
Efecto de cultivos de cobertura de diferentes calidades sobre la materia orgánica de dos suelos venezolanos

Quality cover crop effect on organic matter of two Venezuelan soils

Zenaida Lozano¹; Carlos Bravo²; Rosa Mary Hernández²; Maria Teresa Dell'Abate³; Francesco Alianello³; Anna Benedetti³

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela, Teléfono 58-243-5507152, Fax: 58-243-5507169, E-mail: lozanoz@agr.ucv.ve.

² Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Centro de Agroecología Tropical, Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos. Caracas, Venezuela.

³ Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante. Roma, Italia.

RESUMEN

La materia orgánica tiene gran influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, pero a su vez ésta es afectada tanto en cantidad como en calidad por las prácticas de manejo que se aplican al suelo. El objetivo de este estudio es comparar el efecto de diferentes cultivos de cobertura (gramíneas y leguminosas), utilizados como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista, sobre las diferentes fracciones de la MO, en dos suelos de características contrastantes. Para este estudio se seleccionaron un Vertisol arcilloso (San Pablo) y un Entisol arenoso (La Iguana), ambos en el estado Guárico (Venezuela), tomando muestras a tres profundidades y tres épocas (años 2000 y 2001). Se realizó una caracterización inicial de ambos suelos y luego de la siembra del maíz se evaluó: carbono orgánico total (COT), carbono extraíble total (CET) fracción ligera (FL) y fracción pesada (FP) de la materia orgánica, ácidos

ABSTRACT

The different fractions of organic matter have a great influence on the chemical, physical and biological properties of the soils, and at the same time they are affected (in quantity and quality) by the management applied to them. Therefore, the objective of this study was to compare the effect of different cover crops (gramineous and leguminous) used as improved fallow for conservation tillage system on the organic matter fractions, in two contrasting soils. A clayey Vertisol (San Pablo) and sandy Entisol (La Iguana) were selected; both on Guárico state (Venezuela) and they were sampled at three depth and three moment for the development of the systems (years 2000 and 2001). It was evaluated: total organic carbon (TOC), total extracted carbon (TEC), light fraction content (LF) and heavy fraction content (HF) of organic matter, humic acid (HA), fulvic acid (FA) and carbon in all fractions; also the index C/N, degree of humification (DH), humification rate (HR), humification index (HI), CHA/CFA, CFA/COT were calculated. The results indicated differences between both

húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y carbono en todas estas fracciones; también se calcularon los índices: C/N, grado de humificación (DH), relación de humificación (HR), índice de humificación (HI), CAH/CAF, CAF/COT. Los resultados indican diferencias entre ambos suelos, debido principalmente a su granulometría y a la calidad de las coberturas evaluadas, especialmente en el índice de humificación.

Palabras claves: Cultivos de cobertura, materia orgánica, Entisol, Vertisol.

soils, due mainly to their granulometry and among the evaluated covers, especially in the humification index.

Key words: Cover crops, organic matter, Vertisol, Entisol.

INTRODUCCIÓN

Los Llanos centrales de Venezuela ocupan una superficie de 64.980 km² (7,3 % del territorio nacional), con una precipitación entre 400 a 1300 mm (distribuidos con una marcada estacionalidad climática), con una gran variedad de tipos de suelos y un sistema de manejo de cultivos limpios mecanizados de doble propósito (grano y alimentación animal con la soca). Esto, unido a la presencia de suelos altamente susceptibles y lluvias de alto poder erosivo, ha generado una disminución de la productividad de los cultivos y una degradación acelerada de los suelos. Entre las alternativas propuestas para la zona se destaca el uso de sistemas de labranza conservacionista con el uso de barbechos mejorados de gramíneas y leguminosas, que permitan detener los procesos de degradación, mejorar las propiedades del suelo e incrementar la oferta forrajera para el ganado. Numerosos estudios destacan el mejoramiento de las propiedades del suelo como consecuencia de sembrar sin labrar y de dejar en la superficie una cobertura de residuos que lo proteja; esto se debe a los cambios en el contenido de la materia orgánica del suelo (MOS). La MOS tiene efectos sobre procesos como: la formación y mantenimiento de una buena estructura del suelo, el almacenamiento del agua, la retención de nutrientes en formas disponibles, disminución de las pérdidas de N, P, S y algunos elementos traza, la inmovilización de elementos contaminantes, etc.; por lo que la medición de los cambios en el contenido y distribución de las diferentes fracciones de la MOS, puede ser de utilidad para evaluar la calidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo. La MOS medida como carbono orgánico (CO) en sistemas de manejo conservacionista (siembra directa, rotaciones, cultivos de cobertura, abonos verdes, etc), está estrechamente relacionada con el período de tiempo bajo el sistema de manejo y con la cantidad de residuos que retornan al suelo (Utomo *et al.*, 1990, Lal, 1997). El contenido total de CO varía poco con el manejo, por lo que se ha sugerido la utilización de diferentes fracciones o compartimientos funcionales como indicadores de la sostenibilidad de estos sistemas a largo plazo. Algunos de los índices utilizados son: el contenido de carbono en las fracciones pesada (FP) y ligera (FL) de la materia orgánica, el contenido de carbono en ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF), los parámetros de humificación propuestos por Sequi *et al.* (1986): índice de humificación (IH), grado de humificación (GH) y tasa de humificación (TH), las relaciones AH/AF y AF/COT. Debido a que los índices de humificación dan información sobre el nivel de humificación, pero poca sobre su origen, se han utilizado otras técnicas para caracterizar las sustancias húmicas y evidenciar las diferencias entre los tratamientos de cobertura, como lo es la electrofocalización o focalización isoeléctrica, la cual ha sido utilizada para identificar diferentes grados de humificación de la materia orgánica en suelos agrícolas y fertilizantes orgánicos y para evaluar los cambios en la MOS como resultado de diferentes sistemas de labranza, procesos de erosión y manejo de residuos (Alianiello, 1998; Alianiello *et al.*, 1999; Trinchera *et al.*, 1999, McCallister y Chien, 2000).

El objetivo de este estudio es comparar el efecto de diferentes cultivos de cobertura (gramíneas y leguminosas), utilizados como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista, sobre diferentes fracciones de materia orgánica de dos suelos de características contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue conducido en dos suelos representativos de los Llanos Centrales venezolanos, localizados al sureste del estado Guárico. El primero, denominado La Iguana (IGU) es un Ustoxic Quartzipsament, isohipertérmico, silíceo (Lozano et al., 2004), ubicado en la Estación Experimental La Iguana, localizado en la zona de influencia de la cuenca del Orinoco. El ecosistema es una sabana bien drenada con una vegetación típica de gramíneas como *Trachypogon* sp, *Axonopus canascen*, *Axonopus capillacea*, *Diectomis fastigiata* y ciperáceas en menor proporción; también se encuentran dispersos árboles como *Curatella americana*, *Byrsonimia crassifolia* y *Bowdichia virgiliodes* (Matheus, 1986). El segundo suelo, denominado San Pablo (SPA) es un Typic Haplusterts, arcilloso, mixto, isohipertérmico (Lozano et al., 2004), ubicado en una finca privada cerca de la localidad de Valle de la Pascua. El ecosistema consiste de una transición entre la sabana y el Bosque seco Tropical, sembrado con sorgo por más de 20 años. En ambas zonas el clima es biestacional con una temporada seca bien marcada y una temporada lluviosa de 6 a 7 meses, comprendida entre los meses de marzo a noviembre; la precipitación anual de 1369 mm en IGU y 1074 mm en SPA y la temperatura promedio de 27,3 °C.

Se evaluaron tratamientos de cobertura como barbecho mejorados para el establecimiento de un sistema de labranza conservacionista (siembra directa). En IGU *Urochloa dictyoneura* (UDY), *Urochloa decumbens* (UDE), *Centrosema macrocarpum* (CM) y vegetación natural (VN) y en SPA *Brachiaria humidicola* (UH), *Centrosema macrocarpum* (CM) y vegetación natural (VN). Para ambos suelos la VN consistió de las plantas que crecieron espontáneamente luego de la labranza y fertilización para el establecimiento de las coberturas, constituida por una mezcla de gramíneas (géneros Digitaria, Paspalum, Anthephora, Eleusine, etc.) y leguminosas (géneros Indigosfera, Hyptis, Mimosa, Aeschynomene, Corchorus, etc.). Antes del establecimiento de los ensayos se realizó una caracterización química y física inicial, se evaluó: distribución de tamaño de partícula, densidad aparente por el método del cilindro, pH (1:2), capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total, carbono orgánico total, fósforo y potasio disponible, con los métodos de rutina utilizados en los Laboratorio del Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía – UCV (Pla, 1983; UCV, 1993). Los ensayos se instalaron en el año 1999, y se aplicó una fertilización básica de 350 kg.ha⁻¹ de roca fosfórica acidulada y posterior siembra de 4 kg.ha⁻¹ de las gramíneas y 3 kg.ha⁻¹ de las leguminosas. A partir del año 2000, se cortaron las coberturas con rotativa, se aplicó un herbicida de contacto (paraquat 4 L.ha⁻¹), se sembró y fertilizó el maíz en siembra directa, con fertilizantes inorgánicos solubles en dosis de acuerdo a los análisis de suelo. Luego de la cosecha se introdujo ganado ovino del tipo mestizo tropical a pastorear (solo en IGU) por un período de 7 semanas.

El diseño experimental utilizado corresponde a un Parcelas Grandes sin repetición (Machado, 2000), seleccionado con base a un estudio previo de variabilidad espacial, donde también se determinó el tamaño óptimo de las parcelas experimentales (30 m x 30 m en IGU y 30 m x 40 m en SPA). En ambas zonas el número mínimo de muestras para la caracterización de los diferentes tratamientos fue de 12 muestras. Se tomaron muestras a tres profundidades (IGU 0-5, 5-15 y 15-30 cm y SPA 0-5, 5-10 y 10-20 cm) y en tres épocas importantes en el desarrollo del sistema: antes del corte de las coberturas (AC), en floración del maíz (F) y después del pastoreo del ganado (DP).

Las muestras se secaron al aire y se tamizaron a una fracción menor de 2 mm. En cada muestra se realizaron las siguientes determinaciones: carbono orgánico total (COT) por mineralización con K₂Cr₂O₇ en medio ácido; (Heanes, 1984; Bremner y Mulvaney, 1982), separación de las fracciones ligeras (FL) y pesadas (FP), con 250 g de suelo dispersados en agua destilada, considerando como FL todo aquel material que flota en el agua y que queda retenido entre los tamices de 2 y 0,25 mm; y como FP el material orgánico íntimamente asociado a las partículas minerales del suelo, que no flota y que pasa por el tamiz de 0,25 mm.

De la fracción pesada total (FPt) se separó aquella asociada a las partículas gruesas (FPpg) y la asociada a las partículas finas (FPpf). En todas las fracciones se les determinó el carbono orgánico (Anderson e Ingram, 1993), extracción de las sustancias húmicas con NaOH/Na₄P₂O₇ 0,1 M, agitando a temperatura de 65 °C por 48 horas, en atmósfera de N₂. Las sustancias húmicas fueron separadas por acidificación del extracto y centrifugación. El material precipitado corresponde a los ácidos húmicos (HA) y el sobrenadante a los ácidos fúlvicos (FA); estos últimos fueron purificados por cromatografía a través de una columna con la resina polyvinilpyrrolidona (Schnitzer y Schuppli, 1989; Ciavatta *et al.*, 1990; Ciavatta y Govi, 1993). Con los resultados de carbono orgánico de las distintas sustancias húmicas se calcularon los parámetros de humificación descritos por Dell'Abate *et al.* (1998): Índice de humificación (HI), Grado de humificación (DH) y Relación de humificación (HR). Se calcularon además, las siguientes relaciones: C/N, CET/COT, CAH/CAF y CAF/COT.

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \text{NH} / (\text{CAH} + \text{CAF}) \\ \text{DH} &= (\text{CAH} + \text{CAF})/\text{CET} \times 100 \\ \text{HR} &= (\text{CAH} + \text{CAF})/\text{COT} \times 100 \end{aligned}$$

Donde:

NH = Carbono en las sustancias no húmicas (%)

CAH = Carbono en los ácidos húmicos (%)

CAF = Carbono en los ácidos fúlvicos (%)

CET = Carbono extraíble total (%)

COT = Carbono orgánico total del suelo (%)

Con el objetivo de obtener los perfiles de focalización isoeléctrica se tomaron entre 3 y 5 mg de los extractos purificados y concentrados de ácidos húmicos y fúlvicos y se preparó una solución de 25 µg/mL. Paralelamente se preparó un gel de Poliacrilamida (PGA) de 0,5 mm de espesor con 3,3 mL de miscela acrilamida/bisacrilamida 35:1 al 30 % en agua destilada; 0,7 mL de anfolina a un rango de pH de 3,5 a 5,0; 0,125 mL de anfolina a un rango de pH de 5,0 a 7,0 y 0,125 mL de anfolina a un rango de pH de 6,0 a 8,0; 0,27 mL de la solución Temed al 3 %; 0,65 mL de la solución de perisulfato de amonio al 1,5 % y 14,3 mL de agua destilada. La placa se preparó por lo menos 5 horas antes de la focalización. La placa preparada se colocó en una superficie de cerámica de un generador de corriente continua para electroforesis (Electrophoresis Power Pharmacia BioCETH®, EPS 3500 XL, Multiphor II), colocando en los lados de la placa del gel, dos cintas de papel absorbente de aproximadamente 22 cm de largo en forma paralela. La cinta correspondiente al ánodo (+) se bañó con una solución de H₃PO₄ 0,2 M y la correspondiente al cátodo (-) con una solución de NaOH 0,1 M. Se conectó el generador para el establecimiento de la diferencia de potencial por un período de dos horas y media a 1200 V, 9 W y 7,6 mA (precorrida). Finalizada la precorrida se colocaron taponcitos de papel absorbente en la placa de gel en el polo negativo, agregando a cada taco entre 20 y 30 µL de la solución para los ácidos húmicos y entre 40 y 50 µL para los ácidos fúlvicos. Colocadas las muestras se conectó el generador de corriente a las mismas condiciones de la precorrida, por un período de dos horas (corrida). Finalizada la corrida, la placa fue colocada a agitar en una solución compuesta por ácido acético al 5 %, alcohol desnaturalizado al 25 % y 0,1 % de blue Coomassie G 250, por un período de al menos 12 horas, después de las cuales se colocó a decolorar en una solución compuesta por ácido acético al 5 % y alcohol desnaturalizado al 25 %. Los perfiles coloreados fueron posteriormente scaneados en un densitómetro laser (Pharmacia LKB Ultrascan XL) y los perfiles expresados en función del pH (Alianiello *et al.*, 1999).

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico Statistix para Windows. Se sometieron a un análisis exploratorio para la detección y eliminación de valores anómalos y el cálculo de las medias y desviaciones estándares. Para la detección del efecto de los tratamientos de coberturas sobre las variables consideradas, se utilizó un análisis de varianza.

Los datos de cada variable fueron sometidos previamente, a las pruebas de normalidad de Will-Shapiro y de homogeneidad de varianza de Barlett. Aquellas variables cuyos datos no mostraron distribución normal o presentaron heterocedasticidad (desigualdad de las varianzas en las medias muestrales), fueron transformados. La comparación entre las medias de los tratamientos dentro de cada profundidad, se realizó mediante la prueba de Tukey, a una probabilidad del 99 % (Chacín, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización inicial de los suelos y los cultivos de cobertura utilizados se presenta en los Cuadros 1 y 2. Ambos suelos presentan una reacción ácida y bajo contenido de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio, una capacidad de intercambio catiónica baja en IGU y media en SPA y una alta relación C/N.

Cuadro 1. Características iniciales de los suelos La Iguana y San Pablo (mayo de 1999).

Característica	La Iguana		San Pablo	
	0 – 15 cm	15 – 30 cm	0 – 10 cm	10 – 20 cm
% Arena	87,53	86,15	33,38	30,12
% Limo	6,50	5,36	31,90	29,26
% Arcilla	5,97	8,25	34,72	40,62
Clase textural	a	a	FA	A
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	1,75	1,73	1,62	1,63
pH (1:1)	5,08	4,55	5,49	5,80
CIC (cmol+.kg ⁻¹)	1,50	1,06	23,3	20,3
NT (g.kg ⁻¹)	0,27	0,09	1,15	0,89
COT (g.kg ⁻¹)	5,4	2,9	14,4	10,7
P (mg.kg ⁻¹)	3,4	0,3	9,0	3,1
K (mg.kg ⁻¹)	27	18	113	93
Relación C/N	20	32	12	12

pH: reacción del suelo; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; NT: Nitrógeno total; COT: carbono orgánico total; P: Fósforo disponible (Olsen); K: Potasio disponible (Acetato de amonio).

En ambos suelos la densidad aparente se encuentra en valores por encima de los adecuados para su clase textural, lo que indica problemas de compactación natural (IGU) o inducida por el manejo (SPA). Con relación al aporte de nutrientes por parte de los cultivos de cobertura, el C es similar para todas las coberturas en ambos suelos, pero se presentan diferencias en los contenidos de N, P y K, principalmente. El N es mayor en los tratamientos CM y VN de ambos suelos, el P es mayor en el tratamiento CM en el suelo IGU, pero es similar en todas las coberturas en el suelo SPA, por su parte el K es mayor en VN y CM del suelo IGU, mientras que en SPA es mayor en UH y VN. Finalmente la relación C/N es mayor en los tratamientos de gramíneas (UH, UDY y UDE), seguido de VN y es mas baja en CM.

Cuadro 2. Contenido de nutrientes en las diferentes coberturas, en los suelos La Iguana y San Pablo (antes del corte 2001).

Parámetro	La Iguana				San Pablo		
	VN	CM	UDY	UDE	VN	CM	UH
C (g.kg ⁻¹)	337,8 a ¹	330,4 a	364,8 a	310,4 a	338,7 a	327,4 a	282,0 a
N (g.kg ⁻¹)	8,75 ab	12,65 a	8,23 ab	6,28 b	6,42 ab	7,87 a	4,86 b
P (g.kg ⁻¹)	2,53 a	3,17 a	1,85 ab	0,94 b	2,53 a	2,39 a	2,95 a
K (g.kg ⁻¹)	10,57 a	7,58 a	2,23 ab	0,20 b	2,41 b	0,98 c	3,73 a
Ca (g.kg ⁻¹)	5,82 a	6,29 a	2,91 ab	0,46 b	3,36 a	2,69 a	2,39 a
Mg (g.kg ⁻¹)	1,01 ab	1,09 ab	1,98 a	0,13 b	1,05 a	1,50 a	1,22 a
Na (g.kg ⁻¹)	4,59 a	3,28 a	1,25 ab	0,34 b	0,68 b	1,49 a	0,78 b
C/N	42 a	28 a	60 a	50 a	54 a	45 a	71 a

VN: Vegetación natural; CM: *Centrosema macrocarpum*; UDY: *Urochloa dictyoneura*; UDE: *Urochloa decumbens*; UH: *Urochloa humidicola*; C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio, Na: Sodio, C/N: Relación Carbono:Nitrógeno.

¹ Las letras minúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$), en un mismo suelo.

Carbono orgánico total (COT): En este estudio se evaluó el cambio en el contenido de COT por efecto de los cultivos de cobertura, a lo largo del perfil y en diferentes épocas. Como se aprecia en la Figura 1, el COT del suelo IGU presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, con la profundidad y a lo largo del período de evaluación.

Con el establecimiento de los cultivos de cobertura, se produjo un incremento apreciable del COT a nivel superficial en todos los tratamientos, con relación a los valores iniciales entre 17 y 57 %. Los valores a nivel superficial están entre 7,6 y 11,2 g.kg⁻¹, seguido de la capa de 5 a 15 cm con contenidos entre 3,7 y 8,3 g.kg⁻¹ en y de 2,9 a 6,8 g.kg⁻¹ en la última capa.

Las diferencias entre tratamientos se presentan en la capa superficial con mayores valores en los tratamientos VN y CM, sin diferencias en las capas más profundas. Estas diferencias son producto de los residuos en superficie. A lo largo del período de evaluación, a nivel superficial la tendencia en los tratamientos VN y CM es a mantenerse o aumentar ligeramente, mientras que en UDY y UDE, es a disminuir el contenido de COT. En la capa de 5 a 15 hay cierta tendencia a aumentar en todos los tratamientos, posiblemente debido a descomposición de las raíces tanto de las coberturas como del cultivo. En la capa más profunda los valores son similares a lo largo del período.

En el suelo SPA (Figura 2), se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, con la profundidad y a lo largo del período de evaluación. Con el establecimiento de los cultivos de cobertura, el COT se incrementó en un 18 % en UH, posiblemente debido a la mayor acumulación de biomasa en este tratamiento (UH = 664, CM = 144, VN = 123 g.m⁻²). Se encontraron contenidos de COT entre 13,1 y 18,3 g.kg⁻¹ en la capa de 0 a 5 cm, de 9,1 a 13,9 g.kg⁻¹ en la capa de 5 a 10 cm y de 6,8 a 11,4 g.kg⁻¹ en la última capa. A lo largo del ciclo de evaluación, la tendencia del COT en todos los tratamientos fue de disminuir, principalmente en CM, lo que se puede atribuir a una disminución progresiva en el aporte de biomasa en este tratamiento. En el tratamiento UH se mantuvieron los mayores valores de COT en las dos primeras capas (0 a 10 cm), pero en la última fue mayor en VN, posiblemente debido al aporte por la descomposición de las raíces en este tratamiento. Las coberturas introducidas disminuyeron su aporte de biomasa a lo largo del ciclo de evaluación, hasta casi cero a finales del año 2001, lo que reflejan la poca adaptación de las mismas al sistema de siembra directa en este suelo.

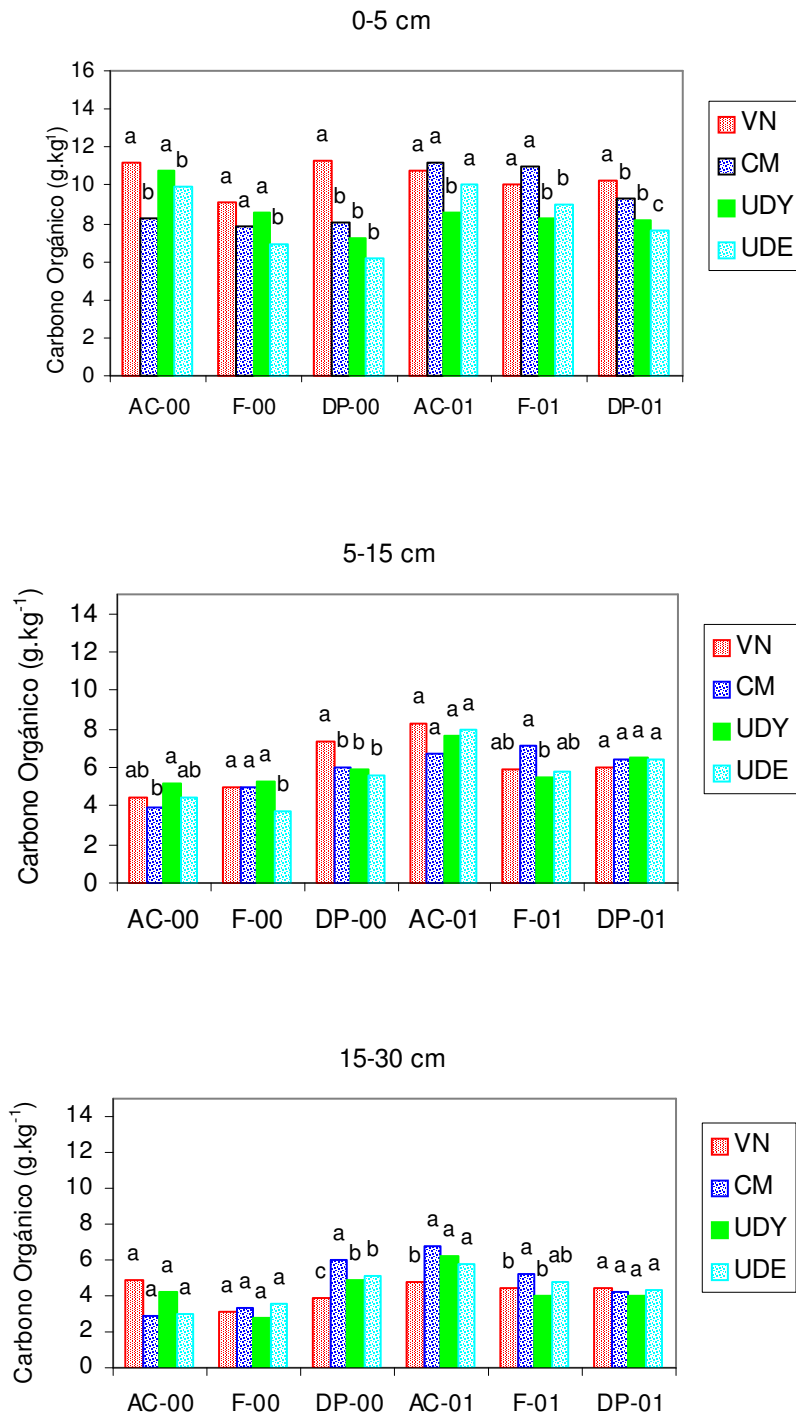


Figura 1. Variación del contenido de carbono orgánico (g.kg⁻¹) en las diferentes épocas y profundidades consideradas en el suelo La Iguana (Las letras minúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos (p>0.05) para una misma evaluación).

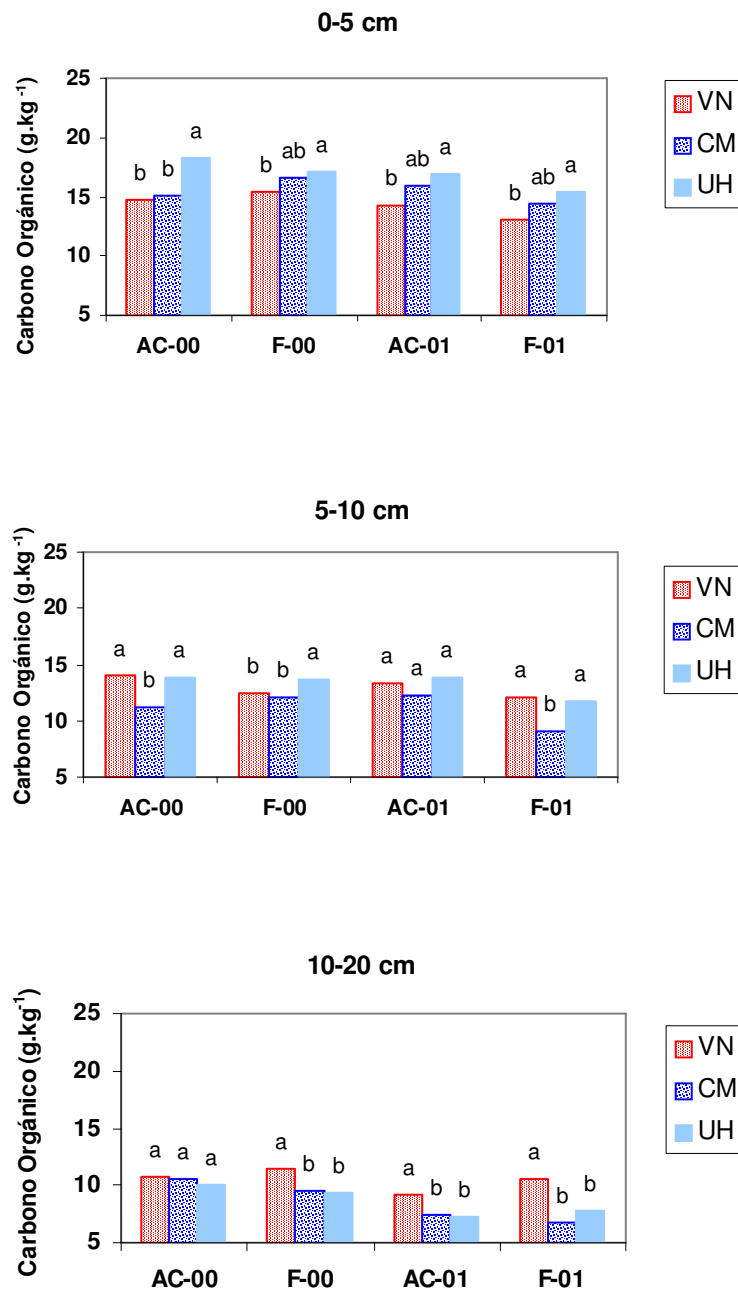


Figura 2. Variación del contenido de carbono orgánico (g.kg⁻¹) en las diferentes épocas y profundidades consideradas en el suelo San Pablo (Las letras minúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$) para una misma evaluación).

Fraccionamiento físico de la materia orgánica: en el suelo IGU, luego de tres años de introducidas las coberturas se produjeron cambios en la fracción ligera (FL) y en la fracción pesada de la materia orgánica que está asociada a las partículas finas del suelo (limo y arcillas), tal y como se muestra en el Cuadro 3. De los tratamientos evaluados, UDE fue el que tuvo el menor contenido de FL, el resto no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). El tratamiento UDY el que tuvo el menor valor de materia orgánica asociada a las partículas más gruesas del suelo (FPpg). La FPt obtenida de la suma del % de materia orgánica estimada en la fracción fina y la fracción gruesa, no presentó cambios significativos luego del tiempo transcurrido. El que no se haya producido cambios en FPt de este suelo arenoso es esperable, ya que esta materia orgánica corresponde a las fracciones estables en el suelo. El contenido de carbono tanto de las fracciones ligera como pesada (C-FL, C-FP) no varió con las coberturas, pero si lo hizo el N de ambas fracciones.

Cuadro 3. Fraccionamiento físico de la materia orgánica en los suelos La Iguana y San Pablo (año 2001).

Parámetro	La Iguana				San Pablo		
	VN	CM	UDY	UDE	VN	CM	UH
%FL	0,32 a ¹	0,22 ab	0,22 ab	0,21 b	1,30 a	1,01 a	1,04 a
%FPt	1,68 a	1,64 a	1,53 a	1,75 a	7,82 b	5,68 c	10,40 a
%FPpg	0,80 a	0,71 a	0,86 a	0,92 a	5,26 b	4,28 b	7,30 a
%FPpf	0,89 a	0,93 a	0,67 b	0,83 ab	2,56 a	1,40 b	3,10 a
%CFL	17,47 a	18,16 a	19,65 a	17,33 a	15,02 a	7,63 b	11,73 a
%CFP	4,01 a	3,69 a	3,85 a	3,47 a	3,58 a	2,72 a	2,70 a
%NFL	1,26 a	1,00 b	0,94 bc	0,85 c	0,85 a	0,79 a	0,67 a
%NFP	0,43 a	0,40 ab	0,43 a	0,34 b	0,24 a	0,21 a	0,21 a
C/N-FL	14,56 b	18,92 ab	22,77 a	22,47 a	21,67 a	10,04 b	23,09 a
C/N-FP	9,33 a	9,24 a	8,95 a	10,22 a	8,61 a	10,48 a	11,47 a

FL: Fracción ligera; FPt: Fracción pesada total; FPpg: Fracción pesada asociada a partículas gruesas; FPpf: Fracción pesada asociada a partículas finas; C: Carbono; N: Nitrógeno.

¹ Las letras minúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$) para un mismo suelo.

El tratamiento VN, es el que tuvo significativamente más N-FL, seguido por el de CM y UDY, el que tuvo menor N-FL fue UDE. Similar comportamiento fue observado para el N de la fracción pesada (N-FP). Estos resultados reflejan las diferencias en las calidades de las coberturas, sobre todo cuando se evalúa el N-FL, ya que este estaría en los residuos recientemente fragmentados en forma diminuta por la edafofauna. El valor más alto en VN refleja una composición florística con alta presencia de leguminosas. Las relaciones C/N-FL presentaron diferencias entre los tratamientos, con relaciones más bajas en VN y CM, lo que indica la naturaleza de las especies que componen los tratamientos (leguminosas). En el suelo SPA no se presentaron cambios en la FL, ni en la FPpg; sin embargo, si se presentaron diferencias significativas en la FPpf, la cual fue menor y significativamente diferente ($p < 0.05$) en el tratamiento CM. Al sumar los porcentajes de materia orgánica asociadas a la fracción fina y gruesa del suelo (FPt), se observa que es significativamente mayor en UH, seguido por VN y finalmente por CM. En términos del contenido de C y N en cada una de las fracciones de materia orgánica del suelo SPA, se observa que al contrario que lo ocurrido en el suelo IGU, solo se produjeron cambios en el C-FL, con

menor contenido en el tratamiento CM. El resto de las fracciones presentaron contenidos similares de C y N entre tratamientos. No se produjeron cambios en la materia orgánica de la relación C/N-FP y la relación C/N de la FL fue menor en el tratamiento CM, lo que pudiera obedecer a que esta es una leguminosa, plantas que se caracterizan por tener una baja relación C/N de sus tejidos.

Fraccionamiento químico de la materia orgánica: con relación a los índices químicos de calidad de la MOS, como se aprecia en el Cuadro 4, el grado de humificación (DH) que está cercano al 75 % y similar al inicial en todas las coberturas, para el suelo San Pablo; pero en La Iguana el valor inicial es mayor de 80 % y aumenta en todos los tratamientos a valores cercanos a 95 %. En la medida que este índice es mayor indica que el suelo tiene mayor grado de humificación (Ciavatta y Govi, 1993; Dell'Abate et al., 1998; Alianiello et al., 1999); sin embargo, estos valores no pueden ser vistos en forma aislada, ya que en La Iguana los altos valores, más que indicar un alto grado de humificación, indican una pequeña proporción de sustancias no húmicas, que son las más fácilmente degradadas por los microorganismos, lo que produce que los microorganismos utilizarán los compuestos humificados en sus procesos metabólicos, produciendo la degradación de la materia orgánica del suelo. Lo anteriormente dicho se evidencia también la relación de humificación (HR) y el índice de humificación (HI), este último muy bajo en el suelo La Iguana.

Cuadro 4. Fraccionamiento químico de la materia orgánica y parámetros de humificación en el horizonte superficial de los suelos La Iguana y San Pablo

Tratamiento	CET/COT	CAH (%)	CAF (%)	DH	HR	HI	CAH/CAF	CAF/COT
LA IGUANA								
INICIAL	62	0,25	0,20	85,12	52,78	0,17	1,27	0,23
VN	70	0,28	0,20	95,65	66,98	0,04	1,44	0,27
CM	67	0,24	0,18	92,02	61,53	0,09	1,34	0,26
UDY	61	0,18	0,17	92,14	56,98	0,08	1,05	0,28
UDE	65	0,16	0,17	95,14	61,76	0,05	0,94	0,32
SAN PABLO								
INICIAL	73	0,52	0,33	75,84	55,84	0,32	1,60	0,22
VN	72	0,44	0,31	76,04	54,73	0,32	1,43	0,22
CM	68	0,51	0,27	76,57	52,29	0,31	1,88	0,18
UH	67	0,48	0,29	74,67	49,90	0,34	1,66	0,29

BD = *Brachiaria dictyoneura*; UH = *Brachiaria humidicola*; CM = *Centrosema macroparpum*; VN = Vegetación natural; CET = Carbono orgánico extraíble; COT = carbono orgánico total; DH = Grado de humificación; HR = Tasa de humificación; HI = Índice de humificación; CHA = Carbono en los ácidos húmicos; CFA = Carbono en los ácidos fúlvicos.

En lo referente a la relación CAH/CAF, a mayores valores de este índice el suelo presenta mayor humificación y nos permite detectar diferencias en las sustancias húmicas de los suelos; en San Pablo se presentan mayores valores, especialmente en CM; mientras que en La Iguana los valores son inferiores y en los dos pastos (UH y BD) están alrededor de 1. Este índice permite evidenciar diferencias en la calidad de las sustancias húmicas por efecto del manejo (Mc Callister y Chien, 2000). En la relación CAF/COT, en la literatura se encuentran opiniones diversas en cuanto a su interpretación (Dell'Abate *et al.* 1998; Zalba y Quiroga, 1999); sin embargo, se puede decir que a medida que el valor es mayor, la materia orgánica del suelo tiene mayor tendencia a presentar compuestos con menor grado de polimerización, lo que los hace susceptibles a degradarse por el manejo. En los dos suelos evaluados, los mayores valores se presentan en los tratamientos bajo pastos introducidos.

Perfiles de focalización isoeléctrica: Estos métodos se basan en la separación isoeléctrica de sustancias en un gradiente de pH; los perfiles obtenidos proporcionan una información útil acerca del grado de humificación, pero no es posible distinguir los compuestos de las fracciones. Se establece que los picos más elevados representan las moléculas húmicas con mayor peso molecular. En las Figuras 3 y 4, se presentan los perfiles para los ácidos húmicos y fúlvicos para los suelos IGU y SPA, respectivamente; en los mismos se aprecia que los perfiles de los ácidos húmicos iniciales de ambos suelos son similares, lo que indica que a pesar de las diferencias entre los suelos, sus sustancias húmicas son del mismo tipo, esto coincide con lo señalado por Rivero *et al.* (1998), quienes estudiando Entisoles y Vertisoles venezolanos, consiguieron que las sustancias húmicas de ambos son similares con un pronunciado carácter alifático y una alta intensidad de fluorescencia relativa. Al introducir los diferentes tratamientos los perfiles cambian con respecto al perfil del suelo inicial, aunque la mayoría de los picos se encuentran distribuidos en el rango entre pH 3,7 a 3,9. Una diferencia importante entre los tratamientos es el perfil característico de UDY y UH, con un pico alrededor pH 3,7 y la diferencia en los perfiles de estos pastos con UDE, lo que indica a pasar de que UDY y UDE son gramíneas con características morfológicas similares, inducen a la formación de materia orgánica de características diferentes. En lo que respecta a los ácidos fúlvicos, los perfiles son similares entre tratamientos para un mismo suelo, con los picos concentrados entre pH 3,5 y 3,9, pero ligeramente diferentes entre suelos, con un mayor número de compuestos en San Pablo lo que indica una materia orgánica más evolucionada.

CONCLUSIONES

El CO tuvo una tendencia diferencial en ambos suelos: en IGU se produjo un incremento inicial considerable y la tendencia posterior fue a mantener valores similares a lo largo del período de evaluación, mientras que en SPA se produjo un ligero aumento inicial y la tendencia posterior fue a disminuir en todos los tratamientos, principalmente en el año 2001, lo que puede atribuir a las diferencias en la producción de biomasa de los cultivos de cobertura en cada suelo.

Con relación al fraccionamiento físico se presentaron diferencias entre los suelos, en IGU hubo diferencias entre tratamientos en la FL con mayores valores en VN y en SPA para la FP con mayores valores en UH.

Los suelos presentan diferencias en la proporción de AH y AF: en el suelo IGU las cantidades son similares, mientras que en SPA la proporción fue de aproximadamente el doble de AH en relación a los AF, lo que hace que la MO del suelo IGU sea más susceptible al manejo, especialmente bajo los tratamientos con gramínea. A pesar de estas diferencias, la composición química de las sustancias húmicas en ambos suelos es similar.

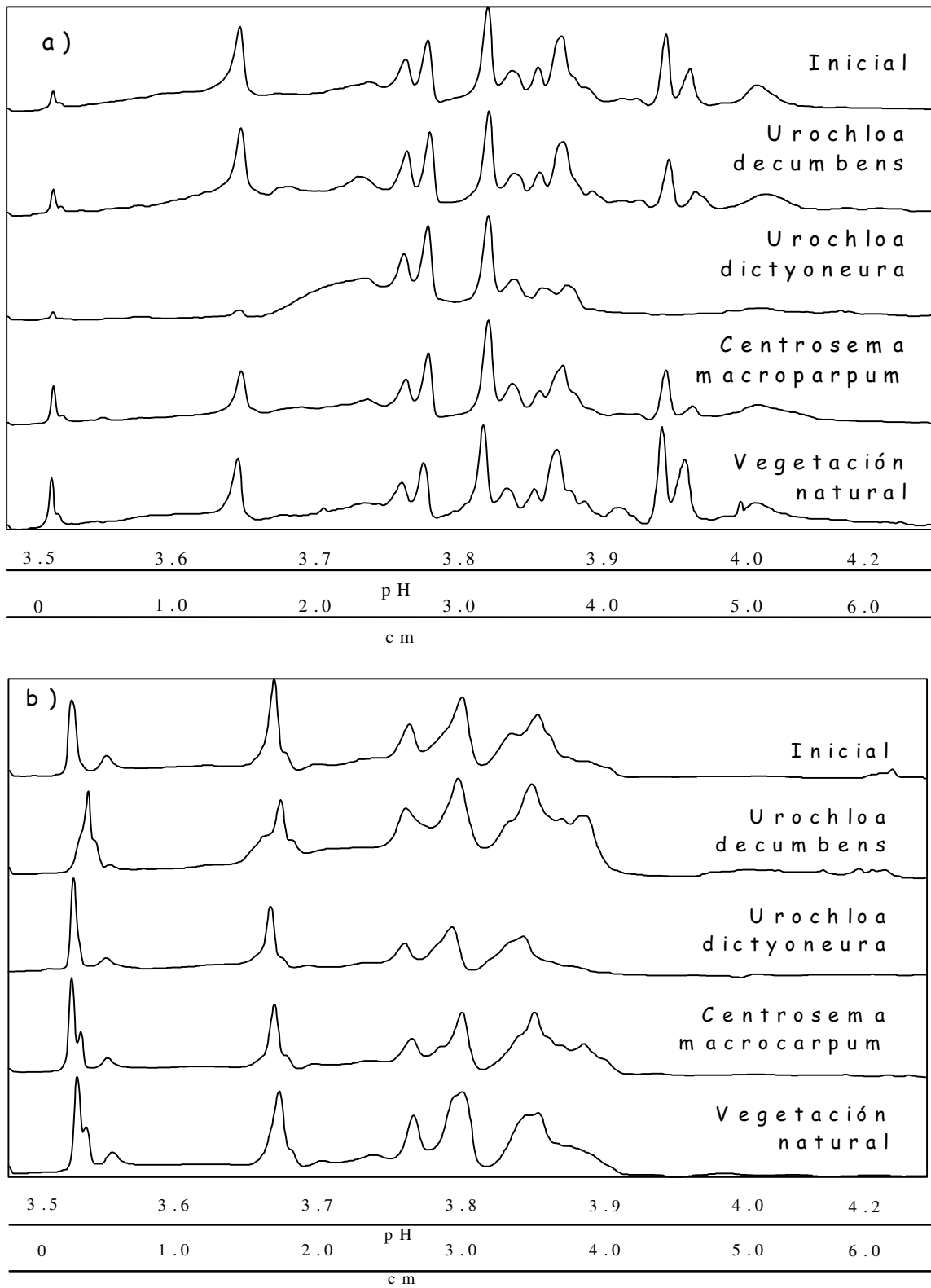


Figura 3. Perfil de focalización isoelectrica de los a) ácidos húmicos y b) ácidos fúlvicos en el suelo La Iguana.

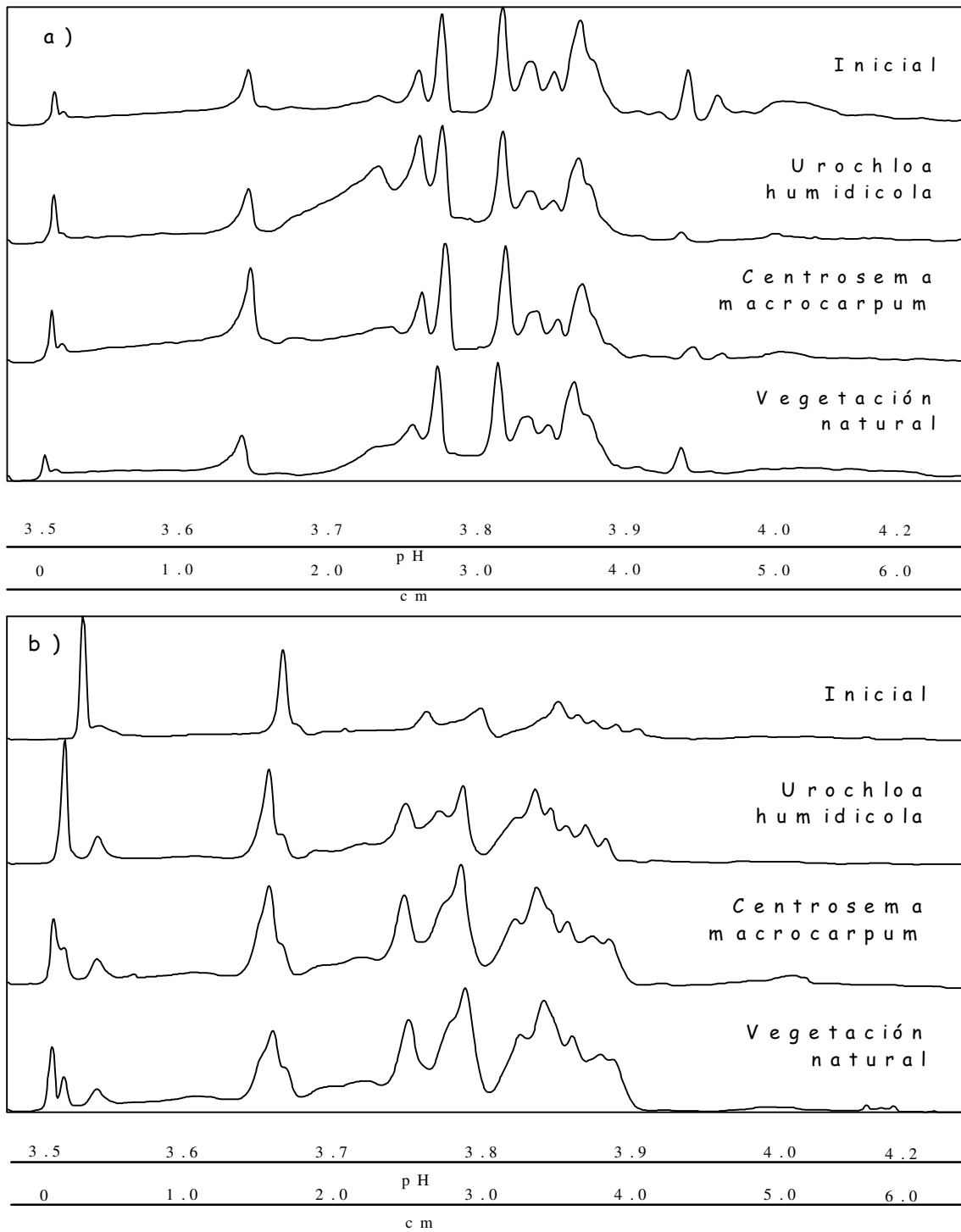


Figura 4. Perfil de focalización isoelectrica de los a) ácidos húmicos y b) ácidos fúlvicos en el suelo San Pablo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J. y J. Ingram.** 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International. 171 p.
- Alianiello, F.** 1998. Iso-electric focusing in soil science: A tool to develop for the knowledge of humic substances. *Fresenius Envir. Bull*, 7: 523-530.
- Alianiello, F., S. Dell'Orco, A. Benedetti y P. Sequi.** 1999. Identification of primary substrates in organo-mineral fertilizers by means of isoelectric focusing. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 60:2169-2181.
- Bremner, J. y C. Mulvaney.** 1982. Nitrogen Total. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological properties. Agronomy Monograph N° 9 (2nd Edition).* pp 595-623.
- Ciavatta, C., M. Govi, L. Vittori Antisari y P. Sequi.** 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinilpyrrolidone. *Journal of Cromatography*, 509: 141-146.
- Ciavatta, C. y M. Govi.** 1993. Use of insoluble polyvinilpyrrolidone and isoelectric focusin in the study of humic substances in soils and organic wastes. *Journal of cromatography*, 643: 261-270.
- Chacín, F.** 2000. *Diseño y Análisis de Experimentos I.* Ediciones del Vicerrectorado Académico de la Universidad Central de Venezuela, Caracas. 387 p.
- Dell'Abate, MT., S. Cannali, A. Trinchera, A. Bennedetti y P. Sequi.** 1998. Termal analysis in the evaluation of compost stability: a comparison with humification parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51: 217-224.
- Heanes, D.** 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1191 - 1213.
- Lal, R.** 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Soil Tillage Res.*, 42: 161-174.
- Lozano, Z. ; C. Bravo, F. Ovalles; RM Hernández; B. Moreno; L. Piñango; JG. Villanueva.** 2004. Selección del diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *BIOAGRO Volumen 16, N° 1* (en prensa).
- Machado, W.** (2000). Planificación y análisis de experimentos de campo en grandes parcelas sin repetición. *Revista de la Facultad de Agronomía, UCV (Maracay), Alcance* 59, 73 p.
- Matheus, R.** 1986. Los suelos de la Estación Experimental La Iguana. Tesis de Maestría. En *Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.* 199 p.
- McCallister D. y W. Chien.** 2000. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:465-479.
- Pla, I.** 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Rev. Fac. Agron. Alcance* N° 32. 91 p.
- Rivero, C., N. Senesi, J. Paolini y V. D'Orazio.** 1998. Characteristics of humic acids of some Venezuelan soils. *Geoderma*, 81: 227-239.
- 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.; M. De Nobili, L. Leita; GA. Cercignani.** 1986. A new index of humification. *Agrochimica* XXX, N° 1-2.
- Trinchera, A.; F. Pinzari; A. Benedetti; P. Sequi.** 1999. Use of biochemical indexes and changes in organic matter dynamics in a Mediterranean environment: a comparison between soils under arable and set-aside managements. *Organic Geochemistry* 30:453-459.
- Utomo, M., Frye, W.; Blevins, R.** 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agronomy J.* 82, 979-983.
- Universidad Central de Venezuela (UCV).** 1993. Métodos de análisis de suelo y plantas utilizadas en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. *Cuadernos de Agronomía* N° 6. Facultad de Agronomía, UCV. 89 p.
- Zalba, P. y A. Quiroga.** 1999. Fulvic acid carbon as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *Soil Sci.* 164: 57-61.