

El humus en la zona cafetera colombiana

Contenido, calidad y su relación con algunas propiedades físicas y químicas del suelo

Hernán González Osorio
Investigador Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé

INTRODUCCIÓN

El término materia orgánica se ha usado para referirse a todas aquellas sustancias del suelo que poseen carbono (38), abarca una mezcla de compuestos que van desde tejidos animales y/o vegetales en diferentes estados de alteración (6), hasta materiales estables, de color oscuro, que no presentan semejanza alguna con la estructura de la cual proceden (43). En ella, se incluye también gran diversidad de organismos vivos entre los que se cuentan hongos, bacterias, lombrices, nematodos, artrópodos y raíces de plantas.

Desde el punto de vista agronómico, la materia orgánica del suelo (MO) como tal, comprende un recurso natural que se forma a partir de la biomasa que ingresa al suelo por medio de materias primas tales como hojas, tallos y raíces de plantas, residuos de cosechas, abonos orgánicos, así como tejidos y estiércoles de animales y otros organismos, los cuales a través del tiempo y en unas condiciones de relieve, clima y suelos específicas, cambian su apariencia física, química y morfológica, dando como resultado un material que regula las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados.

El contenido total de MO que posea el suelo en un momento determinado, depende de la cantidad y la calidad de los materiales orgánicos que reciba, del manejo que se le de a los mismos, del relieve (gradiente y longitud de la vertiente), la temperatura y la naturaleza físico - química del suelo (18). Lo que en síntesis encierra los cinco factores formadores del suelo.

Estudios adelantados en Cenicafé (9), demostraron que los aportes de biomasa en los ecosistemas de café a libre exposición solar y café con sombrío de guamo (*Inga spp.*), es mayor, casi tres veces, al de café a libre exposición solar y que la velocidad de descomposición de las hojas del cafeto es mayor a las del guamo; aspecto que puede explicar la acumulación de mantillo bajo condiciones de sombrío.

Cómo citar:

González-Osorio, H. (2009). El humus en la zona cafetera colombiana: Contenido calidad y su relación con algunas propiedades físicas y químicas del suelo. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 11–32). Cenicafé.
https://doi.org/10.38141/10791/0003_1

Respecto al material parental de los suelos, es importante recalcar que los derivados de cenizas volcánicas, por ejemplo, presentan algunos atributos que les permiten acumular altas cantidades de MO, dado que es factible que se formen complejos organo-minerales mediante los cuales se establece una barrera para la degradación microbiana (46). Si bien, esta condición es relevante, *per se*, no siempre es garantía para un alto nivel de MO. Agentes como la temperatura del suelo, la cual generalmente es mayor a la temperatura ambiental (21), juegan un papel determinante, puesto que a medida que los valores se incrementan puede haber una mayor actividad de microorganismos (43, 26), y con ella, los valores de MO tienden a ser menores.

En la Tabla 1, puede apreciarse un ejemplo de las variaciones en los contenidos de MO en función del material parental y la temperatura ambiental y edáfica, para algunos suelos de la zona cafetera colombiana (16).

En un amplio sentido, el término MO es utilizado indistintamente para referirse al humus del suelo. Dicha consideración ha servido de base para que se emitan una serie de recomendaciones generales, tendientes a mejorar el desempeño agronómico de algunas fuentes fertilizantes y promover algunos atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, entre otros aspectos. Por tal razón, en los siguientes ítems se tratará de precisar a la luz de los conceptos de la ciencia del suelo y de algunas experiencias en la zona cafetera colombiana, cuáles son las características en las que el recurso orgánico del suelo puede llegar a participar, con el fin de contribuir en la búsqueda de alternativas que conduzcan a su conservación y un mejor aprovechamiento del mismo.

Tabla 1. Temperatura ambiental, temperatura del suelo y contenidos de MO en los primeros 30 cm del horizonte A, de cafetales a libre exposición solar y con sombrero de guamo, ubicados en seis unidades de suelos representativas de la zona cafetera colombiana.

Unidad de suelo	Material parental	Temperatura (°C)		MO (%)	
		Suelo	Aire	Café sombrero	Café al sol
Chinchiná	Cenizas volcánicas	21,29	19,97	14,7 a	14,5 a
Guamal	Arenisca olivínica	23,66	21,40	11,1 a	7,1 b
Doscientos	Basalto augítico	20,50	20,48	12,1 a	12,1 a
Complejo Tablazo	Filita micácea	20,00	18,70	11,9 a	10,9 a
Amiba	Serpentinita	21,00	19,40	7,9 a	6,7 a
Cascarero	Esquisto actinolítico	24,00	20,00	7,1 a	6,8 a

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

* Promedio de 80 muestras de suelo.

FRACCIONES DE LA MO

Una vez los tejidos orgánicos entran al suelo, inicia una transformación eminentemente biológica, a partir de la cual se presenta una liberación de calor, agua y CO₂, principalmente. Luego de este primer proceso, los compuestos orgánicos resultantes pueden tomar dos rutas, que entren a formar parte de la MO ligera, o que pasen a constituir la MO estable.

MO ligera. Es una fracción que comprende una alta proporción de tejidos con una estructura tal, que los microorganismos pueden aprovecharla como fuente de energía. En la medida en que el componente vivo del suelo la utiliza para este fin, los nutrientes contenidos en ella (nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores) se convierten en el corto y mediano plazo, en formas minerales aprovechables por las raíces de las plantas (25), por medio del proceso de mineralización.

Lo característico de esta fracción es que puede ser identificable por la química orgánica, es decir, comprende proteínas, aminoácidos, carbohidratos y resinas, entre otros (44).

MO estable. Contrario a lo anterior, aquellas estructuras cuya complejidad constituye una barrera para la degradación microbiana quedan como reserva, y con el tiempo, bajo unas condiciones específicas de suelo, cultivo, clima y relieve, pasan a conformar la fracción denominada materia orgánica estable o humus¹ propiamente dicho (38).

Los ácidos húmicos, los ácidos fúlvicos² y las huminas hacen parte de este tipo de MO y su composición química elemental comprende carbono, oxígeno, hidrógeno, azufre, fósforo y nitrógeno. El proceso que conduce a la formación del humus es denominado humificación. La humificación de las sustancias que llegan al suelo está sometida, al igual que el constituyente inorgánico del mismo, a la acción de los factores formadores del suelo. Según Kononova (22) los factores de formación que tienen mayor impacto en la producción y madurez del humus son en su respectivo orden: clima > organismos > topografía del terreno = material parental > tiempo. Andreux (1) y González *et al.* (15) destacan al clima y al uso del suelo como dos de los factores más determinantes.

A diferencia de la MO ligera, la definición de humus no implica un grupo particular de productos orgánicos de relativo peso molecular y reactividad química, ésta es en esencia el resultado de la combinación de compuestos orgánicos recalcitrantes que se unen al azar (40), razón por la cual el número de unidades estructurales que pueden existir en el suelo es muy grande y la probabilidad de combinación puede llegar a ser incalculable.

Consideración práctica

Tanto la mineralización como la humificación ocurren simultáneamente, y a pesar de que son fenómenos distintos, no está por demás recalcar que en el primero de ellos es necesario que los microorganismos del suelo actúen como intermediarios. La humificación en cambio, obedece a reacciones físico-químicas, en las cuales no participa el componente vivo del suelo (44). Bajo estas consideraciones, es preciso tener en cuenta dos aspectos:

¹Latín que indica suelo

²Latín para *fulvus* que indica amarillo

1). No es correcto denominar humus a materiales tales como excretas de lombriz; 2). En condiciones de uso y manejo racional del suelo, los microorganismos y las plantas pueden potencialmente aprovechar los nutrientes que componen el humus, pero esto ocurre a muy largo plazo.

FORMACIÓN DEL HUMUS

La bioquímica de las sustancias húmicas es uno de los aspectos menos entendidos de la química del humus (5). En el ámbito científico, algunos estudiosos del tema han postulado las siguientes teorías (20, 40), presentadas de manera resumida, que describen cuatro rutas que deben atravesar los restos vegetales y animales en su camino hacia la humificación (Figura 1).

Formación del humus a partir de la lignina (Primera ruta)

Las ligninas constituyen uno de los biopolímeros más abundantes de la corteza terrestre, con una estructura lo suficientemente recalcitrante para dejarse sintetizar fácilmente por el componente vivo del suelo (17). Sólo algunos microorganismos muy especializados pueden ejercer dicha acción (13). Bajo los anteriores preceptos, una descomposición incompleta de la lignina conduce a la formación de precursores del humus.

En principio, el producto inicial serían las huminas, las cuales por fragmentación y oxidación darían lugar a los ácidos húmicos que a su vez, por mecanismos adicionales de oxidación y fragmentación, forman los ácidos fúlvicos.

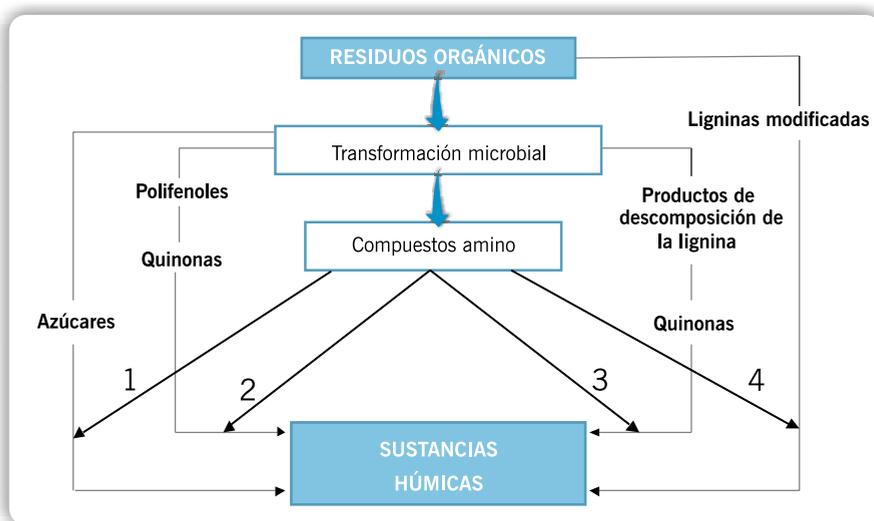


Figura 1. Representación esquemática de las rutas que explican la formación de humus en el suelo (tomado de Stevenson y Cole, 1999).

La modificación de ligninas involucra la pérdida de grupos metoxílicos (OCH_3), generación de O-hidroxifenoles y oxidación de cadenas alifáticas laterales para la formación de grupos COOH . El material modificado es sometido posteriormente a procesos desconocidos para permitir la formación de ácidos húmicos y posteriormente ácidos fúlvicos (20).

En síntesis, según esta ruta, la formación del humus tiene como punto de partida polímeros muy complejos, de elevada condensación.

Hipótesis del polifenol (Segunda y tercera rutas de formación del humus)

A diferencia de la hipótesis de la lignina, esta teoría considera como materiales de partida algunos compuestos orgánicos de bajo peso molecular (distintos a la lignina), como es el caso de la celulosa. En este caso, los ácidos liberados durante el ataque microbial (este último de carácter enzimático) llevan a la conversión de quinonas, las cuales se polimerizan en presencia de compuestos amino, para finalmente obtener macromoléculas similares al humus.

La segunda y tercera rutas son similares, salvo que en la segunda, los polifenoles son sintetizados por microorganismos que utilizan el carbono procedente de fuentes distintas a la lignina.

Condensación de amino azúcares (Cuarta ruta de formación del humus)

La idea según la cual el humus está formado por azúcar es bastante antigua, y se fundamenta en el hecho que los microorganismos del suelo producen azúcares y aminoácidos a partir de la degradación enzimática de compuestos como celulosa y proteínas. La reducción de azúcares y aminoácidos formados a partir del metabolismo microbial, experimenta una polimerización no enzimática, que permite la formación de polímeros nitrogenados pardos, similares a los que se producen durante la deshidratación de ciertos alimentos bajo condiciones de temperatura moderada.

Aunque las reacciones mencionadas pueden avanzar de manera lenta, en condiciones normales de temperatura, los frecuentes eventos de humedecimiento y secado facilitan la unión de los azúcares con la parte mineral del suelo (que actúa como agente catalizador) y su posterior condensación.

Si bien, algunos reportes de la literatura pueden señalar que alguna de las anteriores rutas tiene mayor participación que otra en la formación del humus, es importante resaltar que las cuatro pueden estar ocurriendo al tiempo, todo depende del ambiente de formación y del tipo de sustrato orgánico que se tenga como material de partida.

EXTRACCIÓN Y FRACCIONAMIENTO DEL HUMUS

En razón a la complejidad que caracteriza estas sustancias, su fraccionamiento es meramente operacional y se define con base en la solubilidad que tengan en diferentes soluciones (31).

Los procedimientos clásicos para extraer el humus del suelo, se basan en el principio de que este recurso es un coloide cargado negativamente, propiedad que favorece su atracción por los puntos positivos de las arcillas y la precipitación con cationes tipo aluminio, hierro y calcio (5). Bajo este esquema, incrementar el pH del medio induce a una competencia de los iones OH^- por los sitios cargados positivamente de las partículas inorgánicas del suelo.

Aunque los diferentes métodos propuestos para extraer humus, en esencia no son muy disímiles entre sí, presentan algunas variaciones, particularmente en aspectos relacionados con la preparación de las muestras y la purificación del producto final (40).

Señalar algún método de extracción como ideal, resulta una labor sumamente difícil, dado que para determinados tipos de suelos las sustancias húmicas no alcanzan a extraerse completamente, y las que se obtienen, regularmente vienen contaminadas con productos inorgánicos, tales como arcillas y cationes (12).

A nivel general, se efectúa la extracción con NaOH en diferentes concentraciones (comúnmente entre 0,1 – 0,5 M), como se ilustra en la Figura 2. Posteriormente, por medio de un tratamiento ácido (generalmente con HCl), se obtienen dos fracciones, una fracción fúlvica en la solución y la fracción húmica en el precipitado (Figura 3). Cada una de éstas es sometida a diferentes procesos de purificación para obtener finalmente ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (20).

Ácidos húmicos (AH)

Los AH se presentan como sólidos amorfos de color marrón oscuro, generalmente insolubles en agua, pero fácilmente dispersables en las soluciones acuosas de los hidróxidos y sales básicas de los metales alcalinos. Éstos presentan una elevada capacidad



Figura 2. Solución resultante de la extracción con álcalis.



Figura 3. La reacción ácida permite separar la fracción húmica (precipitado) de la fracción fúlvica (sobrenadante amarillo).

de intercambio catiónico (CIC), reflejada en la gran cantidad de grupos ácidos y fenólicos que poseen (45).

Desde el punto de vista estructural (Figura 4), su molécula está constituida por un núcleo de naturaleza aromática y de una región periférica, con predominio de radicales alifáticos, que en su conjunto tienen la apariencia de heteropolímeros condensados.

Aunque en la literatura se especula acerca de la posible constitución estructural de este tipo de compuestos desde hace más de cien años, hasta la última década del siglo XX ninguno de los reportes se había considerado satisfactorio (40).

Ácidos fúlvicos (AF)

Constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, no cristalinos (22), de color amarillo o pardo - amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua y solubles a cualquier nivel de pH (20).

Estructuralmente, los AF se caracterizan por su bajo contenido de carbono (menor al de los AH) y un significativo número de grupos funcionales, particularmente carboxílicos (COOH), que le imprimen una mayor acidez, con una notable capacidad de complejación en comparación a la registrada para los AH. Dicha propiedad ha sido corroborada en diferentes estudios realizados bajo condiciones de Chile y Colombia (Tabla 2).

Los AF al tener una alta cantidad de grupos ácidos con una mayor capacidad de complejación, y al ser solubles bajo cualquier condición de pH, actúan de manera significativa en la movilidad de cationes en el suelo (45).

La molécula central de estas sustancias probablemente consiste en micelas de naturaleza polimérica, cuya base estructural está compuesta por un anillo di o trihidroxifenol, unido por $-CH_2-$, $-NH-$, $-N=$, $-S-$ y grupos OH libres, que establecen doble enlace con las quinonas (40).

En la Figura 5 se presenta la estructura hipotética de los ácidos fúlvicos.

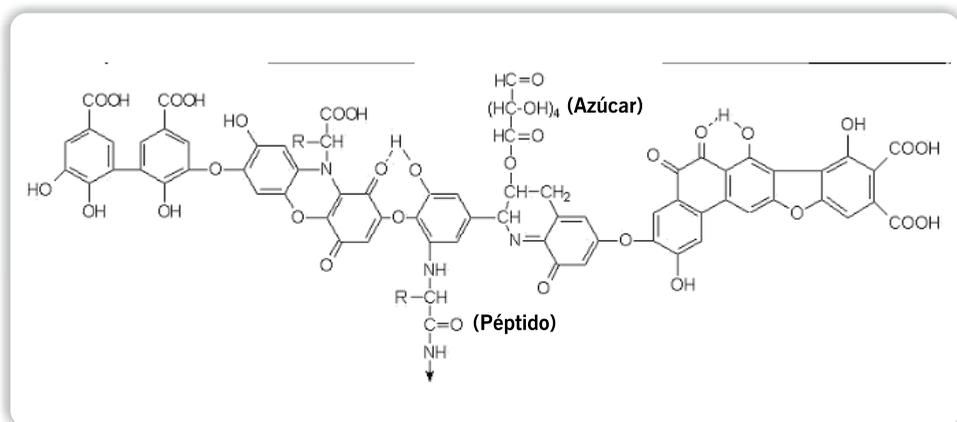


Figura 4. Diagrama estructural de los ácidos húmicos (tomado de Stevenson y Cole, 1999).

Tabla 2. Acidez carboxílica de los ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) en algunos suelos.

Localidad	Suelo	Acidez carboxílica		Fuente
		(cmol _c .kg ⁻¹)		
	(Orden)	AF	AH	
Chile	Andisol	6,52	3,90	Heredia <i>et al.</i> (19)
Colombia	Andisol	3,84	1,47	Ballesteros <i>et al.</i> (2)
Colombia	Inceptisol	3,36	1,73	Barragán <i>et al.</i> (4)
	Entisol	2,86	2,13	
	Ultisol	3,23	2,53	

Huminas (HUM)

Son polímeros negros, con elevado peso molecular e insolubles bajo cualquier nivel de pH (34). Su participación dentro del C orgánico total del suelo supera en muchos casos el 50% (22). La formación de las HUM se considera el estado final del proceso de humificación, en la cual se presenta una estabilización física y química de los compuestos orgánicos con la fracción mineral del suelo (8).

Consideración práctica

El procedimiento de extracción en álcali descrito anteriormente, se utiliza también para obtener AH y AF de las turbas, lignitos y leonarditas. Si esta metodología se aplica a un material orgánico compostado, que no haya sido sometido a los factores de formación del suelo, la sustancia resultante parecida al humus, en los textos científicos, se conoce con el nombre de *like humus* (33, 36).

Se ha encontrado, por ejemplo, que de la cachaza (subproducto del proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar), pueden aislarse polímeros tipo *Melanoidinas*, que se consideran precursoras de los AH, y que se menciona, hacen parte de la cuarta ruta de la formación del humus. Este tipo de sustancias habitualmente contienen elementos tales como potasio, calcio, magnesio y algunos micronutrientes (28).

El *like humus*, tiene una coloración semejante a la fracción húmica; específicamente, aquel que se obtiene de pulpa de café que ha sido sometida a diferentes modalidades de compostaje, presenta tonalidades pardas muy oscuras. Cuando la materia prima es

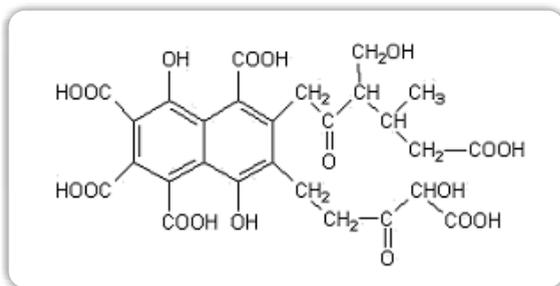


Figura 5. Diagrama estructural de los ácidos fúlvicos (tomado de Stevenson y Cole, 1999).

compost de gallinaza, el producto resultante no es muy disímil, y corresponde a tonalidades negras (Tabla 3). A pesar de su apariencia y composición química, dichos materiales en ningún caso reúnen las condiciones para ser considerados humus propiamente dicho.

Contrario a lo descrito en el procedimiento de extracción del humus, luego de la extracción con el álcalis, la sustancia resultante no se precipita cuando se somete al tratamiento ácido (Figura 6). Sin embargo, al cabo de unas horas, en la parte superior puede formarse una película amarilla similar a la fracción fúlvica.

Calidad del humus

Muchos estudios se han enfocado en evaluar la cantidad de los AH en un amplio número de tipos de suelos, pero pocos han determinado su calidad. Una manera de evaluar dicha característica es por medio de los índices de madurez o humificación, los cuales brindan valiosa información referente a los atributos que estos polímeros pueden imprimir en los suelos.

En términos generales, conforme se incrementa el grado de humificación de estas sustancias se dice que poseen una mayor calidad (3) y, por ende, una expresión más significativa de características tales como una mayor afinidad con la fracción mineral del suelo y por consiguiente, mayor resistencia a la síntesis microbiana (aspecto clave para los estudios que tienen que ver con la captura de carbono atmosférico), mejoramiento de propiedades como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la estructura y la estabilidad el suelo, entre otras.



Figura 6. Aspecto del *like humus* luego de someterlo a tratamiento ácido.

Tabla 3. Color del *like humus* obtenido a partir de diferentes abonos orgánicos de uso común en la zona cafetera colombiana *.

Material orgánico	Semanas del proceso	Color	Código Tabla Munsell	Color <i>like humus</i>	Código Tabla Munsell
Compost de larvas de díptero	4	Negro	7,5YR 2,5/1	Pardo muy oscuro	10YR 2/2
Compost de pulpa de café	4	Negro	7,5YR 2,5/1	Pardo muy oscuro	10YR 2/2
Lombricompost de pulpa de café	24	Pardo muy oscuro	7,5YR 2/2	Pardo muy oscuro	10YR 2/2
Compost de gallinaza	--	Pardo pálido	10YR 7/3	Negro	10YR 2/1

*Datos obtenidos por el autor, en el laboratorio de suelos de Cenicafé.

El principio de esta evaluación se basa en el análisis de sus propiedades ópticas, de acuerdo con la absorción de luz en el espectro visible. Los valores de las absorbancias a las longitudes de onda entre 400-480 nm, reflejan las características de absorción de los grupos funcionales predominantes en sustancias húmicas, cuyo proceso de humificación tiende a ser muy incipiente (menor contenido de C y alto nivel de O y de grupos carboxílicos), mientras que los grupos funcionales detectados a través de absorbancias entre 600-670 nm, se relacionan con un material de alto grado de humificación en cuya estructura química predomina una red de compuestos aromáticos y sistemas con doble enlace conjugados denominados grupos cromóforos (moléculas tipo $-C=C-C=C$ ó $C=C-C=N-C=C-N-C=$), responsables del color oscuro de los AH.

Con base en este criterio, Kumada (23) propone cuatro tipos de humus diferentes, cuya calidad sigue el siguiente orden: humus tipo A > humus tipo B = humus tipo P > humus tipo Rp.

Este sistema de clasificación fue adoptado en condiciones de la zona cafetera colombiana por González *et al.* (15), con el fin de dar explicación a algunos fenómenos físicos y químicos del suelo, que se discutirán más adelante.

AH Y AF EN SUELOS LA ZONA CAFETERA

Como se ha venido mencionando, pese a que la ciencia del suelo define que el concepto AH y AF 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 reportes de la literatura atribuyen a este recurso cualidades excepcionales como nutricional, hormonal (11, 27, 29, 32) y surfactante (35), por mencionar sólo algunas. Por esta razón, en adelante el presente documento tratará de explicar con base en los resultados obtenidos en Cenicafé por González *et al.* (15, 16), en los suelos descritos en la Tabla 1, la relación entre este importante recurso y algunas variables que se consideran claves al momento de definir la productividad de estos suelos.

Concentración de AH y AF en los suelos de la zona cafetera de Colombia

Estudios adelantados en seis de las principales unidades de suelos de la zona cafetera de Caldas, con dos modalidades de siembra de café, muestran que la concentración de C en los AH puede estar entre 18,6 y 48,3% (Figura 7), valores que en muchos casos son superiores a los citados por Chavarriaga *et al.* (10), quienes reportan en suelos de la zona central cafetera contenidos aproximados a 29,33%.

Con base en los resultados obtenidos, no se cuenta con argumentos suficientes para concluir que el material parental de los suelos seleccionados y el manejo de los mismos, condicionen de manera significativa la concentración de C de AH.

La concentración de C de los AF también fue igual en todas las unidades y sistemas de siembra de café evaluados (Figura 8).

Aunque la literatura registra, para un amplio número de suelos, que la cantidad de C de AH y AF está en proporciones similares, para las condiciones evaluadas, el C de AF fue equivalente a menos de la décima parte del C de AH, condición que puede asociarse con las diferentes interpretaciones que se le da a lo que realmente se extrae por los métodos ya anotados, es decir, en muchas ocasiones la fracción fúlvica es asumida como AF. Sin embargo, en estos estudios, dicha fracción, fue sometida a un proceso estricto de purificación en resinas de intercambio, con el cual se depuraban una serie de compuestos orgánicos no humificados.

La anterior circunstancia debe recibir especial atención, cuando se trata de asignar propiedades específicas a los AF.

Consideración práctica

Se estima que en una localidad específica, la cantidad de material orgánico que se incorpora anualmente al suelo está al rededor de 4 t.ha⁻¹ para café en monocultivo y cerca de las 11 t.ha⁻¹ en cafetales con sombrío de guamo (*Inga spp.*). En principio, estos datos

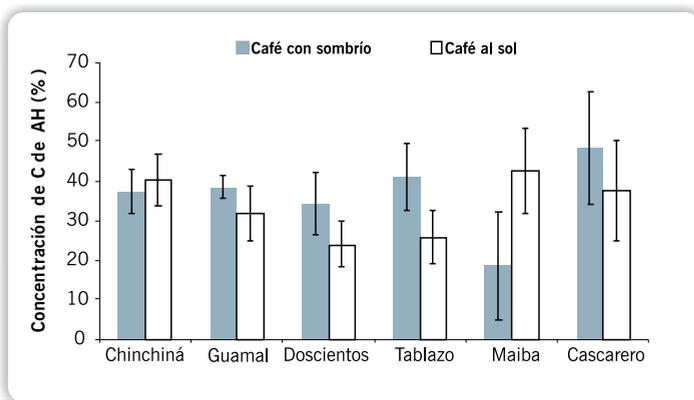


Figura 7. Concentración de C de AH en suelos de la zona cafetera, con dos sistemas de siembra de café.

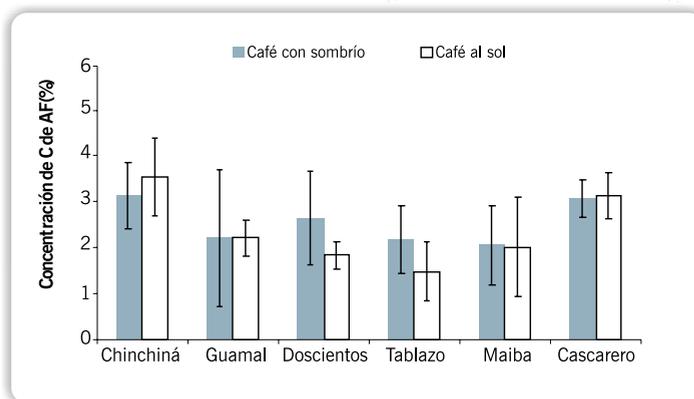


Figura 8. Concentración de C de AF en suelos de la zona cafetera con dos sistemas de siembra de café.

conducen a pensar que los ecosistemas con sombrero potencialmente generarían mayor concentración de humus en comparación con los de libre exposición solar. No obstante, de acuerdo con los estudios efectuados en la zona cafetera, puede decirse que la aplicación de cantidades conocidas de un material orgánico, no necesariamente se reflejan en una ganancia proporcional del contenido de AH y AF en el suelo. Son los factores de formación de suelos sin exclusión, los que condicionan que haya una mayor o menor cantidad.

Específicamente hablando del factor organismos, la relación C/N y el contenido de ligninas (estructuras precursoras de humus), son características a considerar cuando se tiene por objetivo incrementar el humus en los suelos.

En este sentido, se reporta que los contenidos de lignina para hojas de guamo están alrededor del 19% (24), mientras que para las hojas del cafeto los valores son aproximados al 22% (37). La poca diferencia, puede explicar las similitudes en concentración de AH y AF en las modalidades de siembra de café objeto de estudio.

Relación entre los AH, los AF y las características físico-químicas en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia

En los trabajos mencionados, se encontró correlación positiva entre el C de AF y la CIC. Aunque el coeficiente es relativamente bajo, puede decirse que los AF y sus grupos funcionales pueden estar contribuyendo no sólo directamente con esta propiedad sino con la carga variable del suelo. Como se mencionó anteriormente, los AF contienen un mayor número de grupos ácidos, que al disociar sus protones, desarrollan cargas negativas (40).

Respecto a otras propiedades químicas del suelo, la concentración de C de AH y AF no correlacionaron con los niveles de P, K, Ca, Mg y S (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre los contenidos de C de AH, C de AF y algunas variables químicas¹.

	C AH	C AF	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%

¹Métodos de análisis: P: Bray II (colorimétrico); K, Ca, Mg y CIC: Acetato de amonio pH 7; S: Turbidimetría; Al: KCl 1M- EAA; C orgánico: Walkley & Black.

La baja o nula relación existente, particularmente con el AI, puede atribuirse a que el método de laboratorio empleado (KCl 1M) no estima la actividad y la concentración de este ion en la solución del suelo, ni en los procesos relacionados como la complejación, tal como lo registran Escobar *et al.* (30), en andisoles de la zona cafetera colombiana.

Calidad de los AH y su influencia en las características físicas del horizonte A

Hablar de calidad del humus implica señalar algunas cualidades en los suelos cultivados. Con base en el sistema de clasificación de Kumada se efectuó una evaluación del grado de madurez de los AH y se buscó la relación entre esta variable y algunas características del suelo, como se discute a continuación.

Al tomar los promedios de las variables involucradas en la calidad de los AH, puede decirse que en general y sin hacer diferenciación entre cafetales al sol y con sombrío, los AH de los mismos fueron clasificados, en su gran mayoría, dentro de la categoría humus tipo P, lo que indica un grado intermedio de madurez.

La manifestación de AH tipo P podría tener relación con el constante aporte de materiales orgánicos que se da en los agroecosistemas destinados al cultivo del café, lo cual no ha permitido que el humus exprese su máximo estado de madurez. Los ciclos de renovación, que van de cinco a seis años, para cafetales tecnificados, y siete años o más, en plantaciones tradicionales con sombrío, favorecen el ingreso significativo de biomasa (tallos, ramas, raíces y hojas), la cual al descomponerse pasa a conformar la MO lábil y, posteriormente, el humus del suelo. Simultáneamente, la superficie del suelo recibe radiación solar directa y por consiguiente, tanto los materiales en proceso de descomposición como el suelo propiamente dicho, tienden a reducir su contenido de agua y a incrementar su temperatura.

Durante el crecimiento y la fase productiva del cultivo se adicionan fertilizantes orgánicos y de síntesis, algunos de ellos como la urea, exhiben una reacción alcalina que contribuyen a solubilizar ácidos orgánicos.

En resumen, la amplia dinámica en los procesos químicos y biológicos que pueden ocurrir en el interior de un cultivo de café pueden dar explicación del por qué no se presentan AH tipo A, calificación que corresponde al mayor grado de expresión, en cuanto a la madurez de este recurso se refiere, y que algunos investigadores sugieren, puede alcanzarse en suelos sometidos a laboreo continuo en temporalidades superiores a los 150 años.

Si bien, la pedogénesis actúa con mayor intensidad en la superficie del suelo y disminuye conforme se profundiza en el perfil (44), no se descarta que a una mayor profundidad a la que ocupan las raíces funcionales del café (> 30cm), puedan hallarse AH en un mayor grado de humificación.

Al efectuar un análisis del sistema de siembra de café al interior de cada unidad de suelos, los resultados fueron los siguientes:

Unidad Chinchiná: 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 y calidad de los AH, en los suelos de esta unidad pueden hallarse

preferencialmente AH en mediano grado de humificación, sin que exista distinción por efecto del manejo. Sólo en uno de los lotes de libre exposición solar se registraron AH tipo A (Tabla 5).

De acuerdo a lo anterior, el hecho que un suelo sea derivado de cenizas volcánicas, no implica el desarrollo de AH de alta calidad. Shoji y Takahashi (39), en condiciones de Japón, registraron AH tipo B en un horizonte superficial formado a partir de un depósito de cenizas ocurrido en 1914, mientras que en horizontes cuyo origen fueron emisiones de ceniza que datan de hace más de 4.000 años, fueron hallados AH tipo A y tipo B.

En cuanto al color se refiere, no hay un claro indicio para asignar el grado de humificación de los AH de acuerdo a esta variable, situación que se sustenta en que fueron observadas tonalidades negras, pardas (oscuras y muy oscuras) e incluso rojas oscuras. Esta circunstancia deja en entredicho que los suelos con colores muy oscuros (tendientes a negros) son portadores de AH de alta calidad como el de tipo A.

Cabe resaltar que variables como el color y el índice melánico (IM) son criterios que utiliza el sistema de clasificación de suelos para hacer distinción de andisoles al nivel de gran grupo. Particularmente, para aquellos catalogados como andisoles melánicos (presencia de AH tipo A), aparte de tener propiedades ándicas, es requisito que el value/chroma esté por debajo de 2/2 (39) y el IM sea inferior a 1,65.

Con base en lo anterior, para las condiciones de esta unidad de suelo considerada dentro del orden andisol, el suelo cuyos AH fueron catalogados tipo A, presentó un color de 10 YR 3/2 y un IM de 1,83. Resultados que reafirman que la variable color puede ser en

Tabla 5. Tipo de AH y color para suelos de la unidad Chinchiná.

Modalidad	Color	$A_{665/C}$	$\text{Log}_{465/665}$	Tipo humus	
Café con sombrío	10 YR 3/2	Negro	4,76	0,35	P
	10 YR 3/2	Pardo muy oscuro	1,76	0,38	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	5,87	0,27	P
	10 Y 2,5/1	Negro	1,88	0,60	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	5,16	0,28	P
	10 YR 3/2	Pardo muy oscuro	4,77	0,30	P
	10 Y 2,5/1	Negro	1,94	0,65	P
Café al sol	2,5 YR 3/2	Rojo oscuro	6,81	0,32	P
	10 YR 3/2	Pardo oscuro	10,86	0,33	A
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	1,20	0,56	P
	7,5 YR 2,5/1	Negro	0,32	0,53	P
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	0,94	0,65	P
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	2,81	0,64	P
	10 YR 2/1	Negro	2,01	0,62	P

muchos casos insuficiente y/o subjetiva como para efectuar precisiones en lo que tiene que ver con el uso y manejo del suelo. Aunque es válido anotar también que los índices en mención, se han desarrollado a partir de los estudios de suelos en Japón, por lo que pueden haber ciertas discrepancias.

Unidad Guamal: Valores de $A_{665/C}$ y de $\text{Log}_{465/665}$ por encima de 7,95 y 0,22 respectivamente, fueron suficientes para que empezar a manifestarse AH de alta calidad, es decir, tipo A (Tabla 6). 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 este componente.

Con relación al color, los suelos en donde se encontraron AH tipo A presentaron valores de 4 en chroma, mientras que para los demás suelos los valores fueron menores. 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 los AH.

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 7).

Al igual que para los dos casos anteriormente presentados, no se mantiene relación alguna entre el tipo de AH 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 AH tipo P, esto reafirma la poca relación entre estas dos variables.

Unidad Tablazo: La Tabla 8 muestra que los suelos de esta unidad presentaron AH tipo P; los colores fueron pardo muy oscuro y negro rojizo, con valores en el chroma de 2,0 y 2,5 respectivamente, aspecto que no logra explicar de manera satisfactoria el tipo de AH encontrado allí.

Tabla 6. Tipo de AH y color para suelos de la unidad Guamal.

Modalidad	Color	$A_{665/C}$	$\text{Log}_{465/665}$	Tipo Humus	
Café con sombrío	7,5 YR 3/4	Pardo oscuro	7,95	0,34	A
	7,5 YR 3/3	Pardo oscuro	3,79	0,46	P
	5 YR 3/3	Pardo rojizo oscuro	4,83	0,39	P
Café al sol	7,5 YR 4/4	Pardo	11,77	0,31	A
	7,5 YR 4/4	Pardo	21,60	0,22	A
	7,5 YR 2,5/2	Pardo muy oscuro	3,12	0,49	P

Tabla 7. Tipo de AH y color para suelos de la unidad Doscientos.

Modalidad		Color	$A_{665/C}$	$\text{Log}_{465/665}$	Tipo Humus
Café con sombrío	10 YR 3/4	Pardo amarillo oscuro	1,47	0,68	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	1,29	0,44	P
	10 YR 2/1	Negro	2,13	0,60	P
	10 YR 4/3	Pardo	1,44	0,52	P
Café al sol	10 YR 3/2	Pardo grisáceo oscuro	1,33	0,55	P
	10 YR 3/4	Pardo amarillo oscuro	2,06	0,45	P
	10 YR 3/3	Pardo oscuro	2,88	0,54	P
	7,5 YR 4/6	Pardo fuerte	3,30	0,47	P

Unidad Maiba: Similar a lo hallado en la unidad Tablazo, los AH encontrados en los suelos de esta unidad fueron tipo P (Tabla 9). En estos suelos prevalecieron las condiciones de reducción, efecto reflejado por los colores pardo oliva y pardo grisáceo en su perfil.

Unidad Cascarero: En esta unidad hubo presencia de AH tipo P y Rp, los cuales se asocian con grados medio y bajo grado de humificación (Tabla 10). 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

Tabla 8. Tipo de AH y color para suelos de la unidad Tablazo.

Modalidad		Color	$A_{665/C}$	$\text{Log}_{465/665}$	Tipo Humus
Café con sombrío	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	2,16	0,31	P
	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	1,60	0,58	P
Café al sol	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	0,80	0,45	P
	2,5 YR 2,5/1	Negro rojizo	0,10	0,44	P

Tabla 9. Tipo de AH y color para suelos de la unidad Maiba.

Modalidad		Color	$A_{665/C}$	$\text{Log}_{465/665}$	Tipo Humus
Café con sombrío	2,5 Y 3/3	Pardo oliva oscuro	1,32	0,74	P
	10 YR 3/2	Pardo gris oscuro	0,45	0,58	P
Café al sol	10 YR 4/4	Pardo amarillo oscuro	0,52	0,66	P
	10 YR 3/4	Pardo amarillo oscuro	0,36	0,77	P

Tabla 10. Tipo de AH y color para suelos de la unidad Cascarero.

Modalidad		Color	$A_{665/C}$	$\text{Log}_{465/665}$	Tipo Humus
Café con sombrio	2,5 Y 3/3	Pardo oliva oscuro	0,97	0,81	RP
	2,5 Y 3/3	Pardo oliva oscuro	0,60	0,63	P
Café al sol	10 YR 3/2	Pardo gris muy oscuro	2,00	0,64	P
	10 YR 3/2	Pardo gris muy oscuro	2,65	0,62	P

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 AH sea el de menor grado de madurez entre los encontrados para las demás unidades de suelos.

Zapata (44) sostiene que los distintos rasgos pedológicos requieren de tiempos muy variables para su manifestación y son varios los procesos que actúan simultáneamente para dar lugar a un horizonte.

Consideración práctica

La discusión de los resultados obtenidos, no pretende controvertir todo un conjunto de razones que por décadas han permitido señalar que las tonalidades oscuras o el color negro de un suelo constituyen un indicador de su fertilidad. Más bien se busca crear conciencia de que los suelos portadores de tonalidades diferentes al pardo o negro, no son necesariamente de mala calidad, puesto que la fertilidad del suelo involucra un conjunto de características físicas, químicas y biológicas, que requieren más que de un análisis visual, un análisis de tipo cuantitativo para su evaluación.

Debe considerarse que el suelo también hereda su coloración del material parental (color litocrómico), algunas veces de manera tan “marcada” como para enmascarar el color del componente orgánico del mismo. Ejemplo de ello, se da en suelos pertenecientes a la unidad cartográfica Villeta, que aflora en la zona cafetera de Cundinamarca y Boyacá, los cuales se caracterizan por presentar un horizonte superficial negro o gris muy oscuro, como consecuencia de los compuestos químicos generados por la meteorización de su material parental (14).

Calidad de los AH y su influencia en las características químicas del horizonte A

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, dicha situación puede verse en la Figura 9.

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.

Se destaca que la mayor proporción de suelos evaluados presentó valores de estabilidad estructural por encima del 90% y que aquellos con niveles menores, coincidieron con presentar AH tipo Rp (Figura 10).

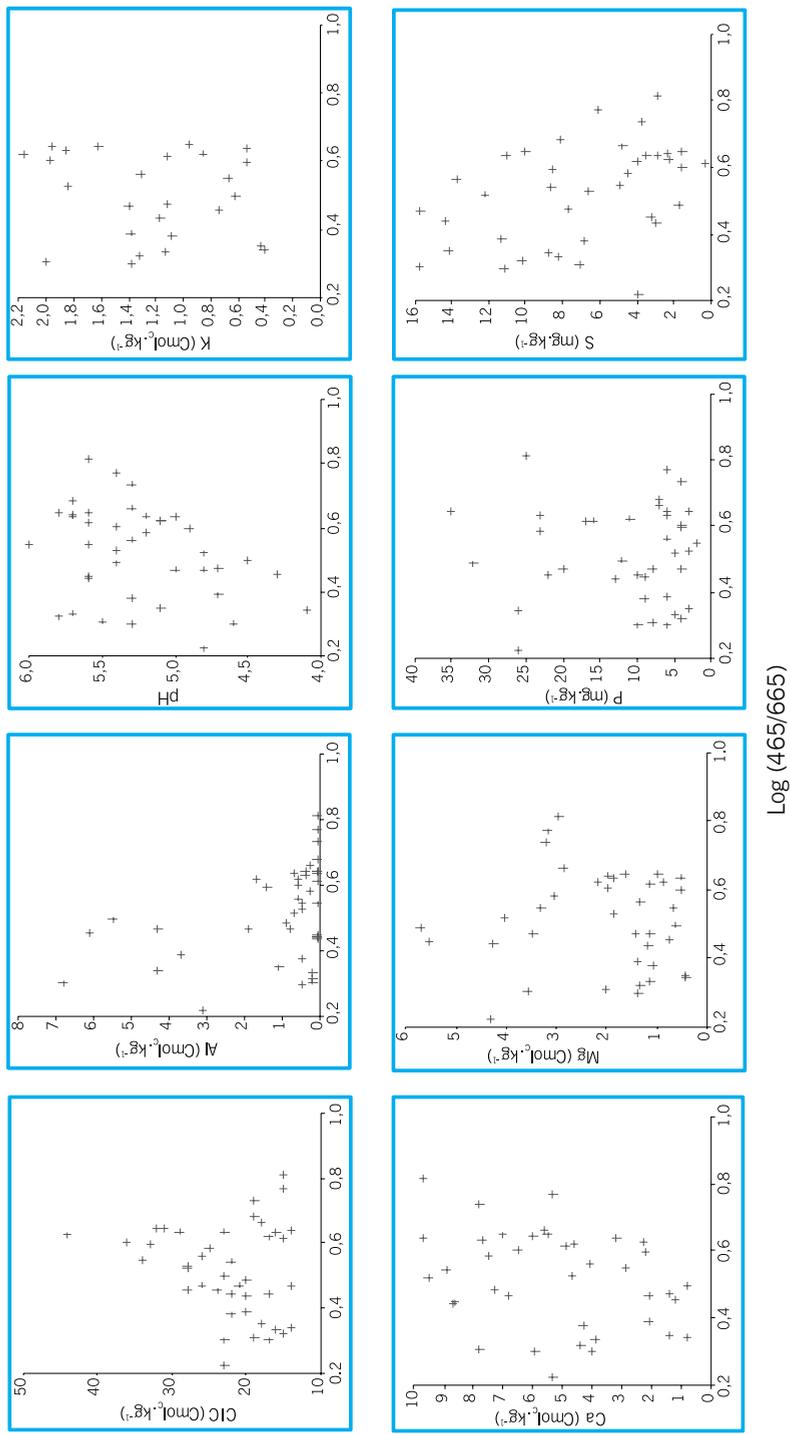


Figura 9. Variaciones de algunas características químicas en función del grado de humificación de los AH.

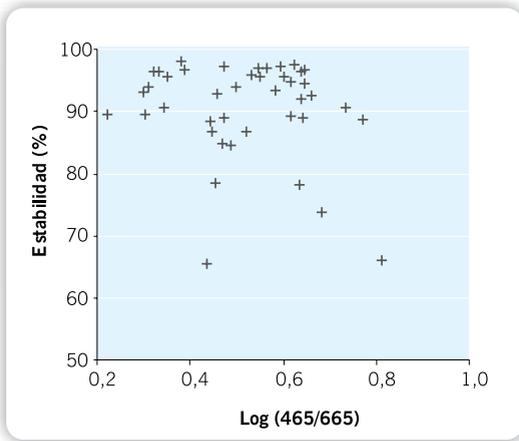


Figura 10. Variaciones en los valores de la estabilidad estructural en función del grado de humificación de los AH.

Consideración final

Los resultados discutidos anteriormente, muestran que el humus no constituye una fuente de nutrimentos, su función principal está relacionada con la formación y estabilidad de la estructura del suelo, aspectos que determinan el almacenamiento de humedad, flujo de aire y solutos suficientes para las funciones vitales de las plantas, macro, meso y microorganismos, y que en su conjunto constituyen parte fundamental de lo que define la fertilidad de los suelos cultivados.

Literatura citada

1. ANDREUX, F. La materia orgánica del suelo desde la perspectiva pedogenética. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 35 (1): 5-22. 2005.
2. BALLESTEROS J.; BERNAL J.; CORREA A.; CASTRILLÓN W. Caracterización semicuantitativa de las sustancias húmicas de un Acrudixic Melanudands Medial Amórfico isotérmico. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 33 (1): 27-35, 2003.
3. BARANCIKOVÁ, G. Changes of humic acids structure on selected key monitoring localities of arable soils. Rostlinná Výroba 48 (1): 40-44. 2002.
4. BARRAGÁN C.; URIBE, M.; CORREA A.; CASTRILLÓN W. Selectividad y eficiencia de tres agentes extractantes en la extracción de sustancias húmicas en suelos de la amazonía colombiana. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 31 (1): 49-55. 2001.
5. BURBANO O., H. El suelo una visión sobre sus componentes biorgánicos: Pasto (Colombia), Universidad de Nariño, 1989. 447 p.
6. BURDON, J.N. Are the traditional concepts at the structures of humics substances realistic. Soil Science 166: 752-769. 2001.

7. CANELLAS L. P.; BERNER, P.G.; DA SILVA, S.G.; SILVA B. M.; SANTOS DE A. G. Fracoes da materia orgánica em seis solos de una toposequencia no estado do rio de Janeiro. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brasil) 35(1): 2-15. 2000.
8. CANELLAS L. P.; AZEVEDO E., J. A.; REZENDE, C. E.; BARBOSA DE C., P.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA M., J.G.; TEIXERA G., M.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. Scientia Agrícola (Piracicaba Brasil). 61 (1): 1-15. 2004.
9. 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 (Colombia) N°. 334:1-8. 2005.
10. 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 (Colombia) 33 (1): 43-51, 2003.
11. 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.
12. DA SILVA, I.R.; SA MENDOZA, E. Materia orgánica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). Fertilidade de solo. Sociedade Brasileira de la Ciencia do solo. Viosa. 2007. p 276-374.
13. GONZÁLES, L.; HERNÁNDEZ, J.R.; PERESTELO, F.; CARNICERO, A.; FALCÓN, M. A. Relationship beetwen mineralization of syntetic lignins and the generation of hydroxyl radicals by laccase and low molecular weight substance produced by *Petrillidium fusoideum*. Enzyme and Microbial Technology 30: 474-481. 2002.
14. GONZÁLEZ O., H. Consideraciones sobre algunas unidades de suelo de la zona cafetera colombiana. In: INTEGRACION Nacional sobre Nutrición y Fertilización de Café, 1. San Andrés (Colombia), Julio 15-18, 2008. 24 p.
15. GONZÁLEZ O., H.; ZAPATA H., R.D; SADEGHIAN K., S. Caracterización de los ácidos húmicos en suelos de la zona cafetera de Caldas. Cenicafé (Colombia) 60 (1): 25-40. 2009.
16. GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S.; ZAPATA H., R.D.; MEJÍA M., B. Fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera. Cenicafé (Colombia) 59 (4): 311-322. 2008.
17. HAMEL, K. E. Fungal degradation of lignin. In: Driven by nature. Plant litter quality and descomposition (Cadish and Giller ed.). CAB International. Cambridge UK. 1997. P33- 46.
18. HAYNES, J., R. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An Overview. Advances in Agronomy (Estados Unidos). 85: 221-268. 2005.
19. 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.
20. INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY (IHSS). Formación de las sustancias húmicas [en línea]: Colorado (Estados Unidos), <http://www.ihss.gatech.edu/>. [Consulta: Julio 2005].
21. JARAMILLO R., A. Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2005. 192 p.

22. KONONOVA, M. M. Soil organic matter; its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Nueva York (Estados Unidos), Pergamon Press, 1961. 450p.
23. KUMADA, K. Chemistry of soil organic matter. Japan Scientific Societies Press, Tokyo, and Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 1987.
24. 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.
25. LOBARTINI, J.C.; ORIOLI, G.A. Las sustancias húmicas y la nutrición vegetal. Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de la Plata (Argentina) 101(2): 201-209. 1996.
26. 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).
27. 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.
28. MORALES L., C. S. Disponibilidad del hierro influenciada por la aplicación de ácidos húmicos extraídos de cachaza. Palmira (Colombia), Universidad Nacional de Colombia, 1996. 92 p.
29. NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humics substances on higher plants. Soil biology & Biochemistry 34: 1527-1536, 2002.
30. 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 (Colombia) 57(1):51-57, 2006.
31. PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. Soil Science (Estados Unidos) 166(11):810-832. 2001.
32. PINTO, R.; VARANINI, Z.; NANNIPIERI, P. The rhizosphere; biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Nueva York (Estados Unidos), Marcel Dekker, 2001. 424 p.
33. PLAZA, C.; NOGALES, R.; SENESI, N.; BENITEZ, E.; POLO, A. Organic matter humification by vermicomposting of cattle manure alone and mixed two-phase olive pomace. Bioresource Technology 99: 5085-5089. (2008).
34. RICE A, J.; Humin. Soil Science (Estados Unidos) 166(11): 848-857. 2001.
35. 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. Bioatividade 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.
36. ROMERO, E.; PLAZA, C.; SENESI, N.; NOGALES, R.; POLO, A. Humic acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes. Geoderma 139: 397-406. (2007).

37. 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.
38. SCHNITZER, M. A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter. *Advances in Agronomy (Estados Unidos)* 68: 1-58. 2000.
39. SHOJI S.; TAKAHASHI, T. Environmental and agricultural significance of volcanic ash soils. *Global environments research* 6 (2): 113 – 135, 2002.
40. STEVENSON, F.J.; COLE, M. A. Cycles of soil; carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2. ed. New York (Estados Unidos), John Wiley, 1999.
41. TAN, K. H. Humic matter in soil and the environment, principles and controversies. Georgia (Estados Unidos), Marcel Dekker, 2003. 386 p.
42. 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.
43. WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid (España), Universidad Politécnica de Madrid, 1992. P 595 – 635.
44. ZAPATA H, R. D. Química de los procesos pedogenéticos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Medellín (Colombia). Universidad Nacional de Colombia, 2006. 358p.
45. ZAPATA H., R. D. Función de la materia orgánica sobre la movilidad iónica. *Suelos Ecuatoriales* 35 (1): 23-35, 2005.
46. 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): 117-161. 1