

# CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE CALDAS

Hernán González-Osorio\*; Raúl Darío Zapata-Hernández\*\*; Siavosh Sadeghian-Khalajabadi\*

---

## RESUMEN

**GONZÁLEZ O., H.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S. Caracterización de los ácidos húmicos en suelos de la zona cafetera de Caldas. Cenicafé 60 (1): 25-40. 2009**

Los ácidos húmicos (AH) comprenden una serie de polímeros formados a partir de la unión aleatoria de compuestos orgánicos de diferente tamaño y peso molecular. El estudio de su madurez o humificación permite dilucidar cuáles grupos funcionales predominan e inferir sobre algunas características físicas, químicas y morfológicas del suelo en las que pueden participar. En el presente estudio se evaluó el grado de humificación de los AH en suelos de la zona cafetera de Caldas, desarrollados a partir de diferente material parental (MP) y bajo dos condiciones de manejo. Se tomaron muestras en 20 cafetales a libre exposición solar y 20 en cafetales con sombrío de guamo, ubicados en suelos que corresponden a las unidades cartográficas Chinchiná (MP cenizas volcánicas), Guamal (rocas sedimentarias), Doscientos (rocas ígneas), Tablazo (rocas metamórficas), Maiba (rocas ígneas) y Cascarero (rocas metamórficas). Los AH se aislaron y se purificaron mediante la metodología de la Sociedad Internacional de las Sustancias Húmicas, y la humificación se evaluó por el método de Kumada. Independientemente del MP y del manejo del suelo, se encontraron AH tipo P<sub>lo</sub> que indica un estado de madurez medio. Dicha condición varió para los cafetales al sol de la unidad Guamal, en donde hubo humus tipo A, y solamente en algunos lotes de la unidad Cascarero se encontraron AH tipo R<sub>p</sub>. El grado de humificación de los AH no explicó las variaciones en las variables físicas, químicas y morfológicas del suelo.

**Palabras clave:** Calidad del humus, *Coffea arabica*, Sombrío de *Inga* spp.

---

## ABSTRACT

Humic acids (HA) comprise a series of polymers formed from the random union of organic compounds of different size and molecular weight. The study of their maturity or humification allows determining the functional groups that predominate and inferring some physical, chemical and morphological soil characteristics. In this study, the humification degree of HA in soils of the coffee-growing region of Caldas developed from different parent materials (PM) and under two management conditions was evaluated. Samples were taken in 20 coffee plantations in free solar exposure and in 20 coffee plantations with Guamo (*Inga* spp.) shade, located in soils that correspond to the cartographic units Chinchiná (PM volcanic ash), Guamal (PM sedimentary rocks), Doscientos (PM igneous rocks), Tablazo (PM metamorphic rocks), Maiba (PM igneous rocks) and Cascarero (PM metamorphic rocks). The AH were isolated and purified using the International Society of Humic Substances methodology, and their humification was assessed using the Kumada method. In spite of the PM and the soil management system, P-type AH were found which indicates an average maturity state. That condition changed for the coffee crops in free solar exposure of the Guamal unit where there was A-type humus and only in some plots of the Cascarero unit were R<sub>p</sub>-type AH found. The humification degree of the AH did not explain the changes in the physical, chemical and morphological soil variables.

**Keywords:** Humus quality, *Coffea arabica*, *Inga* spp. shade.

---

\* Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

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

Se considera materia orgánica del suelo a la mezcla heterogénea de compuestos de tejidos animales y/o vegetales en diferentes estados de alteración (5), hasta materiales estables de color oscuro, que no presentan semejanza alguna con la estructura anatómica de la cual proceden (40). En este conjunto también se incluye gran diversidad de organismos vivos y un componente abiótico de bajo tamaño y peso molecular, que tiene influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (35). Desde el punto de vista agronómico se reconocen dos grandes formas “lábil” y “estable” (4); la primera de ellas comprende tejidos con una estructura química definida (5), que por su relativa baja complejidad constituyen una fuente inmediata de carbono y de energía para gran parte de la microfauna y microflora edáfica (22). La forma estable o humus propiamente dicho (30), está compuesta por series de polímeros denominados ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (HUM), que presentan entre otros atributos, resistencia a la descomposición microbial, relaciones más o menos fuertes con la fracción mineral (16), regulación de la CIC, la estructura y la estabilidad del suelo (10, 41). Conforme se incrementa el grado de madurez o humificación de estas sustancias, se dice que poseen una mayor calidad (3, 27), y en este sentido, una expresión más significativa de las características mencionadas (9, 38).

El concepto humus sólo es aplicable a aquellos compuestos orgánicos formados por mecanismos no mediados por la vida, de esta forma el proceso de humificación de las sustancias que llegan al suelo está sometido, al igual que el constituyente inorgánico del mismo, a la acción de los factores formadores (42). Según Kononova (19), los factores de formación que mayor impacto tienen en la producción y madurez del humus son en su respectivo orden: clima > organismos > topografía del terreno =

material parental (MP) > tiempo. Andreux (1), destaca al clima y a la condición de uso y manejo del suelo como los factores más determinantes.

En cuanto al café se refiere, su cultivo en Colombia ocupa un renglón significativo en la economía, puesto que genera divisas por más de 1.600 millones de dólares y el valor de la cosecha alcanza a distribuirse en más de la mitad de los municipios del país (12). Se encuentra establecido en las vertientes de las cordilleras andinas, en variadas condiciones edáficas, climáticas y étnicas, dentro de cuatro modalidades de cultivo: Al sol, con sombrío poco denso regulado, con sombrío denso y sombrío semidenso; de este grupo, los dos primeros son altamente productivos y responden por más del 70% de la producción nacional (14). El establecimiento de especies arbóreas en asocio con el cafeto contribuyen a conservar más eficientemente el agua, proteger del impacto directo de las gotas de lluvia, controlar la temperatura del suelo y de esta manera la actividad microbiana, la que a su vez regula la descomposición de la materia orgánica, mejorar las propiedades físicas del suelo (6), preservar de la erosión y aportar nutrimentos que provienen de la hojarasca (28).

Correa (11), en su revisión sobre los estudios de materia orgánica en Colombia, reporta que la cantidad de material orgánico que cae anualmente al suelo en plantaciones de café varía entre 4 y 13 mg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Cardona y Sadeghian (7), estudiaron el mismo fenómeno y encontraron que el aporte de residuos orgánicos producidos por cafetales en asocio con guamo es cercano a 11 mg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, mientras que para siembras de café en monocultivo 4,4 mg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Además de las diferencias en el aporte de materiales por estos agroecosistemas, poco se sabe cuánto de ello finalmente entra a constituir el humus del suelo y qué características tiene.

Dado que son pocos los trabajos sobre el tema, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el grado de humificación de los AH y su relación con algunas propiedades morfológicas y físico - químicas en suelos de la zona cafetera del departamento de Caldas, desarrollados a partir de diferentes MP y sometidos a dos sistemas de manejo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron seis tipos de suelos con diferente origen, que de acuerdo al sistema de clasificación de la FNC corresponden a igual número de Unidades Cartográficas de Suelos. El criterio para la selección se basó en su representatividad, de acuerdo con el área sembrada en café para el departamento de Caldas (Tabla 1).

En total, se ubicaron 40 sitios de muestreo con dos sistemas de manejo, 20 cafetales a libre exposición solar y 20 con sombrío de guamo (*Inga spp.*), de acuerdo con las siguientes características:

Tiempo en el uso del suelo: Se verificó que los suelos estuvieran como mínimo diez años sembrados en café.

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

Densidad de los cafetales: En cafetales a libre exposición densidades por hectárea mayores a 7.500 plantas, mientras que la densidad para los cafetales con sombrío estuvo entre 2.500 y 5.000 plantas.

Densidad del sombrío: Número de guamos por hectárea alrededor de 50.

Manejo: Se verificó que los cafetales con sombrío recibieran un manejo basado en una o dos desyerbas anuales, podas de poca intensidad y bajas prácticas de fertilización. En los de libre exposición solar, aplicación de mayores cantidades de fertilizante, un adecuado manejo fitosanitario, de arvenses y prácticas de conservación de suelos acordes con las recomendaciones de Cenicafé.

Tamaño de los lotes: Lotes no inferiores a media hectárea, dentro de los cuales se ubicaron áreas uniformes para los respectivos muestreos.

Se buscó que los dos agroecosistemas estuvieran lo más próximos entre sí, para reducir la variabilidad espacial en las características del suelo.

**Tabla 1.** Unidades de suelos objeto de estudio, ecotopo al que pertenecen y área sembrada en café.

Unidad Cartográfica	MP	Área en café (ha)						Área Total
		E106B	E107B	E204A	E205A	E206A	E207A	
Chinchiná	Cenizas volcánicas	6.005,84	8.361,16	12.723,66	4.875,02	13.488,05	2.853,76	48.307,49
Doscientos	Ígneo	1.303,62	18.211,18			3.023,27		22.538,07
Maiba	Ígneo			4.070,40	1.359,70			5.430,00
Cascarero	Metamórfico			971,89	2.837,10	2.165,61	118,34	6.092,94
Tablazo	Metamórfico			5.502,47				5.502,47
Guamal	Sedimentario	2.492,56						2.492,56

(E) Ecotopo cafetero (región agroecológica determinada según clima, suelo y relieve donde se obtiene respuesta biológica similar del cultivo del café).

Dentro de cada lote se tomaron registros de color (Tabla Munsell) y estructura del suelo (tipo, clase y grado de desarrollo). Al mismo tiempo, se localizaron tres puntos entre los surcos de la plantación y con el fin de tomar muestras de suelo entre 0 y 30 cm de profundidad, con un barreno holandés. Las muestras obtenidas en los tres puntos mencionados se mezclaron para formar una muestra compuesta, la cual fue llevada al laboratorio de Suelos de Cenicafé.

En el laboratorio se efectuó un aislamiento y purificación de los AH según el método de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (17) y se evaluó el grado de humificación de los AH, de acuerdo al siguiente procedimiento: Se preparó una solución de 50 mg.kg<sup>-1</sup> de AH puros disueltos en NaOH 0,1 M; la solución resultante se dejó reposar durante dos horas. Esto permitió obtener para cada muestra (por sistema de uso del suelo), la respectiva agrupación de los AH (según la absorbancia a 465 y 665 nm) dentro de cinco tipos principales: A, B, Rp, y P, de acuerdo a lo descrito por Kumada (20).

Adicionalmente, se hizo una caracterización física y química del suelo, consistente en determinar la estabilidad estructural (Yoder) y los porcentajes de arena, limo y arcilla (Boyucos), de acuerdo con la metodología descrita por Montenegro y Malagón (25). Se efectuó el análisis de pH, fósforo (P), azufre (S), bases intercambiables (K, Ca, Mg) y Al, con los métodos descritos por Carrillo (8).

Balance hídrico en cada localidad: En estaciones climáticas de Cenicafé cercanas a los sitios de muestreo, se obtuvieron registros históricos de pluviosidad, evapotranspiración, radiación, brillo solar y temperatura, con el fin de estimar la duración y magnitud de los

períodos con exceso o deficiencia de agua en las localidades estudiadas.

**Análisis de la información.** Se efectuó un análisis del tipo de humus de acuerdo con diagrama descrito por Kumada (20). Para las variables de tipo cualitativo se efectuó un análisis de frecuencia y un análisis de regresión lineal simple para las variables de tipo cualitativo.

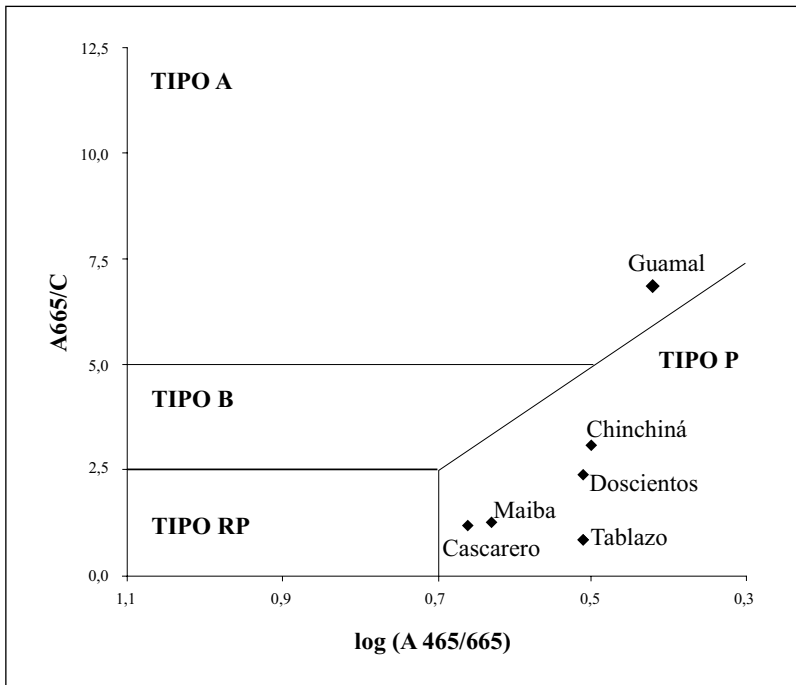
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Grado de humificación de los Ácidos Húmicos (AH)

Todas las unidades de suelos evaluadas presentaron humus tipo P, lo que indica un grado intermedio de madurez (Figura 1), con excepción de los suelos de la unidad Guamal que se clasificaron como tipo A.

Los suelos que manifestaron el humus tipo P, podría tener relación con el constante aporte de materiales orgánicos en el agroecosistema, lo cual no ha permitido que el humus exprese su máximo estado de madurez. Dicho aspecto se sustenta en las siguientes consideraciones: la productividad cafetera involucra un conjunto de labores encaminadas a mantener la producción estable por un tiempo indefinido; bajo este esquema deben considerarse ciclos de renovación que van desde los cinco años para cafetales tecnificados al sol, hasta siete años o más para plantaciones tradicionales con sombrío; paralelo a ello viene una serie de eventos que durante un tiempo específico pueden controlar la dinámica de la humificación en los suelos cafeteros, algunos de los cuales se describen a continuación.

La fase inicial de renovación de los cafetales que han cumplido su ciclo productivo inicia desramando los cafetos. Dicha labor



**Figura 1.** Clasificación de los AH para las unidades de suelos analizadas, de acuerdo con el espectro de absorción.

permite que en la superficie del suelo queden esparcidos tallos y hojarasca, que al descomponerse pasan a conformar la materia orgánica lábil y posteriormente el humus del suelo. Durante este proceso es evidente que ocurre la reactivación de la función de descomposición ejercida por parte de los meso y microorganismos, estos últimos según Sylvia *et al.* (36) pueden duplicarse en número con la adición de residuos frescos. Cardona y Sadeghian (7) registraron los siguientes porcentajes de descomposición anual de la biomasa para dos cafetales en edad productiva: hojarasca del guamo entre un 44 y un 57%, hojarasca de café con sombrío 78% y hojarasca de cafetales a libre exposición solar entre el 70 y el 80%. Simultáneamente, la superficie del suelo recibe radiación directa y, por consiguiente, tiende a reducir su contenido de agua y a incrementar su temperatura, condiciones que

contribuyen a que la actividad biológica se vea favorecida (43).

Si el sistema de renovación es por plantilla o siembra nueva, se llevan al campo las plantas con el respectivo sustrato en el cual han crecido por un espacio de cinco o seis meses, y se compone de la mezcla de suelo (en ocasiones diferente al predio donde se establecerá la plantación) y vermicompost, gallinaza o compost de pulpa de café en diferentes proporciones y al igual que para el caso anterior, los primeros centímetros del horizonte A quedan bajo la acción de los agentes climáticos citados.

En ambos sistemas las plantas reciben aporte de fertilizantes nitrogenados como la urea (sustancia que exhibe una reacción alcalina y que contribuye a la solubilización de ácidos orgánicos), algunas veces acompañada

con fósforo, con una frecuencia de aplicación de cuatro meses. Una vez la plantación entra a su fase productiva los requerimientos nutricionales se incrementan y se realizan dos aplicaciones superficiales de fertilizantes por año. En este estado las plantas desarrollan un sistema radical que alcanza los 150 cm horizontales a partir del tronco y hasta 50 cm de profundidad (2), esto sin mencionar la profundidad que puede alcanzar la raíz de un árbol adulto de guamo. Lo anterior permite una amplia dinámica en los procesos químicos y biológicos que pueden ocurrir en un cafetal tecnificado como los seleccionados para el presente estudio; fenómenos que explican el por qué en estos agroecosistemas no se halló humus tipo A, el cual corresponde al mayor grado de expresión en cuanto a la madurez de este recurso se refieren y que Kumada (20) sugiere, puede alcanzarse en suelos sometidos a laboreo continuo en temporalidades superiores a los 150 años.

Zapata (42) reporta que la pedogénesis actúa con mayor intensidad en la superficie del suelo y disminuye conforme se profundiza en el perfil. En este sentido, debe recordarse que para el presente estudio el análisis se efectuó en los primeros 30 cm, que es donde se encuentra el 90% de las raíces totales del cafeto (34). Lo anterior deja abierta la posibilidad de que a una mayor profundidad pueda hallarse humus en un mayor grado de humificación, particularmente para los suelos que presentaron un horizonte A grueso.

Para los suelos de la unidad Guamal, este fenómeno se explicará más adelante.

### **Grado de humificación de acuerdo con el manejo del suelo**

De acuerdo con los valores  $A_{665/C}$  y  $\text{Log}_{465/665}$  de los AH de los suelos obtenidos para el conjunto de agroecosistemas analizados, el

humus de la mayoría de lotes analizados puede catalogarse como tipo P. De los restantes, algunos valores hallados en los agroecosistemas de libre exposición solar pasaron a ocupar la categoría A y corresponden a las unidades Guamal y Chinchiná. Para otros suelos, uno correspondió a la categoría Rp.

Al considerar los aspectos involucrados en la madurez del humus, las condiciones en las cuales se desarrolló el presente estudio pueden brindar algunos elementos de análisis como los que se expresan a continuación:

Hammel (15) afirma que las ligninas son los biopolímeros más abundantes en la corteza terrestre, cuya estructura es lo suficientemente recalcitrante como para dejarse sintetizar fácilmente por un amplio número de microorganismos del suelo, atributo que las postula como materia prima para la humificación (20). Leblanc *et al.* (21) muestran que los contenidos de lignina para hojas de guamo están alrededor del 19%, mientras que para las hojas del cafeto Santos *et al.* (29) reportan valores aproximados al 22%. Bajo este panorama, ambos agroecosistemas estarían en capacidad de producir el mismo tipo de humus.

La manifestación de humus tipo A en las muestras de suelos procedentes de algunos cafetales al sol puede relacionarse con lo reportado por Ramuni *et al.* (26), quienes detectaron para algunos suelos de origen volcánico que las condiciones alternadas de continuo flujo de aire y desaireación favorecen la condensación de polímeros de alto peso molecular. Esto se sustenta en que de acuerdo con Cardona y Sadeghian (6) los cafetales con sombrío de guamo presentan una mayor retención de humedad que los de libre exposición, como dicho fenómeno puede darse posiblemente a más largo plazo debido a la baja incidencia de la radiación solar sobre el suelo, en este tipo de ambientes se

espera que predomine la descomposición. En contraste, en los cafetales a libre exposición, a pesar de que no presentan condiciones de anoxia, los cambios de humedecimiento y secado estarían en pro de la humificación.

Watanabe *et al.* (39) encontraron para suelos no andisoles un mediano y bajo grado de humificación, con niveles intermedios en bosques y baja humificación en suelos sembrados con café, y concluyen que el uso y manejo del suelo no condiciona la calidad de este recurso.

### Grado de humificación según el material parental y su relación con algunas características morfológicas del horizonte A.

**Unidad Guamal:** Tomando como base el criterio de que en la medida que ocurran incrementos en los valores de  $A_{665/C}$  y disminuyan los de  $\text{Log}_{465/665}$  se obtiene un mayor grado de humificación, en tres de las seis fincas, valores de  $A_{665/C}$  y de  $\text{Log}_{465/665}$  por encima de 7,95 y 0,22, respectivamente, fueron suficientes para que empezara a manifestarse humus de alta calidad, es decir tipo A (Tabla 2). Este fenómeno, aun más evidente en cafetales a libre exposición solar, se explica porque en estas condiciones en donde se presentaron los mayores contenidos de arcilla (entre

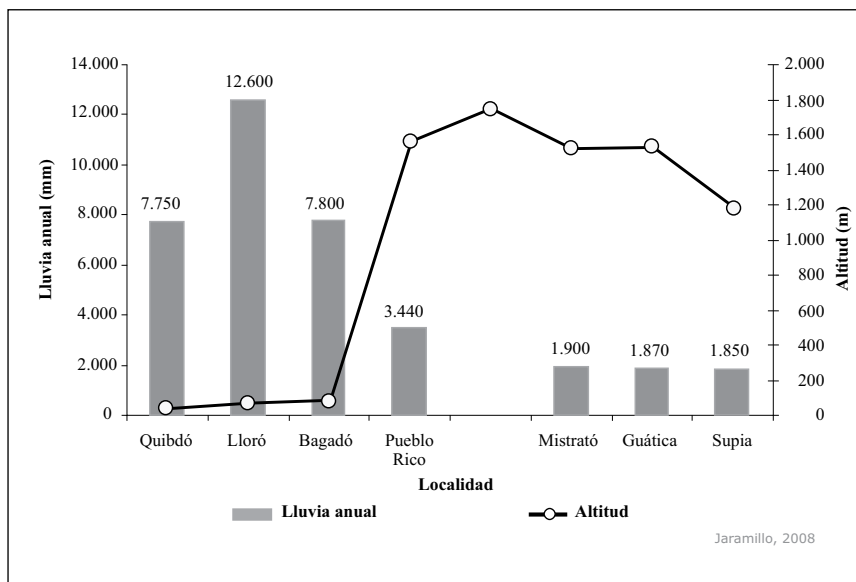
39 y 41%) respecto a las demás unidades, puede haber almacenamiento de humedad y asociado a ello, las altas temperaturas de la zona, pueden favorecer el secado inmediato del suelo y la subsecuente condensación de los AH. Bajo este esquema, puede hablarse de una “maduración térmica” de los AH, sustentada en lo que en orografía se conoce como “Efecto Foehn” que es característico en esta región. Dicho fenómeno consiste en que las masas de aire provenientes del Pacífico al traspasar la montaña aunque pueden estar saturadas, son relativamente secas y se movilizan por la ladera opuesta (cañón del río Cauca) calentándose por compresión, y dan lugar a una zona de menor pluviosidad y mayor temperatura para una misma altitud (8). Como resultado, el área del estudio presenta cuatro meses secos en el año (julio-agosto y enero-febrero), aspecto que puede inducir a la humificación (Figuras 2 y 3).

McCulley y Burke (23) en suelos con alto contenido de arcillas (> 30%) hallaron que las bacterias gram negativas y las anaeróbicas superaban en abundancia a otros organismos como los hongos, lo cual conduce a pensar que con la baja diversidad de organismos en estas condiciones puede haber baja descomposición.

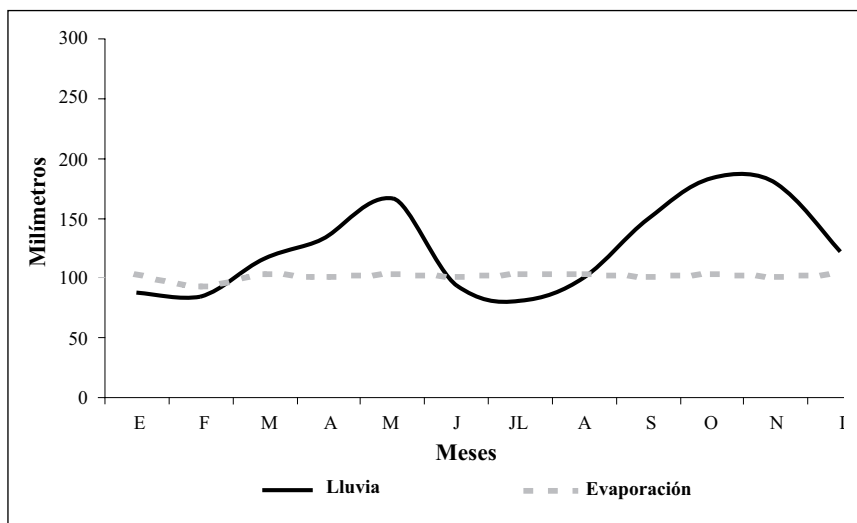
**Tabla 2.** Color, estructura y tipo de humus en los lotes de la unidad Guamal.

Agroecosistema	Color		Estructura		$A_{665/C}$	Log $_{465/665}$	Tipo humus
			(Tipo – clase)	(Desarrollo)			
Con Sombrío	7,5 YR 3/4	Pardo oscuro	Granular media	Fuerte	7,95	0,34	A
	7,5 YR 3/3	Pardo oscuro	Granular media	Fuerte	3,79	0,46	P
	5 YR 3/3	Pardo rojizo oscuro	Granular media	Fuerte	4,83	0,39	P
Al Sol	7,5 YR 4/4	Pardo	Granular media	Fuerte	11,77	0,31	A
	7,5 YR 4/4	Pardo	Granular media	Fuerte	21,60	0,22	A
	7,5 YR 2,5/2	Pardo muy oscuro	Granular media	Fuerte	3,12	0,49	P

**Figura 2.**  
Perfil de lluvia  
en la zona de  
estudio<sup>1</sup>.



**Figura 3.**  
Balance hídrico  
para la zona  
cafetera de  
Supía.



Otro aspecto a tener en cuenta es que los cafetales a libre exposición reciben mayor cantidad de fertilizante que los de sombrío. En ese orden de ideas y si se considera a la fertilización como un agente que puede promover los fenómenos de transformación

del humus, los resultados hallados en esta unidad de suelos entran en concordancia con lo reportado por Galantini *et al.* (13) quienes aducen cambios positivos en la cantidad y calidad del humus por efectos de la fertilización química.

<sup>1</sup> Comunicación personal. Álvaro Jaramillo Robledo. Investigador Científico III. Agroclimatología, Cenicafé, julio de 2008.



**Tabla 3.** Color, estructura y tipo de humus en los lotes de la unidad Chinchiná.

Agroecosistema	Color		Estructura		A <sub>665/C</sub>	Log <sub>B<sub>665/665</sub></sub>	Tipo humus
			(Tipo – clase)	(Desarrollo)			
Con Sombrío	10 YR 2/3	Negro	Migajosa fina	Fuerte	4,76	0,35	P
	10 YR 3/2	Pardo muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	1,76	0,38	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	Migajosa fina	Fuerte	5,87	0,27	P
	10 Y 2,5/1	Negro	Migajosa fina	Fuerte	1,88	0,60	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	Migajosa fina	Fuerte	5,16	0,28	P
	10 YR 3/2	Pardo muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	4,77	0,30	P
	10 Y 2,5/1	Negro	Migajosa media	Fuerte	1,94	0,65	P
Al Sol	2,5 YR 3/2	Rojo oscuro	Migajosa fina	Fuerte	6,81	0,32	P
	10 YR 3/2	Pardo oscuro	Migajosa fina	Fuerte	10,86	0,33	A
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	1,20	0,56	P
	7,5 YR 2,5/1	Negro	Migajosa fina	Fuerte	0,32	0,53	P
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	Bloques muy finos	Fuerte	0,94	0,65	P
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	Migajosa media	Fuerte	2,81	0,64	P
	10 YR 2/1	Negro	Migajosa media	Fuerte	2,01	0,62	P

Con relación al color, los suelos en donde se encontró humus tipo A presentaron valores de 4 en chroma, mientras que para los demás suelos los valores fueron inferiores. Es importante destacar que los suelos del área de trabajo manifestaron procesos de empardecimiento, quizás debidos a la oxidación del hierro presente en sus minerales, que de una u otra forma pudieron enmascarar la coloración típica de los horizontes con alta cantidad y calidad de humus.

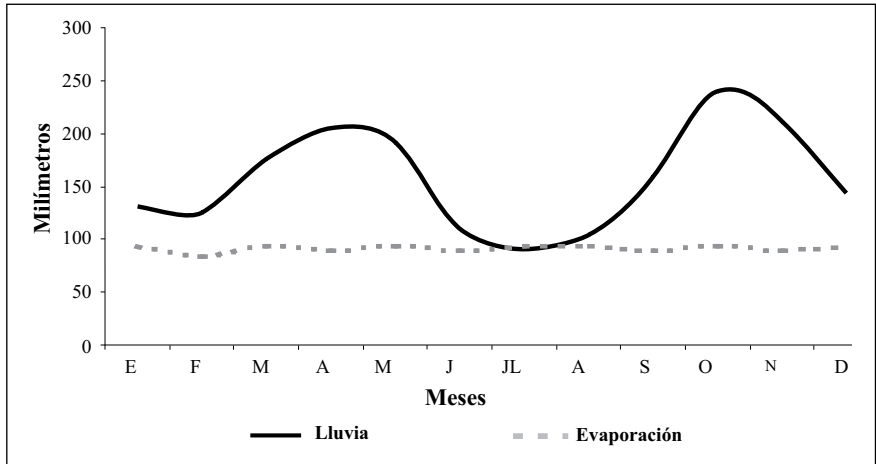
La estructura (granular media) encontrada en este suelo, puede asociarse al elevado contenido de arcillas y fue similar en todos los lotes y tipos de humus encontrados.

**Unidad Chinchiná:** En 13 de los 14 lotes evaluados se registró humus tipo P (Tabla

3), lo cual indica que en los suelos de esta unidad puede hallarse preferencialmente humus en mediano grado de humificación, sin que exista distinción por efecto del manejo. Sólo en uno de los lotes de libre exposición solar se registró humus tipo A, e igual que para lo registrado en condiciones de la unidad Guamal, éste se ubicó en un área que históricamente presenta déficit hídrico entre junio y agosto, en años con el Fenómeno de El Niño. Esto reafirma que el efecto climático puede jugar un papel importante en la maduración de los AH (Figura 4).

En lo que respecta al MP, Shoji y Takahashi (31), en condiciones de Japón registran humus tipo B en un horizonte superficial desarrollado a partir de un depósito de cenizas ocurrido en 1914, mientras que en

**Figura 4.**  
Balance hídrico  
para la zona  
cafetera de  
Java, municipio  
Manizales.



horizontes cuyo origen fueron emisiones de ceniza ocurridas en los períodos entre 4200 y 6500 antes del presente, fue hallado humus tipo A y tipo B.

En otras propiedades como la estructura del suelo, se encontró que para el 64% de los casos fue de migajosa fina, en el 28% migajosa muy fina y sólo en el 8% bloques muy finos. Cabe resaltar que en cuanto al grado de desarrollo se refiere ésta se caracterizó como fuerte, situación que puede asociarse con las excelentes características físicas que caracterizan esta unidad, y con la cual se proporciona el nicho para que meso y microorganismos del suelo, entre los que se encuentran los hongos y las lombrices, enmarañen las partículas del suelo por efecto de la exudación de compuestos como polisacáridos, dando así firmeza y capacidad de cementación a dichas partículas (33).

En cuanto al color se refiere, no hay un claro indicio para asignar el grado de humificación de los AH de acuerdo al color, situación que se sustenta en el hecho de que fueron observados colores negro, pardo (oscuro y muy oscuro) e incluso rojo oscuro. Esta circunstancia deja en entredicho que los

suelos con colores muy oscuros (tendientes a negros) son portadores de humus de alta calidad (tipo A) como los andisoles melánicos, los cuales según Shoji (32) y Takahashi y Shoji (37) deben presentar valores  $\text{value/chroma}$  por debajo de 2/2. Así mismo, Shoji sostiene que los suelos con valores por encima de 2/2 se clasifican como andisoles fúlvicos y se asocian con humus tipo P.

**Unidad Doscientos:** De acuerdo con los valores de  $A_{665/C}$  y  $\text{Log } 465/665$ , todos los suelos de esta unidad fueron catalogados como tipo P (Tabla 4).

Al igual que para los dos casos anteriormente presentados, no se mantiene relación alguna entre el tipo de humus y el color del suelo, y se amplía la gama observada para otras unidades pues se presentan tonalidades pardas (oscuras, amarillas y grisáceas) y negras. Como aspecto importante, se presentaron chroma con valor 4 en humus tipo P, esto reafirma la poca relación entre estas dos variables. Al considerar de manera individual el grado de humificación, existe una leve tendencia que indica que el  $A_{665/C}$  fue mayor cuando el tipo de estructura es en bloques, lo cual podría estar asociado al contenido

de arcillas, esto a su vez coincidió con los altos índices del chroma.

**Unidad Tablazo:** Los suelos de esta unidad presentaron humus tipo P (Tabla 5), con colores pardo muy oscuro y negro rojizo, con valores en el chroma de 2,0 y 2,5, respectivamente. Respecto a la estructura, en el 100% de los casos fue migajosa fina. Ninguno de estos aspectos pudo explicar satisfactoriamente el tipo de humus encontrado en estos suelos.

**Unidad Maiba:** Similar a lo hallado en la unidad Tablazo, el humus encontrado en los

suelos de esta unidad fue tipo P (Tabla 6). En estos suelos prevalecieron las condiciones de reducción, efecto reflejado por los colores pardo oliva y pardo grisáceo, lo cual reafirma que las condiciones exclusivas de anaerobiosis no son las adecuadas para la humificación.

La manifestación de estructura en bloques gruesos, los cuales se asocian con un alto contenido de arcillas, pueden dar explicación al elevado almacenamiento de agua en estos cafetales.

Ninguna de las variables evaluadas dio respaldo al tipo de humus encontrado.

**Tabla 4.** Color, estructura y tipo de humus en los lotes de la unidad Doscientos.

Agroecosistema	Color	Estructura		A <sub>665/C</sub>	Log <sub>465/665</sub>	Tipo humus	
		(Tipo – clase)	(Desarrollo)				
Con Sombrío	10 YR 3/4	Pardo amarillo oscuro	Migajosa media	Fuerte	1,47	0,68	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	Migajosa fina	Fuerte	1,29	0,44	P
	10 YR 2/1	Negro	Migajosa fina	Fuerte	2,13	0,60	P
	10 YR 4/3	Pardo	Bloques gruesos	Fuerte	1,44	0,52	P
Al Sol	10 YR 3/2	Pardo grisáceo oscuro	Migajosa fina	Fuerte	1,33	0,55	P
	10 YR 3/4	Pardo amarillo oscuro	Bloques medios	Fuerte	2,06	0,45	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	Bloques medios	Fuerte	2,88	0,54	P
	7,5 YR 4/6	Pardo fuerte	Bloques gruesos	Fuerte	3,30	0,47	P

**Tabla 5.** Color, estructura y tipo de humus en los lotes de la unidad Tablazo.

Agroecosistema	Color	Estructura		A <sub>665/C</sub>	Log <sub>465/665</sub>	Tipo humus	
		(Tipo – clase)	(Desarrollo)				
Con Sombrío	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	2,16	0,31	P
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	1,60	0,58	P
Al Sol	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	0,80	0,45	P
	2,5 YR 2,5/1	Negro rojizo	Migajosa fina	Fuerte	0,10	0,44	P

**Unidad Cascarero:** En esta unidad hubo presencia de humus tipo P y Rp, los cuales se asocian con grados medio y bajo de humificación (Tabla 7). Dicho fenómeno se presentó en condiciones con problemas de mesa de agua, aspecto sustentado en la manifestación de colores característicos como grises y olivas, en asocio con coloraciones pardas.

Los cafetales ubicados en esta unidad se encontraban en la parte baja de la vertiente, en un relieve muy escarpado, aspectos que

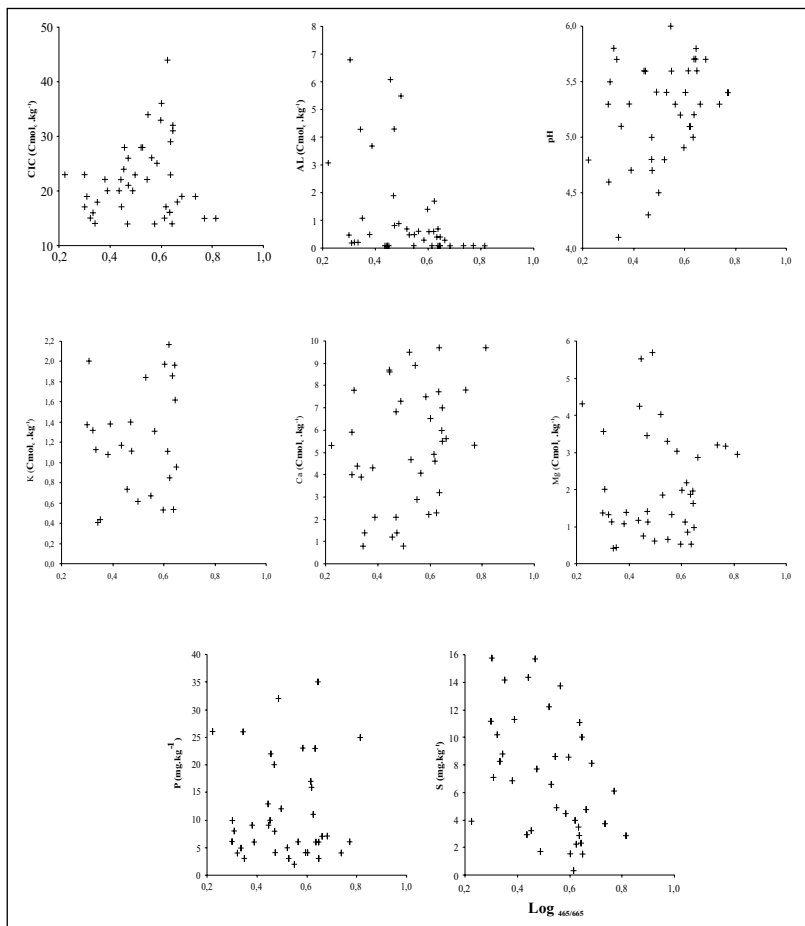
representan un impedimento para la formación de un horizonte superficial; por lo tanto, es posible que en menos de diez años (criterio para escoger los lotes) es poco probable que en dichas condiciones haya posibilidad de generar un horizonte A profundo. De allí que el tipo de humus sea el de menor grado de madurez entre los encontrados para las demás unidades de suelos y que el desarrollo estructural sea débil. Zapata (42) sostiene que los distintos rasgos pedológicos requieren de tiempos muy variables para su manifestación y son varios los procesos

**Tabla 6.** Color, estructura y tipo de humus en los lotes de la unidad Maiba.

Agroecosistema	Color		Estructura		A <sub>665/C</sub>	Log <sub>465/665</sub>	Tipo humus
			(Tipo – clase)	(Desarrollo)			
Con Sombrío	2,5 Y 3/3	Pardo oliva oscuro	Bloques gruesos	Fuerte	1,32	0,74	P
	10 YR 3/2	Pardo gris oscuro	Bloques gruesos	Fuerte	0,45	0,58	P
Al Sol	10 YR 4/4	Pardo amarillo oscuro	Bloques gruesos	Fuerte	0,52	0,66	P
	10 YR 3/4	Pardo amarillo oscuro	Bloques gruesos	Fuerte	0,36	0,77	P

**Tabla 7.** Color, estructura y tipo de humus en los lotes de la unidad Cascarero.

Agroecosistema	Color		Estructura		A <sub>665/C</sub>	Log <sub>465/665</sub>	Tipo humus
			(Tipo – clase)	(Desarrollo)			
Con Sombrío	2,5 Y 3/3	Pardo oliva oscuro	Migajosa fina	Débil	0,97	0,81	RP
	2,5 Y 3/3	Pardo oliva oscuro	Migajosa fina	Débil	0,60	0,63	P
Al Sol	10 YR 3/2	Pardo gris muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	2,00	0,64	P
	10 YR 3/2	Pardo gris muy oscuro	Migajosa fina	Fuerte	2,65	0,62	P



**Figura 5.** Variaciones de algunas características químicas en función del grado de humificación de los AH.

que actúan simultáneamente para dar lugar a un horizonte.

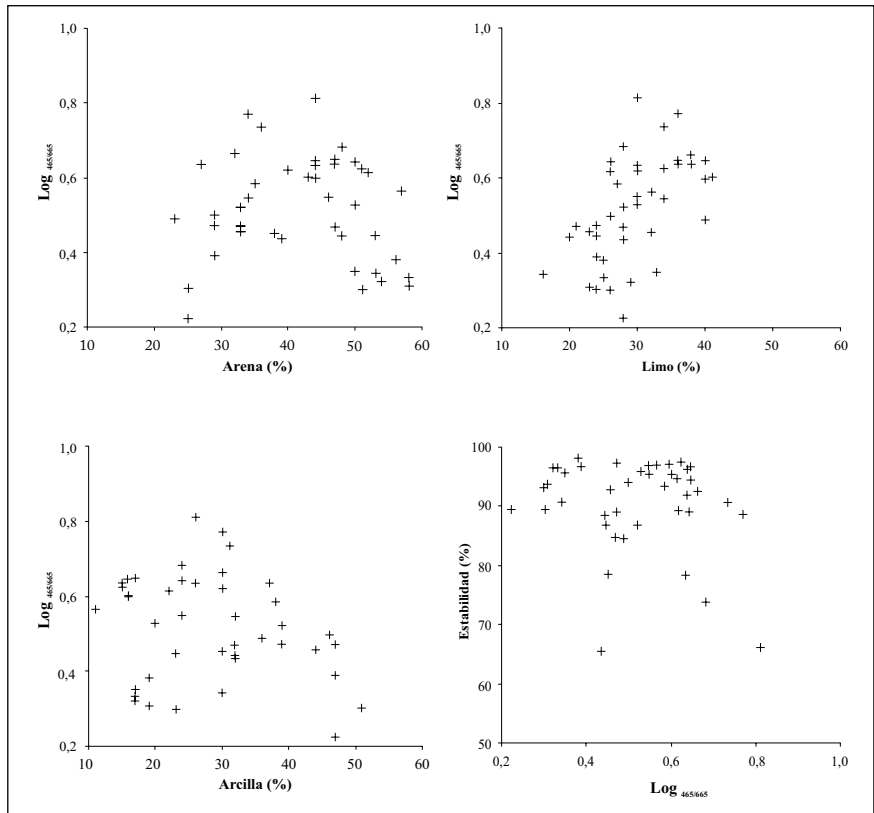
### **Grado de humificación de los AH y su relación con algunas propiedades físicas y químicas de los suelos objeto de estudio**

De acuerdo con Watanabe *et al.* (39) en la medida que los valores de  $\text{Log}_{465/665}$  disminuyan se obtiene un mayor grado de humificación. En este sentido, el grado de humificación de los AH no definió tendencias que permitieran explicar cambios en los valores de las variables químicas contempladas en el estudio (Figura 5).

Lo anterior puede explicarse debido a que los procedimientos de laboratorio empleados en el presente estudio, no alcanzan a evaluar particularmente la actividad de ciertos cationes en la solución del suelo, que es donde las sustancias húmicas con bajo o intermedio nivel de polimerización pueden entrar a participar activamente.

Respecto a las variables físicas, los porcentajes de arena, limo y arcilla tampoco explicaron cambios en la humificación. Se destaca que la mayor proporción de suelos evaluados presentó valores de estabilidad estructural por encima del 90% (Figura 6).

**Figura 6.**  
Variaciones de algunas características físicas en función del grado de humificación de los AH.



## AGRADECIMIENTOS

A los caficultores que nos permitieron tomar las muestras en sus predios. En Cenicafé a los doctores Jaime Arcila P., Esther C. Montoya R., Álvaro Jaramillo R. y Beatriz Mejía M. A la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y Monómeros S.A. En la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, a los doctores Orlando Ruiz V., Nelson Walter Osorio V, Daniel F. Jaramillo, Alberto Arias L. y Gloria Arango. En el Comité de Cafeteros de Caldas al Dr. Hernando Duque O. y a los Ingenieros René A. Gutiérrez y Héctor Favio Marín. Por sus importantes aportes a los revisores Adela Correa S. y Hernán Burbano O.

## LITERATURA CITADA

1. ANDREUX, F. La materia orgánica del suelo desde la perspectiva pedogenética. *Suelos Ecuatoriales* 35 (1): 5-22, 2005.
2. ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná, Cenicafé, 2007. 309 p.
3. BARANCIKOVÁ, G. Changes of humic acids structure on selected key monitoring localities of arable soils. *Rostlinná Výroba* 48(1):40-44, 2002.
4. BURBANO O., H. Lo biorgánico en el manejo productivo del suelo. In: GARCÍA O, A.; VALENZUELA, I. *Manejo productivo de los suelos para cultivos de alto rendimiento*. (Palmira), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, comité regional Valle del Cauca, 2001. p 109- 128.

5. BURDON, J.N. Are the traditional concepts at the structures of humics substances realistic. *Soil Science* 166: 752-769, 2001.
6. CARDONAC, D.A.; SADEGHIAN K., S. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafé* 56(4):348-364, 2005.
7. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de *Inga* spp. *Cenicafé* 56(2):127-141, 2005.
8. CARRILLO P., I.F. Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná, Cenicafé, 1985. 111 p.
9. CHEN, Y.; SENESI, N.; SCHNITZER, M. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Science of America Journal* 41: 352 – 358, 1977.
10. CHENU, C.; BISSONNAIS Y. L. E.; ARROUAYS, D. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64:1479-1486, 2000.
11. CORREA S., A. Pasado y futuro de los estudios de materia orgánica en Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 35(1):137-155, 2005.
12. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2006. Bogotá, FNC, 2006. 64 p.
13. GALANTINI, J.; ROSELL, R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils. *Soil Tillage Research*, 87:72-79, 2006.
14. GÓMEZ G., O.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R.; J. V. Ecotopos cafeteros. Chinchiná, Federacafé. 1991. 136 p.
15. HAMEL, K. E. Fungal degradation of lignin. In Cadish; Giller. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. Cambridge CAB International, 1997. p. 33- 46.
16. 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.
17. INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY. Formación de las sustancias húmicas. (On line) Colorado, Estados Unidos, HISS, 2005. (<http://www.ihss.gatech.edu/>). (Consultado en julio de 2005).
18. JARAMILLO R., A. Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 192 p.
19. KONONOVA, M. M. Soil organic matter; its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Nueva York, Pergamon Press, 1961. 450 p.
20. KUMADA, K. Chemistry of soil organic matter. Amsterdam, Elsevier, 1987. 241p.
21. LEBLANCA., H.; NYGREN, P.; MCGRAW, 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. LOBARTINI, J.C.; ORIOLI, G.A. Las sustancias húmicas y la nutrición vegetal. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de la Plata* 101(2): 201-209. 1996.
23. McCULLEYR., L.; BURKEI., C. Microbial community composition across the great plains: Landscape versus regional variability. *Soil Science of America Journal*. 68:106–115. 2004.
24. MEJÍA M., B. Informe de las determinaciones de azufre en los suelos. Informe Anual de Actividades, 1998-1999. Octubre 1998 – Septiembre 1999. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 36 p.
25. MONTENEGRO G., H.; MALAGÓN C., D. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1990. 813 p.
26. RAMUNI, A.; SCIALDONE, R.; FELLECA, D. Descomposition of humic acids by incubation in a soil water extract under various conditions of oxygen availability. *Plant and Soil* 97:15-23. 1987.
27. RIVERO, C.; CHIRENJE, T.; MARTÍNEZ, G. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma* 123:355–361, 2004.
28. SADEGHIAN K., S. MURGUEITIO, E. Evaluación de los efectos socioambientales de la transformación de los agroecosistemas cafeteros en el departamento del Quindío. (Cali), CIPAV, 1998. 89 p.
29. SANTOS B., D.M.; POZZA, D.A.; POZA A.A.A.; CARVALHO, J.G.; BOTELHO, C.E.; SOUZA, P.E. Intensidade da corposporise em mudas de cafeeiro em funcao da fontes e doses de silicio. *Fitopatología Brasileira* 30(6):582-588, 2005.

30. SCHNITZER, M. A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter. *Advances in Agronomy* 68: 1-58, 2000.
31. SHOJI S.; TAKAHASHI, T. Environmental and agricultural significance of volcanic ash soils. *Global environments research* 6(2):113-135, 2002.
32. SHOJI, S. Separation of melanic and humic adisols. *Soil Science. Plant nutrition* 34(2):303-306, 1998.
33. SIX, J.; BOSSUIT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota and soil organic dynamics. *Soil Tillage and Research* 79:7-31. 2004.
34. SUÁREZ DE C., F. Distribución de las raíces del Coffea arabica en un suelos franco-limoso. Chinchiná, Cenicafé, 1953. 28 p. (Boletín Técnico Cenicafé No. 12).
35. SUÁREZ V., S. La materia orgánica en la nutrición del café y el mejoramiento de los suelos de la zona cafetera. Chinchiná, Cenicafé, 2001. 8 p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 283).
36. SYLVIA M., D.; FUHRMAN J., J.; HARTEL G., P.; ZUBERER A., D. Principles and applications of soil microbiology. New Jersey, (Prentice Hall ed). 1999. 550 p.
37. TAKANASHI, T.; SHOJI, S. Biosequence of fulvudands and melanudands in Towada district, north eastern Japan. In: kinoch, D. Ninth International Soil Classification Workshop. Japan July 20 - August 1, (Konno), 1988. 535-546 p.
38. TOMONORI, A. A.; WATANABE, A. X- Ray photoelectron spectroscopy of nitrogen functional groups in soil humic acids. *Soil Science* 169(1):35-43, 2003.
39. WATANABE, A.; SARNO; RUMBANRAJA, J.; TSUTSUKI, K.; KIMURA, M. Humus composition of soils under forest, coffee and arable cultivation in hilly areas of south Sumatra. *European journal of soil science* 52:599-606, 2001.
40. WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 1992. 1045 p.
41. 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.
42. ZAPATAH, R. D. Química de los procesos pedogenéticos. Medellín. Universidad Nacional de Colombia, 2006. 358 p.
43. ZECCH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.; MILTNER, A.; SCHORTTH, G.; Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79(1197):11-161, 1997.