende como hipótesis, que las fincas orgánicas tuvieron más C en el suelo por la mayor producción de biomasa de las arvenses que son cortadas, por el uso de abonos orgánicos y en algunos casos, por una mayor densidad de sombra. En los sistemas convencionales los árboles elevaron la concentración de C en el suelo en un área circundante que puede llegar a representar 20 por ciento del área total en altas densidades de población de *E. poeppigiana* (625 árboles ha⁻¹).
- Aún es necesario estudiar en esa zona, los procesos de descomposición de la materia orgánica y la contribución de la descomposición de los residuos de raíces. También se propone utilizar técnicas de fraccionamiento de la materia orgánica del suelo para estudiar a detalle la distribución de las reservas de C entre las fracciones, la dinámica del N asociada con estas reservas, y la disponibilidad del C y N en esta materia orgánica para los procesos biológicos del suelo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Beer, I 1988 Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Fassbender, HW 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed Turrialba, Costa Rica, CATIE. 393 p
- Feller, Ch. 1994. La matiere organique dans les sols tropicaux a argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulometrique. Thesis Docteur es Sciences Naturelles. Strasbourg, France. Universite Louis Pasteur. 491 p.
- Fernández, C; Muschler, R. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. In Bertrand, B; Rapidel, B. Eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. CIRAD, IICA. p. 69 - 96
- Fliebbach, A; Mäder, P. 2000. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 757-768
- Kouakoua, E 1998. La matiere organique et la stabilité structurale d'horizons de surface de sols ferralitiques argileux Effect du mode de gestion des terres. Thesis Docteur. Universite Heintri Poincaré Nancy 1. 79 p
- Lynghbaeck, A; Muschler, R; Sinclair, F 2001. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53:205-213.
- Reganold, J; Palmer, A; Lockhart, J; Mac Gregor, A. 1993. Soil quality and financial performance of bio-dynamic and conventional farms in New Zealand. *Science* 260: 344-349.
- Six, J; Conant, RT; Paul, A; Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implication for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.
- Somarriba, E; Beer, J; Muschler, R. 2000. Problemas y soluciones metodológicas en la investigación agroforestal con café y cacao en CATIE *Agroforestería en las Américas* 7(25): 27-32.
- Young, A. 1999. *Agroforestry for soil management*. 2 ed. Wallingford, UK. CAB International-ICRAF. 276 p.
- Vaast, P; Snoeck, D. 1999. Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. CIRAD, IICA. p. 139 - 169.