

FRACCIONAMIENTO Y DINAMICA DE LA MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS ANDINOS EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS-COLOMBIA

Chavarriaga, M William¹, García, O. Alvaro², Garcés, P. Nelson³

¹ Ing. Agr. M.Sc. Suelos y Aguas, Candidato a Dr. En Ciencias Agrarias Universidad Agraria de la Habana. Profesor Asistente Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad de Caldas. E-mail: wicham57@hotmail.com

² Ing. Agr. PH. D Suelos Salinos Profesor Titular Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. E-mail: agarcia@palmira.unal.edu.co

³ Ing. Químico Doctor en Ciencias Agrarias. Profesor Titular Universidad Agraria de la Habana Cuba. E-mail: nelsong@isch.edu.cu

RESUMEN

El estudio se realizó en cuatro suelos andinos derivados de cenizas volcánicas sembrados con papa, hortalizas, café, y cacao y cuatro bosques naturales contiguos. La extracción general de sustancias húmicas (SH) fue realizado por el método de Kononova-Belchikova, El objetivo general consistió en evaluar la calidad del humus mediante su fraccionamiento, establecer criterios sobre la dinámica de la materia orgánica, su evolución e influencia en la fertilidad. Las variables pH, Materia Orgánica (MO), N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn y S, presentaron diferencias altamente significativas entre cultivos sugiriendo correspondencia con las propiedades edafoclimáticas. La MO en suelos con bosques fue 32% superior a los suelos cultivados (8.76-6.60%), N, 33% superior (0.44-0.33), y P, 148% superior (27.71-11.13), esta circunstancia se explica por la mayor presencia y acumulación de residuos y ciclaje de nutrientes en bosques. En el primer horizonte las variables con excepción del pH presentaron valores mayores con respecto al horizonte subsuperficial. El Carbono Orgánico (C.O) en papa registró el mayor valor (5.86%), sin embargo el CSH fue mayor para hortalizas (73%), probablemente por el abonamiento orgánico permanente; seguido por café (57.58), cacao (48.25) y papa (47.42). El CAH y el CAF por consiguiente fueron mayores en el suelo hortícola. Las variables relacionadas con SH fueron mayores en bosques. La RC/N (11.8) para las SH sugiere alta evolución de la MO, con variantes por cultivo según condiciones locales de humificación. El CAH y CAF presentaron valores altos que variaron entre 24.5 a 30.9; y 23.7 a 42.08 en cacao y hortalizas respectivamente, hecho coincidente con la literatura reciente para andisoles. Las RAH/AF fueron mayores a 1.0 con excepción de hortalizas, este índice sugiere calidad húmica para estos suelos e indica una alta masa molar del humus y lenta degradación cuando la condición de clima frío es dominante, confirmando la tendencia humífera de suelos con génesis volcánica. Las RAF/AH presentaron valores cercanos a 1.0 con excepción de cacao e indican una alta reactividad del humus y un alto grado de humificación y/o evolución de la MO.

Palabras Claves: Sustancias húmicas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos.

ABSTRACT

The study was carried out in four Andean soils derived from volcanic ashes planted with potatoes, vegetables, coffee, and cocoa and four adjacent natural forests. The general extraction of the Humic Substances (HS) was carried out by means of the KONONOVA - BELCHIKOVA method. The general aim of this study consisted in evaluating the humus quality by means of its fractionation and setting criteria about the organic matter dynamics, its evolution and influence on fertility. The variables: pH, organic matter (OM), N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, S showed highly meaningful differences among the cultivations which indicated a matching with edaphoclimatic properties. The OM in the forest soils was 32% higher to the one of the planted soils (8,76-6,60%), N 33% higher (0,44-0,33), and P 148% higher (27,71-11,13). The higher presence and accumulation of residues and nutrients cycle in the forests explain this result. In the first horizon, the variables showed higher values, except pH values, in relation to the sub-superficial horizon. The organic carbon (O.C) in potatoes recorded the highest value (5,86%); however, the HSC was higher for vegetables (73%), probably because of the permanent organic fertilizing; followed by coffee (57,58), cocoa (48,25) and potato (47,42). The HAC and FAC, as a result, were higher in the vegetable-planted soil. The variables related to HS were higher in the forest. RC/N (11,8) for the HS suggests high evolution of OM, with variables per cultivation according to humification local conditions. HAC and FAC showed high values that ranged from 24,5 to 30,9 and 23,7 to 42,08 in cocoa and vegetables, respectively, fact that agrees with

Ando-soils recent literature. The RHA/FA was higher to 1,0 except vegetables. This ratio suggests humic quality for these soils and showed a humus high molar mass and a slow degradation when cold weather condition is predominant, so that, it assures the humific tendency of the volcanic genesis soils. The RFA/HA pointed out values approximated to 1, 0 except cocoa, and indicated high humus reactivity and a high degree of humification and/or organic matter evolution.

KEY WORDS: *Humic Substances, Humic Acids, Fulvic Acids*

INTRODUCCION

Los andisoles derivados de materiales volcánicos representan 11.6% con relación a los suelos de Colombia. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, 1991). La andolización representada por la formación de complejos Al-Humus de preferencia en los epipedones y la generación de productos alofánicos (alòfanos, imogolita, ferrihidrita, etc. en los endopedones); pueden constituir un horizonte melánico (Soil Survey Staff, 1990), grado avanzado de expresión del proceso de andolización. Estos suelos pueden presentar varias capas de cenizas dentro del perfil, altos contenidos de materiales orgánicos, CIC y CIA dependientes de cargas variables afectadas por el pH, y relaciones variables AH/AF acordes con el tipo de evolución, generando complejos organo-minerales resistentes a la biodegradación con horizontes A espesos, densidades aparentes bajas (a veces menor a 1.0 g/cm³), minerales de bajo grado de ordenamiento que infieren sobre su comportamiento, aunque se presentan suelos de Ando con dominancia de minerales silicatados (Maeda y Soma, 1986 y Mizota y Van Reenwijk, 1988).

El componente orgánico del suelo está formado por mezclas heterogéneas y complejas de compuestos y sustancias orgánicas cuyo denominador común es su permanente dinámica y transformación. Los organismos bióticos, incluidos en el componente orgánico, son los agentes que catalizan la dinámica del sistema. La interrelación del mismo con el componente mineral del suelo es objeto de intensivo estudio en el propósito de poder interpretar complejos fenómenos de génesis y productividad de suelos.

Burbano (2001), explica que desde el punto de vista agronómico, la materia orgánica del suelo (MOS) a menudo se ha dividido en dos grandes formas: “activa” (labil) y “estable”. En la forma “activa” están los restos de mantillo “litter”, la fracción ligera, la biomasa, y las sustancias no húmicas que no están ligadas a los constituyentes minerales. La fracción “activa” sirve como fuente rápida de nutrientes (N, P, y S) para el crecimiento de las plantas; la fracción “estable” (humus pasivo) funciona como un “depósito” de nutrientes para las plantas y es importante en el balance del suelo a largo plazo.

La MO estable del suelo está conformada en general por moléculas de alto peso molecular, como los AH y moléculas de bajo peso molecular como los AF. La estructura molecular de las SH, se visualiza como bloques de compuestos aromáticos unidos básicamente por puentes de hidrógeno, que contienen gran cantidad de grupos funcionales: carboxílicos, fenólicos, enólicos, cetónicos e hidroxiquinonas, (Osterberg et al., 1993), citado por Rivero y Paolini, 1994

Las SH que incluyen AH, AF y huminas (Stevenson, 1982, Hayes et al 1981, citados por Zalba y Quiroga 1999), son generalmente extraídas de muestras de suelos y sedimentos por tratamientos del substrato con una solución básica. AH y AF son co-extraídos entre esta solución, el AH es extraído del suelo con soluciones alcalinas, mientras que el AF es la fracción que permanece en solución. Cuando el extracto alcalino es acidificado con un ácido fuerte como HCl por ejemplo, el material que precipita es definido como AH y el material orgánico remanente en solución es referido como fracción de AF. La MO que no es solubilizada por álcali es referida como fracción humina y usualmente compone cerca del 20% del total de la MO del suelo. (Stevenson, 1991, citado por Zalba y Quiroga 1999 y Stevenson, 1985, citado por Mac Carthy 2001).

El humus o las sustancias húmicas constituyen la fracción mas importante y significativa del componente orgánico del suelo. El humus es relativamente estable frente a la microflora y microfauna autóctonas. Diferentes estudios permiten formular una caracterización aproximada del humus, entendiéndose por tal a la fracción constituida por diversos polímeros acídicos, fundamentalmente fenólicos y aromáticos, con valores de peso molecular diversos. Sobre el particular, Senesi 1999, citando a Stevenson (1996), presenta pesos moleculares para AH desde 25000 hasta 1000000 y para AF desde 951 hasta 1000 Dalton.

La singular designación para AH y AF son términos claramente genéricos representando mezclas de diversas moléculas. (Agnelli, 2000). La MO del suelo es un importante constituyente de los suelos y el concepto de que la fertilidad del suelo depende de sus contenidos húmicos ha sido conocido históricamente en la ciencia del suelo. Durante los últimos 40 años la caracterización de la MO del suelo (MOS), ha avanzado considerablemente por el desarrollo de técnicas sofisticadas de análisis. Los estudios han sido hechos en MOS de diferentes ambientes y climas, también de diferentes profundidades, agregados de diferentes tamaños y diferentes fracciones texturales. Monreal y Kodama 1997, citados por Agnelli, 2000.

Tal vez ningún compuesto edáfico ha sido objeto de rigurosos estudios e investigaciones en el mundo de la ciencia del suelo como la MO. Su conocimiento aún no integral e integrado a los demás constituyentes del medio ambiente del suelo ha permitido desarrollar todavía mas los conceptos de nutrición, balance nutritivo, fertilidad, intercambio iónico, control de humedad, agregación, incluso erosión y secuestro de carbono. (Chavarriaga, 2002).

El fraccionamiento de sustancias orgánicas del suelo, sin constituirse en un fundamento suficiente en la comprensión del comportamiento químico del suelo, puede inferir criterios para un buen conocimiento de su dinámica y su relación directa con la fertilidad y otras características.

MATERIALES Y METODOS

1. Trabajo de Campo (localización, clima , suelos y cultivos)

La investigación se realizó en cuatro agroecosistemas andinos representativos en Colombia, de importancia agropecuaria regional y nacional sobre cuatro suelos : Un Entisol (suelo sembrado con papa), dos Andisoles (suelos sembrados con hortalizas y café) y un Inceptisol (suelo sembrado con cacao) y cuatro bosques naturales contiguos a cada cultivo y no intervenidos, todos formados a partir de cenizas volcánicas y ubicados sobre estribaciones de la cordillera central con temperaturas promedio de 9.6, 17.6, 20.5 y 22.7 grados centígrados respectivamente, con un rango de precipitaciones de 3600 a 1800 mm/año aproximadamente.

El muestreo de suelos se obtuvo de los primeros dos (2) horizontes y de 9 microcalicatas por orden de suelos y por cada bosque, con diez y ocho (18) submuestras homogenizadas y cuarteadas hasta obtener 6 muestras generales , compuestas y representativas por sistema y por predio para un total de 48, las cuales fueron preparadas secas y tamizadas para su posterior análisis en laboratorio.

2. Procedimientos de Laboratorios

Consistieron en la determinación de las características fisico-químicas, mediante los métodos tradicionales del laboratorio de química de suelos de la universidad de Caldas-Colombia. Para la extracción y/o fraccionamiento de la MO se usó el método de KONONOVA-BELCHIKOVA que permite la obtención de SH y sus fracciones AH y AF con una mezcla de $N_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ 0.1 M con NaOH 0.1 N como disolución extrayente y en pasos siguientes usando una disolución saturada de Na_2SO_4 , H_2SO_4 concentrado, 1.0N , 0.05N y NaOH caliente. La relación suelo: extrayente fue de 1:20 hasta un pH= 13, centrifugando a 5500 rpm se determina el carbono orgánico total (COT) de las SH y luego por precipitación se separan los AH a pH 2.0-2.5, quedando en el filtrado los AF, se determina el carbono de los AH (CAH) y el Carbono de los AF (CAF) , se obtienen por diferencia: $CAF = COT - CAH$ Los criterios usados en la determinación de los porcentajes de carbono de AH y AF fueron los de Tiuríng.

3. Análisis estadístico

La información resultante de la investigación, fue analizada a través de estudios de varianza utilizando las herramientas del sistema SAS 6.12.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Fertilidad

En la Tabla 1, se registran los valores para las características químicas promedio de los suelos en cada agroecosistema. Los datos obtenidos sobre reacción del suelo o pH, muestran una clasificación fuertemente ácida para el suelo cultivado con papa (5.07), muy ácida en café (5.43) y moderadamente ácida (5.54 -5.80), para hortalizas y cacao respectivamente. Estos resultados indican para papa el valor mas bajo y evidencian en consecuencia deficiencias de bases (K, Ca y Mg), presencia significativa de aluminio, con un nivel de saturación algo superior al límite crítico (15%) por encima del cual sería necesaria su corrección a partir de la aplicación de enmiendas con cal para su neutralización y el consiguiente aporte de bases para su balance en el suelo. El pH, suministra mucha información y nos ayuda a predecir si uno o varios nutrientes pueden ser deficientes o pueden causar toxicidades para las plantas, León (2001). La capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE), que incluye al aluminio como factor principal, resalta valores desde 2.46 en papa hasta 6.76 me/100 g en cacao, datos inferidos químicamente por la presencia de arcillas tipo 1:1 y de óxidos e hidróxidos de Fe en papa y hortalizas, con influencia del pH, estos valores representan mucha mas responsabilidad de la MO en la CICE. Sobre el particular Silva (2001) supone que la caolinita y compuestos de óxidos de Fe a pH ácido pueden adquirir cargas positivas y de esta manera contribuir a un incremento en la capacidad de intercambio aniónico del suelo. García (2001), agrega que elementos como el Ca y el Mg pueden ser deficientes cuando la CIC del suelo es extremadamente baja y señala que mientras mayor sea la CIC, mas cationes puede retener un suelo y que esta depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de MO, (a bajos contenidos de MO, corresponden bajos valores de CIC, circunstancia no propia de los suelos estudiados aquí.), señala además que los suelos arcillosos con una alta CIC pueden prevenir la pérdida potencial por lixiviación (percolación). El comportamiento para los demás agroecosistemas frente a las bases, sugiere una dependencia marcada del grado de reacción del suelo, aunque se aprecia una acentuada deficiencia en magnesio. Teniendo en cuenta que el estudio incluyó un transecto geográfico y/o altitudinal, cabe decir que los suelos en razón a su génesis en general, formados principalmente con mantos de cenizas volcánicas sobre una matriz de rocas de dominio ígneo; permiten una explicación del comportamiento ácido de los suelos y de sus propiedades físicas (para el caso específico de texturas arenosas a franco arenosas) y químicas derivadas, además de la presencia de un régimen pluviométrico alto que incide en muchos procesos y fenómenos edáficos, caso especial del lavado , eluviación e iluviación.

Sobre la materia orgánica presente en porcentaje superior en el agroecosistema papa (9.91%), advierte valores que aunque altos, son normales en pisos térmicos de páramo (3000 m.s.n.m), donde prevalece la condición de clima frío y una consecuente y muy baja rata de mineralización en razón a la deficiente presencia de microorganismos transformadores de sustancias orgánicas. Un valor 5.58% de MO en hortalizas (1920 m.s.n.m), pareciera bajo en virtud a las grandes proporciones de enmiendas orgánicas empleadas históricamente en este predio, pero resulta lógico por la capacidad biológica presente en andisoles en donde la actividad catalítica y metabólica para los compuestos de origen orgánico es conocida. Otros valores de MO para café y cacao son significativos e indican aportes permanentes en razón al manejo tradicional y conservacionista para estos cultivos. Así mismo el estudio presenta consecuentemente valores de nitrógeno acordes con los niveles de MO en cada agroecosistema.

El fósforo con cifras muy superiores en papa y hortalizas, nitrógeno y azufre en papa y café, representan suministros importantes cuya responsabilidad la comparte la MO junto a la adición permanente de fertilizantes fosforados en papa, los fenómenos volcánicos en la participación y presencia de azufre en el suelo y como ya se mencionó la incorporación de grandes y frecuentes proporciones de abonos orgánicos (gallinaza) en hortalizas y otras enmiendas orgánicas en café. García (2001), afirma que la disponibilidad del P, es máxima a valores de pH entre 5.5 y 6.5.

Tabla 1. Variables químicas promedio de los suelos por agroecosistema

VARIABLE	PAPA	HORTALIZAS	CAFÉ	CACAO
pH	5,07 c	5,54 B	5,43 b	5,80 a
MO	9,91 a	5,58 C	7,82 b	7,41 b
N	0,50 a	0,28 C	0,39 b	0,37 b
P	39,58 a	25,67 Ab	4,08 c	8,33 bc
K	0,15 b	0,26 Ab	0,20 b	0,39 a
Ca	1,34 b	3,48 a	4,68 a	4,63 a
Mg	0,48 c	0,98 b	1,07 b	1,74 a
Al	0,49 a	0,03 b	0,00 b	0,00 b
Fe	334,08 a	122,08 b	122,67 b	139,83 b
Mn	17,00 ab	12,58 b	13,08 b	28,25 a
Zn	4,28 a	4,80 a	1,43 b	3,81 a
Cu	5,39 a	6,03 a	3,94 a	6,63 a
B	0,56 a	0,34 a	0,53 a	0,33 a
S	6,23 a	4,44 b	6,32 a	6,02 a
CICE	2,46 c	4,75 b	5,94 ab	6,76 a

Medias con igual letra no presentan diferencias significativas a una $p > 5\%$

Tabla 2. Variables químicas por sistema

VARIABLE	SISTEMA	
	BOSQUE	CULTIVO
pH	5,57 a	5,35 b
MO	8,76 a	6,60 b
N	0,44 a	0,33 b
P	27,71 a	11,13 b
K	0,15 b	0,35 a
Ca	3,12 a	3,95 a
Mg	0,78 b	1,36 a
Al	0,05 b	0,20 a
Fe	136,29 b	223,04 a
Mn	12,50 b	22,96 a
Zn	2,35 b	4,45 a
Cu	4,33 b	6,66 a
B	0,40 a	0,49 a
S	5,75 a	5,75 a

Medias con igual letra no presentan diferencias significativas a una $p > 5\%$

Los resultados mostraron a las variables: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn y S, con diferencias altamente significativas entre cultivos, valores que sugieren correspondencia con las propiedades edafoclimáticas. La Tabla 2 muestra que la MO en suelos con bosques fue 32% superior a los suelos cultivados (8.76-6.60%); N, 33% superior (0.44-0.33%) y P, 148% superior (27.71-11.13 ppm). Tabla 2. Esta circunstancia se explica por la mayor presencia y acumulación de residuos y ciclaje de nutrientes en bosques. En el primer horizonte todas las variables. con excepción del pH (aunque sin diferencias significativas), presentaron valores mayores con respecto al horizonte subsuperficial.

Finalmente, el estudio evidenció contenidos altos para los micronutrientes, Fe (mayor en papa), Mn, Zn, Cu y B para todos los agroecosistemas.

2. Fraccionamiento y dinámica de la MO

La Tabla 3 presenta para los diferentes agroecosistemas los resultados del fraccionamiento de la MO, registrando para papa 5.86% de carbono orgánico como mayor valor, superando a los demás cultivos, los datos son consecuencia evidente del alto tenor de MO ya discutido para todos los suelos estudiados.

Tabla 3. Prueba de comparación de medias por Duncan para los diferentes agroecosistemas evaluados.

VARIABLE	PAPA	HORTALIZAS	CAFÉ	CACAO
Carbono Orgánico	5,86 a	3,31 c	4,62 b	4,38 b
Relación C/N	11,77 a	11,82 a	11,79 a	11,82 a
Carbono Orgánico Sustancias Húmicas	47,42 b	73,00 a	57,58 ab	48,25 b
Carbono Orgánico ácidos Húmicos	27,08 a	30,92 a	29,33 a	24,50 a
Carbono Orgánico ácidos Fúlvicos	20,33 b	42,08 a	28,75 ab	23,75 ab
Relación AH/AF	3,95 ab	0,97 b	2,18 ab	5,43 a
Relación AF/AH	0,84 a	1,88 a	0,95 a	3,75 a

Medias con igual letra no presentan diferencias significativas a una $p > 5\%$.

Las relaciones C/N, sin diferencias estadísticas para los cultivos, sugieren evolución equilibrada de la MO. Fassbender, 1987, citado por Chavarriaga, (2002), escribe que los valores de C/N de los suelos agrícolas varían normalmente entre 9 y 14, siendo en general mas bajos en zonas áridas (menor cantidad de lluvias), que en zonas húmedas (mas lluvia), considerando valores de temperatura similar. La RC/N depende del clima, el contenido de C del suelo disminuye mas rápidamente que el contenido de N al aumentar la temperatura promedio anual. En condiciones de igual precipitación los indicadores C/N son mas altos en los climas fríos que en los calientes. Así mismo se ha encontrado que la RC/N es mas baja en suelos neutros o ligeramente alcalinos. Ortega, 1993, citado por Villegas (2001).

Salas, 1987, citado por Villegas (2001), señala que con la altitud el N total aumenta y que este fenómeno ha sido observado en la zona andina por otros autores.

En suelos derivados de cenizas volcánicas (Andepts), la alófana ejerce una fuerte influencia en la adsorción y estabilización de los compuestos orgánicos. Salas 1987. Estos argumentos infieren que la alta evolución de la MO varía para cada cultivo según las condiciones locales de humificación definidas en parte por la RC/N.

El carbono orgánico de las SH fue mayor para hortalizas (73%), seguido por café (57.58%), cacao ((48.25%) y papa (47.42%). Este mayor valor, es probable corresponda con los altos y permanentes abonamientos orgánicos (gallinaza) registrados históricamente en el predio con hortalizas y en consecuencia los valores de CAH y CAF son también altos 30.92 y 42.08 respectivamente. Al respecto Piccolo y Mbagwn, 1990, advierten que pocos trabajos se han hecho sobre características químicas de las SH extraídas del suelo después de la adición de desechos al suelo. Piccolo y Mbagwn 1990, reportaron que la adición de estiércol de cerdo y de ganado en largos periodos experimentales, resulto en un aumento relativo de fracciones húmicas de alto peso molecular en microagregados del suelo. Campbell, et al 1986, citados por Aoyama, et al (2001) informaron que la aplicación de abonos orgánicos en andisoles, resultó en un incremento del % de carbono del AH. Kumada 1987, citado por Aoyama (2001), señala que esto también puede ser atribuido al hecho de que los andosoles usualmente contienen las más grandes proporciones de CAH comparado con los otros tipos de suelo

La relación AH/AF aparece en cacao con 5.43 como valor superior a los demás cultivos, seguido por papa, café y hortalizas. Este índice, superior y mayor a 1.0 sugiere alta calidad húmica para suelos con cacao, café y papa y que puede indicar una alta masa molar o tamaño molecular, sujeta a una lenta degradación cuando la condición de clima frío es dominante y confirmando la tendencia humífera de suelos con génesis volcánica. Sobre el particular, Garcés 2000, comenta que en la evaluación de la función del humus en el suelo debe tomarse en cuenta no solo su cantidad sino también y principalmente su calidad, esta viene

definida por la proporción de los dos componentes esenciales del humus: AH y AF en los cuales se evalúa principalmente su contenido relativo a AH/AF, si la Relación es igual o superior a 1.0, entonces el humus del suelo tiene mayor calidad, lo cual influye en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, en su estructura, régimen hídrico y propiedades de adsorción, entre otras. Por esto es importante que el suelo alcance una proporción adecuada entre calidad y cantidad. Los procesos bioquímicos en el suelo deben estar encaminados a la acumulación de AH, los cuales actúan favorablemente sobre las propiedades fisico-químicas y en consecuencia en la fertilidad.

Para hortalizas una RAH/AF de 0.97, puede indicar un escaso desarrollo de la estructura molecular húmica, proceso afectado muy probablemente por el particular manejo de la nutrición para este cultivo y a una intensa actividad biológica registrada. Chavarriga, 2002. Llonín y Garcés 1998, agregan que valores muy por debajo de la unidad por ejemplo 0.11-0.17 ratifican un carácter desfavorable del humus.

De igual manera mayor movilidad de la MO puede indicar mayor fertilidad pero menor RAH/AF. Llonín y Garcés 1998

Las RAF/AH presentaron valores cercanos a 1.0 para papa y café que sugieren una alta reactividad del humus y un alto grado de humificación y/o evolución de la MO. Al respecto Llonín y Garcés 1998, admiten que a mayor AF, mayor movilidad en el perfil, por su carácter pedogenético más marcado.

La Tabla 4 presenta valores para las variables químicas de las SH siempre superiores en el sistema bosque comparado con los cultivos, que aunque sin diferencias estadísticas evidentes, muchos autores sustentan la calidad de las SH y su estabilidad a sus ciclos más o menos cerrados sin influencia antropogénica.

Tabla 4. Variables químicas de las SH por sistema.

VARIABLE	SISTEMA	
	BOSQUE	CULTIVO
Carbono Orgánico	5,26 a	3,83 b
Relación C/N	11,99 a	11,61 b
Carbono Orgánico Sustancias Húmicas	59,46 a	53,67 a
Carbono Orgánico ácidos Húmicos	30,08 a	25,83 a
Carbono Orgánico ácidos Fúlvicos	29,38 a	28,08 a
Relación AH/AF	3,87 a	2,39 a
Relación AF/AH	2,56 a	1,15 a

Medias con igual letra no presentan diferencias significativas a una $p > 5\%$

La formación de las SH del suelo procede de dos direcciones: lo químico y lo biológico, la importancia relativa de estos caminos en un suelo en particular, depende del material parental, la naturaleza y propiedades de los constituyentes inorgánicos, clima, topografía, vegetación, población y actividad de los organismos del suelo y del uso de la tierra. Wang, et al., 1990, citados por Tate, et al., 1990.

Tabla 5. Variables químicas de las SH según profundidad del suelo

VARIABLE	PROFUNDIDAD	
	A ₁	B _w
Carbono Orgánico	5,16 a	3,93 b
Relación C/N	11,78 a	11,82 a
Carbono Orgánico Sustancias Húmicas	61,63 a	51,50 a
Carbono Orgánico ácidos Húmicos	33,71 a	22,21 b
Carbono Orgánico ácidos Fúlvicos	28,17 a	29,29 a
Relación AH/AF	3,51 a	2,75 a
Relación AF/AH	0,91 a	2,80 a

Medias con igual letra no presentan diferencias significativas a una $p > 5\%$

En suelos de New Zealand investigaciones hechas por Yamamoto, et al., 1986, citados por Tate, et al. 1990, los primeros dos factores tuvieron una menor influencia sobre el tipo de AH, mientras la vegetación y uso de la tierra aparentemente fueron los factores de mayor influencia.

En este estudio tal como se observa en la Tabla 5 y su relación con la profundidad, el CSH, CAH, CAF y la RAH/AF fueron mayores en el primer horizonte y la RAF/AH mayor en el segundo, Tabla 5, este último valor confirma el argumento de que los AF representan sustancias últimas en la evolución de la MO y las más agresivas en su tránsito por el suelo.

CONCLUSIONES

Los suelos de los cuatro agroecosistemas estudiados, presentaron fertilidad acorde con su identidad taxonómica, su génesis, sus condiciones edafoclimáticas y su manejo agronómico. Desde los componentes obtenidos por fraccionamiento de la materia orgánica se observaron y ratificaron indicadores de la dinámica y de la calidad húmica para la diversidad de los suelos, y especialmente para los suelos derivados de cenizas volcánicas y/o Andisoles.

Los bosques evidenciaron para la mayoría de variables tanto físico-químicas del suelo, como para las características de las fracciones orgánicas; valores superiores que sugieren una dinámica inferior o estable, pero de mayor calidad y que permite valorar agroecosistemas forestales y predecir a largo plazo pérdidas en términos de la calidad húmica estable y con ella misma la fertilidad de los suelos cultivados.

Es recomendable, caracterizar física y químicamente las fracciones orgánicas AH, AF, abordando técnicas logísticas de actualidad que permitan describir de manera mas clara sus componentes y poder traducir su comportamiento en la génesis, las propiedades derivadas, aproximarnos mas a su composición y estructura molecular y determinar su verdadera participación en los fenómenos edáficos hasta ahora conocidos no muy claramente en el ámbito de la ciencia del suelo a todo nivel y específicamente para los suelos referenciados en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Vicerrectoría de investigaciones y postgrados por su apoyo financiero, a Gloria Inés Piedrahita secretaria del mismo despacho, a Nubia Rodríguez y Hercilia Franco, tecnólogas químicas en Palmira y Manizales respectivamente y al Dr. Nelson Garcés Pérez (Universidad Agraria de la Habana), director científico del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agnelli, A. et al. 2000. Chemical and Spectroscopic Characterization of the Humic Substances from Sandstone Derived rock Fragments. Soil Science Vol. 164 Number 4 p 314-327.
- Aoyama, M. 2001. Quantitative and Cualitative Changes of Organic Matter in an Ando Soil Induced by Mineral Fertilizer and Cattle Manure Applications for 20 Years. Soil Science and Plant Nutrition, 47 (2), 241-252.
- Burbano, O, H. 2001. Lo Biorgánico en el Manejo Productivo del Suelo. En Manejo Productivo de suelos para Cultivos de Alto Rendimiento. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle del Cauca, Palmira, Septiembre 27-28.
- Chavariaga, M.W. 2002. Características y Dinámica de la MO en Algunos Suelos de Agroecosistemas Andinos en Colombia, Tesis Doctoral, en revisión. Universidad Agraria de la Habana-Cuba, Universidad de Caldas-Manizales-Colombia.
- Garcés, P. Nelson. 2000. Masas Moleculares de las Sustancias Húmicas, en Simposio sobre Biología de Suelos Tropicales, Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Memorias en Disco Magnético, Departamento de Recursos Naturales y del Medio Ambiente.
- García, O. A. 2001. Conceptos Sobre el Uso del Análisis de Suelos como Herramienta para el Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo. En Manejo Productivo de Suelos para Cultivos de Alto Rendimiento. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle del Cauca. Palmira, Septiembre 27-28.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 1991. Andisoles, Investigaciones, Subdirección Agrológica, Santafé de Bogotá, Colombia, Vol.3 (1): 118 p.
- León L. A. 2001. Las Propiedades Químicas de los Suelos y su Efecto Sobre la disponibilidad de los Nutrientes para las Plantas. En Manejo Productivo de suelos para Cultivos de Alto rendimiento, Sociedad colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle del Cauca, Palmira 27-28.
- Llonín, Desirée y GARCÉS, P. 1998. Nelson. Caracterización de los Ácidos Húmicos del Suelo ferralítico Rojo de San Antonio de los Baños, Cultivos Tropicales 19 (1):9-13, La Habana-Cuba.
- Mac Carthy, P. 2001. The principles of humic Substances. Soil Sciences, Vol. 166, Number 11.
- Maeda, T Y Soma, K. 1986. Physical Properties. In Chapter 5, Ando Soils in Japan. Ed. K. Wada Kyushu. Univ. Press. Japan, p 99-111
- Mizota, C. Y VAN Reeuwijk, I.p. 1988. Clay Mineralogy and Chemistry of Soil Formed in Volcanic Material in Diverse Climate Regions. ISRIC. Soil Monograph 2. Wageningen, Netherland. 186 p.
- Piccolo. A. y Mbagwn., J. S. C. 1990. Effects of Different Organic Waste Amendments on Soil Microaggregates Stability and Molecular Sizes of Humic Substances. Plant and Soil, 123, 27-37.
- Rivero DE T. C., y Paolini, J. 1994. Caracterización de la Materia Orgánica de Tres Suelos Venezolanos. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, 20:167-176.
- Rosell, R. et al, 1972. Estudio potenciométrico del humus. I. Determinación de ácidos e hidroxiaácidos orgánicos de un ácido fúlvico. Turrialba: Vol. 22, Número 3, Trimestre Julio-Septiembre.
- Senesi, N. 1999. Aggregation Patterns and Macromolecular Morphology of Substances: A Fractal Approach. Soil Science. Vol. 164, Number 11, p 841-856 November, 1999
- Silva, F. A. Et al. 2001. Variación del S Disponible y su contenido Foliar en Cítricos, durante 4 periodos Estacionales en suelos de Caicedonia, Valle del Cauca. En Suelos Ecuatoriales, Vol.31, Número 2.
- Soil Survey Staff. 1990. Key to soil Taxonomy, Soil Conservation Service, U.S. Dep. Agra. U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C. 423 p.
- Tate, K. R, Yamamoto, K, Churchman. G. J, Meinhold, R, y Newman. R. H.. 1990. Relationships Between the Type and Carbon Chemistry of Humic Acids from some New Zealand and Japanese Soils. Soil Science, Plant Nutrition, 30 (4), 611-621.
- Villegas P. A. 2001. Actividad de microorganismos del suelo bajo diferentes Fuentes orgánicas, su fraccionamiento y efectos sobre la producción de caña de azúcar. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 126 p.
- Zalba, P. y Quiroga, A. R. 1999. Fulvic Acid Carbon as a Diagnostic Feature for Agricultural Soil Evaluation. Soil Sciences, Vol. 164, Número 1.