

Caracterización de diferentes fracciones de la materia orgánica de tres suelos agrícolas venezolanos

Characterization of different fractions of organic matter in three Venezuelan soils

Karen C. Figuera V., Zenaida del C. Lozano P., Carmen Rivero ¹

¹Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar la materia orgánica (MO) presente en tres suelos: Entisol, Ultisol y Vertisol, provenientes del estado Guárico, se realizó la determinación del contenido de carbono orgánico total (COT), carbono hidrosoluble (CS) y nitrógeno total (NT) del suelo completo y se estableció la relación C/N, se realizó un fraccionamiento químico del carbono orgánico y se determinó el contenido de carbono extraíble total (CET) y el contenido de carbono en las fracciones ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y sustancias no húmicas (SNH). También se realizó un fraccionamiento físico y se determinó la cantidad de carbono y nitrógeno en las fracciones ligera (FL), pesada asociada a las partículas finas (FPf) y pesada asociada a las partículas gruesas (FPg). Los resultados indican que el suelo Vertisol tiene la mayor cantidad de COT, CS y NT. Del fraccionamiento químico se tiene que el CET presentó un rango variable con respecto al COT (de 53 a 63%); con la metodología utilizada se obtuvo diferencias en el porcentaje de recuperación de las fracciones extraíbles en álcali. La baja recuperación de algunas de estas fracciones afectó el cálculo de los índices de humificación. Del fraccionamiento físico se puede evidenciar que solo el Ultisol presentó fracción ligera atrapada dentro de los agregados y el contenido de COT y NT en las fracciones físicas disminuyen en todos los suelos en el siguiente orden: FL > FPf > FPg.

Palabras clave: Materia orgánica del suelo, fraccionamiento químico, fraccionamiento físico, índices de humificación.

ABSTRACT

The objective of this experiment was to characterize the organic matter (MO) presents in three soils: Entisol, Ultisol and Vertisol, coming from the Guárico state. The content of total organic carbon (COT), carbon hydrosoluble (CS), total nitrogen (NT), and C/N relationship were determined in the complete soil. A chemical fractionation of the organic carbon was realized and the total carbon extractable and the carbon linked to humic and fulvic acids and non humic substances were obtained. Also the physical fractionation was carried out and the quantity of carbon and nitrogen in the slight fractions (FL), heavy associated to the fine particles (FPf) and heavy associated to the thick particles (FPg) were determined. The results indicate that the soil Vertisol has the biggest quantity in COT, CS and NT. The chemical fractionation indicate that the CET present more variability that the COT (of 53 to 63%); with the methodology used. The method shows differences in the percentage of recovery of the fractions extractable with the alkali. The values of the recovery of some of these fractions affected the calculation of the humification indexes. The physical fractionation evidence that only the Ultisol presented slight fraction caught inside the aggregates. The content of COT and NT, in the physical fractions, diminishes in all soils in the following order: FL > FPF > FPG.

Key Words: soil organic matter, chemical fractionation, physical fractionation, humification indexes.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es química y físicamente una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos de plantas y animales o de origen microbiano en diferentes estados de descomposición (Rivero *et al*, 1998; Loveland y Webb, 2003; Zagal y Córdova, 2005). Su permanencia en el suelo es muy variable, ya que presenta períodos de reciclaje que van desde semanas a siglos (Zagal *et al*, 2002). Es un componente crítico del ecosistema suelo – planta, ya que juega un papel importante en la productividad agrícola como fuente y sumidero de nutrientes, en la formación y estabilización de la estructura del suelo, aumenta la actividad biológica del suelo y tiene un fuerte impacto en la infiltración del agua, desarrollo de raíces, y resistencia a la erosión (Pla, 1994; Rivero 1999; Frazluebbbers, 2002).

La MOS varía entre los ambientes y sistemas de producción, generalmente de acuerdo a la textura y mineralogía del suelo, el clima, por los efectos del cultivo, los residuos de cosecha y con respecto al tipo de vegetación (nativa o cultivada) (Dell'Abate *et al*, 2002; Espinoza, 2004). En zonas tropicales se presentan bajos contenidos de MOS tanto en áreas cultivadas como en zonas naturales, producto de la deforestación y quema de los residuos de cosecha, unido a las altas temperaturas ambientales lo que produce altas tasas de descomposición y a las pérdidas de la MOS por erosión (Ghani *et al*, 2003).

El humus puede clasificarse en materiales humificados (sustancias húmicas) y no humificados. La parte humificada del humus, la cual constituye el 60-70% de la MOS, consiste en ácidos húmicos (AH) que son moléculas de alto peso molecular solubles en reactivos alcalinos y precipitables por los ácidos y los ácidos fúlvicos (AF) que son moléculas de bajo peso molecular y solubles en reactivos tanto ácidos como alcalinos, los cuales presentan compuestos alifáticos, fenólicos y bencencarboxílicos en distintas proporciones; huminas y ácidos himatometalicos (Rivero y Paolini, 1994; Rivero, 1999; Zalba y Quiroga, 1999; McCallister y Chien, 2000). Los ácidos húmicos y fúlvicos son una guía para adaptar el manejo y contribuyen notablemente al entendimiento de la dinámica de la MOS y la calidad del suelo (Wander, 2004).

Desde el punto de vista funcional la MOS puede ser dividida en dos compartimientos que difieren en su estructura y función, llamadas **fracción ligera** (FL) conformada por las fracciones ligera libre entre agregados y ligera intraagregados, que está protegida dentro de los microagregados, y está compuesta por residuos de plantas y animales a ser descompuestos con mayor rapidez y que no está firmemente asociada a los minerales del suelo (Stein, 1999 y Leilfeld y Kögel, 2005) y la fracción órgano – mineral, también denominada **fracción pesada** (FP) que corresponde a la MOS incorporada en complejos organominerales y presenta mayor transformación, por lo que su tasa de descomposición es más lenta (Zagal *et al*, 2002). Cada una de ellas tiene distintas funciones en el ciclo del C y N (Barrios *et al*, 1996; Zagal *et al*, 2002; Zagal y Córdova, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 3 suelos con diferentes grados de evolución, pHs y texturas ubicados en la Estación Experimental "La Iguana" en el estado Guárico. Han estado con gramíneas nativas bajo pastoreo extensivo con quema como única práctica de manejo durante más de 30 años. Algunas características de estos suelos se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los suelos bajo estudio.

SUELO	CLASIFICACIÓN (subgrupo)	CULTIVO	UBICACIÓN (Estado)	TEXTURA	pH
ENTISOL I	Ustoxic Quartzipmment	Sabana natural	Guárico	aF	4,9
ULTISOL	Typic Plinthustult	Sabana natural	Guárico	aF	5,26
VERTISOL	Entic Chromustert	Sabana natural	Guárico	A	4,63

En cada suelo se realizó un muestreo dirigido aleatorio simple con 4 repeticiones, cada una de las cuales estaba constituida por una muestra compuesta (de 6 submuestras cada una), tomadas en el horizonte genético superficial (A) a una profundidad aproximada de 0-5 cm. Las muestras así colectadas se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de 2 mm.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelos del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (Maracay). A cada una de las muestras de suelo se les realizó análisis de pH en agua en suspensión suelo:agua 1:1 por el método descrito por Jackson (1964), distribución de tamaño de partículas por el método del hidrómetro descrito por Pla (1983), carbono orgánico total (COT) (Heanes, 1984); carbono hidrosoluble (CS) (Haynes y Francis, 1993), nitrógeno total (NT) (Brenner, 1996), y se realizó un fraccionamiento químico y físico de la MOS. Para el fraccionamiento químico de la MOS se utilizó el método Schnitzer y Schuppli (1989) y el método de Schnitzer y Khan (1978) y se determinó el contenido de carbono extraíble total y el contenido de carbono en cada una de las fracciones separadas por el método de Walkley y Black.

Con los datos de carbono orgánico de las distintas fracciones se calcularon los parámetros de humificación propuestos por Sequi *et al.* (1986) y descritos por Dell'Abate (1995): índice de humificación (IH), grado de humificación (GH) y relación de humificación (RH):

- $IH = CSNH / (CAH+CAF)$
- $GH(\%) = [(CAH+CAF) / CET] * 100$
- $RH(\%) = [(CAH+CAF) / COT] * 100$

Donde:

CSNH = Carbono de las sustancias no húmicas.

CAH = Carbono de los ácidos húmicos.

CAF = Carbono de los ácidos fúlvicos.

CET = Carbono extraíble total.

COT = Carbono orgánico total.

Finalmente el fraccionamiento físico de la MOS se realizó de dos formas, una sin pretratamiento utilizando agua destilada por el método descrito por Lozano y Hernández (2005) y otra con pre-tratamiento usando una solución de hexametáfosfato de sodio al 3,57%, con la finalidad de separar la fracción atrapada dentro de los agregados por el método de Cambardella y Elliot (1994). En cada una de las fracciones separadas se determinó NT por método de Kjeldhal (Brenner, 1996) y C por el método de Walkley y Black. Todos los datos analíticos se refieren al peso seco determinado en estufa a 105 °C hasta peso constante.

Análisis Estadístico

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 11.0 para Windows (Pardo y Ruíz, 2002). Los resultados se sometieron previamente a un análisis exploratorio, para la detección y eliminación de valores anómalos a través de la metodología de Tukey y con el análisis descriptivo se obtuvieron las medias, desviaciones estándares y los coeficientes de variación correspondientes. También se realizaron análisis de varianza para los métodos de separación de fracciones físicas y las pruebas de correlación de Pearson entre las diferentes variables analizadas en los suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A cada uno de los suelos se les determinó el contenido de carbono orgánico total (COT), carbono hidrosoluble (CS), nitrógeno total (NT) y carbono extraíble total (CET). Así como el contenido de carbono asociado las fracciones ácidos húmicos (CAH), ácidos fúlvicos (CAF) y sustancias no húmicas (CSNH), las huminas se obtuvieron por la diferencia entre COT y CET. Los resultados de COT y CS se presentan en diagramas de caja, donde la caja contiene el 50% de los valores centrales y la línea negra horizontal representa la mediana, mientras que las verticales indican los valores mayores y menores sin llegar a ser atípicos.

Carbono orgánico total: En la figura 1, se muestran los promedios del contenido de COT en los diferentes suelos, donde el suelo Vertisol posee la mayor cantidad ($15,49 \text{ g Kg}^{-1}$) y en el suelo Entisol la menor cantidad ($7,84 \text{ g Kg}^{-1}$). Se aprecia una mayor dispersión de los valores en el suelo Vertisol y la menor en el Entisol I.

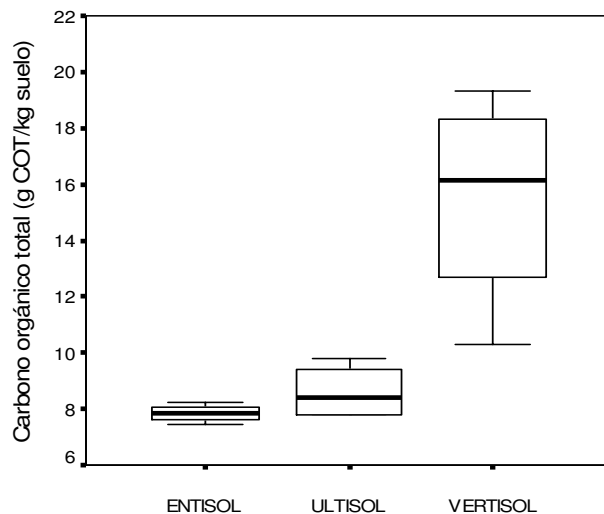


Figura 1. Contenido de carbono orgánico total en los suelos bajos estudio.

Carbono hidrosoluble (CS): El CS representa del 9 al 14 % de COT. En la figura 2, se presentan los promedios CS en los diferentes suelos, donde se observa que para los tres suelos (Entisol, Ultisol y Vertisol) evaluados el contenido es similar entre sí ($1,11$; $1,13$ y $1,36 \text{ g Kg}^{-1}$ respectivamente), aunque el suelo Vertisol posee el más alto valor y la mayor dispersión de los datos, con un coeficiente de variación de 35 %.

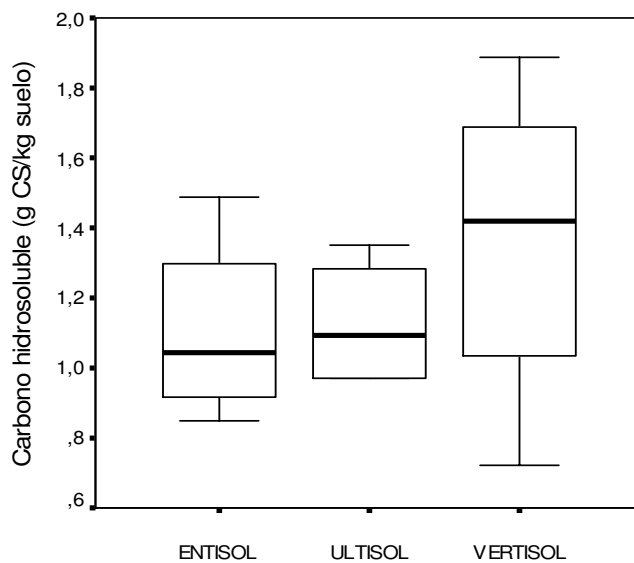


Figura 2. Contenido de carbono hidrosoluble en los suelos bajo estudio.

Características de las fracciones estables de la MOS de cada uno de los suelos seleccionados:

En el cuadro 2 se muestran los contenidos de CET, CAH, CAF y CSNH para cada uno de los suelos evaluados

Carbono extraíble total (CET): El contenido de CET se muestra en el cuadro 2, se observa el más alto contenido para el suelo Vertisol ($9,79 \text{ g Kg}^{-1}$) y para el caso de los suelos Entisol y Ultisol el contenido fue similar de $4,13$ y $4,94 \text{ g Kg}^{-1}$ respectivamente. De los parámetros evaluados el CET en el suelo vertisol fue el que presentó mayor dispersión de los datos. El CET representa entre el 53 y 63% de COT de los suelos evaluados en este trabajo.

Carbono en ácidos húmicos (CAH): En cuanto al contenido de CAH (Cuadro 2) los valores obtenidos se presentan con una gran dispersión en el suelo Vertisol y poca en el Ultisol y Entisol. El mayor contenido medio se encontró en el suelo Vertisoll ($2,47 \text{ g Kg}^{-1}$) y los más bajos y similares entre sí en los suelos Ultisol ($1,17 \text{ g Kg}^{-1}$) y Entisol ($1,30 \text{ g kg}^{-1}$). El CAH representa entre 23,63 % (Ultisol) y 31,48 % (Entisol) del carbono extraíble total en los suelos estudiados.

Carbono en ácidos fúlvicos (CAF): Al referirnos al contenido de CAF, en el cuadro 2, se aprecian el valor medio mas alto en el suelo Vertisol ($1,09 \text{ g Kg}^{-1}$), con mayor dispersión en éste último ($CV = 49 \%$). Los valores medios mas bajos se presentan en los suelos Entisol ($0,59 \text{ g Kg}^{-1}$) y Ultisol ($0,20 \text{ g Kg}^{-1}$). En otro orden de ideas se tiene que el CAF representa entre el 4,11 y 14,24 %, con mayor proporción en los suelos Entisol y Vertisol (mas del 10 % del CET) y menor proporción en el Ultisol (menos de 5 % del CET), lo cual era de esperarse debido a que esta es la fracción más sensible a los factores ambientales que han actuado con mayor intensidad en el Ultisol (suelo más evolucionado).

Carbono en sustancias no húmicas (CSNH): Con respecto a la cantidad de CSNH (Cuadro 2) se puede observar el mayor promedio para el suelo Vertisol ($5,02 \text{ g Kg}^{-1}$) y el menor para el suelo Ultisol ($1,94 \text{ g Kg}^{-1}$). En los suelos evaluados el CSNH representa entre el 39,31% (Ultisol) y 54,31% (Entisol) del CET, siendo este último es menos. Es importante destacar que la suma de las fracciones CAH + CAF + CSNH no es igual al CET con excepción del suelo Entisol (100%). El porcentaje de recuperación de las fracciones fue de aproximadamente 88% para Vertisol y 67% para el Ultisol.

Cuadro 2. Características químicas de los suelos evaluados

SUELO	COT	CET	CS	CAH	CAF	CSNH
ENTISOL	7,84 (0,311) ¹⁾	4,13 (0,429)	1,11 (0,276)	1,30 (0,023)	0,59 (0,049)	2,24 (0,053)
ULTISOL	8,59 (0,983)	4,94 (0,334)	1,13 (0,189)	1,17 (0,061)	0,20 (0,100)	1,94 (0,337)
VERTISOL	15,49 (3,880)	9,79 (2,464)	1,36 (0,486)	2,47 (1,993)	1,09 (0,531)	5,02 (0,862)

COT = Carbono orgánico total; CET = Carbono extraíble total; CS = Carbono hidrosoluble; CAH = Carbono en ácidos húmicos; CAF = Carbono en ácidos fúlvicos; CSNH = Carbono en sustancias no húmicas.

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar

Índices de calidad de la MOS: En el Cuadro 3 se indican las relaciones CET/COT, C/N, AH/AF y los índices de humificación calculados para los suelos evaluados.

Relación CET/COT: La relación CET/COT nos indica la proporción del COT que puede ser extraída con sustancias alcalinas (sustancias húmicas) y puede ser expresada como porcentaje. En el cuadro 3 se aprecia que se pueda extraer mayor cantidad de sustancias húmicas en el suelo Vertisol (63 %) y el menor porcentaje de extracción se obtuvo en el suelo Entisol (53 %).

Relación CAH/CAF: La relación AH/AF es un importante índice de humificación del COT, la cual varía de un suelo a otro y usualmente disminuye con la profundidad del suelo (McCallister y Chien, 2000).

Cuadro 3. Índices de calidad de la MOS.

SUELO	CET/COT	CAH/CAF	IH	GH (%)	RH (%)
ENTISOL	53 %	2,22	1,19	46,15	24,14
ULTISOL	58 %	7,31	1,44	27,94	16,20
VERTISOL	63 %	2,50	1,84	34,59	21,81

COT = Carbono orgánico total; CET = Carbono extraíble total; C/N = relación carbono/nitrógeno; CAH/AF = Relación carbono en ácidos húmicos/carbono en ácidos fúlvicos; IH = % de índice de humificación $[\text{CSNH}/(\text{CAH}+\text{CAF})]$; GH = Grado de humificación $[(\text{CAH}+\text{CAF})/\text{CET}] * 100$; RH = Relación de humificación $[(\text{CAH}+\text{CAF})/\text{COT}] * 100$

Esta relación es usada como un índice que describe la intensidad de los procesos de humificación. La calidad de la MOS evaluada esta basada en esta relación (Rivero *et al*, 2004). Como se aprecia en el cuadro 3, en todos los suelos se observa que el carbono asociado a los AH supera al de los AF, similar a lo conseguido por Rivero y Paolini (1994). Igualmente McCallister y Chien (2000) indican que el contenido de AH generalmente es más alto que el contenido de AF. Se observa que el suelo Ultisol presenta el mayor valor (7,31) lo cual puede atribuirse posiblemente a una baja recuperación de la fracción AF, mientras que los suelos Entisol y Vertisol presentaron valores mas bajos (2,22 y 2,50 respectivamente). Algunos autores mencionan que la relación CAH/CAF también es característica de las capas superficiales de grandes grupos de suelo

Índice de humificación (IH): el IH representa la relación entre el contenido de CSNH en relación a los compuestos humificados (CAH y CAF) (Ciavatta *et al*, 1990). Se nota que los suelos estudiados tienen un IH alto (mayor de 1) mostrando el valor más alto el suelo Vertisol (1,84), y para los suelos Entisol y Ultisol 1,19 y 1,44 respectivamente. Este índice se vio afectado en algunos suelos por el bajo porcentaje de recuperación de las fracciones.

Grado de humificación (GH): el GH es el porcentaje de compuestos humificados con respecto al CET (Ciavatta *et al*, 1990). Al hacer referencia a éste índice, se tiene que los suelos están por debajo del 50%. El GH es también usado como parámetro para la evaluación de la calidad de la MOS en fertilizantes orgánicos.

Relación de humificación (RH): la RH indica el porcentaje de compuestos humificados con respecto al COT del suelo (Ciavatta *et al*, 1990). En éste caso tenemos que para éste índice se encuentran mayores valores en los suelos Vertisol (21,81 %) y Entisol (24,14 %) y el menor valor en el Ultisol (16,20 %). Ciavatta y Govi (1993) encontraron valores de RH para suelos italianos que van desde 13,6 hasta 36,5% y para el GH desde 63,4 hasta 97,7% valores que están por encima de los obtenidos en este trabajo, por la menor proporción de carbono extraíble en los suelos evaluados.

Contenido de las fracciones ligera, pesada asociada a las partículas finas y pesada asociada a las partículas gruesas.

En el cuadro 4, se presentan los valores promedio de las diferentes fracciones físicas de la MOS: fracción ligera (FLL), fracción pesada asociada a partículas finas (FPfL) y fracción pesada asociada a partículas gruesas (FPgL). En este caso la densidad de separación fue de 1 kg m^{-3} , ya que se usó agua como medio de separación. Las diferentes fracciones separadas se señalan como libres (L) para diferenciarlas de la que esta atrapada dentro de los microagregados estables al humedecimiento y que solo puede ser extraída con el uso de soluciones dispersantes como el hexametafostato de sodio.

Para la FLL se observó que la misma varía entre 1,83 y 3,48 g FL Kg^{-1} para los suelos Ultisol y Vertisol. Los valores encontrados en este trabajo concuerdan con los resultados conseguidos en la literatura y que varían desde 0,3 a 82 g Kg^{-1} (Zagal et al, 2002). Christensen (1992) indica que en general, las concentraciones de FL en suelos bajo cultivo son menores a 4 g Kg^{-1} , similares a las conseguidas en este trabajo. Estudios recientes demuestran que se obtiene una mayor recuperación de las fracciones cuando se realiza el fraccionamiento utilizando la centrifugación en lugar de la decantación (Sohi et al, 2001). La FPfL la cual representa la fracción de la MOS asociada a partículas de limo y arcilla, presentó cantidades muy variables en los suelos evaluados, debido posiblemente a sus diferencias texturales, siendo el suelo Vertisol el que contiene la mayor cantidad de FPfL de 14,57 g kg^{-1} y la menor cantidad corresponde al suelo Entisol (6,89 g Kg^{-1}).

Cuadro 4. Cantidad de las fracciones de la MOS obtenidas con agua destilada

SUELO	FLL g kg^{-1}	FPfL g kg^{-1}	FPgL g kg^{-1}
ENTISOL	2,96 (0,754) ¹⁾	6,89 (1,108)	14,27 (0,724)
ULTISOL	1,83 (0,892)	8,26 (0,953)	18,13 (1,535)
VERTISOL	3,48 (1,225)	14,57 (3,308)	22,07 (6,591)

FLL = Fracción ligera libre; FPfL = Fracción pesada asociada a las partículas finas libre; FPg = Fracción pesada asociada a las partículas gruesas libre.

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar

La FPgL que representa la fracción de la MOS asociada a partículas de arena, presentó valores en el rango de 14,27 a 22,07 g Kg^{-1} de suelo, con un menor valor en el Entisol y mayor en el Vertisol.

En la figura 3, se presenta la distribución porcentual de cada una de las fracciones físicas separadas en los suelos evaluados. Se observa en la figura que todos los suelos tienen menor proporción de FLL (6,48 a 12,27 %) y que FPL pesada representa entre el 87,73 y 93,55 % (Entisol y Ultisol respectivamente) de las fracciones separadas. Los suelos difieren en la proporción de FPfL y FPgL, para todos los suelos evaluados predomina la FPgL comprendida entre (55,01 y 64,27% (Vertisol y Ultisol respectivamente).

Los resultados de las fracciones físicas separadas en los diferentes suelos utilizando el hexametafosfato de sodio, se presentan en el cuadro 5. Se aprecia que el suelo Ultisol posee la mayor cantidad de FLL+I (3,79 g kg^{-1}) y el Entisol presentó el menor valor (2,81 g kg^{-1}). En cuanto a la FPfL+I de igual forma el Vertisol presentó el mayor valor 23,40 g kg^{-1} . Por último para la FPgL+I se obtuvo el más alto valor en el suelo Ultisol (15,87 g Kg^{-1}).

La figura 4, muestra la distribución porcentual de cada una de las fracciones físicas separadas en los suelos bajo estudio con el uso de hexametafosfato al 3,57 % para extraer las fracciones atrapadas dentro de los microagregados estables al humedecimiento. Al igual que en el fraccionamiento realizado con agua destilada la mayor proporción está representada por la fracción pesada. La FLL+I estuvo en el rango de 8,79 a 10,89 % del total de las fracciones separadas, la FPfL+I entre 39,28 y 66,12% y la FPgL+I comprendida entre 25,09 y 49,98%, con una tendencia similar a la descrita en la figura 3.

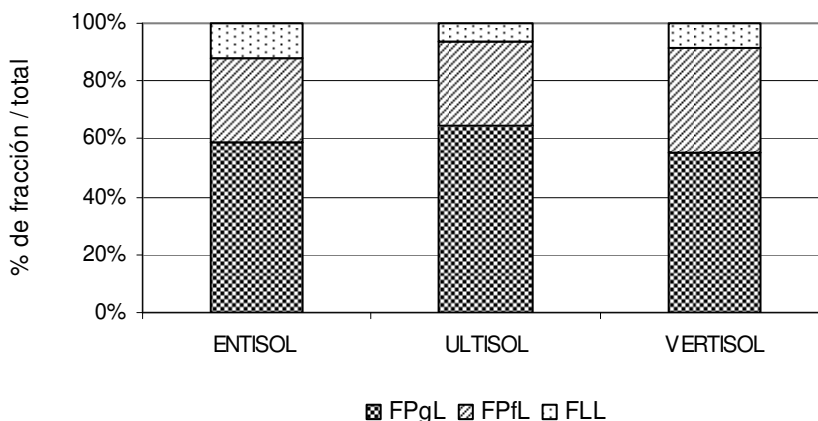


Figura 3. Porcentaje de fracción ligera (FL), fracción pesada asociada a las partículas finas (FPf) y fracción pesada asociada a las partículas gruesas (FPg) obtenidas con agua destilada de los suelos bajo estudio.

Cuadro 5. Cantidad de las fracciones de la MOS obtenidas con hexametáfosfato de sodio al 3,57% (libre + intraagregados).

SUELO	FLL+I g kg ⁻¹	FPfL+I g kg ⁻¹	FPgL+I g kg ⁻¹
ENTISOL	2,81 (0,752) ¹⁾	10,28 (1,729)	13,08 (0,739)
ULTISOL	3,79 (1,805)	15,13 (0,791)	15,87 (1,308)
VERTISOL	3,11 (0,889)	23,40 (4,956)	8,88 (2,881)

FLL+I = Fracción ligera libre + intraagregados; FPfL+I = Fracción pesada asociada a partículas finas libre + intraagregados; FPgL+I = Fracción pesada asociada a partículas gruesas libre + intraagregados

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar.

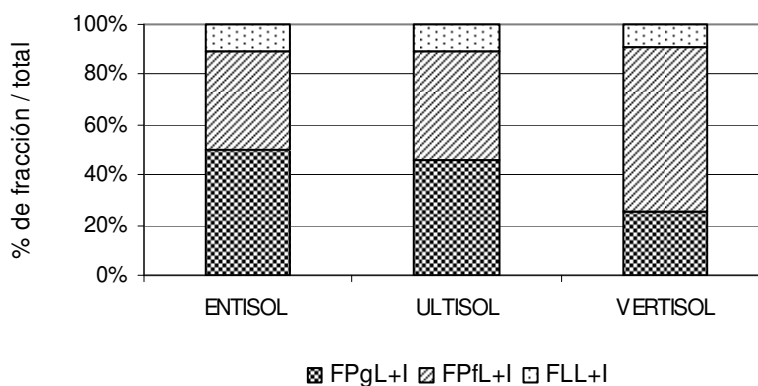


Figura 4. Cantidad de fracción ligera (FLL+I), fracción pesada asociada a las partículas finas (FPfL+I) y fracción pesada asociada a las partículas gruesas (FPgL+I) obtenidas con hexametáfosfato de sodio al 3,57% en los suelos bajo estudio.

Para complementar lo expuesto anteriormente se comparó estadísticamente los contenidos de la FLL y FLL+I para cada uno de los suelos seleccionados (figura 5). Se puede evidenciar que solo se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,01$) entre las dos fracciones para el suelo Ultisol, es decir, este suelo mantenía parte de la FL atrapada dentro de los microagregados, la cual es liberada al ser destruidos éstos con el hexametáfosfato. Esto es posiblemente debido a que el suelo Ultisol muy evolucionado puede tener altos contenidos de óxido de hierro y aluminio, los cuales funcionan como agentes cementantes de origen inorgánico y produce agregados muy estables al humedecimiento (Fortun y Fortun, 1989)

De igual forma en la figura 6 se comparan las cantidades de fracción pesada obtenidas con agua destilada y hexametáfosfato de sodio al 3,57% para los distintos suelos. En este caso se sumaron las FPf y FPg obtenidas por ambos métodos. Tal como muestra la citada figura sólo se observaron diferencias estadísticas significativas para el suelo Ultisol, similar a lo ocurrido con la FL.

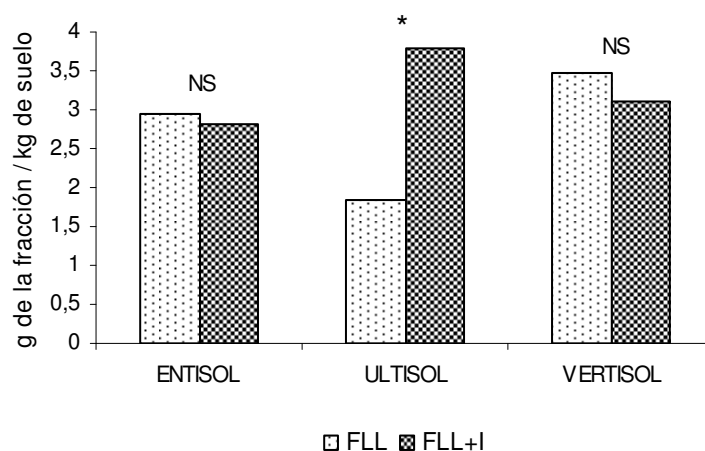


Figura 5. Comparación de la fracción ligera libre y fracción ligera libre más intra-agregados en los suelos evaluados (* = Diferencias significativas a un nivel de confianza de 99%; NS = Diferencias no significativas a un nivel de confianza de 99%)

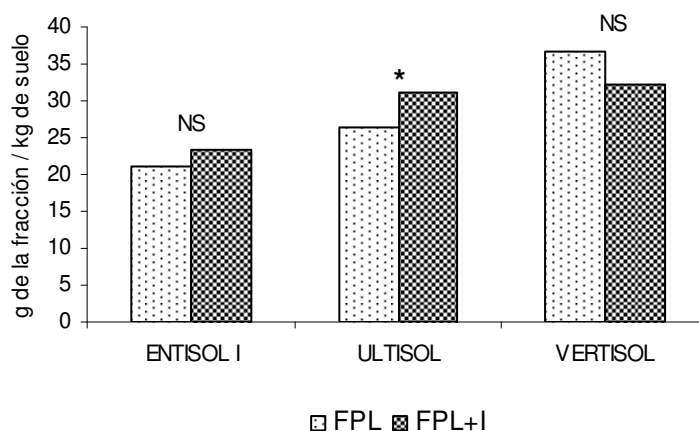


Figura 6. Comparación de la fracción pesada libre y de la fracción pesada libre más intra-agregados en los suelos evaluados. (* = Diferencias significativas a un nivel de confianza de 99%; NS = Diferencias no significativas a un nivel de confianza de 99%)

Variación del contenido de C y N, y relación C/N en el suelo completo y en las fracciones de la MOS obtenidas por fraccionamiento físico

En el cuadro 6 se muestran los resultados de C y N, relación C/N para el suelo completo y para cada una de las fracciones obtenidas a través del fraccionamiento físico de la MOS: FL, FPf y FPg en los suelos bajo estudio.

C y N y relación C/N en el suelo completo: Los valores de C en los suelos bajo estudio ya fueron analizados previamente; En relación al N se presenta una gran variación en los contenidos en los diferentes suelos evaluados. Para todos los suelos se observaron contenidos bajos. Sin embargo se destaca que el suelo Vertisol mostró el mayor contenido de $0,92 \text{ g Kg}^{-1}$, este valor es semejante al encontrado por Carvalho *et al*, (1999) en un estudio realizado en un suelo poco evolucionado en la localidad de Arganda del Rey (España), sometido a distintas sucesiones de cultivo: cebada, Zea-Avena/Girasol y Prado/Zea-Avena con $0,8 \text{ g Kg}^{-1}$; $1,2 \text{ g Kg}^{-1}$ y $1,3 \text{ g Kg}^{-1}$ respectivamente. De igual forma en todos los suelos bajo estudio la relación C/N favorece la mineralización (menos de 30), presentándose el mayor valor el suelo Ultisol (24,26) y el valor más bajo el suelo Entisol.

C y N y relación C/N en las fracciones: En todos los suelos se observa que el contenido de C fue mayor en la FL en comparación con las FPf y FPg, el C de la FL presentó valores entre $234,76$ y $261,37 \text{ g Kg}^{-1}$, en la FPf de $29,44$ a $62,61 \text{ g Kg}^{-1}$, y en la FPg de $17,39$ a $45,56 \text{ g Kg}^{-1}$. Es importante destacar que tanto para la FL como la FPf los mayores contenidos de C los presenta el suelo Ultisol, pero para la FPg el mayor contenido de C lo presentó el suelo Vertisol.

Cuadro 6. Contenido de C y N en el suelo completo y cada una de las fracciones separadas.

Fracción	Variable	Entisol	Ultisol	Vertisol
Suelo completo	C (g/Kg)	7,84 (0,311) 1)	8,59 (0,983)	15,49 (3,880)
	N (g/Kg)	0,53 (0,141)	0,36 (0,017)	0,92 (0,136)
	C/N	15,62 (4,51)	24,26 (1,807)	16,71 (2,219)
FL	C (g/Kg)	261,33 (37,281)	261,37 (22,496)	234,76 (71,078)
	N (g/Kg)	7,04 (0,795)	6,68 (0,394)	5,63(1,254)
	C/N	37,26 (5,327)	39,07 (3,504)	43,22(14,530)
FPf	C (g/Kg)	43,00 (8,187)	62,61(1,437)	29,44 (6,005)
	N (g/Kg)	2,33 (0,317)	2,27 (0,088)	1,42 (0,284)
	C/N	18,41(3,670)	27,57(1,475)	20,66 (0,111)
FPg	C (g/Kg)	17,39 (0,797)	21,22(2,063)	45,56 (10,598)
	N (g/Kg)	0,09 (0,019)	0,08(0,021)	1,05 (0,222)
	C/N	173,75 (8,016)	212,25 (20,271)	43,32 (0,855)

FL = Fracción ligera; FPf = Fracción pesada asociada a las partículas finas; FPg = Fracción pesada; asociada a las partículas gruesas;

C = Carbono; NT = Nitrógeno Total

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar

En relación al contenido de N de las diferentes fracciones los valores presentan la siguiente tendencia FL>FPf>FPg con rangos entre 5,63 y 7,04 g Kg⁻¹ (FL), entre 1,42 y 2,33 g Kg⁻¹ (FPf) y entre 0,08 y 1,05 g kg⁻¹(FPg). El Vertisol es el que presentó los menores contenidos de N en FL y FPf, mientras que en la FPg los menores valores se presentan en el Ultisol y Entisol (cercana a 0,08 g Kg⁻¹), los cuales tienen los mayores contenidos de arena. Con respecto a la relación C/N, para cada una de las fracciones físicas de la MOS, en la FL se puede notar que el mayor valor corresponde al suelo Vertisol (43,22), mientras que el más bajo es para el suelo Entisol (37,26).

En este estudio la FPf la relación C/N fue mayor en el suelo Ultisol (27,57) y menor en el suelo Entisol (18,41). Por su parte en la FPg se observó que debido a que los contenidos de N en algunos suelos son muy bajos, se presenta una gran variación de la relación C/N, con valores entre 43,32 (Vertisol) y 212,25 (Ultisol).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que los suelos evaluados presentaron diferencias en COT y CS, siendo el suelo Vertisol el que presentó mayor contenido y el suelo Entisol el de menor contenido para ambos. Los contenidos de CET están en un rango entre 53 y 63% del COT. Con la metodología utilizada se obtuvo diferencias en el porcentaje de recuperación de las fracciones extraíbles en álcali, lográndose una mayor recuperación en el suelo Entisol I (100%) y menor en el suelo Ultisol (67%). Por otra parte la baja recuperación de algunas de las fracciones extraíbles en alcali afectó el cálculo de los índices de humificación.

De las fracciones físicas separadas (FL, FPf y FPg) el suelo Vertisol fue el que presentó mayor contenido absoluto (40,12 g Kg⁻¹) y en el resto de los suelos que se separaron contenidos similares (< 30 g Kg⁻¹). En términos porcentuales la mayor proporción de FL se presentó en el suelo Entisol (12,27 g Kg⁻¹) y la menor en el Ultisol (6,48 g Kg⁻¹); en la FPf la mayor se presentó en el Vertisol (36,32 g Kg⁻¹) y la menor en el Entisol I (28,57 g Kg⁻¹) y en la FPg la mayor proporción se presentó en el Ultisol (64,25 g Kg⁻¹) y la menor en el Vertisol (55,01 g Kg⁻¹). Del fraccionamiento físico se pudo evidenciar que solo el suelo Ultisol presentó fracción ligera atrapada dentro de los agregados.

Los contenidos de NT para el suelo completo están en un rango de 0,36 a 0,92 g Kg⁻¹ para los suelos Ultisol y Vertisol respectivamente. Mientras que los contenidos de NT en las fracciones físicas disminuyen en todos los suelos en el siguiente orden: FL > FPf > FPg.

LITERATURA CITADA

- Barrios, E., R. Buresh, y J. Sprent.** 1996. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biol. Biochem.* 28 (2):185–193.
- Bremner, J.** 1996. Nitrogen – total. In: *Methods of Soil Analyses, Part 3 Chemical Methods.* American Society of Agronomy, INC. Soil Science Society of America, INC. Publisher. Wisconsin, USA. pp 1085–1121.
- Cambardella, C. y E. Elliott.** 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:123–130.
- Carvalho, O., Saa, A., Gascó, J., Caballero, R. y F. Guerrero.** 1999. Variabilidad temporal de algunas propiedades químicas en un suelo sometido a distintas sucesiones de cultivo. *Pesq. Agropec. Bras.* 34:2299-2309.
- Christensen, B.** 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:2-38.
- Ciavatta, C., Govi, M., Vittori, L. y P. Sequi.** 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *J. Chrom.* 509:141-146.
- Ciavatta, C. y M. Govi.** 1993. Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes. *J. Chrom.* 643:261-270.
- Dell'Abate, M.** 1995. Caratterizzazione della sostanza organica del suolo mediante tecniche di termoanalisi. *Tai del Convengo P.A.N.D.A. Ricerche Stalleti dei Sistemi Colturali. Tecnologie Chimiche Avanzate per l'a Agricoltura.* Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante. Pubblicazione N° 19, Sottoprogetto 3, Serie 3. Roma, Italia. pp. 83-92.

- Espinoza, Y.** 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 21:126-140.
- Fortun, C. y A. Fortun.** 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *An. Edafol. Agrobiol.* 48:185-204.
- Franzluebbers, A.** 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66:95-106.
- Ghani, A., Dexter, M. y K. Perrott.** 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35:1231-1243.
- Heanes, D.** 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1191-1213.
- Haynes, R. y G. Francis.** 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44:665-675.
- Jackson, M.** 1964. Análisis químicos de suelos (3^{ra} Edición). Ediciones Omega, Barcelona, España. 662 p.
- Leifeld, J. y I. Kögel.** 2005. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use?. *Geoderma* 124:143-155.
- Loveland, P. y J. Webb.** 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70:1-18.
- Lozano, Z. y R. Hernández.** 2005. Fraccionamiento químico y físico de la materia orgánica del suelo. En: Evaluación de la Calidad de los Suelos. Universidad Central de Venezuela (Mimeografiado). 11 p.
- Magid, J., Cadisch, G. y K. Giller.** 2002. Short and medium term plant litter decomposition in a tropical Ultisol elucidated by physical fractionation in a dual ¹³C and ¹⁴C isotope study. *Soil Biol. Biochem.* 34:1273-1281.
- McCallister, D. y W. Chien.** 2000. Organic carbon quantity and forms as Influenced by tillage and cropping sequence. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 31:465-479.
- Pardo, A. y M. Ruíz.** 2002. SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Fernández C. (Ed). Mc Graw Hill, Madrid (España) 715 p.
- Pla, I.** 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance N° 32. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*. 91 p.
- Pla, I.** 1994. La materia orgánica y la degradación y erosión de los suelos en el trópico. En: Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, Colombia. pp. 38-47.
- Rivero, C. y J. Paolini.** 1994. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. *Revista de la Facultad de Agronomía. (Maracay)* 20:167-176.
- Rivero, C., Senesi, N., Paolini, J. y V. D'Orazio.** 1998. Characteristic of humic acids of some Venezuelan soils. *Geoderma* 81:227-239.
- Rivero, C.** 1999. Materia orgánica del suelo. Alcance N° 57. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*. 211 p.
- Rivero, C., Chirenje, T., Ma, L. y G. Martinez.** 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma* 123:355-361.
- Schnitzer, M. y S. Khan.** 1978. Soil organic matter. New York, Elsevier Scientific Publishing Co. 319 p.
- Schnitzer, M. y P. Schuppli.** 1989. Methods for sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1418-1424.
- Sequi, P., De Nobili, M., Leita, L. y G. Cercigni.** 1986. A new index of humification. *Agrochimica* 30:175.

- Sohi, S., Mahieu, N., Arah, J., Powlson, D., Madari, B. y J. Gaunt.** 2001. A procedure for isolating organic matter fractions suitable for modelling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1121-1128.
- Stein, M.** 1999. Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un Ultisol de sabana cultivada y pastoreada durante 4 años con especies adaptadas. Tesis para optar al título de Lic. en Biología. UCV-Caracas. 71 p.
- Wander, M.** 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. *In: Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* CRC Prees LLC. pp 67–99.
- Zagal, E., Rodríguez, N., Vidal, I. y A. Flores.** 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. *Agric. Téc. (Chile)* 62:284-296.
- Zagal, E. y C. Cordova.** 2005. Indicadores de la calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. *Agric. Téc. (Chile)* 65:186-197.
- Zalba, P. y R. Quiroga.** 1999. Fulvic acid carbon as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *J. Soil Sci.* 164:57-61