

CICLO DE NUTRIMENTOS Y ACTIVIDAD MICROBIANA EN CAFETALES A LIBRE EXPOSICIÓN SOLAR Y CON SOMBRÍO DE *Inga* spp.¹

Diego Alejandro Cardona-Calle*; Siavosh Sadeghian-Khalajabadi**

RESUMEN

CARDONA C., D. A.; SADEGHIAN KH., S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de *Inga* spp. *Cenicafé* 56(2):127-141. 2005.

Para determinar el ciclo de los nutrientes y la actividad de los microorganismos del suelo en sistemas agroforestales de café con *Inga* spp. y café a libre exposición solar, se evaluaron las variables ingreso de material orgánico, contenido de nutrientes, velocidad de descomposición y actividad microbiana en las localidades de Chinchiná (Caldas) y El Cairo (Valle). Inicialmente, la cantidad del material orgánico sobre el suelo fue dos veces mayor en los cafetales con sombrío (2,2ton.ha⁻¹ en Chinchiná y 1,9ton.ha⁻¹ en El Cairo) que a plena exposición solar (1,1ton.ha⁻¹ en Chinchiná y 0,9ton.ha⁻¹ en El Cairo). El ingreso de residuos durante un año fue de 10,5 y 11,2ton.ha⁻¹ bajo sombra y 4,2 y 4,6ton.ha⁻¹ al sol, para Chinchiná y El Cairo, respectivamente. En los cafetales con guamo ingresó una mayor cantidad de nutrientes que en cafetales a libre exposición solar. Las tasas anuales de descomposición para la hojarasca de guamo (k=0,58 en El Cairo y 0,85 en Chinchiná) fueron menores que para café (k=1,39 y 1,70 para El Cairo y Chinchiná). La actividad microbiana evaluada en términos de liberación de CO₂ fue mayor y menos variable a través del tiempo en Chinchiná, con los menores valores en cafetales al sol. En El Cairo el CO₂ liberado estuvo condicionado por la cantidad y distribución de la lluvia.

Palabras claves: Cafetales, sombrío de guamo, material orgánico, velocidad de descomposición.

ABSTRACT

To determine the nutrients cycle and the soil microorganisms activity in coffee plantations systems with *Inga* spp. and coffee at full sunshine exposure was fostered by evaluating variables such as organic material intake, nutrients content, decomposition speed and microbial activity in the municipalities of Chinchiná (Caldas) and El Cairo (Valle). Initially, the amount of organic material found in the soil was twice as big in the coffee plantations with shade of guamo (2.2ton.ha⁻¹ in Chinchiná and 1.9ton.ha⁻¹ in El Cairo) than in those under complete solar exposure (1.1ton.ha⁻¹ in Chinchiná and 0.9ton.ha⁻¹ in El Cairo). The entrance of residues during a year was 10.5 and 11.2ton.ha⁻¹ under shade conditions and, 4.2 and 4.6ton.ha⁻¹ in exposure for Chinchiná and El Cairo, respectively. The coffee plantations with guamo a greater amount of nutrients than in coffee plantations entered to free solar exposure. The annual rates of decomposition for material of guamo (k=0.58 in El Cairo and 0.85 in Chinchiná) were inferior to the ones registered for coffee (k=1.39 and k=1.70 for El Cairo and Chinchiná, respectively). The microbial activity, estimated in terms of CO₂ liberation, was greater and less variable through time in Chinchiná, with the minor values in coffee plantations with full sun exposure. In El Cairo the CO₂ released was conditioned by the amount and distribution of rain.

Keywords: Coffee plantations, guamo shade, organic material, decomposition speed.

¹ Fragmento de la tesis "Caracterización de la fertilidad del suelo y ciclo de nutrientes en monocultivos de café (*Coffea arabica*) y bajo sombrío de guamo (*Inga* spp), presentada a la Universidad Distrital, para optar al título de Ingeniero Forestal.

* Ingeniero Forestal, Universidad Distrital.

** Asistente de Investigación. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Los cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío, son sistemas productivos en los cuales circulan el agua, la energía y los elementos químicos (11); el ciclo de éstos últimos es de notable importancia, puesto que los nutrimentos son recursos necesarios para el desarrollo y la producción de las plantaciones.

En los sistemas agroforestales los nutrimentos ingresan a través de diversas fuentes como la lluvia, los fertilizantes y los minerales del suelo, entre otros, y estos pueden acumularse ya sea en los árboles de sombrío, el cultivo, el suelo o la hojarasca. Al mismo tiempo, ocurren interacciones entre los estratos del cultivo tales como la deposición de residuos, la infiltración, la absorción y la mineralización; así mismo ocurren egresos representados por las cosechas, la lixiviación, la escorrentía y la denitrificación (10).

El estudio del ciclo de nutrimentos en los agroecosistemas es fundamental para comprender la dinámica de los elementos y su disponibilidad en un manejo sostenible del sistema productivo. Es así, como en diversas investigaciones se han analizado los diferentes componentes del ciclo de nutrimentos, el ingreso de material orgánico a los sistemas agrícolas y su tasa de descomposición (20); resaltando que estos fenómenos determinan en gran medida la disponibilidad de nutrimentos y por tanto, la productividad.

Dentro de los estudios realizados en el CATIE en Costa Rica, en cafetales con sombrío (1, 2, 5, 10, 11, 13), especialmente de *Erythrina poeppigiana* y *Cordia allidora*, los resultados obtenidos por Imbach (13), sobre la lixiviación de los principales elementos en agroecosistemas de café y cacao bajo diferentes especies de sombrío, concluyen que la circulación de nutrimentos en los sistemas agroforestales estudiados es muy eficiente, lo que constituye un aspecto favorable para

la sostenibilidad productiva y ecológica de los mismos.

En Colombia han sido pocos los trabajos realizados en este campo, no obstante, desde hace algún tiempo se han adelantado investigaciones que ofrecen información acerca del comportamiento de algunas especies de sombrío como *Eucalyptus grandis*, *Pinus oocarpa* y *Cordia allidora*. En los trabajos obtenidos por Urrego y Farfán (22), no se registraron diferencias en el aporte de material orgánico de café en ningún sistema (desde 1,3Mg.ha⁻¹.año⁻¹ con sombrío de *E. grandis* hasta 1,6Mg.ha⁻¹.año⁻¹ con *P. oocarpa*), pero sí se observaron diferencias en el aporte de las especies de sombrío (4,7Mg.ha⁻¹.año⁻¹ en *Eucalyptus* y 1,9Mg.ha⁻¹.año⁻¹ en *C. allidora*). En lo correspondiente a la dinámica nutricional de los sistemas no se encontraron diferencias en los ingresos de nitrógeno y fósforo para las especies con mayor y menor aporte de materia seca, pero sí en las cantidades de potasio que fueron mayores en *Eucalyptus*, así como mayores contenidos de calcio y magnesio en *C. allidora*.

Igualmente, son significativos los avances alcanzados por Jaramillo (14), en la comprensión del transporte de nutrimentos dentro del ciclo hidrológico de los cafetales a libre exposición como en asociación con árboles de sombra. Dentro de los resultados obtenidos encontró que el potasio incrementó su concentración al pasar por la parte aérea de los agroecosistemas evaluados con valores entre 49kg.ha⁻¹.año⁻¹ para cafetales bajo sombrío de pino y eucalipto y 127kg.ha⁻¹.año⁻¹ para bosques; mientras que el potasio, el calcio y el magnesio aumentaron sus concentraciones al pasar por el follaje de bosques y cafetales con sombra de *C. allidora*, y los niveles de pH más bajos correspondieron a sombrío de eucalipto y pino, con valores de 6,3 y 6,4. También se observaron variaciones en el contenido de

los diferentes elementos en cada tipo de agroecosistema con lo cual se reafirma la influencia de la especie elegida para sombrío sobre el ciclo de los nutrientes.

Dentro de los agroecosistemas la actividad de los microorganismos juega un papel determinante ya que la intensidad de este proceso afecta la descomposición y por ende, la liberación e inmovilización de los nutrientes. Burbano (6), afirma que los microorganismos del suelo ejercen un papel fundamental en el mantenimiento de la fertilidad, ya que almacenan nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre, a la vez que participan en los procesos del ciclo de la materia orgánica, lo que es un factor importante en la productividad.

Aunque la investigación en el área del ciclo de nutrientes tiene algunos antecedentes en la caficultura colombiana, no se cuenta aún con información precisa sobre aspectos como ingreso de residuos, contenido de nutrientes y tasas de descomposición para café ni para guamo, que continúa siendo la especie más usada como sombrío.

El presente trabajo tuvo como objetivo avanzar en el conocimiento del ciclo de nutrientes y el estudio de la actividad de los microorganismos del suelo en cafetales con sombrío de guamo y a libre exposición solar, con el fin de generar información que pueda ser empleada en el manejo de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en la Estación Central Naranjal de Cenicafé, localizada en Chinchiná (Caldas) y en la granja Albán, ubicada en el municipio de El Cairo (Valle del Cauca). Las dos zonas presentan condiciones edáficas y climáticas contrastantes. La ubicación geográfica y la descripción de las características ambientales de los dos sitios de estudio durante el año 2002, se encuentran en la Tabla 1.

En Albán, el uso de sombrío se considera indispensable para la producción de café, dada la ocurrencia de períodos de déficit hídrico. En Chinchiná, por el contrario, se cuenta con una oferta ambiental adecuada para la producción de café a libre exposición solar.

Las evaluaciones se realizaron durante 1 año, entre diciembre de 2002 y enero de 2004.

Agroecosistemas seleccionados. En cada una de las localidades se seleccionaron dos cultivos de café (*Coffea arabica* L.), uno a libre exposición sembrado en el año 2000, con la variedad Colombia a 1 x 1m, y el otro bajo sombrío de guamo (*Inga codonantha* P.) plantado en 1995 a una distancia de 12 x 12m y café de la variedad Colombia sembrado un año más tarde a 1,5m x 1,5m. En Albán, las plantaciones se encontraban en lotes contiguos y en Chinchiná los lo-

Tabla 1. Características geográficas y ambientales de las localidades de estudio.

Localidad (Finca)	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Lluvia (mm/año)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Brillo solar (h/año)
Naranjal	4° 5' N	75° 39' O	1.400	2.322,1	21,6	78,4	1.829,3
Albán	4° 46' N	76° 11' O	1.500	1.342,1	19,9	80,2	1.678,3

Fuente: Anuario meteorológico cafetero 2002 (8).

tes estaban a una distancia aproximada de 200m. Los cafetales se manejaron siguiendo las prácticas correspondientes al sistema de producción empleado.

La Estación Central Naranjal se encuentra localizada en el ecotopo cafetero 206A y la granja Albán en el 103A, ambos con suelos derivados de cenizas volcánicas clasificados taxonómicamente como Typic Dystrandeps. Las principales características físicas y químicas de estos suelos se encuentran en la Tabla 2.

1. Evaluación del ciclo de nutrientes

1.1 Ingreso de material orgánico.

Evaluación inicial. Al comenzar el estudio se cuantificó la cantidad de hojarasca sobre el suelo de los agroecosistemas (momento cero - diciembre de 2002), empleando marcos de madera de 1m² introducidos en el mantillo hasta llegar al suelo propiamente dicho. En cada sistema de producción se tomaron nueve muestras.

Evaluaciones periódicas. Cada 45 días se evaluó el ingreso de material vegetal a los agroecosistemas. Para este fin se instaló un sistema de tres trampas de follaje en el interior de los lotes. Cada una de las trampas tenía un área de 1m² y éstas se ubicaron a 10cm sobre la superficie del suelo.

Se recolectó el material orgánico proveniente de la parte aérea de las plantas (hojas, ramas, flores y frutos, entre otros), y antes de pesarlo, se secó a 65°C para evitar la volatilización de elementos como nitrógeno y azufre (17).

Con los datos obtenidos en cada evaluación se calculó el promedio para 1m² y se extrapolaron los valores a una hectárea.

En Chinchiná se presentaron inconvenientes de tipo logístico para determinar la cantidad de biomasa correspondiente a la sexta lectura en ambos agroecosistemas, debido a que las muestras fueron molidas para su análisis químico antes de registrar su peso seco.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados.

Sitio	Sistema	Prof. (cm)	Textura	DA (g.cc ⁻¹)	pH	Propiedad					
						MO (%)	CIC	Ca (cmol _c .kg ⁻¹)	Mg	K	P (mg.kg ⁻¹)
Naranjal	Sombrío	0-20	F	0,71	5,00	12,20	22,50	1,95	0,40	0,16	5
		20-40	F	0,78	5,60	8,30	19,00	1,40	0,45	0,08	2
	Sol	0-20	F	0,78	4,85	10,73	21,00	0,23	0,08	0,12	23
		20-40	F	0,76	5,15	7,10	15,50	0,00	0,00	0,04	3
Albán	Sombrío	0-20	FAR	1,01	5,43	6,90	16,50	7,78	1,50	0,57	30
		20-40	FAR	1,10	5,60	4,25	15,00	5,50	1,10	1,10	7
	Sol	0-20	FAR	1,02	5,30	7,15	17,75	7,03	1,28	0,69	62
		20-40	FAR	1,17	5,30	3,50	15,00	5,05	0,80	0,62	12

Prof.: profundidad, DA: densidad aparente, MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, Ca: calcio, Mg: magnesio, K: potasio, P: fósforo, F: franco, FAR: franco-arcilloso.

Fuente: Cardona (7)

1.2 Contenido de nutrimentos en el material orgánico. Tanto en la evaluación inicial como en las periódicas fueron tomadas submuestras de biomasa seca con el objetivo de determinar la cantidad total de nutrimentos. Se analizaron los siguientes elementos: nitrógeno (semimicro Kjeldahl), fósforo (colorimetría - molibdo vanadato de amonio), potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc, hierro y cobre (espectrofotometría de absorción atómica), y boro (colorimetría - azometina H).

1.3 Velocidad de descomposición. Para evaluar la degradación de los residuos vegetales se empleó el método de bolsas de descomposición. Para tal fin se recolectó material foliar senescente de las dos especies estudiadas, *Inga codonantha* y *Coffea arabica*, en cada uno de los agroecosistemas. Se realizó un muestreo al azar en varios árboles de cada lote, recolectando hojas de la parte basal de ramas ubicadas en el tercio inferior de las plantas.

El material vegetal de cada especie se mezcló y secó hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente, se tomaron 100g de muestra y se colocaron dentro de bolsas de malla plástica (nylon), con una abertura de 1 x 1mm y dimensiones de 20 x 30cm. Los residuos de guamo y café se estudiaron separadamente, puesto que en la forma combinada que se encuentran sobre el suelo no es posible determinar la tasa de descomposición individual.

Adicionalmente se empleó celulosa pura como patrón de comparación de la descomposición, dado que sobre este material los organismos actúan libremente y por ende, el proceso de descomposición es más rápido. Para lo anterior se tomaron muestras de 100g de algodón y se colocaron también en bolsas de malla plástica.

En todos los lotes y al iniciar el estudio, se demarcaron tres parcelas de 3 x 1,5m, en cada una de las cuales se ubicaron 10 bolsas con los diferentes materiales foliares sobre el suelo, teniendo en cuenta que las muestras correspondieran al lote del cual fueron tomadas inicialmente. También, se colocaron 10 muestras de algodón como material de comparación. Cada 45 días se extrajo una muestra de los diferentes materiales en cada parcela y posteriormente, en el laboratorio se eliminaron las partículas extrañas en la muestra inicial (hifas de hongos, suelo, raíces y microfauna, entre otros), y finalmente, éstas se secaron hasta obtener el peso seco remanente.

La tasa de descomposición de las tres clases de material foliar presentes en cada sitio (guamo, café en asocio con guamo y café a plena exposición), se obtuvo empleando una ecuación de tipo exponencial simple del orden $y = y_0 e^{-k.t}$, propuesta por Wieder y Lang (23), en la que y representa el porcentaje de peso seco remanente, t el tiempo y k la tasa relativa de descomposición. Valores altos de k indican mayor velocidad de descomposición y menor tiempo de retención de nutrimentos. Se eligió este modelo, dado su mejor ajuste para explicar los procesos de descomposición de la hojarasca en estudios similares desarrollados por Arellano *et al.* (4).

2. Evaluación de la actividad microbiana

La actividad de los microorganismos se cuantificó con base en la liberación de CO₂ del suelo, empleando el método de caja invertida (3). Las mediciones se realizaron cada 45 días directamente en el campo, empleando NaOH para absorber el dióxido de carbono liberado en un área determinada de suelo. Para tal efecto en cada una de las lecturas se colocaron tres recipientes por lote

con 10ml de NaOH 1N, instalados sobre la superficie del suelo previamente desprovista de vegetación. Los recipientes se dejaron en los lotes cubiertos con cilindros plásticos de dimensiones conocidas, durante seis horas al cabo de las cuales se recogieron para determinar la cantidad de CO₂ evolucionado, mediante la titulación del hidróxido de sodio con HCl 0,5N en presencia de fenolftaleína y BaCl.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Evaluación del ciclo de los nutrientes

1.1. Ingreso de material orgánico.

Evaluación inicial. En la Tabla 3 se presentan los valores de la cantidad de material orgánico encontrado en el suelo de cada agroecosistema al iniciar el trabajo.

La cantidad de hojarasca en ambos sitios fue mayor en cafetales bajo sombrío de guamo, en una proporción de 2:1 en Chinchiná y 2,2:1 en Albán. Se aprecia cómo a pesar de los contrastes ambientales, los valores encontrados y las proporciones del material fueron similares. En el marco de la campaña de defensa y restauración de suelos liderada por la Federación Nacional de Cafeteros a principios de la década de los 50 (18), se evaluó la cantidad de hojarasca en cafetales bajo sombrío de guamo en diferentes localidades, hallándose valores de peso seco entre 4,91 y 15,8Mg.ha⁻¹ en cafetales con más de

cinco años de plantados, valores altos en comparación con los encontrados en este estudio. No obstante, debe considerarse que los cafetales en la época citada presentaban una mayor densidad del sombrío.

Otros trabajos (1), donde se hallaron 4,93Mg.ha⁻¹ de hojarasca en plantaciones de café bajo sombrío de *Cordia alliodora* y 6,35Mg.ha⁻¹ bajo sombrío de *Erythrina poeppigiana*, aunque muestran altos valores, pueden estar relacionados con las podas realizadas a los árboles de sombrío. Igualmente la especie forestal empleada, el manejo de la plantación y las densidades de siembra del cultivo, eran diferentes a las evaluadas en este estudio, lo cual no permite una comparación objetiva.

Evaluaciones periódicas. La Figura 1 esquematiza el ingreso de material orgánico y la distribución de la precipitación durante el período en el cual se realizaron las evaluaciones.

La cantidad de materia orgánica total que ingresó y que estaba constituida por hojas, frutos, ramas, flores y otros órganos de la planta, fue similar en ambos sitios, no obstante, los cafetales al sol tuvieron un patrón uniforme y con menos variaciones que aquellos con sombrío de guamo, en los que las cantidades retornadas en cada período fueron hasta 4,6 veces mayores.

Hubo similitud en las tendencias del ingreso de material orgánico en cafetales al sol y la precipitación, la cual fue más consistente en Chinchiná que en Albán ($r=0,80$ y

Tabla 3. Peso seco de material orgánico en el suelo de cada agroecosistema (Mg.ha⁻¹).

Localidad	Café bajo sombrío	Café libre exposición
Chinchiná	2,2	1,1
Albán	1,9	0,9

$r=0,50$, respectivamente). Pese a lo anterior, las variaciones en los aportes de la hojarasca pueden explicarse como el producto de la defoliación causada por la cosecha, que coincide con las épocas de mayor lluvia y no por el efecto estacional de la precipitación. La caída de las hojas durante la cosecha se asocia a la senescencia, proceso de mayor incidencia durante las últimas etapas de maduración de los frutos, época durante la cual ocurre una traslocación de nutrimentos de las hojas hacia los granos que provoca la caída de las mismas.

En la Tabla 4 se muestran las cantidades totales de material que ingresaron por año a

cada agroecosistema en las dos localidades, observándose un mayor aporte de material orgánico en los cafetales bajo sombrío de guamo en una relación de 2,5:1. Aunque los valores fueron similares en los dos sitios, se estima que pueden ser aun más cercanos, debido a que en Chinchiná no se contabilizó la sexta lectura, valor con el que el total estaría próximo a la cifra registrada en la localidad de Albán.

A pesar que en los dos sitios ingresaron cantidades semejantes de hojarasca durante el año, el valor cuantificado sobre el suelo en el momento inicial fue menor en Albán; resultado que pudo ser provocado por la

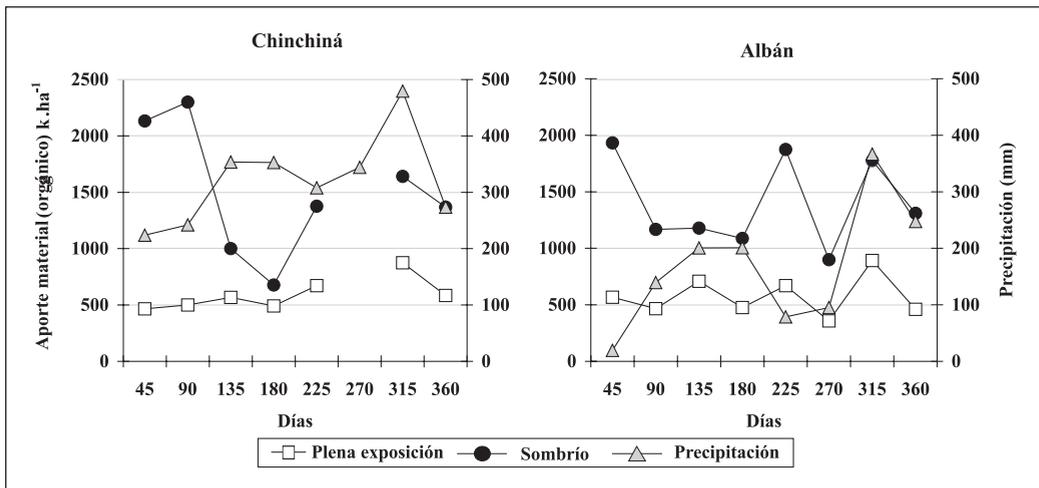


Figura 1. Ingreso de material orgánico en base seca y precipitación, registrados en las localidades de Chinchiná y Albán durante el período de estudio.

Tabla 4. Ingreso de material orgánico en cada agroecosistema ($Mg.ha^{-1}.año^{-1}$).

Localidad	Agroecosistema			
	Café bajo sombrío	Desviación estándar	Café a libre exposición	Desviación estándar
Chinchiná	10,5	0,58	4,2	0,14
Albán	11,2	0,40	4,6	0,17

poda a la que se sometieron los árboles de guamo el año anterior a las evaluaciones en este sitio.

Los registros obtenidos para café bajo sombrío coinciden con los citados por Urrego y Farfán (21), quienes reportan cantidades anuales entre 11,1 y 15Mg.ha⁻¹ de material orgánico para cafetales asociados con *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis*. Para el caso del café a plena exposición solar estos autores cuantificaron 8,2Mg.ha⁻¹, cantidad superior a la encontrada en esta investigación, resultado posiblemente influenciado por la edad de la plantación consignada en el informe citado como de siete años, mientras que en este estudio el cultivo tenía alrededor de tres años. Bornemisza citado por Gómez (12), estableció el ingreso de hojarasca en cafetales bajo sombra en la región andina colombiana entre 4,6 y 13Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

La mayor cantidad de biomasa en el sistema de café bajo guamo da como resultado ingresos superiores de material orgánico, lo que a su vez se traduce en una mayor capa de hojarasca en los suelos. Lo anterior trae consigo una serie beneficios como un

menor “potencial erosivo” de las gotas de lluvia en cultivos bajo guamo debido a la acción protectora de la hojarasca y no por la interceptación realizada por el follaje del sombrío (18).

1.2 Contenido de nutrimentos en el material orgánico. La Tabla 5 presenta las concentraciones de nutrimentos en la hojarasca de café en el sistema a plena exposición solar y en la mezcla de hojarasca de café y guamo en el sistema asociado, al iniciar el estudio. Los cafetales a libre exposición presentaron los mayores valores de potasio, los cuales estuvieron relacionados con la aplicación de fertilizantes ricos en este elemento. Un comportamiento similar se observó para el hierro y el manganeso, tendencia que puede estar asociada con una mayor acidez, resultante de los aportes de nitrógeno por la fertilización, y/o a condiciones de mayor alcalinidad generada por el aporte continuo de materiales ricos en calcio. Aunque se registró un comportamiento similar para el boro, no son muy claras las razones de su contenido más alto.

Tabla 5. Concentración de nutrimentos en la hojarasca de ambos agroecosistemas en el momento de iniciar las evaluaciones.

Nutrimento	Chinchiná		Albán	
	Cafetal a la sombra	Cafetal al sol	Cafetal a la sombra	Cafetal al sol
N (%)	2,08	2,09	2,07	2,37
P (%)	0,08	0,11	0,12	0,17
K (%)	0,25	0,53	0,25	0,66
Ca (%)	1,71	1,24	2,16	1,90
Mg (%)	0,17	0,12	0,15	0,36
Fe (mg.kg ⁻¹)	727,67	2.600,33	891,42	1.489,92
Mn (mg.kg ⁻¹)	129,33	248,00	199,00	371,00
Zn (mg.kg ⁻¹)	30,33	20,00	23,42	29,50
Cu (mg.kg ⁻¹)	17,00	13,33	18,67	27,17
B (mg.kg ⁻¹)	12,33	45,00	14,92	43,17

Con la información correspondiente a concentración de nutrimentos se cuantificó la cantidad total de los mismos por hectárea, cuyos valores entre agroecosistema fueron comparados en las dos localidades (Tabla 6). En Chinchiná se observaron las mayores diferencias en la concentración de nutrimentos con contenidos superiores de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, zinc y cobre en la hojarasca de cafetales con guamo. Por el contrario, en Albán, esta tendencia no fue tan clara y sólo se encontró un menor contenido de calcio en cafetales al sol, a pesar de que la materia seca en dicho agroecosistema era sólo el 46,5% de la encontrada en cafetales con guamo.

En la Tabla 7 se presenta la cantidad total de nutrimentos ingresados a los agroecosistemas en la hojarasca durante el año de evaluación. En ambas localidades las entradas de nitrógeno, calcio y zinc, fueron superiores en cafetales bajo sombrío, lo cual está relacionado con la mayor cantidad de residuos que ingresaron en estos sistemas; las cantidades de calcio y nitrógeno fueron las más elevadas y en el caso de éste último, estuvieron dentro del rango registrado por Beer (5), 60 a 340kg de N.ha⁻¹.año⁻¹ para plantaciones de café y leguminosas.

Las cantidades de fósforo y de magnesio en Chinchiná fueron mayores en cafetales bajo sombra, tendencia que también se

Tabla 6. Contenido total de nutrimentos (kg.ha⁻¹) en la hojarasca al inicio del estudio.

Nutrimento	Chinchiná		Albán	
	Cafetal a la sombra	Cafetal al sol	Cafetal a la sombra	Cafetal al sol
N	45,83A*	22,99B	39,00A	20,65A
P	1,76A	1,21B	2,22A	1,49A
K	5,50A	5,83A	4,64A	5,55A
Ca	37,69A	13,64B	40,05A	16,44B
Mg	3,74A	1,36B	2,80A	3,10A
Fe	1,60A	2,86A	1,68A	1,32A
Mn	0,28A	0,27A	0,37A	0,33A
Zn	0,07A	0,02B	0,04A	0,03A
Cu	0,04A	0,01B	0,04A	0,02A
B	0,03B	0,05A	0,03A	0,04A

* Letras distintas indican diferencia estadística entre los promedios de los agroecosistemas. D.M.S. al 5%.

Tabla 7. Retorno anual de nutrimentos (kg.ha⁻¹) en el material orgánico

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

* Letras distintas indican diferencia estadística entre promedios según prueba de D.M.S. al 5%.

observó en Albán, sin presentar diferencias estadísticas. Igualmente, Fassbender (9), ha registrado altos ingresos de estos elementos en otros sistemas agroforestales.

1.3 Velocidad de descomposición. En la Tabla 8 se presenta el peso seco remanente de cada material en diferentes períodos de evaluación para las dos localidades.

Con base en los resultados de la Tabla 8 se obtuvieron las ecuaciones de las tasas de descomposición, correspondientes al modelo $y = y_0 e^{-k \cdot t}$ (Tabla 9), los cuales presentan altos coeficientes de determinación que indican elevados ajustes en todos los casos.

Las tasas de descomposición “k” de las hojas de café bajo sombrío y a libre exposición solar fueron iguales entre sí y diferentes estadísticamente a las del guamo, tanto en Chinchiná como en Albán (Tabla 10).

Los valores de “k” son los primeros reportados en el país para las dos especies evaluadas, razón por la que no se dispone de datos que sirvan como parámetro de comparación. No obstante, los resultados de descomposición coinciden con los registros de la literatura para materia orgánica en la zona cafetera colombiana, en los que la hojarasca producida por el café es catalogada como un material de rápida descomposición,

Tabla 8. Peso seco remanente de cada material (g) a través de tiempo.

Día	Chinchiná			Albán		
	Guamo	Café con Sombrío	Café a plena exposición	Guamo	Café con sombrío	Café a plena exposición
0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
45	83,51	58,62	71,06	87,70	70,73	79,52
90	68,27	49,65	58,96	78,55	58,28	63,39
135	64,82	45,81	55,31	69,92	45,78	54,03
180	61,05	35,57	48,31	66,83	39,72	45,21
225	54,43	31,58	43,00	62,41	38,27	44,67
270	52,90	30,52	41,71	58,70	36,60	43,34
315	51,90	27,71	39,81	58,24	28,57	29,77
360	42,88	21,51	32,19	55,93	22,48	26,56

Tabla 9. Ecuaciones de descomposición de la hojarasca y coeficientes de determinación.

Material foliar	Chinchiná		Albán	
	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²
Guamo	$y = 90,108e^{-0,7332t}$	0,9367	$y = 92,412e^{-0,5665t}$	0,9356
Café con sombrío	$y = 76,898e^{-1,2986t}$	0,9229	$y = 85,381e^{-1,3066t}$	0,9524
Café al sol	$y = 79,325e^{-1,8336t}$	0,8457	$y = 91,973e^{-1,2268t}$	0,9598

Tabla 10. Comparación de las tasas de descomposición k (año⁻¹).

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

* Letras distintas indican diferencia estadística entre los promedios, según prueba de Duncan al 5%.

según Suárez (19), quien registró una pérdida del 43% de peso de la hojarasca inicial en tres semanas.

El proceso de descomposición de biomasa puede entenderse como la pérdida de peso ocasionada por diversos factores como el consumo de tejidos por invertebrados, la lixiviación, la degradación bioquímica realizada por los microorganismos y el paso a través del tracto digestivo de los invertebrados, según lo explica Wood (24).

En la Figura 2, se observa el comportamiento de la descomposición de los materiales a través del tiempo, generado a partir de las ecuaciones de la Tabla 9. Adicionalmente, se presentan las tendencias para el material de control utilizado (celulosa pura).

En ambos sitios se observan tendencias similares en la mineralización de los materiales a través del tiempo. La hojarasca de café presentó la descomposición más rápida frente al guamo, especialmente bajo sombrío. Sin embargo, como se anotó anteriormente

(Tabla 10), la tasa de descomposición para café fue estadísticamente igual en ambos sistemas de producción. Se observa cómo la mayor pérdida de peso del material orgánico en las dos localidades correspondió al material de control (celulosa), debido a que los microorganismos pueden actuar libremente sobre éste, ya que no presentan componentes que limiten el proceso de descomposición, tales como la lignina.

Otros resultados obtenidos en Chinchiná (18), en torno a la descomposición de residuos de *Inga* sp, registraron un 55% de pérdida de peso en seis meses y un 67% al cabo de un año.

Se encontró una mayor intensidad del proceso durante los primeros 45 días, período durante el que se registró el porcentaje de pérdida de peso más elevado para los diferentes materiales en las dos localidades.

Los porcentajes finales de mineralización para café fueron similares en ambos sitios; mientras que para el guamo en la localidad

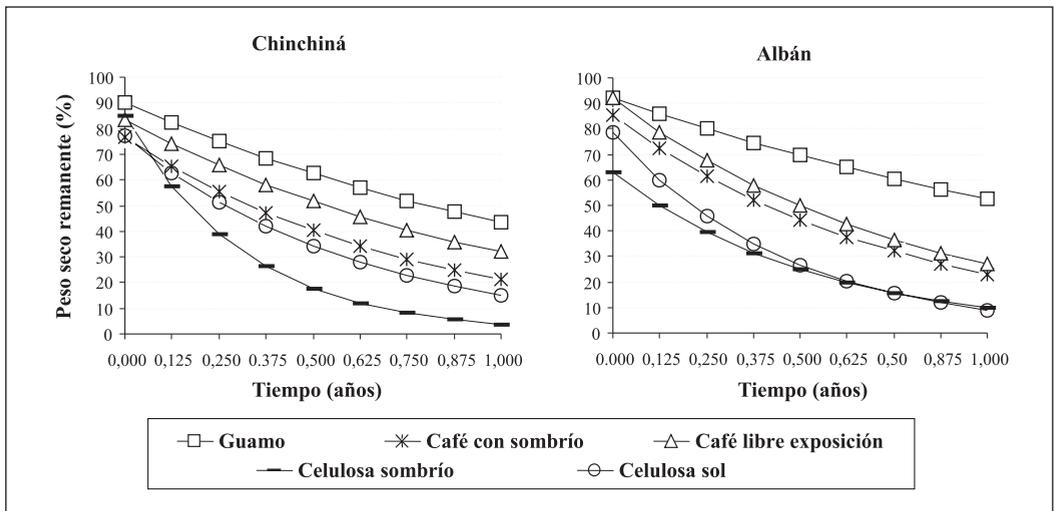


Figura 2. Variación del peso seco remanente (%) de los materiales a través de tiempo.

de Chinchiná este proceso alcanzó 62% y sólo un 48% en Albán.

De este modo puede concluirse que la diferencia entre las tasas de descomposición es importante por el efecto final generado por los diversos materiales (19). La más rápida degradación de los residuos de café, como resultado de su composición, pone a disposición del cultivo los nutrientes en un período más corto. Los residuos de *Inga* por el contrario, sufren un proceso diferente debido a su mayor contenido de lignina, en cuyo caso el principal producto de la descomposición es el humus, fracción más abundante e importante de la materia orgánica estable en el suelo. Burbano (6), señala que los materiales de alta calidad como mulch, en este caso café, poseen compuestos de carbono ricos en energía que se pierden principalmente como CO_2 y por eso contribuyen en poca medida al mantenimiento de la materia orgánica del suelo. Mientras que los materiales de baja calidad como mulch debido a su lenta descomposición (guamo) poseen las unidades estructurales para los ácidos húmicos y fúlvicos, que se

encuentran en la materia orgánica lenta o pasiva (estable).

2. Evaluación de la actividad microbiana

El comportamiento de la actividad microbiana del suelo en términos de liberación de CO_2 , en la localidad de Chinchiná presentó valores constantes y mayores a los registrados en Albán en las primeras 6 lecturas, según la prueba D.M.S. al 5% (Figura 3).

Esta diferencia se relaciona con la menor precipitación registrada en Albán, cuya similitud con la actividad microbiana, en su tendencia se resalta en la Figura 3. Adicionalmente, los suelos de la unidad Fondesa en Albán exhiben características menos favorables para el crecimiento y desarrollo de las poblaciones microbianas, entre las que se encuentran mayor densidad aparente y compactación, menor contenido de materia orgánica, porosidad y retención de humedad, factores que en su conjunto pueden llegar a causar déficit de humedad en el suelo

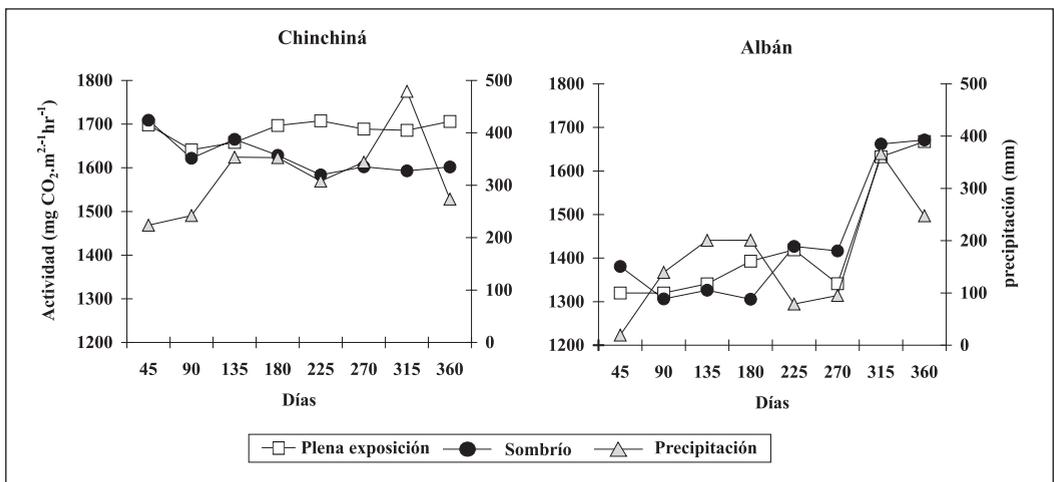


Figura 3. Actividad microbiana y precipitación durante el período de estudio en las localidades de Chinchiná y Albán.

a lo largo del año. Respecto al efecto de la precipitación sobre la actividad de los microorganismos, hubo una alta correlación entre las dos variables en Albán, lo que fue especialmente notorio en los cultivos a plena exposición solar ($r=0,76$). Por tanto, se evidencia la precipitación como un factor limitativo para la actividad microbiana en Albán, debido a que la lluvia es menor y a que además, se observaron meses con índices de humedad en el suelo por debajo de 0,6, valor crítico para café, durante el año de evaluación y el año inmediatamente anterior (Tabla 11).

En Chinchiná, la actividad microbiana de los cafetales a plena exposición fue mayor en las lecturas realizadas en los días 180, 225, 315 y 360, según la prueba D.M.S. al 5%. En Albán sólo se registraron diferencias en dos lecturas, siendo el promedio estadísticamente superior en una ocasión en cafetales bajo sombra (día 270) y en otra en cafetales al sol (día 180).

Inicialmente, podría pensarse en una mayor evolución de CO_2 en suelos bajo sombrío, tal como lo reportan Sadeghian *et al.* (16), sin embargo, en este estudio se registraron mayores valores en cultivos a plena exposición. Tal situación puede

deberse a la mayor temperatura de los suelos sin sombrío en ambas localidades (22,58°C en Chinchiná y 20,63°C en Albán), frente a 22,45°C y 19,72°C en cafetales bajo sombra, factor condicionante de la actividad de los microorganismos, así como al posible aumento generado por una mayor fertilización nitrogenada. De otra parte, debe considerarse el hecho que las evaluaciones en este caso se realizaron directamente en el campo, con el fin de disminuir el error experimental en el que puede incurrirse al trasladar las muestras de suelo para incubar en el laboratorio, donde las condiciones climáticas son distintas a las del lugar donde se llevan a cabo las evaluaciones. En este último caso los resultados de comparación entre agroecosistemas no han mostrado diferencias cuando no se aplica la corrección por humedad (15), lo cual no es necesario para el tipo de medición empleada en este estudio.

Se tiene de este modo que la modificación en el tipo de uso y manejo del suelo puede afectar la actividad de las poblaciones de microorganismos, pero al mismo tiempo pueden producirse cambios sobre los agentes catalizadores de sus procesos, lo que deriva en resultados distintos a lo esperado antes de realizar la investigación, como su mayor actividad bajo sombrío.

Tabla 11. Índice de humedad de acuerdo al balance hídrico para Chinchiná y Albán durante los años 2002 y 2003.

Año 2002												
Localidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Chinchiná	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Albán	0,75	0,39	0,99	1,00	1,00	1,00	0,95	0,39	0,95	1,00	1,00	1,00
Año 2003												
Chinchiná	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Albán	0,52	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00

AGRADECIMIENTOS

A Cenicafé, a los doctores Fernando Farfán, Álvaro Jaramillo y Esther Cecilia Montoya, suscritos a las Disciplinas de Fitotecnia, Agroclimatología y Biometría, respectivamente. A la señora Beatriz Mejía de la Disciplina de Suelos. Al técnico Diego Castaño y al señor Antonio Torres, administrador y funcionario, respectivamente, de la granja Albán. Al doctor Celso Arboleda, la Señora Deisy Cuartas y demás personal de la Estación Experimental Central Naranjal.

LITERATURA CITADA

1. ALPIZARO, L. A.; FASSBENDER, H. W.; HEUVELDOP, J.; ENRÍQUEZ C., G. A.; FOLSTER, H. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35(3):233-242. 1985.
2. ALPIZARO, L. A.; FASSBENDER, H. W.; HEUVELDOP, J.; ENRÍQUEZ C., G. A.; FOLSTER, H. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. Turrialba 35(4):403-413. 1985.
3. ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility; A handbook of methods. 2. ed. Wallingford, CAB International, 1993. 221 p.
4. ARELLANO, R.; ROBLES, M.; VILLEGAS, E.; PAOLINI, J. Descomposición de la hojarasca de café: modelación de la pérdida de peso. In: Congreso Latinoamericano, 16; Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 12. Cartagena, Septiembre 26 - Octubre 1, 2004. Programa y memorias. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2004. 1 p. (Poster)
5. BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. Agroforestry Systems 7(2):103-114. 1988.
6. BURBANO O., H. La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible. In: Silva, M., F. Fertilidad de suelos diagnóstico y control. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994. p 187-217.
7. CARDONA C., D. A. Caracterización de la fertilidad del suelo y ciclo de nutrientes en monocultivos de café (*Coffea arabica*) y bajo sombrío de guamo (*Inga spp.*) Bogotá, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2004. 178 p. (Tesis: Ingeniero Forestal)
8. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario meteorológico cafetero 2002. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 536 p.
9. FASSBENDER, H. W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2. ed. Turrialba, CATIE, 1993. 475 p.
10. FASSBENDER, H. W.; ALPIZARO, L. A. Criterios para la evaluación de materia orgánica y del ciclo de nutrimentos en sistemas agroforestales. Avances en la investigación agroforestal. Turrialba, CATIE-GTZ, 1985. p 105-108.
11. FASSBENDER, H. W.; ALPIZARO O., L. A.; HEUVELDOP, J.; ENRÍQUEZ C., G. A.; FOLSTER, H. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. 3. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. Turrialba 35(4):403-413. 1985.
12. GÓMEZ Z., J. La materia orgánica en los agroecosistemas. Palmira, Universidad Nacional, 2000. 97 p.
13. IMBACH H., A. C. Lixiviación de nutrimentos principales en cuatro sistemas agroforestales con cultivos perennes de Turrialba, Costa Rica. Turrialba, CATIE, 1987. 167 p. (Tesis: Magister Scientiae).
14. JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. Cenicafé 54(2):134-144. 2003.
15. SADEGHIAN KH., S.; MADRIÑÁN M., R. Efecto de quema y conservación de residuos de caña de azúcar cultivada en un molisol del Valle del Cauca. Suelos Ecuatoriales 31(1): 69-72. 2001.

16. SADEGHIAN KH., S.; MURGUEITIO, E.; MEJÍA, C.; CALLE, Z. Evaluación de los efectos socioambientales de la transformación de los agroecosistemas cafeteros en el departamento del Quindío. Cali, CIPAV, 1998. 89 p.
17. SÁNCHEZ S., O. A. La descomposición de la materia orgánica como criterio en el manejo de sitio en el bosque altoandino. Cuenca del río San Cristóbal, Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1993. 132 p. (Tesis: Ingeniera Forestal).
18. SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Investigaciones sobre la erosión y conservación de suelos en Colombia. Chinchiná, FNC, 1962. 473 p.
19. SUÁREZ V., S. La materia orgánica en la nutrición del café y el mejoramiento de los suelos de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé No. 283:1-8. 2001.
20. THAIUTSA, B.; GRANGER, O. El clima y la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. [en línea]: <http://www.fao.org/docrep/n6845s/n6845s05.htm> Unasyuva 31(126).1979.
21. URREGO, B.; FARFÁN V., F. Aportes de hojarasca en cafetales con sombrío de especies forestales Cali, Smurfit - Cartón de Colombia, 2002. (Informe de Investigación No. 188).
22. URREGO, B.; FARFÁN V., F. Dinámica nutricional del sistema café - árboles forestales en Colombia. In: SIMPOSIO sobre Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. Chinchiná, Julio 24-28, 2000. Ponencias. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 15 p. (Ponencia en disco compacto)
23. WIEDER, K.; LANG, G. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. Ecology 63(6):1636-1642, 1982.
24. WOOD, T. G. Field investigations on the decomposition of leaves of *Eucalyptus delegatensis* in relation to environmental factors. Pedobiologia 14: 343-371. 1974.