

FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE CALDAS

Hernán González-Osorio*; Siavosh Sadeghian-Khalajabadi**; Raúl Darío Zapata-Hernández***; Beatriz Mejía-Muñoz[†].

RESUMEN

GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S.; ZAPATA H., R.D.; MEJÍA M., B. Fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera de Caldas. *Cenicafé* 59(4):310-320.2008

La materia orgánica y sus componentes constituyen un importante indicador de la productividad de los suelos, por tal razón se efectuó un fraccionamiento de la misma, consistente en cuantificar el carbono (C) de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF), en suelos de la zona cafetera de Caldas, contrastantes por su material parental (MP) y pertenecientes a las unidades cartográficas Chinchiná (MP cenizas volcánicas), Guamal (sedimentario), Doscientos (ígneo), Tablazo (metamórfico), Maiba (ígneo) y Cascarero (metamórfico). Se realizó un muestreo en 40 cafetales, 20 a libre exposición solar y 20 con sombrío de guamo, a dos profundidades: 0 a 15 cm y entre 15 y 30 cm. Los AH y AF se aislaron y se purificaron mediante el método de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas. No hubo diferencias en el contenido del C de AH entre las unidades de suelo. Al comparar los agroecosistemas dentro de cada unidad, no hubo diferencias en el contenidos de C de AH, a excepción de las unidades Guamal y Doscientos, en donde los promedios para cafetales con sombrío fueron mayores a los cafetales a libre exposición. La concentración de C de los AF fue igual entre las unidades y agroecosistemas, con promedios equivalentes al 10,2% del C de los AH. No hubo relación entre el C de los AH con el P, K, Ca, Mg, S ni Al. Respecto al C de AF, se presentó correlación significativa con la CIC.

Palabras claves: Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, café al sol, café con sombrío.

ABSTRACT

Organic matter (OM) and its components are an important indicator of soil productivity. For that reason, a breaking-up of organic matter consisting of quantifying the carbon (C) of humic acids (HA) and fulvic acids (FA) in soils of the coffee-growing region of Caldas, which are contrasting due to their parental material (PM) and to the fact that they belong to the cartographic units Chinchiná (volcanic ash PM), Guamal (sedimentary PM), Doscientos (igneous PM), Tablazo (metamorphic PM), Maiba (igneous PM) and Cascarero (metamorphic PM). A sampling was conducted in 40 coffee plantations, 20 of them had free solar exposure and 20 had Guamo (*Inga* spp.) shades, at two depths: 0 to 15 cm and 15 to 30 cm. The HA and FA were isolated and purified through the International Society of Humic Substances method. There were no differences in the C contents of HA among the soil units. When comparing the ecosystems within each land unit, there were no differences in the C content of HA, except for the Guamal and Doscientos units, where the average for coffee crops with Guamo shade was higher than those of coffee with free solar exposure. The C concentration of FA was similar in all units and ecosystems with averages equivalent to 10.2% of the C of the HA. There was no relationship between the C of the HA with P, K, Ca, Mg, S or Al. FA C was significantly correlated with the CEC.

Palabras claves: Humic acids, fulvic acids, coffee solar exposure, coffee with shade.

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

** Investigador Científico II. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Docente. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

La materia orgánica (MO) es reconocida como un recurso natural regulador de las reacciones físicas, químicas y biológicas, que determinan el potencial productivo de los suelos (14). Es abastecida continuamente por tejidos vegetales, cuya composición elemental está constituida por estructuras de fácil descomposición por el componente vivo del suelo y formas químicamente más complejas que ofrecen resistencia a la síntesis biológica. Estas últimas se condensan por efecto de los factores de formación del suelo (41) y originan lo que se conoce como humus (34).

El humus está constituido por hidroformas de bajo tamaño, alto peso molecular y coloración oscura (entre amarillo y marrón) denominadas ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas. Entre sus atributos está la elevada reactividad química, en virtud a la diversidad de grupos funcionales que lo conforman y que facilitan la disolución, complejamiento y transporte de iones a través del perfil (3, 37). Exhibe también un amplio potencial como sumidero de carbono (C) atmosférico (36) y establece reacciones de óxido - reducción con ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos (17), condición que le permite incrementar su resistencia a la degradación microbiana y lo postula como agente importante para el equilibrio de los sistemas ecológicos (25).

Pese a que la ciencia del suelo es clara en afirmar que el concepto humus es aplicable a un grupo de compuestos que se forman por la mediación de cinco factores formadores y que imprimen en los suelos condiciones muy específicas, algunos atribuyen a este recurso cualidades de diversa índole como nutricional, hormonal (7, 24, 26, 28) y surfactante (30), entre otras.

El café en Colombia se cultiva con diferentes modalidades de sombra (11),

particularmente en regiones de pendientes fuertes cuyos suelos presentan un desarrollo incipiente (fases pedregosas de entisoles e inceptisoles) y bajas estabilidad estructural y retención de humedad (10). El uso de sombrío es también recomendado cuando el objetivo de la producción es participar en mercados de cafés especiales como los orgánicos y los cafés de conservación (9). Estos nichos de mercado, aparte de interesarse por la remuneración del caficultor, requieren conocer las condiciones en las que se desarrolla el cultivo (29). El establecimiento de especies arbóreas en asocio con café, además de proporcionar sombrío, contribuye a conservar más eficientemente el agua, protege el suelo de la erosión y aporta nutrimentos por medio de la hojarasca (31). El estudio de estos fenómenos es fundamental para comprender la dinámica de elementos y su disponibilidad en un manejo sostenible del sistema productivo (4).

Muchos estudios se han adelantado con el fin de conocer la MO y su relación con las características físicas, químicas y biológicas de los suelos de la zona cafetera colombiana, pero pocos se han enfocado en el análisis del humus y su participación en la fertilidad de estos suelos; por tal razón, el presente estudio tuvo como objetivo efectuar un fraccionamiento de la MO, consistente en estimar la concentración de C de AH y AF en suelos de diferente material parental, sometidos a dos condiciones de uso y su relación con las características del suelo en condiciones de la zona cafetera de Caldas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron suelos desarrollados a partir de diferentes materiales parentales, los cuales de acuerdo al sistema de clasificación de la FNC, corresponden a seis Unidades Cartográficas de Suelo (Tabla 1). Dentro de cada unidad se ubicaron cafetales con dos

Tabla 1. Número total de sitios de muestreo por unidad de suelos, municipio y agroecosistema.

| Unidad cartográfica de suelos | Material parental | Municipio | Sistema de manejo | | Total lotes |
|-------------------------------|--------------------|------------|-------------------|-------------|-------------|
| | | | Al sol | Con sombrío | |
| Chinchiná | Cenizas volcánicas | Manizales | 2 | 2 | 4 |
| | | Chinchiná | 1 | 1 | 2 |
| | | Anserma | 1 | 1 | 2 |
| | | Risaralda | 2 | 2 | 4 |
| | | Pácora | 1 | 1 | 2 |
| Doscientos | Ígneo | Anserma | 3 | 3 | 6 |
| | | Risaralda | 1 | 1 | 2 |
| Maiba | Ígneo | Filadelfia | 2 | 2 | 4 |
| Cascarero | Metamórfico | Manizales | 1 | 1 | 2 |
| | | Neira | 1 | 1 | 2 |
| Tablazo | Metamórfico | Manizales | 1 | 1 | 2 |
| | | Pácora | 1 | 1 | 2 |
| Guamal | Sedimentario | Riosucio | 1 | 1 | 2 |
| | | Supía | 2 | 2 | 4 |
| TOTAL | | | 20 | 20 | 40 |

sistemas de manejo (agroecosistemas): café a libre exposición solar y café con sombrío de guamo (*Inga spp.*), de acuerdo con las siguientes consideraciones:

Tiempo en uso del suelo: Se verificó que los suelos estuvieran como mínimo 10 años bajo la influencia de cada agroecosistema.

Variación: El material de siembra seleccionado fue Típica, Colombia y Caturra.

Densidad de los cafetales: Para cafetales a libre exposición densidades se seleccionaron aquellos con más de 7.500 plantas/ha, mientras que en los de sombrío se tenían entre 2.500 y 5.000 plantas.

Densidad del sombrío: El número de árboles de sombrío por hectárea fue mayor a 50.

Manejo: Los cafetales con sombrío venían recibiendo un manejo basado en una o dos desyerbas anuales, podas de poca intensidad y bajas prácticas de fertilización. Para los de

libre exposición solar mayores cantidades de fertilizante, un adecuado manejo fitosanitario, de arvenses y prácticas de conservación de suelos acorde con las recomendaciones de Cenicafé.

En cada lote seleccionado se ubicaron tres puntos entre los surcos de la plantación y en cada punto se tomaron muestras de suelos disturbadas y sin disturbar, entre 0 y 15 y entre 15 y 30 cm. Las muestras disturbadas se tomaron con un barreno holandés y se mezclaron para formar una muestra compuesta, mientras que las muestras sin disturbar se recolectaron con un barreno de núcleo (5 cm de diámetro y de profundidad) y se mantuvieron separadas de las primeras para su posterior análisis en el laboratorio.

Las variables registradas fueron:

- **Temperatura:** Se midió la temperatura del suelo con un termómetro de mercurio colocado a un metro de profundidad, durante 20 minutos. La temperatura ambiental se tomó con base en los registros de las estaciones

climáticas ubicadas en cercanía a los puntos de muestreo.

- **Espesor del horizonte A.**

- **Concentración de carbono en AH y AF:**

Se evaluó de acuerdo con el procedimiento sugerido por la Sociedad Internacional de las sustancias húmicas (18): 10 g de suelo fueron sometidos a un tratamiento con 100 mL de HCl (pH: 2) y a extracciones sucesivas con NaOH 0,1 M en relación 1:10 (peso:volumen) hasta obtener un sobrenadante incoloro. La suspensión obtenida se trató con HCl 6M para inducir la separación de la fracción fúlvica y la fracción húmica. La primera se almacenó para su posterior purificación con resina Amberlita (XAD 7HP), mientras que con la fracción húmica se efectuó el siguiente procedimiento para obtener AH puros: La suspensión de fracción húmica se centrifugó a 8.000 r.p.m., durante 15 minutos, posteriormente se redisolvió con una solución de KOH 0,1M + KCl 0,3M y se precipitó con HCl 6M. Nuevamente se llevó a la centrifuga a 8.000 r.p.m. durante 15 minutos y, luego, se procedió a secarla en estufa a 40°C. El material seco se lavó inicialmente con HCl 0,1 N + HF 0,3 N y luego con agua destilada hasta que se presentara prueba negativa para cloruros.

- **Caracterización química y física del suelo:**

Se determinaron los niveles de carbono orgánico (C), capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo (P), azufre (S), aluminio (Al) y bases intercambiables (K, Ca, Mg), de acuerdo con los métodos descritos por Carrillo (5). Como variables físicas se determinaron la densidad aparente (DA) y la estabilidad estructural.

Análisis de la información. Se efectuó un análisis de estadística descriptiva para cada una de las variables. En cada unidad de suelo se realizó una prueba de promedios

de *t* con un nivel de significancia del 0,05 para comparar el sistema de manejo del suelo (cafetales a libre exposición solar vs. cafetales con sombrío de guamo) y una prueba de comparación *Duncan* (0,05 de significancia) con el fin de comparar las unidades de suelo entre sí. Finalmente, se realizó un análisis de correlación lineal entre cada una de las variables químicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de Materia Orgánica (MO)

En general, en la Tabla 2 se observa que los contenidos de MO en los primeros 30 cm de profundidad para los cafetales seleccionados estuvieron entre 6,8 y 14,7%. Las Unidades de suelos que presentaron mayores niveles en su respectivo orden fueron Chinchiná > Doscientos > Tablazo > Guamal > Cascarero > Maiba.

La temperatura del suelo registrada en cinco de las seis unidades superó en promedio 1,3 grados a la temperatura atmosférica. En las unidades Guamal y Cascarero las altas temperaturas del suelo (mayores a 23°C) pueden explicar los menores contenidos de MO, particularmente en el cafetal a libre exposición, lo que implica una menor amortiguación de los cambios térmicos atmosféricos con relación al agroecosistema con sombrío; aspecto que podría incrementar la actividad de los microorganismos del suelo y ocasionar una subsecuente reducción en los contenidos de este recurso, fenómeno que también puede dar explicación a la reducción en el espesor del horizonte A.

Las características físicas y químicas de los suelos juegan un papel determinante en la estabilización de la MO (23). La temperatura puede considerarse como un agente catalizador de estos procesos, dado que para dos unidades con diferente origen

como Tablazo (metamórfico) y Doscientos (ígneo), cuya temperatura edáfica fue similar (entre 20,0 y 20,5°C), hubo pocas variaciones en los porcentajes de MO, incluso entre los agroecosistemas estudiados.

Lo descrito es explicado por Vanlauwe *et al.* (38), quienes aducen que la acción de los microorganismos del suelo se incrementa conforme a los aumentos en la temperatura del mismo. Para Luo y Zhou (22) este fenómeno es de tipo exponencial, hasta un máximo de 45°C.

En los suelos de la unidad Chinchiná es frecuente encontrar altos niveles de MO, particularmente en aquellos que exhiben características de Andisol típico como los de la zona cafetera central (15), en los cuales el Al y el Fe forman complejos estables con el humus, lo que permite el desarrollo de horizontes superficiales con altos contenidos de MO, que en pedología se denomina proceso específico de Andolización.

En los demás suelos cuyos niveles de MO superaron el 7,9%, las densidades de siembra tanto del café como de los árboles de sombrero pudieron facilitar el constante aporte de tejidos orgánicos, que con el tiempo (cafetal

bajo este sistema mínimo 10 años) pasan a conformar la MO. Cardona y Sadeghian (4) analizaron los ingresos anuales de material orgánico en dos localidades cafeteras con los sistemas de cultivo considerados en el presente estudio y encontraron aportes de 4,2 y 11,2 t.ha⁻¹, contenidos son bastante disímiles entre los agroecosistemas; sin embargo el aporte por cada uno de ellos puede ser suficiente para enriquecer el suelo en su contenido de MO.

La alta cantidad hallada puede deberse también a que en los cafetales seleccionados se hacían prácticas de conservación de suelos, entre las que se destacan desyerbas con machete y el uso de coberturas nobles, aspectos que contribuyen a mitigar las pérdidas de suelo y a estimular la acumulación MO.

Pese a las altas variaciones entre los contenidos de MO entre una unidad y otra, no se registraron diferencias, lo cual puede relacionarse con la elevada heterogeneidad que presentan los suelos de la zona cafetera.

En la Tabla 2 se consignan los promedios de MO, temperatura ambiental, temperatura del suelo y espesor del horizonte A, en las unidades y agroecosistemas evaluados.

Tabla 2. Promedios de temperatura, espesor del horizonte A y MO en los agroecosistemas en las unidades de suelos analizadas.

| Unidad de suelo | Temperatura (°C) | | Sombrero | | | | Al Sol | | | |
|-----------------|------------------|-------|----------|---|-------------|---|--------|---|-------------|---|
| | | | MO | | Horizonte A | | MO | | Horizonte A | |
| | Suelo | Aire | (%) | a | (cm) | a | (%) | a | (cm) | a |
| Chinchiná | 21,29 | 19,97 | 14,70 | a | 55,10 | a | 14,50 | a | 42,28 | a |
| Guamal | 23,66 | 21,40 | 11,73 | a | 42,66 | a | 8,50 | b | 10,66 | b |
| Doscientos | 20,50 | 20,48 | 12,01 | a | 38,60 | a | 12,00 | a | 25,70 | a |
| Tablazo | 20,00 | 18,70 | 11,95 | a | 68,50 | a | 10,90 | a | 43,00 | a |
| Maiba | 21,00 | 19,40 | 7,85 | a | 35,00 | a | 6,80 | a | 21,50 | a |
| Cascarero | 24,00 | 20,00 | 8,20 | a | 13,70 | b | 7,50 | a | 42,12 | a |

Letras distintas indican diferencia estadística entre agroecosistemas según la prueba *t* al 5%.

La MO contribuyó a explicar las variaciones de la CIC y la DA, características importantes en la nutrición del cafeto, dado que la CIC determina en gran medida la dinámica de algunos nutrimentos mientras que la DA condiciona el flujo de éstos hacia las raíces de las plantas a través de los poros del suelo, aunque también potencializa la lixiviación. Se ha demostrado que aumentos en los valores de esta propiedad física pueden afectar negativamente el crecimiento radical (8) y la abundancia de organismos del suelo, entre ellos las lombrices (12). En condiciones de la zona cafetera colombiana, Salamanca y Sadeghian (32) encontraron que la biomasa de las plántulas de café se reducía conforme a los incrementos de la DA y asociaron dicho comportamiento con la disminución de la macroporosidad y la aireación, así como a los incrementos en la humedad del suelo.

Concentración de C de los AH y AF y su relación con las características químicas del suelo

En los 30 cm de profundidad de todos los agroecosistemas con sombrío, el C de los

AH estuvo entre 23,9 y 48,3%. Los suelos de la unidad Cascarero se caracterizaron por presentar los mayores niveles promedio. En los demás suelos evaluados Tablazo, Doscientos, Guamal, Chinchiná y Maiba, se obtuvieron promedios de 41,1, 39,0, 38,4, 37,4 y 28,9%, respectivamente. La tendencia descrita varió para los cafetales a libre exposición solar, en tanto que la unidad con el mayor promedio fue Maiba seguida por Chinchiná, Cascarero, Guamal, Tablazo y Doscientos. Pese a lo anterior, no se detectaron diferencias estadísticas entre unidades, lo cual puede asociarse con la elevada variabilidad de los registros (coeficiente de variación).

Al comparar los agroecosistemas dentro de cada unidad de suelos, en términos generales no se detectaron diferencias estadísticas en el contenido de C de AH, excepto bajo condiciones de las Unidades Guamal (entre 15-30 cm) y Doscientos (entre 0-15 cm), en donde los promedios hallados en cafetales con sombrío fueron significativamente mayores a los de libre exposición solar (Figura 2). Dicha situación ratifica los beneficios de la instalación de sombrío para la recuperación

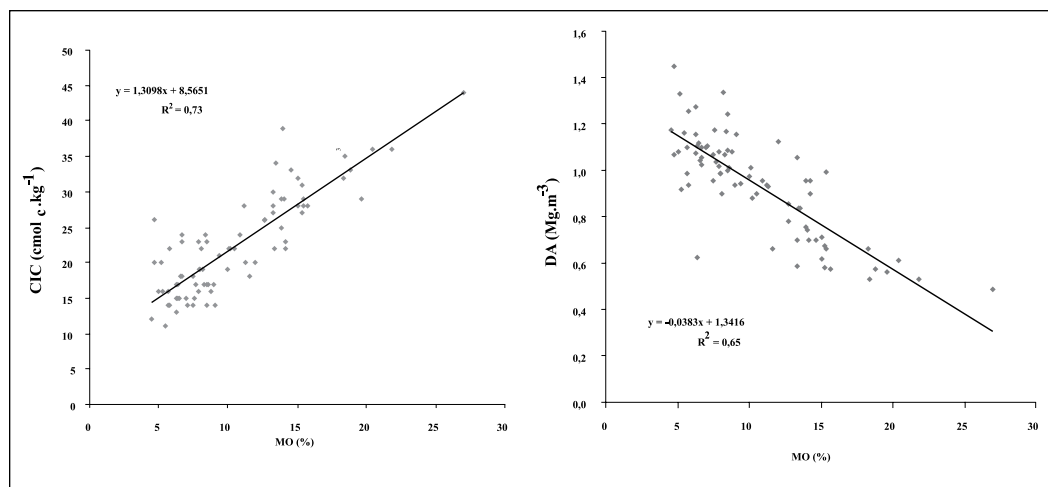


Figura 1. Variaciones en la CIC y la DA en función de los contenidos de MO.

de un horizonte orgánico en áreas donde las fuertes pendientes y elevada temperatura ambiental impiden a corto plazo la formación de un horizonte A profundo.

En muchos casos, los valores de C de AH fueron mayores a los citados por Chavarriaga *et al.* (6), quienes reportan en suelos de la zona central cafetera valores de 29,33% de C de AH.

La concentración de C de los AF también fue igual en todas las unidades y agroecosistemas evaluados y equivalente al 10,2% del C de los AH (Figura 3.). Slepetyne y Slepetyts (35) registran relaciones AH:AF alrededor de 1, aunque con la utilización de diferentes metodologías de extracción a las contempladas en el presente estudio. Cabe aclarar que es común encontrar en la literatura que el C de la fracción fúlvica sea interpretado como C de AF purificados, razón por la cual pueden existir discrepancias.

Si se tiene en cuenta que la formación del humus obedece a la acción de cinco

factores formadores, el caso puede dar una luz acerca de cuáles pueden tener mayor peso en su génesis. Este esquema apoyado en el elevado número de lotes involucrados dentro de las unidades en cuestión, puede conducir a pensar en el factor macroorganismos (vegetación) como uno de los más importantes entes enriquecedores del humus en los suelos cafeteros. Dicha aseveración además se apoya en el hecho de que las ligninas son la materia prima para la formación del humus (20), dado que son biopolímeros suficientemente recalcitrantes como para dejarse sintetizar fácilmente por un amplio número de microorganismos del suelo (13) y que de acuerdo con Leblanc *et al.* (21) y Santos *et al.* (33) la concentración de ligninas en las hojas de guamo y de café es del orden de 19 y 22%, respectivamente.

Respecto al material pedogenético involucrado, éste es contrastante pues abarca cenizas volcánicas (Chinchiná), rocas ígneas (Doscientos y Maiba), sedimentarias (Guamal) y metamórficas (Tablazo y Cascarero), y no se observó una tendencia que permitiera

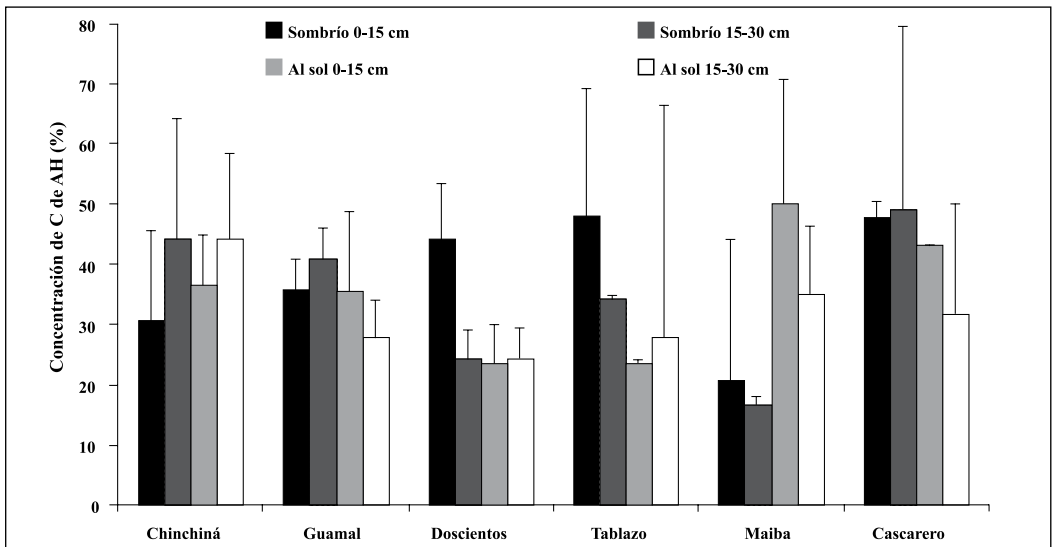


Figura 2. Concentración de C en AH, en las unidades y agroecosistemas objetos de estudio.

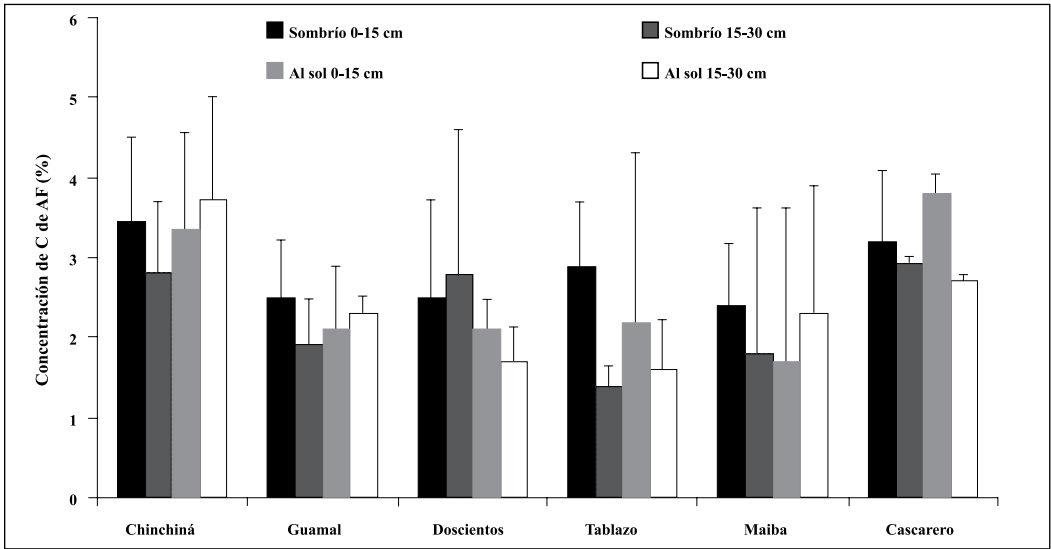


Figura 3. Concentración de C en AF, para las unidades y agroecosistemas objetos de estudio.

explicar la concentración de C de AH y C de AF según el material parental.

Lo expresado concuerda con Kononova (19) y Andreux (1) quienes señalan a los organismos como uno de los principales interventores en la formación del humus.

Relación del contenido de C de los AH y AF con algunas características químicas del suelo

No se encontró correlación entre los contenidos totales de C de AH y AF con las propiedades químicas del suelo como P, K, Ca, Mg y S (Tabla 3).

Respecto a propiedades tan relevantes como la CIC, de la cual este tipo de sustancias es responsable en alto grado (40), el coeficiente de correlación con el porcentaje de C AF fue de 0,43. Si bien, dicho coeficiente puede ser relativamente bajo, los AF y sus grupos funcionales pueden estar contribuyendo no sólo directamente con esta propiedad sino con la carga variable del suelo. Dicha condición se respalda en el hecho de que

estas estructuras contienen un mayor número de grupos ácidos que al disociar sus protones desarrollan cargas negativas (2, 16, 37).

La baja o nula relación existente entre el C AH y C AF y la concentración de otros elementos, particularmente con el Al, puede atribuirse a que el método de laboratorio empleado (KCl 1 M) no estima la actividad y la concentración de este ion en la solución del suelo, ni en los procesos relacionados como la complejación (27).

Contenido de C en los AH y los AF de acuerdo con el material parental y al manejo del suelo

Unidad Chinchiná: Los contenidos detectados fueron similares entre los agroecosistemas y profundidades evaluadas (prueba *t*), es decir, no se observó una clara evidencia de que el manejo hubiera condicionado la concentración de este tipo de sustancias. Situación que puede asociarse a la alta variabilidad de los datos.

En términos generales, se presentaron los mayores contenidos de AF con relación

a las demás unidades de suelo, pese a ello, estos valores no guardaron relación con la concentración de AH.

Yuan *et al.* (39) sostienen que la alofana, reconocido constituyente de esta unidad de suelos, exhibe una alta reactividad para adsorber AH; sin embargo, aclara que el fenómeno ocurre en presencia de iones tipo Ca^{2+} que sirven como puente entre la fracción mineral y la orgánica. Para este caso los contenidos del ion fueron similares en los cafetales al sol y con sombrío (3,36 y 3,98 $cmol_c.kg^{-1}$, respectivamente) y a pesar de no presentarse correlación con el C de los AH, pueden estar jugando un importante papel con la estabilidad estructural en los suelos de esta unidad (Tabla 4).

Unidad Guamal: El agroecosistema con sombrío favoreció el enriquecimiento de C de AH. Las cantidades de C de AF fueron similares en ambos agroecosistemas y para nada se alejan de los límites hallados en los suelos contemplados en este estudio.

Unidad Doscientos: Al igual que para los suelos de la unidad Guamal, el establecimiento de sombrío contribuyó a incrementar la

concentración de C de AH, principalmente en la primera profundidad evaluada.

En cuanto a los contenidos de C en los AF, éstos no tuvieron variaciones en función del C de los AH.

Unidades Tablazo, Maiba y Cascarero: Pese a que la unidad Cascarero presentó contenidos más altos de C de AH y AF frente a Maiba y Tablazo, los promedios fueron estadísticamente iguales.

AGRADECIMIENTOS

A los caficultores que facilitaron sus lotes para la realización del estudio. A la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y Monómeros S.A.

LITERATURA CITADA

1. ANDREUX, F. La materia orgánica del suelo desde la perspectiva pedogenética. Suelos Ecuatoriales 35 (1): 5-22, 2005.
2. BALLESTEROS J.; BERNAL J.; CORREA A.; CASTRILLÓN W. Caracterización semicuantitativa

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre los contenidos de C de AH, AF y algunas variables químicas.

| | CAH | CAF | P | K | Ca | Mg | S | Al |
|------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|
| C AH | | | | | | | | |
| C AF | 0,096 | | | | | | | |
| P | -0,154 | -0,068 | | | | | | |
| K | -0,144 | -0,030 | 0,211 | | | | | |
| Ca | -0,179 | -0,347* | 0,400* | 0,354* | | | | |
| Mg | -0,203 | -0,339* | 0,119 | 0,509* | 0,759* | | | |
| S | -0,092 | -0,065 | -0,159 | -0,008 | -0,346* | -0,204 | | |
| Al | 0,030 | 0,027 | 0,004 | -0,137 | -0,489* | -0,237 | 0,509* | |
| CIC | 0,062 | 0,427* | -0,152 | 0,122 | -0,141 | -0,113 | -0,044 | 0,041 |

* Significativo al 5%

Tabla 4. Valores de estabilidad estructural y contenidos de Ca en las objetos de estudio.

| | | Unidad suelos | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------------|------------|--------|---------|-------|-----------|--|------------|--------|---------|-------|-----------|
| Sistema | Parámetro | Chinchiná | Doscientos | Guamal | Tablazo | Maiba | Cascarero | Chinchiná | Doscientos | Guamal | Tablazo | Maiba | Cascarero |
| | | Estabilidad (%) | | | | | | calcio (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Con Sombrió | Media | 95,10 | 85,58 | 93,32 | 93,79 | 90,27 | 70,34 | 3,98 | 7,89 | 1,12 | 6,85 | 5,63 | 8,35 |
| | C.V. (%) | 1,79 | 13,60 | 3,72 | 0,34 | 0,87 | 14,26 | 40,29 | 56,53 | 53,26 | 13,62 | 33,49 | 16,02 |
| Al Sol | Media | 96,70 | 88,65 | 88,04 | 77,15 | 89,23 | 91,00 | 3,36 | 7,56 | 5,03 | 12,63 | 5,38 | 5,25 |
| | C.V. (%) | 1,19 | 10,32 | 3,32 | 16,74 | 2,80 | 2,97 | 46,80 | 64,25 | 60,99 | 43,45 | 10,99 | 12,87 |
| Unidad | Media | 95,90 | 87,12 | 90,68 | 85,47 | 89,75 | 80,67 | 3,67 | 7,73 | 3,08 | 9,74 | 5,50 | 6,80 |
| | C.V. (%) | 1,71 | 11,75 | 4,54 | 14,36 | 2,01 | 16,08 | 43,33 | 58,36 | 95,52 | 49,04 | 23,63 | 28,32 |

de las sustancias húmicas de un Acrudixic Melanudands Medial Amórfico isotérmico. Suelos Ecuatoriales 33 (1): 27-35, 2003.

- BORGGARDO O., K.; RABEN-LANGE, B.; GIMSING A., L.; STROBER, B. W. Influence of humic substances on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides. *Geoderma* 127: 270-279. 2005.
- CARDONA C., D. A.; SADEGHIAN K., S. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 334:1-8, 2005.
- CARRILLO P., I.F. Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná, Cenicafé, 1985. 111 p.
- CHAVARRIAGA, W.; GARCÍA, A.; GARCÉS, N. Fraccionamiento y dinámica de la materia orgánica en suelos de agroecosistemas andinos en el departamento de Caldas- Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 33 (1): 43-51, 2003.
- COOPER, R. J.; CHUNHUA, L.; FISHER, D.S. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. *Crop Science* 38: 1639-1644, 1998.
- CUBERA, E.; MORENO g.; SOLLA, A. Quercus ilex root growth response to heterogeneous conditions of soil bulk density and soil NH₄-N content. *Soil & Tillage Research* 103: 16-22. 2009.
- FARFÁN V., F. Producción de café en sistemas agroforestales. *In: Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná, Cenicafé-FNC, 2007. p. 161-200.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Estudio de suelos del departamento de Caldas; Ecotopo 107B. Bogotá, FNC, 1998. 41 p.
- GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá, FNC, 1991. 131 p.
- GREGOR, E.; CRISTOPH, E. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition earthworms after ten year period. *European Journal Soil Biology*. 1-5. 2009 (En imprenta).
- HAMEL, K. E. Fungal degradation of lignin. *In: Driven by nature. Plant litter quality and decomposition* (Cadish and Giller ed.). CAB International. Cambridge UK. 1997. P33- 46.
- HAYNES, J., R. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An Overview. *Advances in Agronomy* 85: 221-268. 2005.
- HENAO T., M.C. Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera central colombiana. *In: SUELOS del eje cafetero*. Pereira, UTP-GTZ, 2001. p. 57-77.
- HEREDIA, W.; PEIRANO, P.; BORIE, G.; AGUILERA, M. Soil organic matter-metal interactions in Chilean volcanic soils under different agronomic management. *Soil Science and Plant Analysis* 33 (13-14): 2083-2099. 2002.
- HUANG, P.; KUANG, M.; CHIH, CH. Soil mineral organic matter microbe interactions: Impacts on biogeochemical processes and biodiversity in soils. *Pedobiology* 49 (6): 539 – 547, 2005.
- INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY (IHSS). Formación de las sustancias húmicas. Colorado (Estados Unidos). On line Internet. Disponible en: <http://www.ihss.gatech.edu/> (Consultado en julio de 2005).

19. KONONOVA, M. M. Soil organic matter; its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Nueva York, Pergamon Press, 1961. 450p.
20. KUMADA, K. Chemistry of soil organic matter. Japan Scientific Societies Press, Tokyo, and Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 1987. 241 p.
21. LEBLANC A., H.; NYGREN, P.; Mc GRAW, L. R. Green mulch decomposition and nitrogen release of two *Inga* sp. in an organic alley- cropping practice in the humid tropics. *Soil biology and biochemistry* 38: 349- 358, 2006.
22. LUO, Y.; ZHOU, X. Soil respiration and the environment. Amsterdam, Elsevier, 2006. 316 p.
23. LUTZOW, M. V.; KOGEL – KNABNER, I.; ECKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – an review. *European Journal of soil science*. 57: 426-445, 2006.
24. MASCIANDRO, G.; CECCANTI, B.; RONCHI, V.; BENEDICTO, S.; HOWARD, L. Humic substances to reduce salt effect on plant germination and growth. *Communication Soil Science Plant Analysis* 33 (3-4): 365-378. 2002.
25. MCCARTY P. The principles of humic substances. *Soil Science* 166 (11):738-751, 2001.
26. NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humics substances on higher plants. *Soil biology & Biochemistry* 34: 1527-1536, 2002.
27. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S. Propiedades de la materia orgánica y capacidad complejante sobre el aluminio en algunos suelos ándicos en Colombia. *Cenicafé* 57(1):51-57, 2006.
28. PINTO, R.; VARANINI, Z.; NANNIPIERI, P. The rhizosphere; biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Nueva York, Marcel Dekker, 2001. 424 p.
29. REINA, M.; SILVAL, G.; SAMPER, L.F.; FERNÁNDEZ, M. DEL P. Juan Valdez: la estrategia detrás de la marca. Bogotá, FNC - Ediciones B, 2007. 266 p.
30. ROCHA F., A.; OKOROKOVA F. A.L.; LOPES O., F.; GURIDI, F.; SANTOS DE A, G.; VELLOSO, C. J.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRISPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; DE OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L.P. Bioactividade de ácidos húmicos: Efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. Brasília 37 (9): 1301-1310, 2002.
31. SADEGHIAN K., S. MURGUEITIO, E.; MEJÍA, C.; CALLE, Z. Evaluación de los efectos socioambientales de la transformación de los agroecosistemas cafeteros en el departamento del Quindío. CIPAV, 1998.
32. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397, 2005.
33. SANTOS B., D.M.; POZZA, D.A.; POZA A.A.A.; CARVALHO, J.G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P.E. Intensidade da cercosporise em mudas de cafeeiro em funcao da fontes e doses de silicio. *Fitopatologia Brasileira* 30 (6): 582- 588, 2005.
34. SCHNITZER, M. A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter. *Advances in Agronomy* 68: 1-58, 2000.
35. SLEPETIENEA., SLEPETYS, J. Status of humus in soil under various long-term tillage systems. *Geoderma* 127: 207 –215, 2005.
36. SWIFT S., R. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science* 166 (11): 858-871. 2001.
37. TAN, K. H. Humic matter in soil and the environment, principles and controversies. Georgia, Marcel Dekker, 2003. 386 p.
38. VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SAHINGA, N.; MERCKX, R. Residue quality and decomposition: An unsteady relationship?. *In: Driven by nature. Plant litter quality and decomposition* (Cadish and Giller ed.). CAB International. Cambridge UK. 1997. p157- 166
39. YUAN G., B. K.; THENG, G.; PARFITT R., L.; PERCIVAL, H. J. Interactions of allophane with humic acids and cations. *European Journal of soil science*. 51: 35 – 41, 2000.
40. ZAPATA H., R. D. Función de la materia orgánica sobre la movilidad iónica. *Suelos Ecuatoriales* 35 (1): 23-35, 2005.
41. ZAPATAH, R. D. Química de los procesos pedogenéticos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 2006. 358p