

Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura¹

Soil organic matter fractions on no-tillage and cover crops systems

Z. Lozano P.², C. Rivero², C. Bravo³, R.M. Hernández³

¹Proyecto financiado por el FONACIT (S1-97001360) y CDCH-UCV (PI-01-3348512001).

²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay (Venezuela). Apdo. 4579. Maracay (Venezuela). Tlf: 58-243-5507152, Fax: 58-243-5507169.

³Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Centro de Agroecología Tropical, Caracas (Venezuela).

Resumen

La utilización de diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo (MOS), pueden ser utilizados como indicadores de la sostenibilidad de sistemas agrícolas. Con la finalidad de evaluar la cantidad, composición y distribución en el perfil de diferentes fracciones de la MOS de un suelo bajo sistemas de agricultura conservacionista, se realizaron evaluaciones en un Ustoxic Quartzipsament localizado en las sabanas venezolanas. Los tratamientos fueron tres cultivos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM) y vegetación espontánea (VE), como barbechos mejorados en un sistema mixto maíz en siembra directa-ganado ovino; en comparación con la sabana natural (SN). Se tomaron muestras a tres profundidades (0-5, 5-15 y 15-30 cm) y en tres épocas: inicial, 286 días después del establecimiento (dde) y 1463 dde. A todas las profundidades y a los 1463 dde se evaluó: carbono orgánico total (COT), carbono hidrosoluble (CHS) y carbono de la materia orgánica particulada (CMOP). En todas las épocas y en el estrato de 0-5 cm se evaluaron las fracciones químicas y físicas de la MOS. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre coberturas en algunas fracciones de la MOS, especialmente las más lábiles (CHS y carbono en los ácidos fúlvicos), con los mayores valores en BD y los menores en VE. La introducción de los cultivos de cobertura produjo la disminución de algunas de las fracciones, pero después de tres ciclos continuos bajo el manejo propuesto, esas fracciones retornaron a valores

similares o superiores a los iniciales. Los índices de humificación y las relaciones entre las diferentes fracciones y el COT, fueron los indicadores más sensibles.

Palabras clave: *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum*, materia orgánica del suelo, sistemas mixtos cereal-ganado, suelos de sabana.

Abstract

Some researchers suggest the use of different SOM organic matter (SOM) fractions or compartments like indicators of the agricultural systems sustainability. In order to evaluate the amount, composition and distribution in the profile of different SOM fractions from the soil on conservation agriculture systems, evaluations in an Ustoxic Quartzipsament soil located at Venezuelan savannahs, were carried out. Three cover crop treatments were evaluated, as improved land fallows for the establishing of maize no-tillage system and grazing with ovine cattle: *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM), and spontaneous vegetation (SV), and its comparison with the natural savannah ecosystem (NS). Samples to three depths (0-5, 5-15 and 15-30 cm), and were taken at three times: initial, 286 days after the establishment (dae), and 1463 dae. At all depths and to 1463 dae were evaluated: total organic carbon (TOC), hidrosoluble carbon (HSC), and particulate organic matter carbon (POMC). At all times and in the the 0 to 5 cm layer physical and chemical fractions of the SOM, were evaluated. The results show statistical differences between cover crops types in some SOM fractions, mainly in the light fractions (HSC, and fulvic acid carbon), with the greater values in BD and the minors in SV. The cover crops introduction produced the diminution in some fractions; but after three continuous cycles under the proposed management, these fractions reached similar values or superior to those initials. The humification indexes, and the relations between the different fractions and the TOC, were the most sensible indicators.

Key words: *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum*, soil organic matter, cereal-livestock systems, savannah soils.

Introducción

La cantidad y el tipo de materia orgánica del suelo (MOS), influyen en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo y ha sido señalado como un indicador importante de su fertilidad y productividad, debido a su papel crucial en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Chen *et al.*, 2009). Entre sus principales efec-

Introduction

Quantity and type of soil organic matter (SOM), have influence on almost every properties contributing to soil quality and it has been detached like an important indicator of fertility and productivity, because its essential role on chemical, physical and biological properties (Chen *et al.*, 2009). Between main effects it is possible to mention

tos se puede mencionar que favorece la macro y microagregación y por tanto afecta las relaciones agua/aire del suelo, actúa como fuente y sumidero de nutrientes y disminuye la disponibilidad de elementos tóxicos por su efecto quelatante, modifica la eficacia y destino de los pesticidas aplicados, entre otros (Skjemstad, 2002; Watts *et al.*, 2006; Virto *et al.*, 2008). La MOS se puede dividir en fracciones discretas cuantificables también, llamadas "pools". En la actualidad existen una variedad de modelos de dinámica de la MOS que simulan las diferentes fracciones; estos modelos son similares en su estructura, pero se diferencian en la definición detallada de los pools y flujos (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002).

Existen dos formas predominantemente usadas a nivel de laboratorio para separar la MOS: el fraccionamiento químico y el fraccionamiento físico. Los esquemas de extracción química clásica de la MOS buscan la separación en sustancias húmicas y sustancias no húmicas (pools químicamente significativos). La mayor parte de las sustancias húmicas se encuentran unidas de distintas formas con la parte mineral y sólo una pequeña fracción queda libre, por lo tanto es necesario solubilizarlas para destruir esta unión. El fraccionamiento físico es usado para recuperar la fracción ligera y los productos parcialmente descompuestos, lo que permitiría establecer el papel de los materiales orgánicos en diferentes procesos y el significado biológico y ambiental de la MOS en complejos organominerales. Elliott y Cambardella (1991), sugirieron que los métodos de fraccionamiento químico proporcionaban información

that it favors macro and micro aggregation and thereby affect water/air relations of soil, act like source and nutrients drain and diminish availability of toxic elements by its chelating effect modify the efficacy and destination of pesticides applied, among others (Skjemstad, 2002; Watts *et al.*, 2006; Virto *et al.*, 2008). SOM can be divide in quantifiable discrete fractions also called "pools". Nowadays, there is a variety of SOM dynamic models that simulate different fractions; these models are similar in its structure, but they are different in detailed definition of pools and fluxes (Hernández-Hernández and López-Hernández, 2002).

There are two predominant ways in laboratory to separate SOM: Chemical and physical fractioning. Chemical extraction schemes of SOM looking for separation in humic and no humic substances (chemically significant pools). The higher part of humic substances are grouped in different ways with mineral part and only one little fraction remain free, therefore, it is necessary to make soluble to destroy this union. The physical fractioning is used to recover the light fraction and partially decomposed products, which would permit to establish role of organic materials in different processes and biological and environmental significance of SOM in organomineral complexes. Elliott and Cambardella (1991), suggested that chemical fractioning methods offered information about the MO type present, but physical separation caused information about its localization inside of soil matrix.

sobre el tipo de MO presente, pero que la separación física, generó información sobre su localización dentro de la matriz del suelo.

En los últimos años se han hecho esfuerzos por relacionar los pool teóricamente definidos y las características químicas o biofísicas de las fracciones orgánicas medidas y asociarlas con la dinámica del C (Collins *et al.*, 2000, Galantini y Rosell, 2006).

Las diferentes fracciones de la MOS pueden cambiar dependiendo del uso que se le dé al suelo y han sido usadas como indicadores de la sostenibilidad de los agroecosistemas. Las asociadas con los pools activo y lento están más estrechamente ligadas y reflejan las prácticas de manejo, determinan la respuesta del suelo a la labranza, son de rápida descomposición por parte de los microorganismos del suelo, representan un reservorio a corto plazo de nutrientes e influyen en la respuesta de los microorganismos a las entradas de residuos al suelo; la utilidad de estas fracciones como indicador de la calidad de la MOS está ligada a esta respuesta (Jansen *et al.*, 1992). Las fracciones más recalcitrantes se igualaron a los pools estable o pasivo y tuvieron mayor influencia en el secuestro de carbono, en la capacidad de retención de agua y nutrientes y en las propiedades del suelo como filtro ambiental y ejercieron una acción a más largo plazo; Gong *et al.* (2009), consiguieron que estas fracciones fueron poco afectadas por las prácticas de manejo como la fertilización. La utilidad de estas fracciones química y físicamente protegidas como indicadores, se basó en el efecto del manejo sobre la

Last years, several efforts have been done to relate theoretically defined pool and chemical characteristics or biophysic of organic fractions measured and associate them with C dynamic (Collins *et al.*, 2000, Galantini and Rosell, 2006).

The different fractions of SOM possibly change depending of use given to soil and they have been used like sustainability indicators of agroecosystems; those related to active and slow pools are very closed and reflect management practices, determine soil response to the tillage, they are of rapid decomposition by soil micro organisms, which represent a nutrients reservoir to short term and they have influence on micro organisms response to the entrance of residues to the soil; the utility of these fractions like indicator of SOM quality is closed to this response (Jansen *et al.*, 1992). The more recalcitrant fractions were equal to the stable or passive pools and they had higher influence on carbon sequestration, in water and nutrients retaining capacity and in soil properties like environmental filter and they exerted a longer term action; Gong *et al.* (2009), found that these fractions were little affected by management practices like fertilization. The utility of these chemical and physical fractions protected as indicators, was based on the management effect on aggregates stability (Hernández-Hernández and López-Hernández, 2002).

Changes produced in quantity, composition and distribution in profile of different SOM fractions by the effect of grass crop cover introduction and leguminous, in comparison to natural

estabilidad de los agregados (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002).

En este trabajo se evaluaron los cambios producidos en la cantidad, composición y distribución en el perfil de las diferentes fracciones de la MOS por efecto de la introducción de cultivos de cobertura de gramíneas y leguminosas, en comparación con la sabana natural.

Materiales y métodos

Sitio experimental

Para este trabajo se tomaron muestras en un ensayo establecido desde 1999 en un Ustoxic Quartzipsament, ácido, donde se evaluaron cultivos de cobertura como barbechos mejorados para la siembra directa de maíz (*Zea mays* L.). El suelo está localizado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa Maria de Ipire, estado Guárico, Venezuela (8°25' LN y 65°25' LO), con una altura entre 80-120 msnm, un clima estacional, con una época de sequía y otra de lluvia (3 a 6 meses húmedos), un relieve suavemente ondulado, con pendientes de 2%, precipitación anual promedio de 1369 mm, y una temperatura media mensual de 27,3°C. El suelo presenta baja fertilidad natural y pH entre 4,5 y 5,8. La vegetación natural dominante de la zona es el *Trachypogon* sp. (Lozano *et al.*, 2004).

Muestras y factores experimentales

Se evaluó el efecto del tipo de cobertura, la época y la profundidad sobre diferentes fracciones de la MOS. Los tipos de cobertura usados fueron: vegetación espontánea (VE), *Centrosema*

savannah were evaluated in this research.

Materials and methods

Experimental location

For this research samples were taken from an essay established from 1999 in a Ustoxic Quartzipsament, acid, where cover crops like improved fallows for no-tillage corn (*Zea mays* L.) sowing were evaluated. Soil is located in the experimental station "La Iguana", Santa Maria de Ipire municipality, Guárico state, Venezuela (8°25' NL and 65°25' WL), with a height between 80-120 masl, an stational climate, with a drought period and other rainy (3 to 6 humid months), a softly undulating relief, with slopes of 2%, mean annual rainfall of 1369 mm, and mean monthly temperature of 27.3°C. Soil have low natural fertility and pH between 4.5 and 5.8. The zone natural vegetation is *Trachypogon* sp. (Lozano *et al.*, 2004).

Experimental factors and samplings

The effect of cover type was evaluated, time and depth on different SOM fractions. The cover types used were: spontaneous vegetation (SV), *Centrosema macrocarpum* (CM) and *Brachiaria dictyoneura* (BD), and natural savannah (NS) was used as control. Three (3) samplings were accomplished: initial conditions before sowing of cover crops (May 1999), at 286 days after establishment (dae) and at 1463 dae. Samples were collected at three depths: 0 to 5 cm, 5 to 15 cm and 15 to 30 cm.

Each plot of 900 m² composed samples were taken for the analysis of

macrocarpum (CM) y *Brachiaria dictyoneura* (BD), y se usó la sabana natural (SN) como testigo. Se realizaron tres (3) muestreos: condiciones iniciales antes de la siembra de los cultivos de cobertura (mayo de 1999), a los 286 días después del establecimiento (dde) y a los 1463 dde. Se recolectaron muestras a tres profundidades: 0 a 5 cm, 5 a 15 cm y 15 a 30 cm.

En cada parcela de 900 m² se tomaron muestras compuestas para análisis de laboratorio en 12 puntos distribuidos al azar, el diseño de muestreo se seleccionó con base a un estudio previo de variabilidad espacial (Lozano *et al.*, 2004).

Para las tres profundidades a los 1463 dde se evaluó: carbono orgánico total medido por el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1996), carbono hidrosoluble por el método modificado por Hayne y Francis (1993), carbono de la materia orgánica particulada por el método de Cambardella y Elliott (1992). Para las tres épocas a la profundidad de 0 a 5 cm se realizó el fraccionamiento químico de la materia orgánica por el procedimiento de extracción secuencial con una mezcla de NaOH/Na₄P₂O₇ 0,1 M descrito por Ciavatta y Govi (1993), y el fraccionamiento físico de la materia orgánica y carbono en cada una de las fracciones por los métodos descritos por Anderson e Ingram (1993).

Con los resultados de carbono orgánico de las distintas fracciones se calcularon los parámetros de humificación propuestos por Sequi *et al.* (1986) y Ciavatta *et al.* (1990): a) el índice de humificación (IH), que se refiere a la relación entre las sustancias no húmicas y los compuestos

laboratory in 12 points at random distributed, the sampling design was selected based on a previous study about spatial variability (Lozano *et al.*, 2004).

For three depths at 1463 dae was evaluated: total organic carbon measured by Walkley-Black method (Nelson and Sommers, 1996), hydrosoluble carbon by the modified methods of Hayne and Francis (1993), organic matter carbon particulate by Cambardella and Elliott method (1992). For three times at depth at depth of 0 to 5 cm the chemical fractioning of organic matter by the sequential extraction procedure with a mix of NaOH/Na₄P₂O₇ 0.1 M described by Ciavatta and Govi (1993), and physical fractioning of organic matter and carbon each of fractions through methods described by Anderson and Ingram (1993).

With organic carbon results of different fractions, the humification parameters proposed by Sequi *et al.* (1986) and Ciavatta *et al.* (1990) were estimated: a) the humification indexes (HI), refers to the relationship between no humic substances and humified compounds, b) the humification degree (HD), that correspond to the carbon values normalization in humic (HAC) and fulvic acids (FAC) in relation to the total extraible carbon (TEC), and c) humification relationship (HR), that correspond to the normalization of HAC and FAC contents in relation to total organic carbon (TOC), both expressed in percentage. These indexes and relations between different fractions have been used by some authors to diagnose changes in SOM as a result of different erosion

humificados, b) el grado de humificación (GH), que corresponde a la normalización de los valores de carbono en ácidos húmicos (CAH) y fúlvicos (CAF) con relación al carbono extraíble total (CET), y c) la relación de humificación (RH), que corresponde a la normalización de los contenidos de CAH y CAF con relación al carbono orgánico total (COT), ambos expresados en porcentaje. Estos índices y las relaciones entre las diferentes fracciones han sido utilizados por algunos autores para diagnosticar cambios en la MOS como resultado de diferentes sistemas de labranza, procesos de erosión y manejo de residuos, en relación a suelos vírgenes (Trinchera *et al.*, 1999; McCallister y Chien, 2000; Ruiz y Paolini, 2005).

Análisis estadísticos

Los resultados de cada una de las fracciones de MOS, fueron sometidos a un análisis exploratorio para la comprobación de los supuestos estadísticos, para lo cual se utilizó el programa Statistix 8.0 para Windows. Se realizó el análisis de varianza, y para el cálculo de las diferencias de medias entre los tratamientos se utilizó la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a un nivel de probabilidad del 95%, sugerido por Liebig *et al.* (2004) para comparar con las condiciones naturales, para lo cual se utilizó el paquete estadístico SPSS 11.0 para Windows (Pardo y Ruiz, 2002).

Resultados y discusión

Carbono orgánico total (COT)

Luego de tres (3) ciclos continuos bajo el sistema de manejo

processes and residues management, in relation to virgin soils (Trinchera *et al.*, 1999; McCallister and Chien, 2000; Ruiz and Paolini, 2005).

Statistical analysis

Results of each of SOM fractions, were subdue to an exploratory analysis for checking of statistical assumptions, by using Statistix program 8.0 for Windows. The analysis of variance was carried out, and for the estimations of mean differences among treatments, the minimum significant differences test (MDS) was used at a probability level of 95%, suggested by Liebig *et al.* (2004) to compare with natural conditions, using the statistical program SPSS 11.0 for Windows (Pardo and Ruiz, 2002).

Results and discussion

Total organic carbon (TOC)

After three (3) continuous cycles of conservationist management system (1463 das), statistical differences ($P \leq 0.05$) were showed, for the cover type and depth, but there was no interaction cover by depth, which showed all the covers had the same tendency in strata considered (table 1).

TOC in VN, BD and CM covers increased in relation to SN between 13 and 26% in stratum from 0 to 5 cm, between 21 and 47% in stratum from 5 to 15 cm and between 3 and 73% in stratum from 15 to 30 cm, the increase was higher CM. Higher values were observed at superficial level in all the cover types, these differences in depth could be attributed to decrease on tillage intensity and to the higher residues contribution in surface as suggested by Hernández-Hernández

conservacionista (1463 dde), se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$), para el tipo de cobertura y la profundidad, pero no hubo interacción cobertura por profundidad, lo que indicó que todas las coberturas tuvieron la misma tendencia en los estratos considerados (cuadro 1).

El COT en las coberturas VN, BD y CM aumentó con relación a SN en

and López-Hernández (2002), for a soil of similar characteristics. Unlike Zagal *et al.* (2009), who reported that direct sowing changed CO distribution in profile, but not its content in thick texture soils.

These results showed that in sandy texture soils, the response to the conservationist management without tillage and where residues were kept

Cuadro 1. Contenidos de carbono orgánico total (COT), carbono hidrosoluble (CHS) y carbono de la materia orgánica particulada (CMOP), a las profundidades consideradas, luego de 1463 días de establecidos los cultivos de cobertura.

Table 1. Contents of total organic carbon (TOC), hydrosoluble carbon (HSC) and particulate organic matter carbon (POCM), at considered depths, after 1463 days of cover crops established.

Profundidad (cm)	Cobertura	COT	CHS (g.kg ⁻¹)	CMOP	CHS:COT (%)	CMOP:COT (%)
0 – 5	SN	7,2 ^{b¶}	0,42 ^{ab}	1,53 ^a	6,09 ^a	22,04 ^a
	VE	8,6 ^a	0,27 ^c	1,07 ^a	3,19 ^b	12,73 ^b
	CM	9,1 ^a	0,38 ^{bc}	1,33 ^a	4,25 ^b	14,53 ^b
	BD	8,2 ^{ab}	0,46 ^a	1,18 ^a	5,81 ^a	15,01 ^b
5 – 15	SN	4,6 ^b	0,42 ^b	0,96 ^{ab}	9,93 ^a	22,14 ^a
	VE	5,6 ^{ab}	0,28 ^c	0,82 ^b	5,00 ^b	14,64 ^a
	CM	6,8 ^a	0,47 ^b	1,11 ^a	7,04 ^b	16,32 ^a
	BD	5,7 ^{ab}	0,65 ^a	1,15 ^a	11,94 ^a	20,73 ^a
15 – 30	SN	3,0 ^c	0,50 ^b	0,71 ^{ab}	17,55 ^a	25,05 ^a
	VE	3,1 ^c	0,29 ^c	0,52 ^b	9,64 ^b	18,58 ^b
	CM	5,2 ^a	0,47 ^b	0,94 ^a	9,60 ^b	18,73 ^b
	BD	4,1 ^b	0,79 ^a	0,54 ^b	19,97 ^a	14,11 ^b
Análisis de varianza						
Cobertura (C)		*	*	*	*	*
Profundidad (P)		*	*	*	*	NS
Interacción C*P		NS	*	NS	*	NS

SN: Sabana natural, VE: Vegetación espontánea; CM: *Centrosema macrocarpum*, BD: *Brachiaria dictyoneura*. ¶Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) entre coberturas para una misma profundidad. NS: no significativo.

tre 13 y 26% en el estrato de 0 a 5 cm, entre 21 y 47% en el estrato de 5 a 15 cm y entre 3 y 73% en el estrato de 15 a 30 cm, y el incremento fue mayor CM. Los mayores valores se presentaron a nivel superficial en todos los tipos de cobertura, estas diferencias en profundidad se podrían atribuir a la disminución en la intensidad de labranza y al mayor aporte de residuos en la superficie, tal y como lo sugirieron Hernández-Hernández y López-Hernández (2002), para un suelo de características similares. Estos resultados contrastaron con los de Zagal *et al.* (2009), quienes señalaron que la siembra directa cambió la distribución del CO en el perfil, pero no su contenido en suelos de textura gruesa.

Estos resultados evidenciaron que en los suelos de textura arenosa, la respuesta al manejo conservacionista sin labranza y donde se mantuvieron los residuos en la superficie del suelo, fue relativamente rápida. Franzluebber y Arshad (1996), atribuyeron una respuesta similar a la baja agregación inicial de los suelos de texturas gruesas, lo que les dio un mayor potencial de respuesta a la no perturbación, a través del efecto de agentes de unión temporales y transitorios.

Carbono hidrosoluble (CHS)

El CHS y la relación CHS:COT para los tipos de coberturas y las profundidades evaluadas a los 1463 dde se presentan en el cuadro 1. El CHS presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) para el tipo de coberturas, la profundidad y la interacción cobertura por profundidad. Los valores más altos de CHS se presentaron en la cobertura BD y los más bajos en VE. Al compararlos con relación a SN, en BD

on soil surface, was relatively rapid. Franzluebber and Arshad (1996), attributed a similar response to the low initial aggregation of thick texture soils, which received greater response potential to the no perturbation, through the effect of temporary union agents.

Hydro soluble carbon (HSC)

The HSC and HSC:TOC relationship for covers type and depths evaluated at 1463 dae are shown in table 1. HSC showed statistical differences ($P \leq 0.05$) for covers type, depth and cover by depth interaction. The higher values of HSC were showed in cover BD and the lower ones in VE. When comparing SN, in BD an increase from 20 to 60% was produced, in VE a decrease between 30 and 40%, and in CM values were similar. Changes of this variable in short term showed its sensitivity in relation to the soil management. This agreed with results of Etchevers *et al.* (2000) and Chen *et al.* (2009), who reported that more labile fractions could be considered as temporary indicators of changes in soil quality.

The HSC:TOC relationship in all the treatments showed that HSC represented 3-6% of TOC in superficial stratum, 5-12% in stratum of 5-15 cm and 10-20% in the last stratum. The increase of this relationship with depth could explain the diminish in TOC contents in deeper stratum. The values of HSC:TOC relationship were similar in covers with grass predominance (SN and BD), or leguminous (VE and CM), which showed an effect of residue quality on SOM fractions in soil.

se produjo un aumento del 20 al 60%, en VE una disminución entre 30 y 40%, y en CM los valores fueron similares. Los cambios de esta variable en el corto plazo reflejaron su sensibilidad ante el manejo del suelo. Esto coincidió con los resultados de Etchevers *et al.* (2000) y Chen *et al.* (2009), quienes señalaron que las fracciones más lábiles podrían ser consideradas como indicadores tempranos de los cambios en la calidad del suelo.

La relación CHS:COT en todos los tratamientos evidenció que el CHS representó del 3 al 6% del COT en el estrato superficial, del 5 al 12% en el estrato de 5 a 15 cm y del 10 al 20% en el último estrato. El aumento de esta relación con la profundidad podría explicar la disminución en los contenidos de COT en los estratos más profundos. Los valores de la relación CHS:COT fueron similares en las coberturas con predominio de gramíneas (SN y BD), o de leguminosas (VE y CM), lo que reflejó un efecto de la calidad del residuo sobre las fracciones de la MOS en el suelo.

Una explicación a la tendencia en el CHS y CHS:COT se consiguió en los trabajos de Haynes (2000), quien señaló que gran parte del incremento del C en suelos manejados bajo gramíneas, se debió a un aumento en las fracciones lábiles como la fracción ligera (FL) y CHS, y que la retención de estas fracciones en el suelo dependió de la tasa de suplencia de residuos (biodegradabilidad) y de las características de retención del suelo.

Carbono de la materia orgánica particulada (CMOP)

Los valores de CMOP y la relación CMOP:COT en los tipos de cober-

One explanation to the HSC and HSC:TOC tendency is found in researches of Haynes (2000), who reported that great part of C increase in soils managed under grasses, was caused by an increase on labile fractions like light fraction (LF) and HSC, and retention of these fractions in soil depended on rate of residues supply (biodegradability) and of soil retention characteristics.

Particulate organic matter carbon (POMC)

The POMC values and POMC:TOC relationship in cover types and depths evaluated at 1463 dae are shown in table 1. The POMC content showed statistical differences ($P \leq 0.05$) with cover type and depth, without interaction cover by depth. This relationship represented 13-25% of TOC in soil.

POMC was superior in first stratum and decreased with depth between 3 and 37% in the stratum of 5 to 15 cm and between 29 and 54% in the stratum of 15 to 30 cm. Between cover type only were statistically significant ($P \leq 0.05$) below 5 cm depth, with higher values in CM and lower in VE.

On the other hand, in POMC:TOC relationship, statistical differences ($P \leq 0.05$) were observed, by cover type, Without differences by depth or by interaction cover by depth. Differences between covers only were observed at first and last stratum (table 1). Values of this relationship were higher in SN at all the strata.

The absence of statistical differences were attributed to the cover type in POMC for first stratum (more affected by management), disagree

turas y profundidades evaluadas a los 1463 dde se muestran en el cuadro 1. El contenido de CMOP presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) con el tipo de cobertura y la profundidad, sin interacción cobertura por profundidad. Esta fracción representó del 13 al 25% del COT del suelo.

El CMOP fue mayor en el primer estrato y disminuyó con la profundidad entre 3 y 37% en el estrato de 5 a 15 cm y entre 29 y 54% en el estrato de 15 a 30 cm. Las diferencias entre tipo de cobertura sólo fueron estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) por debajo de 5 cm de profundidad, con los valores más altos en CM y los más bajos en VE.

Por otro lado en la relación CMOP:COT, se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$), por tipo de cobertura, sin diferencias por la profundidad ni por la interacción cobertura por profundidad. Las diferencias entre coberturas se presentaron sólo en el primer y último estrato (cuadro 1). Los valores de esta relación fueron mayores en SN en todos los estratos.

La ausencia de diferencias estadísticas atribuibles al tipo de cobertura en el CMOP para el primer estrato (más afectado por el manejo), contradice los resultados de Liebig *et al.* (2004), quienes consideraron al CMOP como un indicador sensible del efecto del manejo sobre el suelo y lo relacionaron con la producción y retención de materiales orgánicos menos degradados que se incorporaron a la fracción de labilidad intermedia, pero se asemejaron a los de Zagal *et al.* (2009), quienes consiguieron que el CMOP no fue un indicador adecuado de los cambios en la MOS en suelos volcánicos

with results of Liebig *et al.* (2004), who considered POMC like a sensitive indicator of management effect on soil and it were related to production and organic materials retention less degraded were added to the intermediate lability fraction, but they were similar to those of Zagal *et al.* (2009), who found that POMC was not an adequate indicator of SOM changes in volcanic soils under different rotations. The POMC:TOC relationship seems to be an indicator more sensitive to management, which agreed with Loveland and Webb (2003) results, who detached that POMC was important in soil aggregation, but its relation with TOC was more important than the own pool size.

Organic matter physical fractioning

Results of physical fractioning in SOM at superficial stratum for cover types and times evaluated are shown in table 2. From those physical fractions evaluated at 286 dae it is observed that statistical differences ($P \leq 0.05$) only were observed between cover types in fine heavy fraction (FHF) and at 1463 dae in FHF and the thich heavy fraction (THF); for this evaluation differences between treatments only we observed in C of total heavy fraction (THF).

THF obtained like the total of organic matter content determined in FHF and THF, did not show significant changes after time (1463 dae), because statistical differences between treatments in THF and FHF were complemented, thus, the convenience of separating these two fractions instead of considering THF like a whole.

bajo diferentes rotaciones. La relación CMOP:COT pareciera ser un indicador más sensible al manejo, lo que coincidió con los resultados de Loveland y Webb (2003), quienes señalaron que el CMOP fue importante en la agregación del suelo, pero que su relación con el COT fue más importante que el propio tamaño del pool.

Fraccionamiento físico de la materia orgánica

Los resultados del fraccionamiento físico de la MOS en el estrato superficial para los tipos de cobertura y épocas evaluadas se presentan en el cuadro 2. Se aprecia que de las fracciones físicas evaluadas a los 286 dde, sólo se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$), entre tipos de cobertura en la fracción pesada fina (FPf) y a los 1463 dde en la FPf y la fracción pesada gruesa (FPg); para esta evaluación también se observaron diferencias entre tratamientos para el C de la fracción pesada total (FPt).

La FPt obtenida como la suma del contenido de materia orgánica determinada en FPf y FPg, no mostró cambios significativos luego del tiempo transcurrido (1463 dde), porque las diferencias estadísticas entre tratamientos en FPg y FPf se complementaron, de allí la conveniencia de separar estas dos fracciones en lugar de considerar a la FPt como un todo.

En la comparación de los valores de las diferentes fracciones a los 286 y 1463 dde con las condiciones iniciales, se evidenció que a los 286 dde se produjo una disminución entre 3 y 50% en todas las fracciones, con excepción de FPf en los tratamientos VE y CM que aumentaron alrededor del 30%. Luego de cuatro (4) años de establecidos los tratamientos

When comparison of different fractions at 286 and 1463 dae with initial conditions, at 286 dae a decrease between 50% was observed in all the fractions, except for the FHF in treatments VE and CM that increased around 30%. Four (4) years after treatments establishment (1463 dae), increases on LF, FHF, and LFC were observed between 33 and 63%, 9 and 109%, and 7%, respectively. These results could suggest that tillage labors for the covers establishment favored SOM mineralization and four years later the balance was re-established and LF, FHF and LFC fractions increased, possibly by contribution of residues leaved on surface. For the same period (1463 dae), decreases of 4-16% were observed in THF, from 30-59% in THF, and around 3% in HFC, when comparing to original conditions.

These results showed that the favorable effect of different covers only were appreciated four years after establishment, considered by some authors like middle term for the soil quality evaluation, the context of a sustainable agriculture (Astier-Calderón *et al.*, 2002). Covers where leguminous (VE and CM) showed higher FHF content, whereas those grasses predominated (initial conditions and BD), showed higher THF content, as observed in table 2. These results could be attributed to the higher N availability for the microbial activity in plots with leguminous, where adequate conditions for residues humification and the increase of SOM fraction associated to the fine particles were created, as reported by Venanzi *et al.* (2002) and Gong *et al.* (2009).

Cuadro 2. Fraccionamiento físico de la materia orgánica de la capa superficial del suelo (0 a 5 cm), en tres épocas durante el período de evaluación.

Table 2. Physical fractioning of organic matter at soil superficial layer (0 to 5 cm), in three times during evaluation time.

Variable	Época de evaluación								
	Inicial	Mayo 1999			Abril 2000 (286 dde)			Julio 2003 (1463 dde)	
		VE	CM	BD	VE	CM	BD	MDS (P≤0,05)	
% FL	0,30	0,32 ^{af}	0,22 ^a	0,22 ^a	0,45 ^a	0,49 ^a	0,40 ^a	0,190	
% FPt	2,12	1,68 ^a	1,64 ^a	1,53 ^a	2,03 ^a	1,89 ^a	1,78 ^a	0,355	
% FPg	1,43	0,80 ^a	0,71 ^a	0,86 ^a	0,59 ^b	0,66 ^b	1,04 ^a	0,174	
% FPf	0,69	0,89 ^a	0,93 ^a	0,67 ^b	1,44 ^a	1,23 ^a	0,75 ^b	0,260	
% CFL	26,13	17,5 ^a	18,2 ^a	19,6 ^a	28,0 ^a	28,0 ^a	24,0 ^a	9,601	
% CFP	6,04	4,01 ^a	3,69 ^a	3,85 ^a	6,72 ^a	5,85 ^b	5,87 ^b	0,620	
FP/FL	7,50	5,25 ^b	7,45 ^a	6,95 ^a	5,16 ^a	4,63 ^a	5,42 ^a	1,810	

VE: Vegetación espontánea; CM: *Centrosema macrocarpum*; BD: *Brachiaria dictyoneura*; dde: Días después del establecimiento de las coberturas; FL: Fracción ligera; FPt: Fracción pesada total; FPg: Fracción pesada asociada a partículas gruesas; FPf: Fracción pesada asociada a partículas finas; C: Carbono. ^aLetras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (P≤0,05) entre tipo de coberturas, para un mismo período de evaluación. MDS: Mínimas diferencias significativas.

(1463 dde), se produjeron aumentos en la FL, FPf y CFL, entre 33 y 63%, 9 y 109% y de 7%, respectivamente. Estos resultados podrían sugerir que las labores de labranza para el establecimiento de las coberturas favorecieron la mineralización de la MOS y después de cuatro años se restableció el equilibrio y las fracciones FL, FPf y CFL aumentaron posiblemente debido a los aportes de los residuos dejados sobre la superficie. Para la misma época (1463 dde), se observaron disminuciones de 4 a 16% en FPt, de 30 a 59% en FPg y de alrededor de 3% en CFP, al comparar con las condiciones originales.

Haynes (2000), Oliveira *et al.* (2004) and Zagal and Córdova (2005), agreed respect LF and the relationship HF/LF were sensitive indicators of changes in labil organic matter by effect of tillage, crops rotation and environmental factors. These authors showed that when conservationist management was changed by more sustainable systems, the LF increased and the HF/LF decreased, which could be related to a higher biodegradability of residues supplied by sandy texture of soil. Under conditions of this study these variables were little sensitive to

Estos resultados reflejaron que el efecto favorable de las diferentes coberturas sólo se apreciaron luego de cuatro años de establecidas, considerado por algunos autores como un mediano plazo para la evaluación de la calidad del suelo en el contexto de una agricultura sustentable (Astier-Calderón *et al.*, 2002). Las coberturas donde predominaron las leguminosas (VE y CM), presentaron mayor contenido de FPf, mientras que aquellas donde predominaron las gramíneas (condiciones iniciales y BD), presentaron mayor contenido de FPg, tal y como se aprecia en el cuadro 2. Estos resultados podrían atribuirse a la mayor disponibilidad de N para la actividad microbiana en las parcelas con leguminosas, en las cuales se crearon las condiciones adecuadas para la humificación de los residuos y al aumento de la fracción de la MOS asociada a las partículas finas, tal y como lo señalaron Venanzi *et al.* (2002) y Gong *et al.* (2009).

Es sus estudios Haynes (2000), Oliveira *et al.* (2004) y Zagal y Córdova (2005), coincidieron en que la FL y la relación FP/FL fueron indicadores sensibles de los cambios en la materia orgánica lábil por efecto de la labranza, rotación de cultivos y factores ambientales. Estos autores indicaron que cuando se cambió de sistemas de manejo convencionales hacia sistemas más sostenibles, aumentó FL y disminuyó FP/FL, lo que podría estar relacionado a una mayor biodegradabilidad de los residuos aportados dada la textura arenosa del suelo. Bajo las condiciones de este estudio estas variables resultaron poco sensibles al tipo de cobertura y a las diferencias en la cantidad de residuos que aportó cada cobertura.

cover type and to the differences in residues quantity supplied by each of covers.

Chemical fractioning of organic matter

Distribution of humic substances extracted on alkali at the superficial stratum (0 to 5 cm) of soil under cover types at 286 and 1463 dae, in comparison to the initial conditions is shown in figure 1.

A diminishing on removable humic substances on alkali was produced (HAC + FAC + NHC), between 4 and 27% at 286 das and around 15% at 1463 dae, except for VE treatment, where similar content to those initial were kept. When each fraction was separately analyzed and compared with values obtained in previous conditions, decrease mainly corresponded to the fraction FAC, which were reduced all the treatments around 12% at 286 dae and from 50-70% at 1463 dae, possibly because its higher mobility, as expressed by Stevenson (1994).

The HAC fraction showed increases in both evaluated cycles, between 4 and 40%, whereas those of carbon in no humic substances (NHC) decreased at 286 dae between 40 and 70%, but at 1463 dae an increase closed to 65% was observed. These results were compatible to those of Novotny *et al.* (1999), who reported that mechanization permitted rupture of high humic molecules, thus, with no tillage, the humic acids formation was observed.

Difference between cover type both times (286 and 1463 dae), with lower values of HAC in BD treatment, was in agreement to results of Galantini and Rosell (2006), Domínguez *et al.* (2009) and Chen *et*

Fraccionamiento químico de la materia orgánica

La distribución de las sustancias húmicas extraídas en álcalis en el estrato superficial (0 a 5 cm) del suelo bajo los tipos de cobertura a los 286 y 1463 dde, en comparación con las condiciones iniciales, se muestra en la figura 1.

En general se produjo una disminución de las sustancias húmicas extraíbles en álcali (CAH + CAF +

al. (2009), who reported that in crops where residues biomass contribution (substrate for microorganisms) was superior, increased content of labile fractions of SOM (FAC), and decreased content of more stable fractions (HAC), which can be corroborated with the accumulate biomass values each of cover types at each of sampling times (at 286 dae: BD = 1327, CM = 763, VE = 562 g.m⁻²; at 1463 dae: BD = 812, CM = 422, and VE = 129 g.m⁻²).

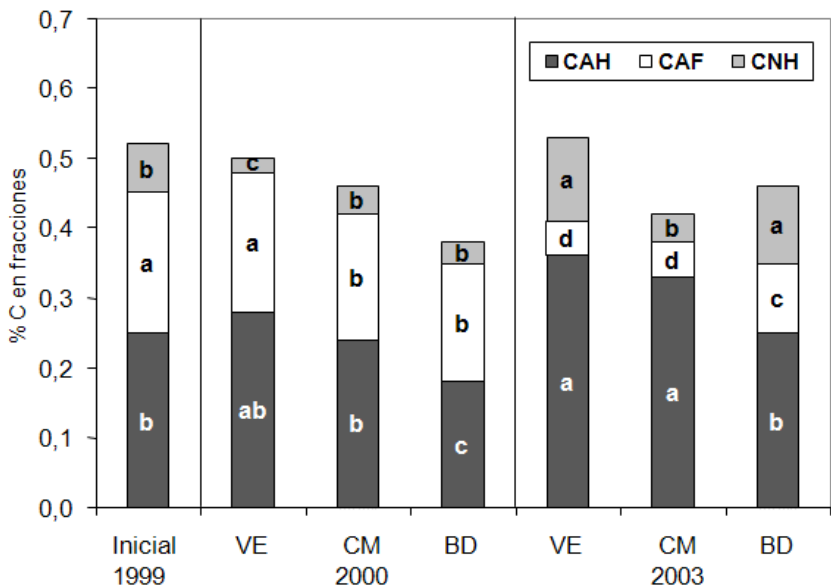


Figura 1. Fracciones químicas de la MOS en los tratamientos de cobertura evaluados, en muestras colectadas en la capa superficial del suelo (0 a 5 cm), los años 1999 (inicial), 2000 (286 dde) y 2003 (1463 dde). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) para una misma fracción, en las coberturas y épocas evaluadas.

Figure 1. Chemical fractions of SOM in cover treatments evaluated, in samples collected at soil superficial layer (0 to 5 cm), years 1999 (inicial), 2000 (286 dde) and 2003 (1463 dde). Different letters show significant statistical differences ($P \leq 0.05$) for a same fraction, in covers and evaluated times.

CNH), entre 4 y 27% a los 286 dde y de alrededor de 15% a los 1463 dde, con excepción del tratamiento VE, en el cual se mantuvieron a contenidos similares al inicial. Cuando se analizó separadamente cada fracción y se comparó con los valores obtenidos en las condiciones iniciales, la disminución correspondió principalmente a la fracción CAF, los cuales se redujeron en todos los tratamientos alrededor del 12% a los 286 dde y del 50 al 70% a los 1463 dde, posiblemente debido a su mayor movilidad, tal y como lo señaló Stevenson (1994).

La fracción CAH presentó incrementos en ambos ciclos evaluados, entre el 4 y 40%, mientras que la de carbono en las sustancias no húmicas (CNH) disminuyó a los 286 dde entre 40 y 70%, pero a los 1463 dde presentó un incremento cercano al 65%. Estos resultados fueron compatibles con los de Novotny *et al.* (1999), quienes señalaron que la mecanización permitió la ruptura de las grandes moléculas húmicas, por lo que en ausencia de laboreo se favoreció la formación de ácidos húmicos.

La diferencia entre tipos de cobertura en ambas épocas (286 y 1463 dde), con menores valores de CAH en el tratamiento BD, estuvo en concordancia con los resultados de Galantini y Rosell (2006), Domínguez *et al.* (2009) y Chen *et al.* (2009), quienes señalaron que en los cultivos donde el aporte de biomasa de residuos (sustrato para los microorganismos) fue mayor, aumentó el contenido de las fracciones lábiles de la MOS (CAF), y disminuyó el contenido de las fracciones más estables (CAH), lo que se pudo corroborar con los valores de biomasa acumu-

Humification indexes

In relation to the quality chemical indexes of SOM, the GH had an initial value of 86.82% and increased in all the treatments to values closed to 95% during first evaluated cycle (286 dae), but at 1463 dae decreased in VE and BD treatments toward values similar to those initial ones (table 3), that could be a sign of soil self-regeneration capability when subdue during several years to a conservationist management.

Ciavatta and Govi (1993) and Alianiello *et al.* (1999), reported that the higher values of GH in soil would have higher humification degree. However, these values cannot be isolately perceived, since in this research the higher GH values more than indicate high humification degree, showed a little NHC proportion, more easily degraded by microorganisms (figure 1), this would carry out to the microorganisms uses those humified compounds in its metabolic processes, with the consequent degradation of SOM. This was also evident through RH and IH, the last one very low in both cycles, which as mentioned by Sequi *et al.* (1986), is characteristic of well humified materials. This index could evidencing differences in humic quality substances by effect of management, when index value increased, soil showed an increase of compounds with higher polymerization degree, in agreement with those reported by McCallister and Chien (2000).

The removable humic substances in alkali represented around 70% of total organic carbon (TEC:TOC), superior to those obtained by Ruiz and

lada en cada tipo de cobertura en cada época de muestreo (a los 286 dde: BD = 1327, CM = 763, VE = 562 g·m⁻²; a los 1463 dde: BD = 812, CM = 422 y VE = 129 g·m⁻²).

Índices de humificación

Con relación a los índices químicos de calidad de la MOS, el GH tuvo un valor inicial de 86,82% y aumentó en todos los tratamientos a valores cercanos a 95% en el primer ciclo evaluado (286 dde), pero a los 1463 dde disminuyó en los tratamientos VE y BD a valores semejantes a los iniciales (cuadro 3), lo que podría ser un indicio de la capacidad de autoregeneración del suelo cuando se somete por varios años a un manejo conservacionista.

Ciavatta y Govi (1993) y Alianiello *et al.* (1999), señalaron que mayores valores de GH del suelo tendrían mayor grado de humificación. Sin embargo, estos valores no pueden ser vistos en forma aislada, ya que en este estudio los altos valores de GH más que indicar un alto grado de humificación, indicaron una pequeña proporción de CNH, más fácilmente degradada por los microorganismos (figura 1), ello llevaría a que los microorganismos utilicen los compuestos humificados en sus procesos metabólicos, con la consecuente degradación de la MOS. Lo anteriormente dicho se evidenció también a través de la RH y el IH, este último muy bajo en ambos ciclos, lo cual como mencionó Sequi *et al.* (1986), es característico de materiales bien humificados. Este índice podría evidenciar diferencias en la calidad de las sustancias húmicas por efecto del manejo, a medida el valor del índice aumentó, el suelo presentó un incremento de compuestos de

Paolini (2005) for other Venezuelan soils. Respect to HAC:FAC relationship, this index permitted to detect differences in soil humic substances, to higher values soil would show higher humification and compounds with higher polymerization degree. Both at initial sampling and the first time (286 dae), values were inferior to 2; lower in covers dominated by grasses (initial and BD). Four years after covers established (1463 dae), values increased in VE and CM at a rank between 1.85 and 2.22, which represent an increase of 37 to 64%.

In period evaluated the FAC:TOC relationship decreased respect to initial conditions in VE and CM between 20 and 30% and increased between 3 and 7% in BD. Diverse opinions are found in literature respect to its interpretation (Dell'Abate *et al.*, 1998; Zalba and Quiroga, 1999), but it could be possible to express that when value is higher, the soil organic matter have high tendency to show compounds with less polymerization degree (polyphenolic compounds), having molecules structurally less complexes, therefore, more susceptible to be degraded by management. When relationship decrease on time under certain management, by showing the carbon lost in the AF.

The HAC:TEC relationship increased in relation to the initial contents in period evaluated in VE and CM between 12 and 28% and in BD decreased 12%, which showed a tendency to form HA when residues were mainly about leguminous and FA when residues were mainly about grasses.

Cuadro 3. Parámetros de humificación en muestras colectadas en la capa superficial del suelo (0 a 5 cm), en tres época durante el período de evaluación.

Table 3. Humification parameters in samples collected at soil surface layer (0 to 5 cm), in three times during evaluation period.

Variable	Época de evaluación							
	Mayo 1999	Abril 2000 (286 dde)			Julio 2003 (1463 dde)			MDS (P≤0,05)
	Inicial	VE	CM	BD	VE	CM	BD	
GH	86,82	95,65 ^{a†}	92,02 ^a	92,14 ^a	86,58 ^b	95,14 ^a	84,67 ^b	6,760
RH	63,70	66,98 ^a	61,53 ^a	56,98 ^b	57,81 ^a	60,06 ^a	59,54 ^a	10,526
IH	0,16	0,04 ^a	0,09 ^a	0,08 ^a	0,17 ^a	0,06 ^b	0,19 ^a	0,092
CET:COT	0,73	0,70 ^a	0,67 ^a	0,62 ^a	0,69 ^a	0,64 ^a	0,68 ^a	0,112
CAH:CAF	1,35	1,44 ^a	1,34 ^a	1,05 ^b	1,85 ^b	2,22 ^a	1,12 ^c	0,370
CAF:COT	0,27	0,27 ^a	0,26 ^a	0,28 ^a	0,21 ^b	0,19 ^b	0,29 ^a	0,041
CAH:CET	0,50	0,54 ^a	0,52 ^a	0,48 ^a	0,56 ^b	0,65 ^a	0,44 ^c	0,076

VE: Vegetación espontánea; CM: *Centrosema macrocarpum*; BD: *Brachiaria dictyoneura*; GH: Grado de humificación; RH: Relación de humificación; IH: Índice de humificación; CET: Carbono extraíble total; COT: Carbono orgánico total; CAH: Carbono en ácidos húmicos; CAF: Carbono en ácidos fúlvicos. [†]Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (P≤0,05) entre tipo de coberturas, para un mismo período de evaluación. MDS: Mínimas diferencias significativas.

mayor grado de polimerización, en concordancia con lo señalado por McCallister y Chien (2000).

Las sustancias húmicas extraíbles en álcali representaron alrededor del 70% del carbono orgánico total (CET:COT), superiores a las obtenidas por Ruiz y Paolini (2005) para otros suelos venezolanos. En lo referente a la relación CAH:CAF, este índice permitió detectar diferencias en las sustancias húmicas del suelo, a mayores valores el suelo presentaría mayor humificación y compuestos de mayor grado de polimerización. Tanto en el

Conclusions

Soil evaluated, considering its sandy texture, quickly responded to the management change under natural savannah to a conservationist managemnet (no-tillage with cover crops), evidenced by change in most of SOM fractions determined, specially in labile areas (HSC and FAC). These changes showed high resilience, since at middle term (4 years), SOM fractions negatively affected by tillage for covers crop establishment, achieved similar or superior values in

muestreo inicial como la primera época (286 dde), los valores fueron inferiores a 2; más bajos en las coberturas dominadas por las gramíneas (inicial y BD). Luego de cuatro años de establecidas las coberturas (1463 dde), los valores aumentaron en VE y CM a un rango entre 1,85 y 2,22, lo que representa un incremento del 37 al 64%.

En el período evaluado la relación CAF:COT disminuyó con relación a las condiciones iniciales en VE y CM entre 20 y 30% y aumentó entre 3 y 7% en BD. Para esta relación, en la literatura se encuentran opiniones diversas en cuanto a su interpretación (Dell'Abate *et al.*, 1998; Zalba y Quiroga, 1999), pero se podría 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 (compuestos polifenólicos), es decir, que tendrían moléculas estructuralmente menos complejas que serían por tanto más susceptibles a degradarse por el manejo. Cuando la relación disminuye en el tiempo bajo un manejo dado, indicaría la pérdida del carbono de los AF.

La relación CAH:CET aumentó con relación a los contenidos iniciales en el período evaluado en VE y CM entre 12 y 28% y en BD disminuyó un 12%, lo que indicó una tendencia a formarse AH cuando los residuos fueron principalmente de leguminosa y AF cuando los residuos fueron principalmente de gramíneas.

Conclusiones

El suelo evaluado, dada su textura arenosa, respondió rápidamente al cambio de manejo bajo sabana na-

comparison to the initial, especially in LFC, HFC, and NHC.

With results obtained, it is no possible to conclude that there is no cover capable to improve soil quality more than others, since fractions increased were different if cover crop was a grass or a leguminous.

Unlike those reported by several authors, during evaluation period, the LF and POMC variables, did not show higher variations by effect of covers introduced in conservationist system proposed. On the contrary, the HSC and FAC fractions, the humification indexes and expressions relating content of different fractions as a function of TOC, were sensitive indicators.

End of english version

tural a un manejo conservacionista (siembra directa con cultivos de cobertura), evidenciado por el cambio en la mayoría de las fracciones de la MOS determinadas, especialmente en las más lábiles (CHS y CAF). Estos cambio reflejaron la alta resiliencia, ya que en mediano plazo (4 años), las fracciones de la MOS que se vieron afectadas negativamente por la labranza para el establecimiento de los cultivos de coberturas, alcanzaron valores similares o superiores a los iniciales, especialmente en CFL, CFP y CNH.

Con los resultados obtenidos, no se puede concluir que exista una cobertura que mejore la calidad del suelo más que las otras, ya que las fracciones que aumentaron fueron diferentes si el cultivo de cobertura fue una gramínea o una leguminosa.

Contrario a lo señalado por varios autores, durante el período de evaluación, las variables FL y CMOP, no presentaron mayores variaciones por efecto de las coberturas introducidas en el sistema conservacionista propuesto. Por el contrario, las fracciones CHS y CAF, los índices de humificación y las expresiones que relacionaron el contenido de las diferentes fracciones en función del COT, resultaron ser indicadores sensibles.

Literatura citada

- Alianiello, F., S. Dell'Orco, A. Benedetti y P. Sequi. 1999. Identification of primary substrates in organo-mineral fertilizers by means of isoelectric focusing. *Comm. Soil Sci. Plant Ana.* 60:2169-2181.
- Anderson, J. y J. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). *Handbook of methods.* C.A.B. International. 171 p.
- Astier-Calderon, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36:605-620.
- Cambardella, C. y E. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- Chen, H., R. Hou, Y. Gong, H. Li, M. Fan y Y. Kuzyakov. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 106:85-94.
- Ciavatta, C., M. Govi, L. Vittori Antisari 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.
- Collins, H.P., E.T. Elliott, K. Paustian, L.G. Bundy, W.A. Dick, D.R. Huggins, A.J.M. Smucker y E.A. Paul. 2000. Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 32:157-168.
- Dell'Abate, M.T., 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.
- Domínguez, G., N.V. Diovisalvi, G.A. Studdert y M.G. Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102:93-100.
- Elliott, E.T. y C.A. Cambardella. 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agri. Eco. Environ.* 34:407-419.
- Etchevers, J.D., R. Fischer, I. Vidal, K. Sayre, M. Sandoval, K. Oleschko y S. Román. 2000. Labranza de conservación, índices de calidad de suelo y captura de carbono. pp. 1-13. En: *Simposio Internacional de Labranza de Conservación. Colegio de Postgraduados, CIMNYT, Universidad Autónoma de México. Culicán-Mazatlán, Sinaloa, México.*
- Franzluebbers, A.J. y M.A. Arshad. 1996. Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. *Canadian J. Soil Sci.* 76:387-393.
- Galantini, J. y R. Rosell. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamic under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Till. Res.* 87:72-79.
- Gong, W., X. Yan, J. Wang, T. Hu y Y. Gong. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. *Geoderma* 149:318-324.

- Haynes, R.J. 2000. Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability. *Biol. Fert. Soils* 30:270-275.
- 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.
- Hernández-Hernández, R.M. y D. López-Hernández. 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 34:1563-1570.
- Janzen, H.H., C.A. Campbell, S.A. Brandt, G.P. Laford y L. Townley-Smith. 1992. Light fraction organic matter in soils from long-term crop rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- Liebig, M.A., D.L. Tanaka y B.J. Wienhold. 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Till. Res.* 78:131-141.
- 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., C. Bravo, F. Ovalles, R.M. Hernández, B. Moreno, L. Piñango y J.G. Villanueva. 2004. Selección del diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro* 16:61-72.
- McCallister, D. y W. Chien. 2000. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Comm. Soil Sci. Plant Ana.* 31:465-479.
- Nelson, D.W. y L.E. Sommers. 1996. Total carbon, total organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. En: Sparks, D.L. (Ed.). *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 3: Chemical properties.* 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).
- Novotny, E., H.W.H. Blum, M.H. Herzabek y A.S. Mangrich. 1999. Soil management systems on size fractionated humic substances. *Geoderma* 92:87-109.
- Oliveira de, O.C., I.P. de Oliveira, B.J.R. Alves, S. Urquiaga y R.M. Boddey. 2004. Chemical and biochemical indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pasture in Brazilian Cerrado. *Agri. Eco. Environ.* 103: 289-300.
- Pardo, A. y M.A. Ruiz. 2002. SPSS 11. Guía para el análisis de datos. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid (España). 715 p.
- Ruiz, M., J. Paolini. 2005. Parámetros de humificación en suelos cultivados bajo riego. *Agrochimica* 40:79-86.
- Sequi, P., M. De Nobili, L. Leita y G.A. Cercignani. 1986. A new index of humification. *Agrochimica* 30:175-179.
- Skjemstad, J.O. 2002. Importance of soil organic matter fractions to crop production, soil structure and soil resilience. Grains Research & Development Corporation Final Report CSO. 195 p.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry. Genesis, composition, reactions.* 2nd ed. J. Wiley & Sons (Eds). New York (USA). 497 p.
- Trinchera, A., F. Pinzari, A. Benedetti y 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 Geochem.* 30:453-459.
- Venanzi, S., J. Galantini, J. Iglesias, M. Barreiro, A. Albin, A. Rausch, M. Ripio y H. Krugel. 2002. *Sistemas de labranza: Distribución y calidad de la materia orgánica del suelo.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires (Argentina). 3 p.
- Virto, I., P. Barré y C. Chenu. 2008. Microaggregation and organic matter storage at the silt-size scale. *Geoderma* 146:326-335.

- Watts, C.W., L.J. Clark, P.R. Paulton, D.S. Powlson y A.P. Whitmore. 2006. The role of clay, organic carbon and long-term management on mouldboard plough draft measured on the Broadbalk wheat experiment at Rothamsted. *Soil Use and Management* 22:334-341.
- Zagal, E. y C. Córdova. 2005. Indicadores de calidad del suelo de un Andisol cultivado. *Agric. Téc. (Chile)* 65:186-197.
- Zagal, E., C. Muñoz, M. Quiroz y C. Córdova. 2009. Sensitivity of early indicators for evaluating quality changes in soil organic matter. *Geoderma* 151: 191-198.
- Zalba, P. y A.R. Quiroga. 1999. Fulvic acid carbon as diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *Soil Sci.* 164:57-61.