

CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN MONOCULTIVOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*) Y BAJO SOMBRÍO DE GUAMO (*Inga spp*)¹

Palabras clave: Café, *Coffea arabica*, *Inga spp*, fertilidad, ciclo de nutrientes.

Key words: Coffee, *Coffea arabica*, *Inga spp*, fertility, cycle of nutritious.

Diego Alejandro Cardona C.²
Siavosh Sadeghian Kh.³

RESUMEN

Se caracterizaron las propiedades del suelo y ciclo de nutrientes en monocultivos de café y con sombrío de guamo en 8 unidades de suelo de 7 departamentos, ubicando lotes para cada sistema. En cada cultivo se tomaron muestras de suelo por triplicado en las profundidades: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 y 30-40 cm. El ciclo de nutrientes fue evaluado en dos de las localidades.

Las mayores diferencias entre sistemas se registraron para propiedades físicas, fundamentalmente en los primeros 10 cm. Los suelos de cafetales bajo sombra tuvieron menor densidad aparente y temperatura, así como mayor porosidad total y humedad que aquellos cultivados a plena exposición, a la vez que exhibieron una menor compactación.

El establecimiento de sombrío con *Inga* contribuyó en la conservación y mejoramiento de algunas propiedades del suelo; el efecto producido estuvo determinado en gran medida por la materia orgánica. El retorno de material orgánico en cultivos con sombrío (11,2 y 10,5 tn.ha⁻¹) fue 2,5 veces superior que a plena exposición solar (4,6 y 4,2 tn.ha⁻¹) y con mayor cantidad de

nutrientes. Las tasas anuales de descomposición de residuos de guamo fueron las menores, 0,58 en El Cairo y 0,85 en Chinchiná, mientras que para café variaron entre 1,39 y 1,70. La actividad microbiana presentó comportamiento diferente en el tiempo entre localidades, con mayores valores para café al sol en uno de los sitios.

ABSTRACT

The properties of the soils and cycle of nutrients in cultivations of coffee with *Inga spp* shade and free exhibition were characterized in 8 units of soil of 7 departments, selecting lots for the two systems. In each cultivation three soil samples were taken for each depth: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 and 30-40 cm. The cycle of nutrients was evaluated in two of the locations.

The biggest differences among agroecosystems were registered for the physical properties, mainly in the first 10 cm. The soils cultivated with shade had lowest bulk density and temperature, as well as higher porosity and humidity than the soils cultivated without shade, at the same time they exhibited the lowest values of compression.

1 Proyecto de investigación realizado en el Centro Nacional de Investigaciones de Café Cenicafé.

2 Ingeniero Forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. E. mail: alejandrocalle@hotmail.com

3 Director: Ing. Agrónomo M.Sc. Líder Disciplina de Suelos Cenicafé. A.A. 2427 Manizales. E. Mail: Siavosh.Sadeghian@cafedecolombia.com

The establishment of shade with *Inga* contributed in the conservation and the improvement of some properties of the soil; the produced effect was determined in great measure by the organic matter. The return of organic material in cultivations with shade (11,2 and 10,5 tn.ha⁻¹) was 2,5 times highest than a complete exposition to the sun (4,6 and 4,2 tn.ha⁻¹), and with a higher amount of nutriment. The annual rate of decomposition of the *Inga* was the lowest, 0,58 in El Cairo and 0,85 in Chinchiná, while for coffee the variation was 1,39 and 1,70. The microbial activity presented different behavior through the time among locations, this value being bigger for coffee exposed to the sun in one of the places.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café en determinadas regiones requiere el uso de árboles de sombra, dadas las limitaciones de tipo climático o edáfico que existen para su desarrollo; además es una práctica frecuente asociada con la producción de cafés especiales, orgánicos y de origen. El 67% del área nacional cafetera (578,927 has), emplea algún grado de sombrío para la producción, de los cuales el 30% corresponde a cafetales tradicionales y 37% a cultivos tecnificados con sombra (FNC, 1997). A pesar de tratarse de un segmento considerable, la investigación sobre la caficultura con sombra es incipiente, más aun en el campo de suelos (Rao *et al.*, 1997). Aunque no se dispone de una cifra exacta, se estima que la mayor parte del sombrío

utilizado en café está representado por individuos del género *Inga* (guamos).

La presente investigación pretende contribuir a comprender mejor los procesos e interacciones que suceden en estos sistemas y sus efectos sobre el ciclo de nutrimentos y la fertilidad del suelo, con miras a alcanzar un manejo más sostenible. Al mismo tiempo son útiles para profundizar en el análisis y comprensión de los resultados de otras investigaciones relacionadas, lo cual sirve para generar prácticas que benefician al usuario final.

OBJETIVO

El objetivo principal de este estudio es caracterizar las propiedades de los suelos y el ciclo de nutrimentos en cultivos de café con sombrío de guamo y sin éste.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo planteado se definieron dos fases dentro de la investigación; la primera correspondió a la evaluación de la fertilidad del suelo, para lo cual se caracterizaron 33 propiedades físicas y químicas. La segunda fase estuvo relacionada con el ciclo de nutrientes.

FASE I. FERTILIDAD DEL SUELO

Se seleccionaron 8 unidades cartográficas de suelos de la zona cafetera colombiana en 7 departamentos, cuya clasificación taxonómica, ubicación y características climáticas se encuentran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Unidades cartográficas de suelo, ubicación y características climáticas de los sitios de estudio.

Unidad cartográfica	Clasificación	Depto.	Municipio	Altura (msnm)	Latitud	Longitud	Lluvia (mm/año)	Temp. (°C)
Chinchiná	Typic Dystrandept	Caldas	Chinchiná	1400	4° 59' N	75° 39' O	2322,1	21,6
Fondesa	Typic Dystrandept	Valle	El Cairo	1500	4° 46' N	76° 11' O	1342,1	19,9
Guadalupe	Typic Dystropept	Huila	Pitalito	1500	2° 20' N	75° 31' O	1219,0	20,4
Montenegro	Typic Dystrandept	Quindío	Buena-vista	1250	4° 23' N	75° 44' O	2109,0	22,4
San Simón	Eutropepts	Tolima	Ibagué	1353	4° 28' N	75° 16' O	1476,4	20,8
Suroeste	Typic Dystropept	Antioquia	Fredonia	1600	5° 58' N	75° 43' O	2174,0	20,8
Timbío	Hydric Fulvudands	Cauca	El Tambo	1700	2° 25' N	76° 54' O	1660,8	19,1
200	Typic Dystropept	Valle	Dagua	1360	3° 48' N	76° 32' O	928,0	20,5

Con el propósito de reducir la variabilidad espacial en cada una de estas unidades se eligieron dos plantaciones cercanas de café, una a libre exposición y otra con sombrero de guamo. En cada agroecosistema fueron ubicados tres puntos al azar, donde se tomaron muestras disturbadas y sin disturbar, para lo cual se utilizó un barreno de núcleo y cilindros metálicos de 5 cm de altura y 4,83 cm de diámetro; las siguientes fueron las profundidades de mues-

treo: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm. En estos mismos sitios se efectuaron los registros de temperatura y resistencia a la penetración.

En la **Tabla 2** se detallan las propiedades estudiadas (13 físicas y 18 químicas) y los respectivos métodos estandarizados de laboratorio empleados, señalando las muestras disturbadas y sin disturbar.

Tabla 2. Características evaluadas y métodos empleados en la fase I.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	MÉTODO
Textura (arena, limos y arcilla)	Bouyoucos
Distribución de agregados	Tamiz
Estabilidad de agregados	Poder
Densidad real	Picnómetro
Densidad aparente (SD)	Cilindro
Porosidad total	Indirecto
Macro, meso y microporos	Ollas y platos de presión
Resistencia a la penetración	Penetrómetro de bolsillo
Humedad del suelo	Estufa
Temperatura	Termómetro
Conductividad hidráulica (SD)	Permeámetro de cabeza constante

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	MÉTODO
pH	Potenciométrico
Materia orgánica	Colorimetría (Walkey y Black)
CIC	Colorimetría (reactivo Nessler)
Nitrógeno total	Kjeldahl
Nitratos	KCl 2 M y Devarda
Amonio	KCl 2 M y Devarda
Fósforo disponible	Bray II y coloración Bray Kurtz
Azufre	Fosfato monocálcico 0.008 M y Turbidimetría
Ca, Mg, K y Na	Acetato de amonio 1N, pH 7
Fe, Cu, Mn y Zn	Espectrofotometría de absorción atómica
Boro	EDTA 0.01 M en acetato de amonio 1N, espectrofotometría de absorción atómica
Aluminio de cambio	Colorimetría (agua caliente y coloración con azometina)
	KCl 1N espectrofotometría de absorción atómica

SD: Muestras sin disturbar

Para el análisis de los datos obtenidos en la Fase I, y teniendo en cuenta el carácter exploratorio del mismo, se empleó un análisis estadístico descriptivo, trabajando al nivel de las seis profundidades. Se compararon los dos agroecosistemas y su comportamiento en las distintas profundidades mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) al nivel de 5%. Adicionalmente se aplicó análisis multivariado de componentes principales con el fin de identificar las variables que más explicaron la variación total. Así mismo se determinaron las correlaciones entre las diferentes características, empleando para ello el coeficiente de Pearson al nivel de 5%.

FASE II. CICLO DE NUTRIMENTOS

Se llevó a cabo en dos de las localidades elegidas para la etapa anterior, municipios de Chinchiná (Caldas) y El Cairo (Valle). La selección de estos sitios se realizó teniendo en cuenta su contraste en términos ambientales, el déficit de humedad que se presenta en Albán y el uso necesario de sombrío en dicho lugar. Dentro de este componente se evaluaron periódicamente cada 45 días las características que se muestran en la **Tabla 3**, desde diciembre de 2002 hasta enero de 2004.

Tabla 3. Características evaluadas y métodos empleados en la fase II

CARACTERÍSTICA	MÉTODO
Aporte de material orgánico	Trampas de follaje
Velocidad de descomposición del material orgánico	Bolsas de descomposición
Nitrógeno	Semimicro Kjeldahl
Fósforo	Colorimetría (molibdovanadato de amonio)
Boro	Colorimetría (azometina H)
Ca, K, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn	Espectrofotometría de absorción atómica
Actividad microbiana	Caja invertida (In situ)
Humedad del suelo	Estufa

Para el aporte de material orgánico se realizaron dos evaluaciones, una inicial en la que se cuantificó la cantidad de hojarasca sobre el suelo de los agroecosistemas al comenzar el estudio (diciembre 2002). Para ello se emplearon marcos de madera de 1m² que se introducían en el mantillo hasta llegar al suelo propiamente dicho, tomando 9 muestras en cada tipo de cafetal. Posteriormente se determinó la cantidad de hojarasca ingresada a los agroecosistemas cada 45 días, a partir de la evaluación inicial, instalando un sistema de tres trampas de follaje al interior de cada lote, en el que se colectaba el material orgánico proveniente de la parte aérea (hojas, ramas, flores frutos, en-

tre otros). Las trampas tenían un área de 1m² y estaban ubicadas a 10 cm sobre la superficie del suelo. El material recolectado era secado a 65 °C y posteriormente pesado. En cada una de las evaluaciones descritas se tomaron submuestras de material seco para determinar la cantidad total de nutrimentos en la hojarasca.

Para determinar la velocidad de descomposición de las dos especies estudiadas, *I. codonantha* y *C. arabica*, se recolectó material foliar senescente en cada uno de los agroecosistemas. Posteriormente 100 gr de material seco de cada especie fueron puestos en bolsas de malla plástica (nylon) con abertura de 1 x 1 mm, y dimensiones de 20 x 30 cm.

En todos los lotes se demarcaron 3 parcelas de 3 x 1,5 m, en cada una de las cuales se ubicaron 10 bolsas con los diferentes materiales foliares sobre el suelo. Cada 45 días se realizó la extracción de una muestra de cada especie en todas las parcelas; luego en el laboratorio eran eliminadas partículas extrañas en la muestra inicial (hifas de hongos, suelo, raíces, microfauna, entre otros) y eran secadas hasta obtener el peso seco remanente.

Para cuantificar la actividad microbiana, en cada lectura se ponían tres muestras de NaOH 1N por lote, sobre la superficie del suelo sin vegetación se cubrían con un recipiente plástico de dimensiones conocidas y se dejaban allí por 6 horas. Posteriormente se titulaban con HCl 0,5 N en presencia de fenolftaleína y BaCl para cuantificar la cantidad de gas evolucionado en el área de suelo estudiada.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de la información en las 2 localidades, por lote y para cada una de las características evaluadas, en cada punto de muestreo. Del mismo modo se empleó la prueba de diferencia mínima significativa para comparar las distintas variables entre agroecosistemas y entre sitios, en cada lectura. Se establecieron correlaciones entre algunas variables y la precipitación mediante el coeficiente de Pearson al 5%.

Adicionalmente, la tasa de descomposición de las tres clases de material foliar presentes en cada sitio (hojas de guamo, hojas de café en asocio y hojas de café a plena exposición), se obtuvo empleando una ecuación de tipo exponencial simple del orden $y = y_0 e^{-k \cdot t}$, propuesta por Wieder y Lang (1982), en la que y representa porcentaje de peso seco remanente, t el tiempo y k la tasa relativa de descomposición; se eligió este modelo dado que ha presentado el mejor ajuste para explicar los procesos de descomposición de la hojarasca en estudios similares (Arellano *et al.*, 2004). Las tasas encontradas se compararon entre agroecosistema

y entre localidad mediante prueba de Duncan al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I. FERTILIDAD DEL SUELO

Los dos sistemas de cultivo mostraron diferencias para las siguientes propiedades físicas: densidad aparente (DA), porosidad total (PT), resistencia a la penetración (RP), materia orgánica (MO), humedad (H) y temperatura (T). En la **Figura 1** se exhiben los promedios generales de cada sistema en las diferentes unidades de suelo, producto de la evaluación en las 6 profundidades estudiadas.

La DA fue mayor en cultivos a plena exposición solar en 7 de las 8 unidades, básicamente como consecuencia de su menor contenido de MO. Se registró una mayor PT en cafetales bajo sombrero; sin embargo, las diferentes fracciones de poros (micro, meso y macro) fueron similares; resultados que son semejantes a los reportados por Sadeghian *et al.* (2001). Lo anterior señala que el efecto del uso y manejo del suelo no se expresa sobre un tamaño de poro específico, sino en la sumatoria de ellos.

En todos los suelos evaluados la resistencia a la penetración fue mayor en el sistema al sol, lo cual indica la compactación del mismo. La humedad gravimétrica tendió a ser mayor en cafetales con sombra de guamo. Jaramillo (1999) reporta deficiencias severas de humedad (inferiores al 25%) en cafetales al sol, mientras que el cultivo con *Inga spp* mostró una buena conservación del agua en el suelo. Se registraron menores temperaturas en suelos bajo sombra, fenómeno que según Rao *et al.* (1997) se debe al microclima especial que los árboles crean en el aire y el suelo.

El comportamiento a través de la profundidad en ambos sistemas fue similar para la MO y PT, los cuales disminuyeron de 13,74 y 66,51% en los primeros 5 cm a 6,71 y 62,49% entre 30

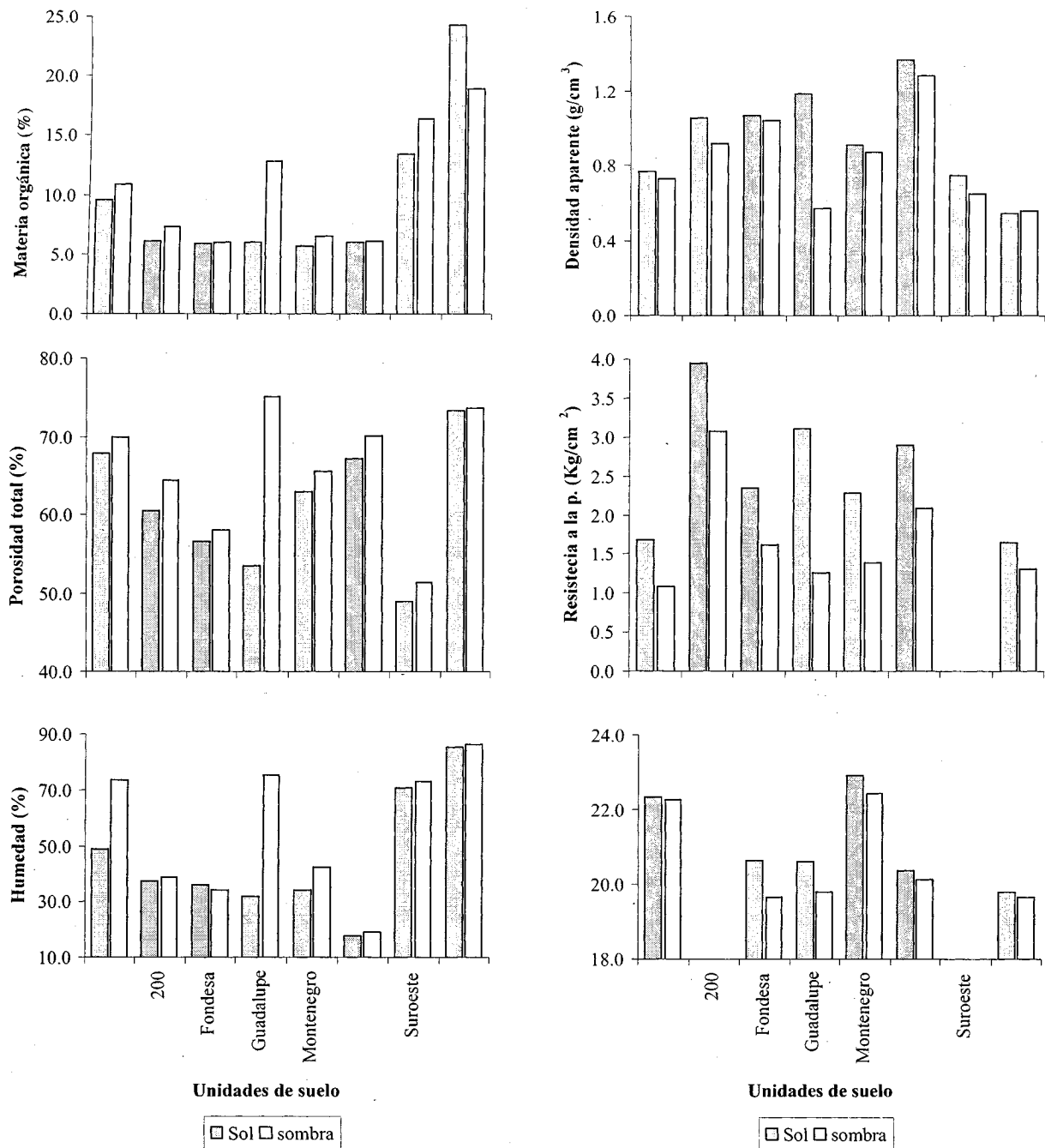


Figura 1. Promedios por unidad de suelo y agroecosistema para algunas propiedades evaluadas.

y 40 cm, respectivamente. Por el contrario, la DA y la RP aumentaron con la profundidad, pasando de 0,79 g.cm³⁻¹ y 1,13 kg.cm²⁻¹ en la superficie a 0,96 g.cm³⁻¹ y 2,93 kg.cm²⁻¹ en los últimos 40 cm, respectivamente; lo que se relaciona con el menor contenido orgánico en capas más profundas y una mayor proporción de la fracción mineral. En el ámbito general, las

diferencias más notorias se encontraron en los primeros 10 cm.

A pesar de que la MO no presentó diferencias significativas, su contenido fue mayor en los suelos de cafetales con sombra, con excepción de la unidad Timbío incidiendo en el comportamiento de otras características. El fenómeno observado en Timbío fue producido por el es-

tablecimiento del cafetal bajo guamo en un lote de características edáficas deficientes, por eso se recurrió al sombrío para favorecer el desarrollo del cultivo. El mayor porcentaje de MO en suelos con sombra se atribuye a los ingresos superiores de hojarasca y otros residuos en estos sistemas, como lo reportan también Urrego y Farfán (2002).

Las características químicas fueron similares en ambas plantaciones. Solamente se observaron diferencias en los niveles de potasio y azufre, los cuales fueron superiores en cafetales a plena exposición con valores de $0,38 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ y $9,49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, mientras que bajo sombra fueron de $0,26 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ y $5,49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; el sodio fue mayor en cultivos con sombra, $0,028 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, aunque como es de esperarse para suelos de zona cafetera este elemento no representa problema alguno. La capacidad de intercambio catiónico y el nitrógeno, a pesar de no haber mostrado diferencia, fueron mayores en suelos de asociaciones café-guamo $21,42 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ y $0,42\%$, respectivamente, frente a $18,79 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ y $0,37\%$ en cafetales al sol; este comportamiento es reportado en la literatura para sistemas agroforestales (Farrell, 1998; Fassbender y Bornesmiza, 1987).

El 31% de la variación total fue explicada por el primer componente principal, del cual forman parte la materia orgánica, porosidad total, densidad real y aparente, la humedad, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno y nitratos. Todas estas propiedades están afectadas directamente por el contenido de materia orgánica, con lo cual se infiere que su contenido es el principal responsable de la variación encontrada.

FASE II. CICLO DE NUTRIMENTOS

Se encontró mayor cantidad de material orgánico en los agroecosistemas con sombrío, tanto en el momento de iniciar las evaluaciones como en el total ingresado durante el año de evaluación. En El Cairo (Valle) se estimaron

$1,87 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sobre la superficie de cafetales con sombrío de guamo, y $0,87 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sobre el suelo de cultivos a plena exposición solar. Entre diciembre de 2002 y diciembre de 2003 ingresaron $11,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de residuos en el sistema agroforestal y $4,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en el monocultivo. En Chinchiná (Caldas) se registraron los siguientes valores de hojarasca sobre la superficie del suelo al momento de iniciar el experimento: $2,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $1,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, bajo sombra y al sol, respectivamente. En este sitio no se contó con una de las ocho lecturas para el aporte de material orgánico; sin embargo, los valores totales por año se estima sean similares a los reportados para la otra localidad en ambos agroecosistemas; el total de las siete mediciones fue de $10,5$ y $4,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para sistemas con sombra y sin ésta, respectivamente.

El aporte de material orgánico fue entre 2,4 y 2,5 veces superior en cafetales con guamo que en aquellos a libre exposición solar.

Aunque el aporte en ambos sitios fue permanente, los sistemas con sombrío de guamo mostraron fluctuaciones más marcadas (Figura 2). Las variaciones encontradas para el aporte de materiales orgánicos pueden relacionarse con la defoliación causada por el déficit hídrico y por la senescencia.

Las concentraciones foliares de los elementos tendieron a ser similares o mayores en los materiales de cultivos a plena exposición solar; no obstante, en ambos sitios hubo una mayor cantidad de nutrientes ingresados en los residuos provenientes de cafetales con guamo, lo que se debe a la mayor cantidad de hojarasca producida en estos agroecosistemas. En general, las cantidades totales de nitrógeno, calcio y zinc fueron mayores en los sistemas con sombra de los dos sitios, al igual que el fósforo, el magnesio y el cobre en Chinchiná y el manganeso en Albán (Tabla 4).

Los valores de nitrógeno coinciden con los reportados por Beer para plantaciones de café en

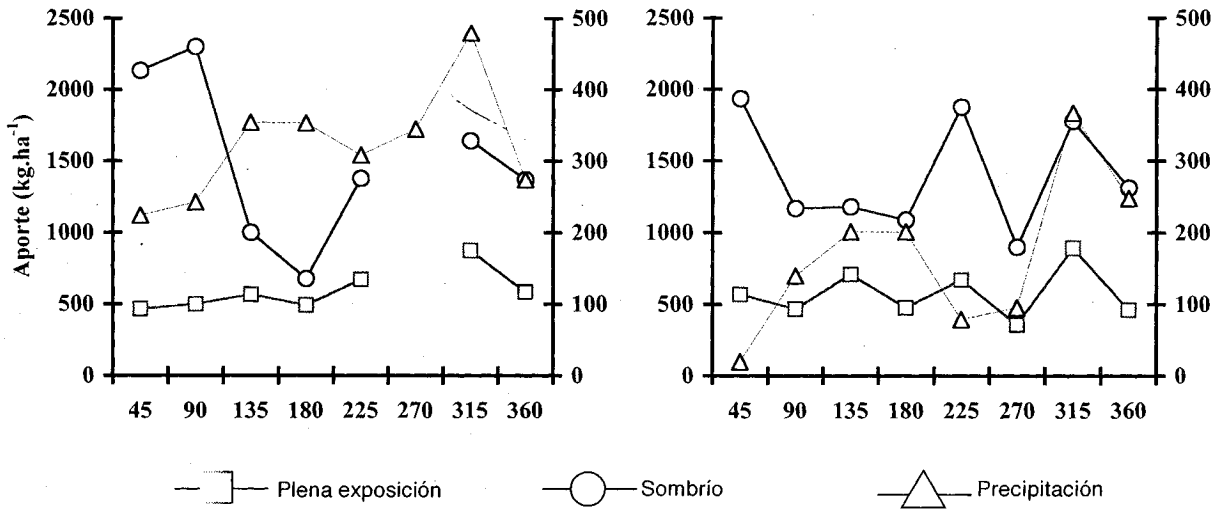


Figura 2. Ingreso de material orgánico en base seca y precipitación durante el período de estudio en ambos sitios.

asocio con leguminosas, quien reporta entre 60 y 340 kg de N. ha⁻¹.año⁻¹; la tendencia de fósforo y magnesio a presentar mayores contenidos bajo sombrío también ha sido descrita por Fassbender (1993).

Tabla 4. Retorno anual de nutrientes (kg.ha⁻¹) en el material orgánico

Nutriente	Chinchiná		Albán	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol
N	199,24A	92,17B	219,37A	98,26B
P	7,73A	4,70B	13,75 ^a	8,58A
K	48,87A	36,30A	55,53 ^a	55,15A
Ca	158,05A	54,61B	187,05A	77,71B
Mg	27,31A	5,98B	30,66 ^a	14,59A
Fe	1,27A	1,18A	1,24 ^a	0,71A
Mn	0,99A	0,94A	2,34 ^a	1,16B
Zn	0,21A	0,04B	0,19 ^a	0,07B
Cu	0,15A	0,06B	0,17 ^a	0,14A
B	0,21A	0,20A	0,22 ^a	0,27A

Letras no comunes, indican diferencia estadística entre promedios, según prueba de D.M.S. al 5%.

Las mayores tasas de descomposición correspondieron a café y fueron iguales en las dos localidades; para guamo se observaron diferencias entre sitio, siendo mayor el promedio en Chinchiná (Tabla 5); lo que puede estar relacionado con el mayor nivel de actividad microbiana registrado para este sitio.

Los resultados encontrados para hojas de café coinciden con otros reportes (Suárez, 2001),

que señalan a este material como de rápida descomposición.

Letras no comunes, indican diferencia estadística entre promedios de sitios, según prueba de Duncan al 5%.

El 50% de la descomposición de guamo se observó en Chinchiná hacia el día 225, mientras que en El Cairo este valor se alcanzó hacia el día 360; para café, este porcentaje se observó

Tabla 5. Comparación tasas de descomposición ($k \cdot \text{año}^{-1}$) entre localidades

Material foliar	Chinchiná	Albán
Guamo	0,85 A	0,58 B
Café bajo sombrío	1,44 A	1,51 A
Café libre exposición	1,70 A	1,39 A

igualmente más rápido en Chinchiná, día 90 aproximadamente y en El Cairo en el día 135.

Para la actividad microbiana los valores en Chinchiná fueron superiores en cafetales a libre exposición solar a partir del día 180 de haber comenzado las evaluaciones, con excepción del día 270, como lo indica la prueba de

comparación (**Tabla 6**); en total hubo diferencias en 4 de las 8 lecturas, correspondiendo a los días 180, 225, 315 y 360. En Albán sólo se encontraron diferencias en el día 180, siendo mayor la actividad en suelos a plena exposición, y en el día 270 cuando la actividad bajo sombrío fue superior (**Tabla 7**).

Tabla 6. Comparación de la actividad microbiana ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$) entre agroecosistemas en cada lectura en Chinchiná.

Día	Sombrío	CV (%)	Sol	CV (%)
45	1709,03 A	1,72	1698,43 A	1,67
90	1621,82 A	2,79	1640,90 A	2,27
135	1665,12 A	0,98	1658,15 A	3,62
180	1628,48 B	1,38	1696,91 A	2,10
225	1583,66 B	1,66	1707,51 A	0,32
270	1602,14 A	4,25	1688,74 A	1,30
315	1592,90 B	1,17	1685,71 A	1,59
360	1601,83 B	2,05	1706,00 A	2,58

Letras no comunes, indican diferencia estadística entre promedios, según prueba de D.M.S. al 5%.

Tabla 7. Comparación de la actividad microbiana ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$) entre agroecosistemas en cada lectura en Albán.

Día	Sombrío	CV (%)	Sol	CV (%)
45	1380,78 A	2,23	1319,72 A	6,38
90	1306,35 A	2,85	1319,72 A	6,24
135	1326,28 A	1,54	1340,91 A	7,63
180	1305,59 B	2,80	1393,15 A	1,09
225	1426,97 A	0,45	1418,89 A	2,85
270	1416,37 A	0,88	1341,42 B	0,37
315	1661,94 A	0,74	1632,72 A	7,15
360	1671,18 A	2,43	1667,54 A	1,69

Letras no comunes, indican diferencia estadística entre promedios, según prueba de D.M.S. al 5%.

Estos resultados difieren con los reportados por Sadeghian *et al.* (1998), quienes reportaron una mayor respiración del suelo en cafetales tradicionales frente a la de cultivos tecnifica-

dos. Esta similitud al nivel de agroecosistema, y valores aun superiores en suelos sin sombra, puede atribuirse a la mayor temperatura del suelo registrada para sistemas al sol.

CONCLUSIONES

El establecimiento de sombrío de *Inga spp* en asocio con *Coffea arabica* puede contribuir a la conservación y el mejoramiento de algunas de las propiedades del suelo.

El comportamiento de las características del suelo presentó variaciones debidas tanto a las unidades evaluadas como a los sistemas de uso y manejo, sin que siempre se presentara un patrón similar.

El incremento en el contenido de materia orgánica, como resultado de los mayores aportes de residuos provenientes del guamo, se vio reflejado en la mayoría de los suelos en las capas superficiales (0 a 10 cm).

El efecto positivo de la asociación se observó en mayor grado sobre la porosidad total, humedad, densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura; comportamiento que se atribuyó a los contenidos de materia orgánica.

En las dos localidades en donde se realizó el estudio, el ingreso de residuos orgánicos en cafetales bajo sombrío de guamo fue 2,5 veces superior que el registrado para monocultivos de café a plena exposición solar, independiente de las condiciones medioambientales (suelo y clima).

Los aportes totales de N, Ca y Zn en el sistema de café con sombrío de guamo fueron mayores que a libre exposición solar en ambos sitios, existiendo diferencias en la proporción entre elementos. Así mismo el ingreso de P, Mg, Mn y Cu fue mayor en este mismo sistema en alguna de las localidades.

La velocidad de la descomposición de los materiales orgánicos provenientes de guamo fue menor que la de café, siendo semejantes estas tasas en monocultivo y asociación para la última especie.

La actividad microbiana presentó tendencias diferentes entre localidades, mostrando menos variaciones en Chinchiná que en Albán, lo cual

se relacionó con el régimen de lluvias en este último sitio. En Chinchiná la actividad fue superior en cafetales al sol en el 50% de las oportunidades, debido a la mayor temperatura del suelo en este sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARELLANO., R.; ROBLES., M.; VILLEGAS., E.; PAOLINI., J. 2004. Descomposición de la hojarasca de café: modelación de la pérdida de peso (poster). En: XVI CONGRESO Latinoamericano; XII Congreso colombiano de la ciencia del suelo. Cartagena (Colombia), septiembre 26-octubre 1, 2004. Programa y memorias. Bogotá (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee *Coffea arabica* or cacao *Theobroma cacao* plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* (Holanda) 7(2):103-114.

FARRELL, J.G.; ALTIERÍ, M.A. Centro De Investigacion, Educacion Y Desarrollo, CIED. 1998. Sistemas Agroforestales. Boletín Agroecológico # 57 [en línea]: Lima, Perú: CIED. <http://www.ciedperu.org/bae/b57ed.htm>.

FASSBENDER, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2a ed. Turrialba (Costa Rica), CATIE.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a. ed. rev. aum. San José (Costa Rica), IICA, 420 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ. COLOMBIA. 1997. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe Final. Bogotá (Colombia), FNC.

JARAMILLO R., A. 1999. Distribución de la lluvia dentro de los cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé* (Colombia) No. 262:1-4. 4 Refs. Esp.

RAO, M.R.; NAIR, P.K.R; ONG, C.K. 1997. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38:3-50.

SADEGHIAN K., S. et al., 2001. Ordenamiento ambiental y reglamentación del uso y manejo del suelo en zona cafetera. En: *Suelos del eje cafetero: proyecto U.T.P. y GTZ*. Pereira (Colombia), Universidad Tecnológica de Pereira-GTZ, p. 96-108.

SADEGHIAN, S.; MURGUEITIO, E.; MEJÍA, C.; CALLE, Z. 1998. Evaluación de los efectos socioambientales de la transformación de los agroecosistemas cafeteros en el departamento del Quindío. CIPAV.

SUÁREZ V., S. 2001. La materia orgánica en la nutrición del café y el mejoramiento de los suelos de la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé (Colombia)* No. 283:1-8.

URREGO, B.; FARFAN V., F. 2002. Aportes de hojarasca en cafetales con sombrío de especies forestales Cali (Colombia), Smurfit Cartón de Colombia, 8 Refs. Esp. (Informe de Investigación No. 188).

WIEDER, K.; LANG, G. 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63(6):1636-1642