

CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL DE UN ANDISOL HIDROMÓRFICO DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO (COLOMBIA)

Daniel Francisco Jaramillo Jaramillo¹

Resumen

Jaramillo J. Daniel F.: Caracterización de la materia orgánica del horizonte superficial de un andisol hidromórfico del oriente antioqueño (Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **35** (134): 23-33. 2011. ISSN 0370-3908.

Se estudió la materia orgánica (MOS) acumulada en el horizonte superficial de un Andisol de régimen de humedad ácuico. La mayor parte de la MOS está compuesta por residuos orgánicos no húmicos, con bajo grado de evolución y el contenido de complejos órgano-minerales en el horizonte superficial es bajo. El horizonte A presentó, en promedio, un espesor considerable (31,2 cm), color oscuro, alto contenido de MOS (17,65 %), mayor contenido de ácidos húmicos que de ácidos fúlvicos, una baja relación E4/E6 (3,55) y un IM bajo (1,615). Los ácidos húmicos presentaron valores bajos de $\Delta \log k$ (0,54) y de RF (17,58). La fracción húmica de la MOS está conformada por ácidos húmicos de alto peso molecular, con bajo grado de polimerización y de condensación de compuestos aromáticos. Los ácidos húmicos de todas las muestras correspondieron al tipo P y la mayoría fue del tipo Po. La acumulación y poca evolución de la MOS parece estar controlada por el clima frío húmedo, el mal drenaje y la topografía del terreno.

Palabras clave: Andisol, materia orgánica del suelo, índices de calidad de MOS, tendencia espacial.

Abstract

A study was carried out to determine the soil organic matter content and characteristics from a surface horizon of an aquatic moisture regime Andisol. Most of the MOS was constituted by non-humic organic materials with low degree of evolution. The content of organic-mineral complexes in this surface horizon was low. The A horizon exhibited a considerable thickness (31.2 cm), dark color, high MOS (17.65 %), higher content of humic acids than fulvic acids, low E4/E6 ratio (3.55) and low IM (1615). The humic acids showed low values of $\Delta \log k$ (0.54) and RF (17.58). The humic fraction of the MOS was constituted by high molecular weight humic acids that had low

¹ Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 3840. Medellín. djaramal@unal.edu.co

degree of both polymerization and condensation of aromatic compounds. The humic acids of all samples corresponded to the P-type, mostly Po-type. The accumulation and limited evolution of MOS was seems to be associated with the wet cold weather, restricted soil drainage and relief of field.

Key words: Andisol, soil organic matter, soil organic mater quality indices, geostatistics, soil variability.

Introducción

La materia orgánica del suelo (MOS), aunque no es su componente más abundante, en la mayoría de los suelos, sí es el más importante en todos debido a la gran actividad físico-química y biológica que genera y que controla en el mismo. La MOS, según **Zagal et al.** (2002), está formada por dos componentes básicos, desde el punto de vista físico: una fracción liviana y una fracción pesada.

La fracción liviana se caracteriza por no estar muy firmemente asociada con los minerales del suelo y por ser una materia orgánica poco transformada; posee una relación C/N con valores entre 12 y 39 y una densidad específica $< 2 \text{ Mg m}^{-3}$. Constituye hasta el 30% de la MOS (**Zagal et al.**, 2002).

La fracción pesada es aquella que se encuentra incorporada en los complejos órgano-minerales del suelo y que está fuertemente transformada. Tiene menor relación C/N y mayor densidad específica que la fracción ligera y constituye entre 30 y 50 % de la MOS (**Zagal et al.**, 2002).

Químicamente, la MOS se compone de una fracción macroorgánica o de materiales orgánicos frescos y de humus. El componente más importante es el humus, que puede representar hasta el 90 % del carbono total del suelo. A su vez, el humus se ha dividido, convencionalmente, en sustancias no húmicas y en sustancias húmicas (**Bendeck**, 2003), siendo estas últimas las más importantes en el suelo, debido a sus propiedades características: es un material coloidal, de composición indefinida, oscuro, con alta superficie específica y alta actividad química (CIC). Según su solubilidad se puede fraccionar el humus en 3 grupos de compuestos: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas.

Según **Bendeck** (2003) la polimerización o policondensación de compuestos fenólicos produce, en primer lugar, los AF en los que predominan las cadenas alifáticas sobre los núcleos aromáticos. Al seguir aumentando la condensación y la cantidad de núcleos aromáticos y disminuir las cadenas alifáticas, se forman los AH. Un incremento en la condensación de los núcleos aromáticos con un empobrecimiento en cadenas alifáticas y en grupos fun-

cionales, principalmente COOH, conlleva a la formación de la humina.

Los AF difieren de los AH en que son menos condensados, tienen menor tamaño y peso molecular y tienen mayor cantidad de grupos funcionales oxigenados; así mismo son más jóvenes, más reactivos y más móviles (**Bendeck**, 2003). Según Dorronsoro, citado por **González** (2008), los AF son solubles a cualquier pH, se dispersan fácil en agua y tienen mayor acidez y mayor capacidad de complejación que los AH, los que son insolubles en agua y en casi todos los solventes no polares, pero son solubles en soluciones alcalinas. Las huminas son insolubles en cualquier pH.

La MOS se puede caracterizar mediante muchas técnicas, dependiendo de lo que se quiera conocer en específico. De los aspectos más importantes para conocer de la MOS están la cantidad y propiedades de la fracción húmica, así como el grado de humificación que ella tiene, para lo cual se utilizan métodos de separación densitométrica y luego, por medio de extracciones selectivas en las diferentes fracciones separadas, se pueden caracterizar su composición y otras propiedades entre las que **Bendeck** (2003), **Andreux** (2005) y **Favoretto** (2007) señalan como importantes el establecimiento de los contenidos de carbono en los AH (CAH) y en los AF (CAF), la relación de humificación (CAH/CAF), las densidades ópticas a diferentes longitudes de onda en el espectro UV-Visible y la composición elemental de los AH.

La determinación de la densidad óptica de los extractos obtenidos con las disoluciones selectivas es una de las metodologías de caracterización más utilizadas puesto que, como apunta **Ruiz** (2003), es una de las determinaciones más simples desde el punto de vista analítico y porque, según **Kononova** (1982) varían de acuerdo con el tipo y grado de madurez o de humificación que tengan las sustancias húmicas.

Las longitudes de onda a las cuales se determinan las densidades ópticas con mayor frecuencia son 465 nm (E4) y 665 nm (E6), con las cuales se determina la relación E4/E6 (**Chen et al.**, 1977, **Ruiz**, 2003) y conocida como índice de humificación (**Stevenson**, 1982) o índice cromático (**Correa**,

2005). También son muy utilizadas las absorbancias a 450 y 520 nm con las cuales se determina el índice melánico (IM) para definir la presencia de un epipedón melánico en los Andisoles, según la relación (Abs 450/Abs 520) por el método de Honna *et al.* (**Icomand**, 1988, **Motta *et al.***, 1990). Las densidades ópticas E4 y E6 son la base de la clasificación de los AH de **Kumada** (1987).

Chen *et al.* (1977) encontraron que la relación E4/E6 de los AH y de los AF es independiente de la concentración que tenga cada uno de los ácidos, aunque la absorbancia individual si depende de aquella y que la relación decrece al aumentar el peso molecular de los compuestos o el tamaño de las partículas. Según **Kononova** (1982) el valor de la relación E4/E6 depende del suelo en el que se haga la extracción.

La relación E4/E6 de los AF es mayor que la de los AH, en la mayoría de los casos, debido a que los AF tienen menor tamaño, menor peso molecular, menor contenido de C y mayor de oxígeno que los AH (**Chen *et al.***, 1977, **Avellaneda *et al.***, 2005, **Zamboni *et al.***, 2006). Además, los AH tienen mayor grado de polimerización (**Ruiz *et al.***, 1997) y de condensación de compuestos aromáticos (**Rivero y Paolini**, 1994). A pesar de lo anterior, hay estudios en los que se ha observado que dicha relación ha sido mayor para los AH (**Bravo *et al.***, 2007). En general, una relación E4/E6 más alta implica un suelo más joven y con mayor humificación de la MOS (**Bravo *et al.***, 2007).

Debido a la capacidad diferencial que tienen diferentes solventes de extraer compuestos distintos del suelo sometido a lavado con ellos, así como a la capacidad que tienen de interactuar con los compuestos orgánicos del suelo y producir cambios en su estructura, la relación E4/E6 también varía dependiendo del extractante y de la metodología que se utilice para procesar las muestras y los extractos (**Piccolo**, 1988).

Piccolo (1988), en un suelo orgánico (Histosol), realizó extracciones con hidróxido de sodio y con pirofosfato de sodio; purificó unos extractos y los otros no y obtuvo relaciones E4/E6 comprendidas entre 3 y 6,3, siendo los extractos purificados los de mayor valor en la relación. **Jaramillo** (2000) lavó Andisoles repelentes al agua con mezclas de etanol-benceno y de isopropanol-amoniaco y obtuvo relaciones E4/E6 mayores a 10 en los extractos de etanol-benceno, en 13 de los 15 suelos estudiados, mientras que las relaciones fueron menores a 10 en 14 de los 15 extractos de isopropanol-amoniaco.

Como se mencionó anteriormente, el valor de la relación E4/E6 varía según el suelo tratado. **Rivero y Paolini**

(1994) y **Ruiz *et al.*** (1997) encontraron, en suelos de Venezuela, variaciones en las relaciones E4/E6 para los AH de Alfisoles entre 3,86 y 5,53, en Inceptisoles valores de 4,82, en Vertisoles variaciones entre 4,01 y 4,57 y en Ultisoles valores entre 3,29 y 3,6; **Zamboni *et al.*** (2006), en Mollisoles del Valle del Cauca encontraron relaciones entre 3 y 4,6 y **Avellaneda *et al.*** (2005), **Bravo *et al.*** (2007) y **Mosquera *et al.*** (2007), en Andisoles de los departamentos de Caldas y Cauca (Colombia) obtuvieron relaciones desde menores de 2,8, hasta de 4,64.

La relación de humificación (CAH/CAF) es otra manera de caracterizar la fracción húmica de la MOS y establece cuál componente de ésta (AH o AF) predomina en el suelo. Una relación baja implica un bajo grado de humificación, mayor tamaño molecular y mayor carácter aromático en los AH que en los AF (**Shoji *et al.***, 1993, **Andreux**, 2005, **Zamboni *et al.***, 2006, **Bravo *et al.***, 2007).

Como en la relación E4/E6, el valor de la relación CAH/CAF también cambia según el suelo y el horizonte de éste en que es evaluada, así como con el extractante utilizado (**Tan**, 1978). **Rivero y Paolini** (1994) encontraron relaciones entre 2 y 3 para Alfisoles y de 5,87 para un Inceptisol, en Venezuela. En Mollisoles del Valle del Cauca, **Zamboni *et al.*** (2006) encontraron relaciones mayores en suelos cultivados con caña de azúcar que en suelos bajo bosque; además, las relaciones con menores valores, en ambas coberturas, las obtuvieron cuando utilizaron como extractante el NaOH; atribuyeron la mayor relación en caña a condiciones microclimáticas y al aporte permanente de biomasa al suelo que indujeron una rápida transformación de AF en AH, predominando el proceso de humificación sobre el de mineralización. **Correa** (2005) afirma que las sustancias húmicas extraídas con tetraborato y pirofosfato de sodio son más condensadas (CAH/CAF > 1) que las extraídas con hidróxido de sodio (CAH/CAF < 1) que extrae más AF.

Correa (2005) en una amplia revisión reporta que en Oxisoles, Ultisoles, Alfisoles e Inceptisoles de la altillanura plana y de la Orinoquia mal drenada predominan los AF poco polimerizados sobre los AH. En Andisoles mal drenados de la región andina fueron dominantes los AH en el horizonte superficial y en profundidad los AF. En Espodosoles de la Orinoquia colombiana **Andreux** (2005) también encontró que los AH predominaban en el horizonte A y que los AF lo hacían en los horizontes B epódicos.

Kumada (1987), aprovechando los espectros UV-Vis, ha propuesto un sistema de clasificación de los AH, teniendo como uno de los parámetros de clasificación el Dlog k [\log de la absorbancia a 400 nm ($\log k_{400}$) – \log de la absorbancia a 600 nm ($\log k_{600}$)], donde a menor valor de

$\Delta \log k$ se tendrá mayor grado de humificación en los AH y mayor número de grupos funcionales ácidos en ellos. El otro parámetro utilizado en este sistema de clasificación es el RF, que es una medida del color relativo de los AH y que se calcula mediante la titulación de 30 mL de la solución de AH utilizada para hacer el espectro UV-Vis con KMnO_4 0.1 N, con la siguiente relación: $\text{RF} = k600 * 1000/c$, donde c es el volumen de permanganato gastado en la titulación. La relación entre $\Delta \log k$ y RF es inversa. Los AH extraídos del suelo se clasifican en 5 grupos básicos: A, B, Rp, Po y P. La definición del tipo de AH se hace ubicando los valores de $\Delta \log k$ y de RF en un gráfico diseñado para el efecto, que corresponde a un plano cartesiano cuyos ejes son esos dos parámetros.

Rivero y Paolini (1994), han resumido algunas propiedades básicas de los diferentes tipos de AH de Kumada, estableciendo que la acidez total, el contenido de grupos carboxilo y carbonilo y el contenido de nitrógeno total decrecen en el sentido: $\text{Rp} > \text{Po} > \text{B} > \text{A}$, en tanto que el contenido de grupos hidroxilo y metoxilo decrece en el sentido: $\text{A} > \text{B} > \text{Po} > \text{Rp}$. Además, apuntan que el menor grado de evolución en el suelo se manifiesta con menores valores de RF y mayores valores de $\Delta \log k$.

Según **Kumada** (1987), la humificación de los AH empieza en los de tipo Rp que pasan a tipo B y luego a tipo A; en suelos fuertemente ácidos, los AH tipo Rp son reemplazados por los de tipo P. **Jaramillo** (2000) caracterizó los AH extraídos de los primeros centímetros del horizonte superficial de 12 perfiles de Andisoles repelentes al agua con cobertura de *Pinus patula*, encontrando que correspondían a AH tipo Rp, específicamente al subtipo Rp(2) por el alto contenido de materia orgánica fresca presente en ese horizonte.

En otro perfil de Andisol con cobertura de *Cupressus lusitanica*, tanto en el horizonte A superficial y repelente al agua como en los horizontes A enterrados que encontraron hasta los 40 cm de profundidad, **Jaramillo et al.** (2006) caracterizaron los AH como del tipo P, variando entre los subtipos Po y P ±, lo que indica un bajo grado de humificación (**Kumada**, 1987, **Shoji et al.**, 1993). El mismo tipo de AH fue encontrado por **López** (1996) en los primeros 100 cm de un Andisol de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Oriente Antioqueño, Colombia), bajo cobertura de ciprés (*Cupressus lusitanica*).

Con respecto a los factores que intervienen en la dinámica de las diferentes fracciones de la MOS no se encuentra unanimidad entre los investigadores. Aunque se acepta el efecto que tienen en ella los factores de formación del suelo, sobre todo el clima y el material parental (**Ruiz et al.**,

1997, **Andreux**, 2005, **Mosquera et al.**, 2007 y varios citados por **Correa**, 2005), hay diferencias sobre el efecto que pueden tener la cobertura vegetal, el uso y el manejo de los suelos. Algunos han encontrado que la cantidad y tipo de MOS que se acumula en el suelo se ve afectado por el manejo agronómico del mismo como laboreo, rotación de cultivos, fertilización y manejo de los residuos de las cosechas (**Zagal y Córdova**, 2005), mientras que otros (**González**, 2008) no encontraron una relación significativa entre el material parental, el uso y el manejo de los suelos con la concentración de los AH y de los AF en los primeros 30 cm del suelo.

Ruiz et al. (1997) encontraron diferencia significativa entre el grado de humificación de los AH del horizonte superficial de Vertisoles y Ultisoles y la atribuyeron a la condición de drenaje y a las diferencias en el contenido y tipo de arcillas presentes en ambos suelos. **Zamboni et al.** (2006) atribuyeron el mayor contenido de AH que encontraron en el horizonte superficial de Mollisoles al buen contenido de bases que tenían. **Correa** (2005) reporta trabajos en los que se ha encontrado que el grado de humificación de la MOS en Andisoles se ha observado en aquellos horizontes que han presentado mayores contenidos de alofana. **Avellaneda et al.** (2005) no encontraron diferencias en la caracterización de los AH de Andisoles que se pudieran relacionar con diferencias en la cobertura vegetal y en el manejo que tenían los suelos, en cambio, **Broquen et al.** (2005) sí encontraron diferencias significativas en los valores de la relación CAH/CAF del horizonte superficial de Andisoles y Mollisoles de la Patagonia Argentina que atribuyeron a cambios en la cobertura vegetal puesto que se hacían aportes de materiales orgánicos de diferente naturaleza en ellos.

Con este trabajo se caracterizó la MOS del horizonte superficial de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño, estableciendo los contenidos de CAH y CAF que tiene, así como su calidad.

Materiales y métodos

Descripción y localización del área de estudio

El estudio se hizo en una finca ubicada en cercanías a la vía que conduce de la autopista Medellín-Bogotá al aeropuerto José María Córdova, en la vereda Ranchería del municipio de Guarne (Antioquia, Colombia), localizada en las siguientes coordenadas: 6°11'46.02" N, 75°26'18.51" W. Altitudinalmente, el lote experimental está ubicado entre los 2184 y los 2189 m.

La parcela experimental se encuentra desarrollada sobre depósitos aluviales con un recubrimiento espeso de

ceniza volcánica (Figura 1a); tiene relieve inclinado con pendiente alrededor de 7% (Figura 1b) y posee problemas de mal drenaje con nivel freático alto la mayor parte del tiempo (Figura 1a); se encuentra bajo cobertura vegetal de gramas. El clima de la zona es frío húmedo.

El sitio experimental ha estado sometido a explotación agropecuaria (no se tiene información sobre el tiempo que duró la misma) y, en los últimos 5 años antes de hacer el trabajo, estuvo utilizado en recreación (finca de descanso) con siembra y fertilización (elementos mayores y materia orgánica) esporádica de frutales (manzano, aguacate), sin mucho éxito, y de gramas naturales.

En general, los suelos presentan un horizonte A oscuro que tiene un espesor promedio de 32 cm (Figura 1a), de textura media (FL) y bien estructurado en bloques subangulares finos. Son Andisoles con régimen de humedad ácuico y de temperatura isomésico y al nivel de subgrupo se clasificaron como Typic Endoaquand. Según **Jaramillo** (2008) son ligeramente ácidos y tienen bajo contenido de fósforo disponible y de bases intercambiables y una alta CIC variable. Están limitados en su profundidad efectiva por la presencia de un nivel freático alto, evidenciado por una fuerte gleización y moteos que empiezan a aparecer a una profundidad promedio de 41 cm (Figura 1a).

Muestreo

Se realizó un muestreo intensivo en red flexible con el que se recolectaron en total 63 muestras espaciadas, en promedio, 8,66 m. En cada sitio de muestreo se midió el espesor del horizonte A (EHA, cm) y se determinó su color Munsell. Luego se tomó una muestra disturbada del horizonte superficial y se empacó en una bolsa plástica hermética que se destinó para hacer los análisis de laboratorio respectivos.

Propiedades evaluadas en el laboratorio

En las muestras traídas al laboratorio se determinó el contenido de materia orgánica del suelo (MOS, %) y se hizo la caracterización espectroscópica de dicha materia orgánica, haciendo una extracción con NaOH 0,1 M, en una proporción 1:10. El extracto obtenido fue acidificado con H_2SO_4 hasta alcanzar un pH entre 1 y 2, con lo cual se obtiene un precipitado (ácido húmico) y un extracto en el cual queda disuelta la fracción fúlvica; se separan las dos fracciones y en cada una se determina el contenido de carbono teniendo así el contenido de carbono de los ácidos húmicos (CAH, %) y el de carbono en los ácidos fúlvicos (CAF, %); con estos resultados se estableció la razón de humificación mediante la relación CAH/CAF (**Tan**, 1978). Todas las determinaciones de carbono se hicieron con el método de Walkley y Black (**Motta et al.**, 1990). Con los valores de aluminio extraído con pirofosfato de sodio (Alp), tomados de **Jaramillo** (2008) y transformando MOS en carbono orgánico (Corg), mediante la ecuación $[Corg = MOS/1,724]$, se estableció la relación Corg/Alp (**García-Rodeja et al.**, 2004).

Adicionalmente, en el extracto obtenido se hizo la caracterización de los ácidos húmicos por el método de Nagoya, descrito por **Kumada** (1987) y se estableció su índice melánico (IM) por el método de Honna *et al.*, descrito por **Icomand** (1988). Además, se estableció su relación E4/E6 con las absorbancias a 465 nm (E4) y a 665 nm (E6) (**Chen et al.**, 1977).

Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos con todas las variables fueron sometidos a análisis exploratorios para determinar los estadísticos que las caracterizaron: media, desviación

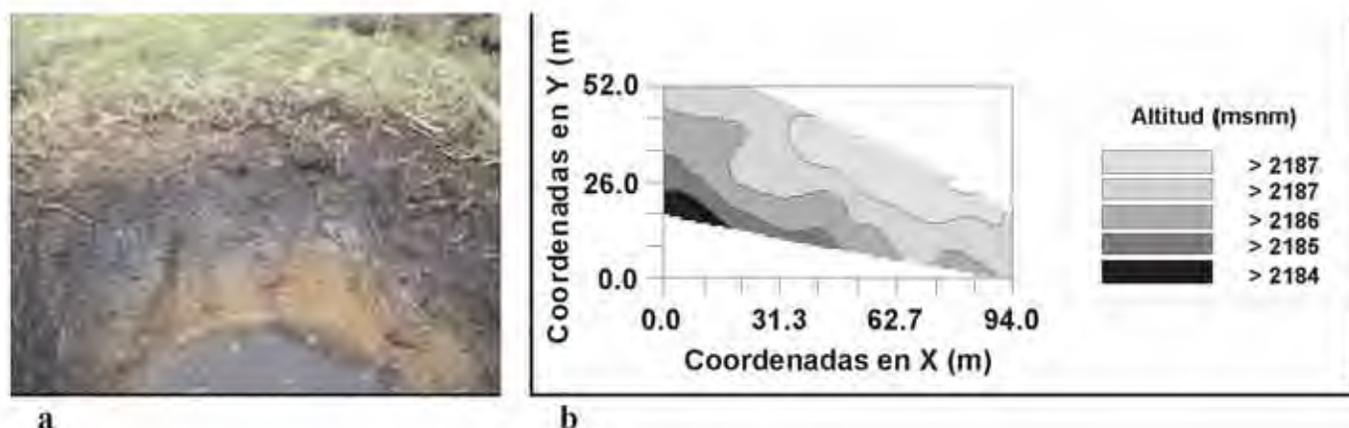


Figura 1. a. Perfil del suelo y nivel freático. b. Mapa topográfico del terreno.

estándar, valores máximo y mínimo, coeficiente de variación y asimetría, así como para determinar si su distribución correspondía a la de una normal (Shapiro-Wilk). También se hicieron análisis de correlación lineal entre las propiedades determinadas en este trabajo y otras tomadas de **Jaramillo** (2008, 2009). Todos los análisis estadísticos se hicieron con el programa Statgraphics Centurion.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los estadísticos básicos de las propiedades analizadas. Cabe destacar que casi todas las propiedades evaluadas presentan una fuerte asimetría y una distribución que no corresponde con la normal: sólo tiene distribución simétrica el chroma y distribución normal la MOS. La variabilidad que se presenta en buena parte de las variables estudiadas es alta y se refleja en los coeficientes de variación relativamente altos y en la amplitud de los rangos de valores que ellas exhiben.

Puede apreciarse en la Tabla 1 que el suelo estudiado presenta en promedio, en el horizonte A, un espesor considerable, color oscuro, alto contenido de materia orgánica, mayor contenido de ácidos húmicos que de ácidos fúlvicos, una baja relación E4/E6 y un IM bajo. Los AH presentaron valores bajos de $\Delta \log k$ y de RF. Estos resultados permiten decir que la fracción húmica de la MOS de estos Andisoles, en promedio, está conformada por AH de alto peso molecular, con bajo grado de polimerización, debido al bajo valor de la relación E4/E6 según criterios de **Bravo et al.** (2007); el bajo valor de la relación CAH/CAF indica un bajo grado de condensación de compuestos aromáticos, según **Rivero y**

Paolini (1994) y **Zamboni et al.** (2006) y puede implicar, según **Broquen et al.** (2005), una relativamente alta actividad de la materia orgánica debida a un contenido alto de grupos funcionales en los AF.

Obsérvese que la cantidad de sustancias húmicas recuperadas de estos suelos es bastante baja, teniendo en cuenta la alta cantidad de materia orgánica que tienen. Ésto implica que hay poca cantidad de ellas en el suelo pues, como lo expone **Andreux** (2005), los materiales orgánicos poco transformados producen poca cantidad de extracto, lo que quiere decir que la mayor parte de la MOS está compuesta por residuos orgánicos no húmicos y, además, que el contenido de complejos órgano-minerales en el horizonte superficial es bajo, según **Zamboni et al.** (2006), lo que se traduce en poca estabilidad de los agregados en él.

El valor promedio de la relación E4/E6, aunque fue bajo, no lo fue tanto como el encontrado por **Avellaneda et al.** (2005) en Andisoles dedicados a explotación cafetera y también fue más baja que la encontrada por **Mosquera et al.** (2007) en Andisoles agrícolas del Cauca (Colombia). **Correa** (2005) reporta estudios en Andisoles de la zona cafetera colombiana donde la relación E4/E6 en Fulvudands y en Melanudands fue menor que la encontrada en este trabajo y donde los AH, en los Melanudands, correspondieron al tipo A; este comportamiento implica un mayor grado de humificación en estos suelos, comparados con los hidromórficos estudiados, lo que se confirma con el hecho de que éstos no cumplieron con el requisito de color (value y chroma ≤ 2) exigido para el epipedón melánico por **Soil Survey Staff** (2006).

Tabla 1. Principales estadísticos* de las propiedades de la materia orgánica del horizonte superficial de Andisoles hidromórficos del Oriente Antioqueño, Colombia (n = 63).

Propiedad	Media \pm DE	Mínimo	Máximo	Q1	Q3	CV (%)	Asimetría	Valor p de Shapiro-Wilk
EHA (cm)	31,23 \pm 13,29	10,0	75,0	22,0	38,0	42,55	3,08988	0,00689
Value	2,64 \pm 0,28	2,5	4,0	2,5	3,0	10,43	7,84144	0
Chroma	1,62 \pm 0,58	1,0	3,0	1,0	2,0	35,82	0,918378	5,55E-16
MOS (%)	17,65 \pm 2,72	8,2	23,8	15,8	19,6	15,42	-2,01724	0,48605
Corg/Alp	8,64 \pm 2,42	3,87	16,72	7,26	10,29	27,94	3,38737	0,003786
CAH (%)	2,45 \pm 0,94	1,2	6,4	1,9	2,8	38,51	6,18293	2,229E-8
CAF (%)	1,82 \pm 1,19	0,6	6,0	1,1	2,0	65,46	6,45393	2,606E-13
CAH/CAF	1,76 \pm 1,03	0,22	5,43	1,07	2,23	58,54	3,98322	0,000269
E4/E6	3,55 \pm 0,69	1,42	5,2	3,29	3,88	19,35	-2,82361	0,00004835
$\Delta \log k$	0,5406 \pm 0,1014	0,1524	0,716	0,5172	0,5883	18,76	-6,56404	1,3244E-11
RF	17,58 \pm 10,93	3,94	55,57	10,45	19,95	62,17	5,54497	2,411E-9
IM	1,615 \pm 0,076	1,4992	1,8706	1,5707	1,6595	4,72	2,68985	0,00481

* DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación. Q1 y Q3: Cuartiles inferior y superior, respectivamente.

Los resultados presentados en la Tabla 2 permiten caracterizar mejor las propiedades evaluadas. En ellos se evidencia que en la mayoría de los sitios muestreados los horizontes poseen un alto contenido de materia orgánica. Además, en menos del 25% de las muestras predominan los AF sobre los AH (relación CAH/CAF<1) y sólo en un 10 % de ellas hay un IM > 1,7, lo que indica un alto grado de humificación en muy pocos de los sitios muestreados (Figura 2).

García-Rodeja et al. (2004), considerando que la relación Corg/Alp depende fuertemente del grado de humificación de la MOS y de su composición química, la proponen como un índice para establecer ese grado de humificación, con la posibilidad de que también sirva para estimar el grado de saturación del humus con aluminio. Estos investigadores encontraron un valor promedio de 13 (variando entre 10 y 26) para la relación Corg/Alp en horizontes ándicos de Andisoles de Italia, Azores e islas Canarias, el cual estuvo en concordancia con los valores promedios obtenidos para Andisoles de Japón, citados por ellos mismos. En Andisoles de Islandia con mal drenaje y con menor grado de descomposición de la MOS debido al clima frío, la relación varió entre 31 y 37 y en horizontes O, fue mayor de 114.

En los Andisoles del presente trabajo la relación Corg/Alp varió entre 3.87 y 16.72, con promedio de 8.64 (Tabla 1); además, el 95% de las muestras presentaron un valor de Corg/Alp < 13 (Tabla 2), es decir, menor que el promedio obtenido para los Andisoles europeos (13) por **García-Rodeja et al.** (2004) y para Andisoles de Chile (13,8) por **Matus et al.** (2008). Lo anterior, según **García-Rodeja et al.** (2004), estaría indicando una alta saturación del humus con aluminio y un grado alto de evolución de la MOS lo que no corresponde con lo observado en estos suelos: **Jaramillo** (2008, 2009) extrajo en promedio 1,22 % de aluminio con pirofosfato y sólo 15 de 64 muestras presentaron aluminio intercambiable (extractable con KCl). Por lo tanto, en estos suelos la MOS presenta un bajo grado de evolución y su alta acumulación no se relaciona con el contenido de Al, como lo encontraron en Andisoles de Chile, **Matus et al.** (2006, 2008) y de México, **Campos et al.** (2001). La acumulación y poca evolución de la MOS en los Andisoles estudiados parece estar controlada por el clima frío húmedo y por el mal drenaje, tal como lo propusieron **Buytaert et al.** (2007) para Andisoles del Ecuador.

El análisis de caracterización de los AH por el método de **Kumada** (1987) confirmó ampliamente el bajo grado de humificación que presenta la MOS de estos suelos. En la

Tabla 2. Percentiles de las principales propiedades de la materia orgánica del horizonte superficial de Andisoles hidromórficos del Oriente Antioqueño, Colombia.

Percentil (%)	Value	Chroma	MOS (%)	CAH	CAF	CAH/CAF	Corg/Alp	E4/E6	Δlog k	RF	IM
1	2,5	1,0	8,2	1,2	0,6	0,22	3,87	1,42	0,1524	3,94	1,499
5	2,5	1,0	13,8	1,3	0,7	0,48	5,76	1,95	0,2894	4,49	1,512
10	2,5	1,0	14,1	1,5	0,9	0,68	5,99	2,96	0,4708	8,58	1,518
25	2,5	1,0	15,9	1,9	1,1	1,07	7,26	3,29	0,5172	10,45	1,572
50	2,5	2,0	17,95	2,4	1,5	1,56	8,18	3,62	0,5586	14,48	1,618
75	2,75	2,0	19,6	2,8	2,0	2,23	10,29	3,88	0,5883	19,95	1,66
90	3,0	2,0	20,5	3,6	3,3	3,0	11,68	4,19	0,6217	29,3	1,7
95	3,0	2,0	21,2	3,8	4,6	3,22	12,48	4,43	0,6469	42,16	1,745
99	4,0	3,0	23,8	6,4	6,0	5,43	16,72	5,2	0,716	55,57	1,871

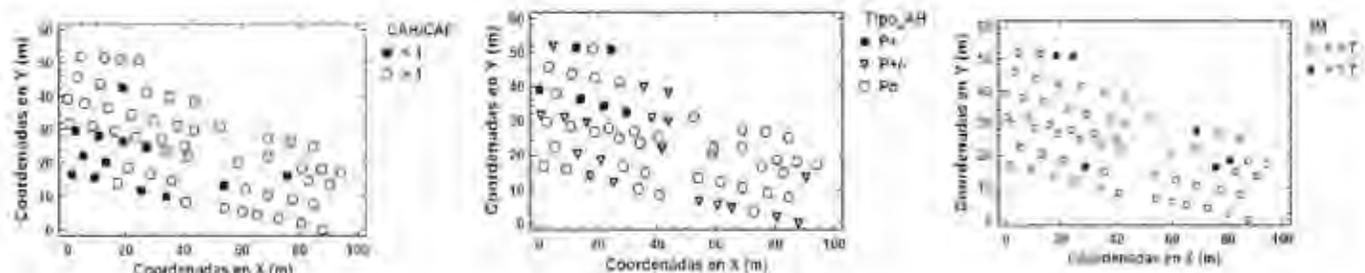


Figura 2. Variación espacial de las propiedades que caracterizan la MOS en el horizonte superficial de Andisoles hidromórficos del Oriente Antioqueño, Colombia.

Figura 3 se puede ver que los AH de todas las muestras analizadas correspondieron al tipo P y dentro de éstos, la mayor parte fue del tipo Po. Además, los bajos valores del $\Delta \log k$ y del RF caracterizan un bajo grado de humificación de la MOS. En el horizonte superficial de Andisoles del Oriente Antioqueño (Colombia), bajo coberturas de pastos, papa y rastrojo, **López** (1996) también encontró un bajo grado de evolución de la MOS y unos AH correspondientes, en su gran mayoría, al tipo Po (sólo una muestra correspondió al tipo Rp). **Jaramillo et al.** (2006), en horizontes A superficiales de Andisoles de la cuenca de Piedras Blancas (Antioquia) bajo cobertura de ciprés (*Cupressus lusitanica*) encontraron AH tipo Po y en horizontes A enterrados encontraron AH tipo P \pm . **González** (2008) también encontró un amplio predominio de los AH tipo P en los suelos de la zona cafetera que estudió.

Al llevar a cabo un análisis de correlación lineal entre las variables estudiadas y entre éstas y otras evaluadas en estos mismos suelos en otros trabajos (**Jaramillo**, 2008, 2009) se encontraron los resultados que se presentan en la Tabla 3.

Contrario a lo que se ha encontrado en otros trabajos (**Matus et al.**, 2006, 2008), en éste no hubo correlación significativa entre los contenidos de alofano y de ferrihidrita (**Jaramillo**, 2009) con ninguna de las formas de materiales orgánicos extraídos de estos suelos (MOS, CAH, CAF, Csh, Csht, Cr) ni con los índices establecidos para caracterizar la calidad de la MOS (CAH/CAF, E4/E6, Corg/Alp, $\Delta \log k$, RF, IM).

Es interesante notar las estrechas correlaciones que se presentan entre algunos de los índices de evaluación de la calidad de la MOS: E4/E6, $\Delta \log k$ y RF, lo que está mostrando que prácticamente todos miden lo mismo. También es destacable el hecho de que el IM y la relación Corg/Alp se correlacionan significativamente con varias propiedades químicas de los suelos: color, pH, CICE y CIC y que, además, el IM también correlaciona con los contenidos de los nutrientes P, Ca, Mg y K.

Como puede apreciarse en la Tabla 3, no hubo correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) y los contenidos de sustancias húmicas (CAH, CAF, Csh,

Tabla 3. Coeficientes de correlación lineal, significativos al 95 %, entre algunas de las propiedades de la MOS y químicas del suelo* en el horizonte superficial de Andisoles hidromórficos del Oriente Antioqueño, Colombia.

	X	Y	Altitud	Cota NF	MOS	Corg/Alp	CAH	CAF	Csh	Cp	Csht	Cr	E4/E6	$\Delta \log k$	IM	Value
Y	-0.5932															
Altitud	0.5610	0.2606		0.9687												
Cota NF	0.6737															
Corg/Alp					0.2582											
CAH		-0.2874							0.2508							
CAF	-0.3141		-0.6561	-0.5890												
CAH/CAF	0.3068		0.3854	0.3856			0.4765	-0.6262		0.3208						
Csh		-0.3153	-0.5232	-0.4392			0.6637	0.8067				-0.6570				
Csht			-0.4231	-0.3420			0.6815	0.6919	0.9243	0.4820		-0.7005				
Cr			0.3552	0.2633	0.5811	0.3395	-0.3961	-0.5615	-0.6570	-0.3160	-0.7005					
$\Delta \log k$													0.9790			
RF													-0.7355	-0.7815		
IM		0.4473	0.3480			0.3602	-0.3992		-0.3731		-0.3353	0.2683				
Value	-0.3472	0.3783			-0.2793	-0.2515		-0.2966				-0.2904				0.2946
Chroma							0.2625									0.3248
pHa		0.3304					0.5828	-0.3414		-0.3407		-0.3208				0.5343
pHk		0.3617					0.6255	-0.4097		-0.3823		-0.3799				0.5544
pHn							-0.5152									-0.4493
CICE							0.6377									0.5138
CIC	-0.2938	0.3697			0.3209	0.2779			-0.2491			0.4306				0.3975
P																0.4513
Ca																0.5355
Mg																0.4270
K																0.4283
Alofana			-0.3554	-0.3280												
Ferrihidrita		0.3914														

* Cota NF: Cota del nivel freático (msnm). Corg: C orgánico= MOS/1,724 (%). Csh: C de sustancias húmicas extraídas con NaOH(%)= CAH+CAF. Cp: C orgánico extraído con pirofosfato de Na. Csht: C de sustancias húmicas totales = Csh + Cp. Cr: C orgánico no extraído por los anteriores extractantes = (Corg-Csht) (%). Las demás como se han definido en el texto.

Valores de Altitud, Cota NF, pHa, pHk, pHn, CICE, CIC, P, Ca, Mg, K, Alp, Alofana y Ferrihidrita tomados de **Jaramillo** (2008, 2009).

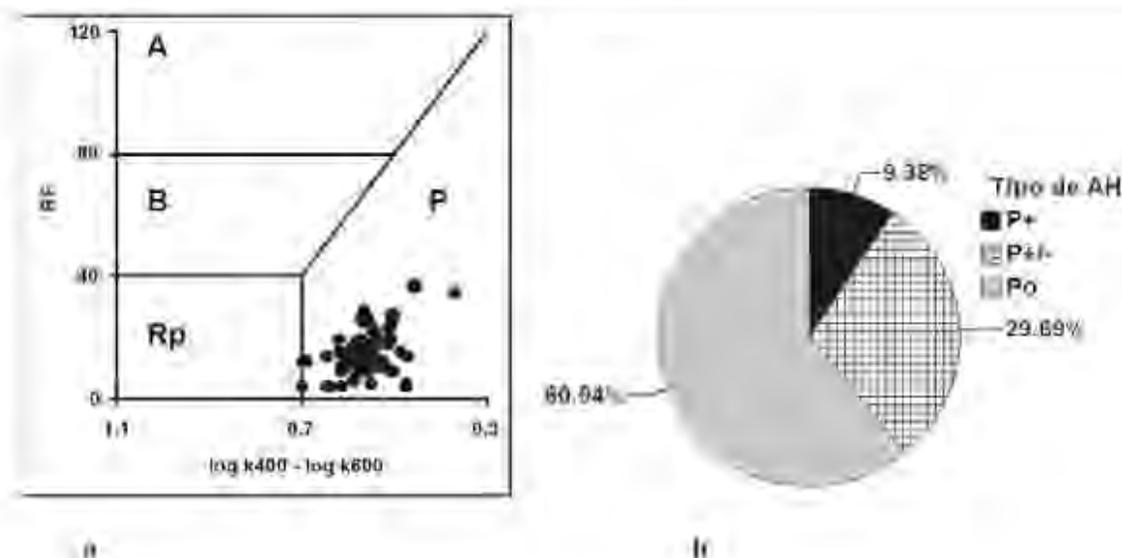


Figura 3. Caracterización de los AH del horizonte superficial de Andisoles hidromórficos del Oriente Antioqueño, Colombia. **a.** Tipo de AH. **b.** Distribución de la frecuencia de los AH presentes en los suelos estudiados.

Csht). Nótese que varias de las propiedades de la MOS presentaron correlación significativa con las coordenadas, con la altitud y con la cota del nivel freático en los puntos de muestreo, lo que implica que hay un efecto topográfico en la distribución de los contenidos de ciertos tipos de materiales húmicos (ver el mapa topográfico del terreno en la Figura 1b), comportamiento que está ligado a la solubilidad de los diferentes ácidos de esta fracción.

La correlación negativa entre la altitud y CAF, Csh y Csht está indicando que en las partes más altas del terreno se acumula menor cantidad de AF y de sustancias húmicas en general. Además, la relación positiva de la altitud con Cr indica que en las partes altas se acumula mayor cantidad de sustancias orgánicas poco humificadas y menos solubles. La acumulación de sustancias menos humificadas en las partes más elevadas también la confirma la relación positiva entre la altitud con la relación CAH/CAF y con el IM.

La falta de correlación significativa entre el contenido de materia orgánica del suelo y los índices que la califican (CAH, CAF, CAH/CAF, Csh, Csht, E4/E6, $\Delta \log k$, RF e IM) indica que la calidad de la materia orgánica que se acumula en el suelo depende, en buena medida, de otros factores diferentes a la cantidad de ella que se le aporta a éste y confirma las observaciones hechas por **Bottner et al.** (2006), **Nierop et al.** (2007) y **González** (2008).

En los resultados del análisis de correlación (Tabla 3) se aprecia que, aparte del comportamiento del IM y de la

relación Corg/Alp, ya mencionado anteriormente, hay muy pocas correlaciones significativas entre la MOS y los otros índices que la evalúan, con las propiedades químicas y de fertilidad del suelo, resultados muy similares a los encontrados por **González** (2008).

Conclusiones

Los Andisoles hidromórficos estudiados presentan alto contenido de MOS poco humificada, con baja producción de sustancias húmicas, con AH de alto peso molecular, bajo grado de polimerización y de condensación de compuestos aromáticos. Los AH correspondieron, en su gran mayoría al tipo Po de Kumada.

No se presentó correlación significativa entre la cantidad de materia orgánica del suelo y los índices que se utilizaron para calificarla lo que implica que la calidad de la MOS no depende de la cantidad de ella que se le aporte al suelo. El IM fue el índice que correlacionó con mayor cantidad de propiedades químicas y nutricionales del suelo, seguido por la relación Corg/Alp; los demás índices no correlacionaron con ninguna de ellas. Se alcanzó a detectar un efecto significativo de la topografía sobre algunos contenidos y/o índices de calidad de la MOS.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por la realización de los análisis.

Bibliografía

- Andreux, F.** 2005. La materia orgánica del suelo desde la perspectiva pedogenética. En: Memorias Seminario Materia Orgánica y microorganismos en la Agricultura Colombiana. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional de Antioquia. Medellín. CD-Room. 24 p.
- Avellaneda, L.; Lozano, A. & Zamudio, A.** 2005. Efecto del uso y la cobertura del suelo sobre el perfil de polidispersidad de ácidos húmicos extraídos de un Andisol del departamento de Caldas, Colombia. *Revista Colombiana de Química* **34**(2):189-200.
- Bendeck, M.** 2003. Origen y formación del humus. En: Memorias Seminario Materiales Orgánicos en la Agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional de Antioquia. Medellín. CD-Room. 9 p.
- Bravo, I.; Marquinez, L. & Potosí S.** 2007. Fraccionamiento del fósforo y correlación con la materia orgánica en dos suelos del departamento del Cauca. *Suelos Ecuatoriales* **37**(2):147-154.
- Bottner, P.; Pansu, M.; Sarmiento, L.; Hervé, R.; Callisaya-Bautista & Metselaar, K.** 2006. Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: A field simulation approach using ¹⁴C- and ¹⁵N-labelled plant material. *Soil Biology & Biochemistry* **38**:2162-2177.
- Broquen, P.; Lobartini, J. C.; Candan F. & Falbo G.** 2005. Allophane, aluminum, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash soils of Argentina. *Geoderma* **129**:167-177.
- Buytaert, W.; Deckers, J. & Wyseure, G.** 2007. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena* **70**:143-154.
- Campos, A.; Oleschko K.; Cruz, L.; Etchevers J. & Hidalgo C.** 2001. Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Terra* **19**(2):105-116.
- Chen, Y.; Senesi, N. & Schnitzer, M.** 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Science Society American Journal* **41**:352-358.
- Correa, A.** 2005. Pasado y futuro de los estudios de la materia orgánica del suelo en Colombia. En: Memorias Seminario Materia Orgánica y microorganismos en la Agricultura Colombiana. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional de Antioquia. Medellín. CD-Room. 21 p.
- Favoretto, C. M.** 2007. Caracterização da matéria orgânica humificada de um Latossolo Vermelho Distrófico a través da espectroscopia de fluorescencia inducida por laser. Dissertação (Mestrado na área de Química Aplicada). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 99 p.
- García-Rodeja, E.; Novoa, J. C.; Pontevedra, X.; Martínez-Cortizas, A. & Buurman, P.** 2004. Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. *Catena* **56**:155-183.
- González, H.** 2008. Caracterización de la materia orgánica en algunos suelos representativos de la zona cafetera del departamento de Caldas. Tesis Maestría Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 75 p.
- Icomand.** 1988. Circular letter N° 10. Leamy, M. L. Editor. New Zealand Soil Bureau. New Zealand. 80 p.
- Jaramillo, D. F.** 2000. Caracterización preliminar de los compuestos hidrofóbicos removidos de Andisoles repelentes al agua de Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* **53**(1):801-821.
- _____. 2008. Variabilidad espacial de las propiedades químicas del epipedón de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. **61**(2):4588-4599.
- _____. 2009. Variabilidad espacial de las propiedades ándicas de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. **62**(1):4907-4921.
- _____; **Flórez M. T. & Parra, L. N.** 2006. Caracterización de un Andisol de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Oriente Antioqueño, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* **36**(1):61-71.
- Kononova, M.** 1982. Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oikos-Tau. Barcelona. 365 p.
- Kumada, K.** 1987. Chemistry of soil organic matter. Japan Scientific Societies Press. Tokio. 240 p.
- López, M. N.** 1996. Clasificación de ácidos húmicos de Andisoles del Oriente Antioqueño. Trabajo de Grado Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 66 p.
- Matus, F.; Amigo, X. & Kristiansen, S. M.** 2006. Aluminium stabilization controls organic carbon levels in Chilean volcanic soils. *Geoderma* **132**:158-168.
- Matus, F.; Garrido, E.; Sepúlveda N.; Cárcamo, I.; Panechini M. & Zagal E.** 2008. Relationship between extractable Al and organic C in volcanic soils of Chile. *Geoderma* **148**:180-188.
- Mosquera, C.; Bravo, I. & Hansen, E.** 2007. Comportamiento estructural de los ácidos húmicos obtenidos de un suelo Andisol del departamento del Cauca. *Revista Colombiana de Química* **36**(1):31-41.
- Motta, B.; Rodríguez, C.; Montenegro, H.; Marulanda, J.; Correa, A. & Bendeck, M.** 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. 5ª ed. IGAC. Bogotá. 502 p.
- Nierop, K.; Tonnejck, F.; Jansen B. & Verstraten, J.** 2007. Organic matter in volcanic ash soils under forest and páramo along an Ecuadorian altitudinal transect. *Soil Science Society of American Journal* **71**:1119-1127.
- Piccolo, A.** 1988. Characteristics of soil humic extracts obtained by some organic and inorganic solvents and purified by HCl-HF treatment. *Soil Science* **146**(6):418-426.
- Rivero, C. & Paolini, J.** 1994. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. *Revista Facultad de Agronomía (Maracay)* **20**:167-176.
- Ruiz, M.; Elizalde, G. & Paolini, J.** 1997. Caracterización de las sustancias húmicas presentes en microagregados de suelos de dos toposecuencias. *Agronomía Tropical* **47**(4):381-395.

- Ruiz, O.** 2003. Sustancias húmicas e índices de humificación. En: Memorias Seminario Materiales Orgánicos en la Agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional de Antioquia. Medellín. CD-Room. 13 p.
- Shoji, S.; Dahlgren, R. & Nanzyo, M.** 1993. Genesis of volcanic ash soils. In: Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. Shoji S., M. Nanzyo and R. Dahlgren, editors. Developments in Soil Science 21. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. pp. 37-71.
- Soil Survey Staff.** 2006. Keys to soil taxonomy. Tenth Edition. USDA. Washington D. C. 332 p.
- Stevenson, F.** 1982. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. Wiley. New York. 443 p.
- Tan, K. H.** 1978. Variations in soil humic compounds as related to regional and analytical differences. Soil Science **125**(6):351-358.
- Zagal, E. & Córdova, C.** 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. Agricultura Técnica **65**(1):186-197.
- Zagal, E.; Rodríguez, N.; Vidal, I. & Flores, A. B.** 2002. La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios de la materia orgánica lábil. Agricultura Técnica **62**(2):284-296.
- Zamboni, I.; Ballesteros, M.I. & Zamudio, A.M.** 2006. Caracterización de ácidos húmicos y fúlvicos de un Mollisol bajo dos coberturas diferentes. Revista Colombiana de Química **35**(2):191-203.

Recibido: diciembre 10 de 2009.

Aceptado para su publicación: febrero 28 de 2011.