

TRANSFORMACIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN UN SUELO LATERÍTICO (MISIONES, ARGENTINA): II. CAMBIOS EN LA MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA Y HUMIFICADA¹

Organic matter turnover in a lateritic soil (Misiones, Argentine): II. Changes in particulate and humified organic matter

Gabriel A. Píccolo², Ramón A. Rosell³, Juan A. Galantini⁴, Ana M. Migliarina³

S U M M A R Y

Measurement of organic matter turnover is useful to understand changes in the distribution of organic matter in intensive management systems. Particulate organic carbon (CMOP), humic and fulvic acid carbon (COH and COF, respectively) in several treatments of a cultivated and virgin Kandihumult soil from the Misiones province, Argentine (27° 39' S Lat. and 55° 26' W Long.) were assessed in order to study the dynamics of organic matter. The agroecosystems were: a) Subtropical native forest; b) 50 year-old plantation of "yerba mate" (*Ilex paraguariensis* Saint Hil) crop with mechanical weed control between crop lines; c) The same as b) but with no mechanical weed control between crop lines; and d) The same as b) but interplanted during the last six years with elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) between the crop lines to be used as green manure. Mineral-associated organic matter was isolated through the dispersion of aggregates by mechanical shaking in water, using 5 mm glass beads and removing CMOP by passing the dispersed aggregates through a 100 µm sieve. Native forest subtropical soil and the 50 year-old "yerba mate" crop with mechanical weed control had the highest and lowest soil organic carbon and CMOP content, respectively. The COH under agricultural management practices decreased in the 0.05-0.15 m layer whereas the COF increased in both layers. Six years of elephant grass cover crop reversed that trend to approach those values found in the virgin soil studied.

Key words: Particulate organic matter, humic acid, fulvic acid.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica es una importante fuente de nutrientes para la producción vegetal en ecosiste-

mas naturales y cultivados. La determinación cuantitativa de las fracciones de la materia orgánica es especialmente importante para entender su dinámica en sistemas de manejo intensivos. En regiones tropicales y subtropicales, los niveles de carbono orgánico del suelo se reducen drásticamente cuando los bosques se transforman en cultivos. La labranza convencional puede producir pérdidas del 40% o más del carbono del suelo durante un período de 40 años (Tiessen y Stewart, 1983). Sin embargo, el uso de abonos verdes y los agroecosistemas que mantienen los rastros en superficie, son prácticas que mantienen o incrementan los niveles de materia orgánica (Stewart y Power, 1993).

Son varios los modelos sugeridos para dividir la materia orgánica (MO) en una serie de compartimentos funcionales (Jenkinson y Rayner, 1977;

¹Recepción de originales: 18 de agosto de 1997.

Investigación financiada por la EEA INTA Cerro Azul y el Laboratorio de Humus (LAHBIS) del Dpto. Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, Casilla 6, (3313) Cerro Azul, Misiones, Argentina. E-mail: gpiccolo@inta.gov.ar

³Laboratorio de Humus y Biodinámica del Suelo (LAHBIS), Dpto. Agronomía Universidad Nacional del Sur (UNS), San Andrés 800, Altos del Palihue, (8000) Bahía Blanca, Argentina.

⁴Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Dpto. Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS), San Andrés 800, Altos del Palihue, (8000) Bahía Blanca, Argentina.

van Veen y Paul, 1981; Jenkinson *et al.* 1987; Parton *et al.*, 1987; Buyanosky *et al.*, 1994). Bajo un punto de vista agronómico, los compartimentos propuestos por Parton *et al.* (1987) y Buyanosky *et al.* (1994) determinan que la MO activa podría jugar un rol importante en la liberación de nutrientes, mientras que la de lenta transformación, con mayor grado de humificación, sería la más destacada en la estabilización de los agregados del suelo.

Los métodos de fraccionamiento hacen énfasis en aquellas fracciones que tienen significancia biológica. Los métodos físicos se pueden agrupar en tres grandes categorías: tamizado, sedimentación y densitometría. Una alternativa en el método de tamizado es el fraccionamiento granulométrico, que propone la destrucción de la estructura del suelo utilizando diferentes métodos de dispersión, a fin de liberar la materia orgánica retenida mecánicamente en los agregados del suelo, separando posteriormente las fracciones por simple tamizado (Cambardella y Elliott, 1992). En el fraccionamiento químico la extracción del humus se realiza con álcali diluido (usualmente 0,1 ó 0,5 N NaOH o $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) definiéndose las siguientes fracciones: ácido húmico soluble en álcali e insoluble en ácido; ácido fúlvico soluble en ácido y álcali; y humina insoluble en ácido y álcali (Stevenson, 1982).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las transformaciones de la MO en un suelo rojo Kandihumult de clima subtropical, en el proceso de degradación por acción del cultivo de yerba mate y recuperación con abono verde, utilizando fraccionamiento físico por granulometría y fraccionamiento químico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajos de campo

La experiencia se efectuó sobre muestras tomadas del horizonte A_1 de un Kandihumult en la provincia de Misiones, Argentina ($27^\circ 39' \text{ S}$ y $55^\circ 26' \text{ W}$). Los estudios se efectuaron en una

plantación de yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hil.) con monocultivo de 50 años, una plantación similar asociada con pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) manejado como abono verde durante los últimos seis años, y suelo bajo selva nativa. Más información sobre características de los ecosistemas, clima y muestreo de suelos fue descrita en la parte I de este trabajo, publicada en este mismo número (Píccolo *et al.*, 1998).

Métodos de laboratorio

(A) Fraccionamiento físico del carbono orgánico (CO): La materia orgánica particulada y relacionada a la fracción mineral se obtuvieron por el método de Andriulo *et al.* (1990).

(B) Fraccionamiento químico del CO: Los ácidos húmicos y fúlvicos fueron extraídos de acuerdo a Rosell *et al.* (1971).

Las determinaciones de CO en el suelo entero, en las fracciones de materia orgánica particulada (C MOP), relacionada a la fracción mineral (C MOFM), y en ácidos húmicos (COH) y fúlvicos (COF), se realizaron por combustión seca. Se realizó comparación de medias con el test t ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de carbono orgánico en suelo no dispersado y en las fracciones de materia orgánica particulada y relacionada a la fracción mineral

En los primeros 0,05 m del horizonte A_1 , la concentración de CO del suelo virgen bajo selva fue significativamente mayor que las restantes situaciones ($P \leq 0,05$) (Cuadro 1). Los valores de hilera y entrehilera del yerbal fueron equivalentes e inferiores al suelo con abono verde de pasto elefante ($P \leq 0,05$). En la capa subsuperficial la mayor concentración de CO correspondió al suelo virgen. El ecosistema con pasto elefante y línea del yerbal fueron equivalentes y significativamente superiores a la calle ($P \leq 0,05$).

Cuadro 1. Concentración de carbono orgánico total (CO) de suelo no dispersado

Table 1. Total organic carbon (CO) concentration of non-dispersed soil

Ecosistemas	CO (g kg ⁻¹)	
	0-0,05 -----Profundidad (m)-----	0,05-0,15
Virgen	36a*	24a
Yerbal con Pasto Elefante	29b	19b
Yerbal Línea	24c	18b
Yerbal Calle	20c	15c

*Los promedios con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes. (Test de Tukey $P < 0,05$).

En superficie la concentración de C MOP de todos los ecosistemas fue significativamente superior a los de la capa subyacente (Figura 1). La concentración de C MOP del agroecosistema con abono verde fue significativamente superior a las restantes situaciones (Figura 1) ($P \leq 0,05$). La concentración de C MOFM resultó superior en superficie en todas las situaciones excepto en las líneas. La razón se encontraría en el aporte de residuos por parte del sistema radicular denso y superficial de las plantas de yerba mate. En el ecosistema virgen, la concentración de C MOFM en la capa subyacente fue significativamente superior a las restantes situaciones ($P \leq 0,05$).

En la capa subyacente de 0,05-0,15 m las mayores concentraciones de C MOP correspondieron al suelo virgen y con abono verde de pasto elefante, y la mayor concentración de C MOFM correspondió al ecosistema virgen que se diferenció significativamente de las restantes situaciones ($P \leq 0,05$).

El mayor enriquecimiento de C MOP en superficie en el suelo con pasto elefante, sería consecuencia del aporte de residuos ricos en celulosa suministrados por la densa cabellera radicular fibrosa superficial de la gramínea. Estos valores superaron a los del suelo virgen bajo selva, po-

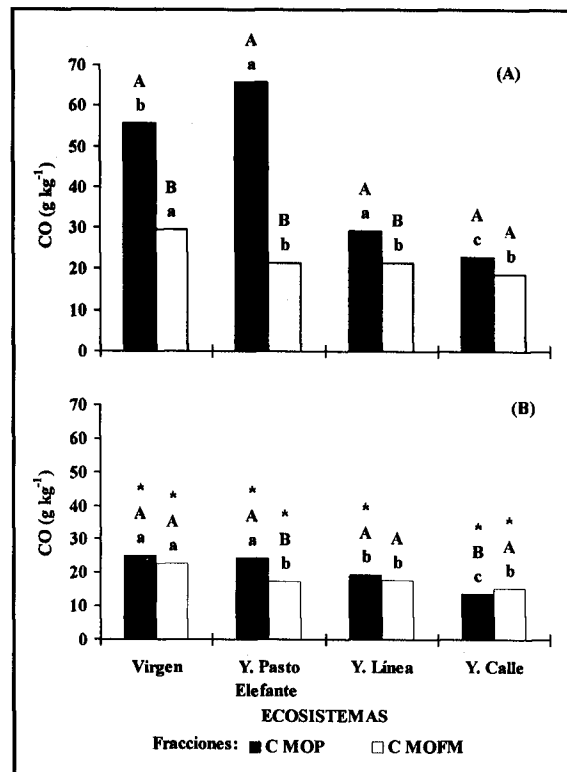


Figura 1. Concentración de carbono orgánico (CO) de la materia orgánica particulada (C MOP) y relacionada a la fracción mineral (C MOFM), con profundidad 0-0,05 (A) y 0,05-0,15 m (B). Los valores con una misma letra minúscula entre ecosistemas en la misma fracción no difieren significativamente ($P < 0,05$). Los valores con una misma letra mayúscula dentro de un ecosistema entre fracciones no difieren significativamente ($P < 0,05$). Los valores con * en (B) son significativamente diferentes a los correspondientes en (A) ($P < 0,05$).

Figure 1. Organic carbon (CO) concentration in the particulated (C MOP) and mineral-associated organic matter (C MOFM) in two depths (A) 0-0.05 and (B) 0.05-0.15 m. Values followed by the same lowercase letter between ecosystems within an aggregate fraction are not significantly different at ($P < 0.05$). Values followed by the same uppercase letter within an ecosystem between fractions are not significantly different at ($P < 0.05$). Values followed by * in (B) are significantly different than corresponding values in (A) at ($P < 0.05$).

blado de especies arbóreas latifoliadas con sistema radicular leñoso, poco denso y muy profundo. Las bajas concentraciones de C MOP en hileras y entrehileras del yerbal, serían conse-

cuencia de la disminución de aportes ocasionado por las labores culturales y la liberación de CO₂ en el proceso de biodegradación de los residuos. Los valores de la capa de 0,05-0,15 m además de ser inferiores a los superficiales, presentaron menores diferencias dentro de una misma fracción y entre fracciones (Figura 1), lo cual indica una tendencia a la uniformidad de las variables con incrementos de la profundidad.

Carbono orgánico total contenido en las fracciones de materia orgánica particulada y relacionada a la fracción mineral

El contenido de CO en las fracciones físicas se calculó con el peso de cada fracción y su concentración de CO. En los primeros 0,05 m del horizonte A₁, la mayor cantidad de C MOP lo posee el ecosistema selva virgen y el yerbal consociado con pasto elefante, las menores corresponden a las hileras y entrehileras del yerbal degradado, (Figura 2) ($P \leq 0,05$). Estos resultados resaltan la degradación del C MOP por acción de las labranzas, y un efecto de recuperación por medio de la masiva producción de residuos en el yerbal consociado con pasto elefante.

La cantidad de C MOFM es mayor en el ecosistema selva, respecto a las hileras y entrehileras del yerbal ($P \leq 0,05$), ocupando el suelo bajo pasto elefante una situación intermedia. Es notable que la cantidad de C MOFM en las entrehileras degradadas sea igual al de las hileras sin remoción de suelo. Esto pondría de manifiesto la estabilización física de la materia orgánica humificada, adsorbida en la matriz de óxidos de hierro abundantes en los suelos lateríticos que la mantienen protegida de la biodegradación.

En el período de degradación de la MO, el 60% del C MOP y el 37% del C MOFM se perdieron en 50 años de cultivo, lo que resalta la mayor labilidad del C MOP respecto al C MOFM. Los resultados muestran además que en la fase recuperación, los aportes producidos por el pasto elefante han elevado la cantidad de C MOP en

la capa superficial hasta un nivel semejante al del suelo virgen, lo que indica que los residuos se acumularon fundamentalmente como fracciones no asociadas a la fracción mineral.

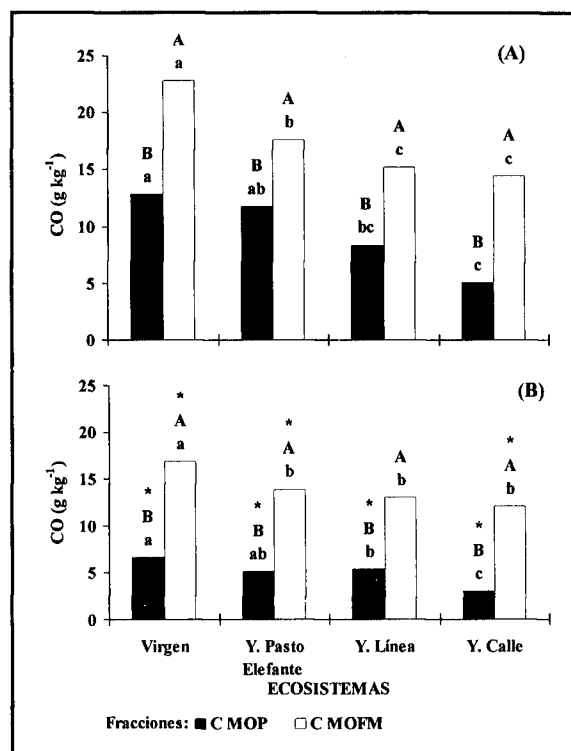


Figura 2. Carbono orgánico (CO) contenido en la materia orgánica particulada (C MOP) y relacionada a la fracción mineral (C MOFM), con profundidad 0-0,05 (A) y 0,05-0,15 m (B). Los valores con una misma letra minúscula entre ecosistemas dentro de una fracción no difieren significativamente ($P < 0,05$). Los valores con una misma letra mayúscula dentro de un ecosistema entre fracciones no difieren significativamente ($P < 0,05$). Los valores con * en (B) son significativamente diferentes a los correspondientes en (A) ($P < 0,05$).

Figure 2. Organic carbon (CO) content in the particulate (C MOP) and mineral-associated organic matter (C MOFM) in two depths (A) 0-0.05 and (B) 0.05-0.15 m. Values followed by the same lowercase letter between ecosystems within an aggregate fraction are not significantly different at ($P < 0.05$). Values followed by the same uppercase letter within an ecosystem between fractions are not significantly different at ($P < 0.05$). Values followed by * in (B) are significantly different than corresponding values in (A) at ($P < 0.05$).

En la capa subsuperficial el modelo de distribución del C MOP es similar al superficial, pero con promedios significativamente más bajos ($P \leq 0,05$) (Figura 2) y menores diferencias entre ecosistemas. El porcentaje de C MOFM en profundidad es igual en los dos agroecosistemas. Esto indica, en primer lugar, que el efecto de las labranzas es más atenuado en profundidad, y en segundo lugar que los procesos de humificación son más lentos, puesto que el denso sistema radical del pasto elefante no logró incrementar la cantidad de carbono orgánico relacionado a la fracción mineral. Con respecto al C MOFM la única situación en la cual no se registraron diferencias fue la hilera. La uniformidad en las concentraciones de la C MOFM podrían deberse a la ausencia de labores y a la difusión del sistema radical de las plantas de yerba mate en el perfil.

Relación de carbono orgánico particulado y relacionado a la fracción mineral respecto al carbono orgánico total del suelo

En superficie la cantidad de C MOP en el suelo virgen comprende el 35% del CO; 50 años de monocultivo lo redujeron al 26% en la calle o entrehilera con máxima labranza (Cuadro 2). La selva tiene valor semejante a la línea o hilera, lo que significa que la degradación producida por la limpieza de la línea fue de magnitud proporcionalmente semejante en las dos fracciones orgánicas consideradas. El pasto elefante tiene una mayor proporción del que posee la selva, indicando que en el período de seis años se ha producido una recuperación mucho más rápida de los niveles de C MOP que C MOFM.

En la capa subsuperficial, la acción del cultivo sobre el suelo virgen produce disminución desde el 28% de la relación C MOP/CO al 20% de dicha relación. En el agroecosistema yerbatero se observa una destrucción del C MOP con un consecuente incremento del pool asociado a la fracción mineral. La redistribución del C MOP a partir de fracciones lábiles hacia otras más humificadas, ha sido encontrado por otros auto-

Cuadro 2. Porcentaje de cantidad de carbono de la materia orgánica particulada y relacionada a la fracción mineral, respecto al carbono orgánico total del suelo (C MOP/CO y C MOFM/CO respectivamente).

Table 2. Percent of C of particulate organic matter and related to the mineral fraction, in relation to the soil total organic C (C MOP/CO and C MOFM/CO respectively)

Ecosistemas	C MOP/CO		C MOFM/CO	
	0-0,05	0,05-0,15	0-0,05	0,05-0,15
	-----Profundidad (m)-----			
Virgen	35	28	64	72
Yerbal con				
Pasto Elefante	40	27	60	73
Yerbal Línea	35	29	65	71
Yerbal Calle	26	20	74	80

res (Ford y Greenland, 1968; Ladd *et al.*, 1977; Cambardella y Elliott, 1992). La materia orgánica asociada a la fracción mineral tiene poca disponibilidad de nutrientes (Tiessen y Stewart 1983; Anderson *et al.*, 1981), consecuentemente el cultivo no sólo reduce el contenido total de materia orgánica sino que también reduce la disponibilidad de nutrientes.

Distribución del carbono en ácidos húmicos y fúlvicos

En la Figura 3 se presentan las distribuciones del CO de ácidos húmicos (COH) y ácidos fúlvicos (COF) referidos al CO del suelo entero, en las dos profundidades estudiadas. En la capa superficial de 0-0,05 m, la mayor proporción de COH correspondió al agroecosistema con cultivo consociado de pasto elefante, que se diferencia significativamente de las calles del yerbal con monocultivo y del suelo virgen ($P \leq 0,05$). Para interpretar estos resultados se debe tomar en cuenta la gran cantidad de biomasa que aporta el pasto elefante cuando es manejado como abono verde (Píccolo, 1995). Los residuos vegetales frescos posiblemente incrementaron los procesos de humificación, con la consecuente produc-

ción de ácidos húmicos. Estos polímeros, debido a su reciente formación, posiblemente presentaron un débil grado de asociación con la matriz arcillosa del suelo, lo que permitió su extracción en mayor proporción con álcali diluido (OHNa 0,1N), respecto a los restantes ecosistemas.

El suelo bajo selva nativa contiene la menor proporción de ácidos fúlvicos (AF) referidos al CO del suelo entero (COF), correspondiendo los mayores valores a la calle degradada del yerbal. Estos resultados son coincidentes con el modelo de evolución de las fracciones de la materia orgánica presentada por Pallo (1993), mediante el cual la producción de AF es consecuencia de la biodegradación de las sustancias húmicas, proceso que en este caso fue estimulado por el laboreo.

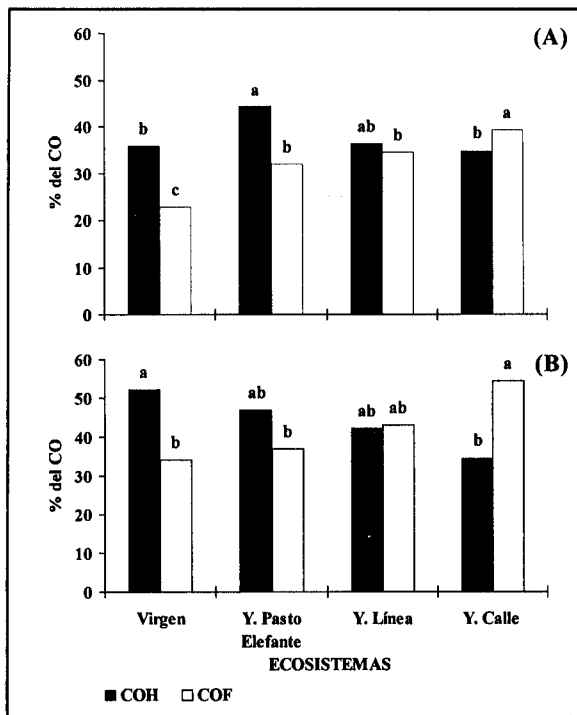


Figura 3. Porcentaje de carbono de ácidos húmicos (COH) y fúlvicos (COF), respecto al carbono orgánico total (COT), con profundidad 0-0,05 (A) y 0,05-0,15 m (B). Los valores con una misma letra entre ecosistemas no difieren significativamente ($P < 0,05$).

Figure 3. Carbon percent in humic acids (COH) and fulvic acids (COF) in two depths (A) 0-0.05 and (B) 0.05-0.15 m. Values followed by the same letter between ecosystems are not significantly different at ($P < 0.05$).

En la capa subsuperficial de 0,05-0,15 m (Figura 3), la mayor proporción de COH se encontró en el suelo virgen y la menor en la calle del yerbal, ocupando las restantes situaciones una posición equivalente e intermedia. Estos resultados indican que la acción del cultivo indujo cambios no sólo en la cantidad de CO sino también en la calidad de las sustancias húmicas. En la situación calle, la disminución de COH se la deberá asociar a una reducción de los procesos de humificación, como consecuencia de la eliminación de los aportes de residuos vegetales. Sin embargo, la consociación de abono verde durante un período de seis años lo incrementó hasta valores iguales a los del ecosistema virgen (Figura 3).

Las proporciones del COF en los ecosistemas presentaron una tendencia opuesta al de COH. El mayor valor correspondió al agroecosistema yerbal calle, y los menores al suelo virgen y yerbal con pasto elefante. Se deberían tomar en cuenta al respecto dos procesos causales. El primero es el incremento de la biodegradación inducido por las prácticas de cultivo con producción de AF, y el segundo está relacionado a la solubilidad diferencial de éstos en medio ácido (McKeague, 1967; Schnitzer, 1970), que les permite migrar en profundidad formando complejos insolubles con Fe y Al en los horizontes subsuperficiales (Schnitzer y Skinner, 1964).

Relación de C de ácidos húmicos y fúlvicos

En las dos profundidades estudiadas, el suelo virgen y del yerbal consociado con pasto elefante presentaron una mayor relación COH/COF que los restantes tratamientos (Figura 4), los menores valores se registraron en las calles. La disminución de la relación COH/COF debe atribuirse a una disminución de los procesos de humificación (Miglierina y Rosell, 1995). Es importante resaltar que la especie utilizada como abono verde fue instalada en las calles degradadas del yerbal, y en un período de 6 años la calidad de sus sustancias húmicas se igualaron a las del suelo virgen (Figura 4).

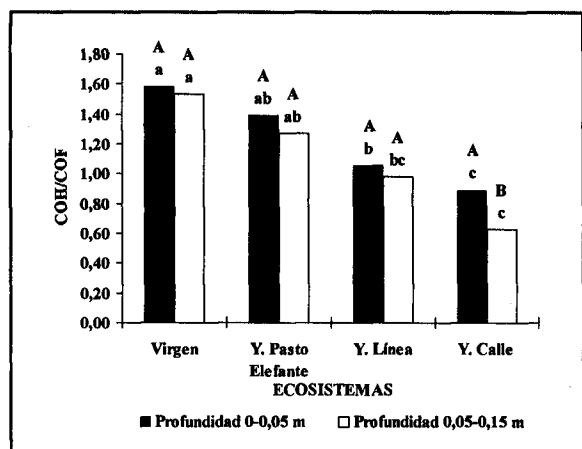


Figura 4. Relación de carbono orgánico de ácidos húmicos (COH) y fúlvicos (COF). Los valores con una misma letra minúscula entre ecosistemas en una profundidad no difieren significativamente ($P < 0,05$). Los valores con una misma letra mayúscula dentro de un ecosistema entre profundidades no difieren significativamente ($P < 0,05$).

Figure 4. Humic (COH) and fulvic acids (COF) carbon relation. Values followed by the same lower-case letter between ecosystems within a depth are not significantly different at ($P < 0.05$). Values followed by the same uppercase letter within an ecosystem between depths are not significantly different at ($P < 0.05$).

La relación COH/COF resultó igual en las dos profundidades en el suelo virgen, con pasto elefante y línea del yerbal. Sin embargo, en las calles la relación COH/COF fue significativamente superior en la capa superficial del horizonte A_1 ($P \leq 0,05$), probablemente debido al movimiento de los AF en profundidad acompañados con Fe y Al.

CONCLUSIONES

El suelo virgen posee las mayores concentraciones de C MOP y C MOFM. La acción del cultivo produjo una disminución del C MOP e incremento del C MOFM. El cultivo del pasto elefante utilizado como abono verde incrementó en mayor proporción el C MOP que el C MOFM.

El cultivo del suelo ocasionó disminución de la proporción de COH/COF en las dos profundidades estudiadas, como consecuencia de la reducción de los procesos de humificación e incremento de la degradación de la materia orgánica.

RESUMEN

La determinación de las transformaciones de la materia orgánica es importante para entender su dinámica en sistemas intensivos de manejo. Con este objeto fueron evaluados el carbono orgánico de la materia orgánica particulada (C MOP), y el carbono de ácidos húmicos y fúlvicos (COH y COF, respectivamente), en varios tratamientos de un suelo Kandihumult, cultivado y virgen, de la Provincia de Misiones, Argentina ($27^{\circ} 39'$ Lat. S y $55^{\circ} 26'$ Long. W). Los ecosistemas fueron: a) Selva nativa subtropical; b) Plantación de yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hil.) de 50 años con control mecánico de malezas en las entrehileras; c) Similar a b) sin control mecánico en las entrehileras; y d) Yerbal de 50 años interplantado con pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) utilizado como abo-

no verde. La materia orgánica relacionada a la fracción mineral fue aislada, dispersando los agregados por agitación en agua con perlas de vidrio de 5 mm, y removiendo el C MOP por tamizado con malla de $100 \mu\text{m}$. La selva nativa y los entrehileras del yerbal de 50 años tuvieron la mayor y menor cantidad de C MOP, respectivamente. El COH decreció en los suelos cultivados en la capa de 0,05-0,15 m y el COF se incrementó en ambas capas. Seis años de cultivo del pasto elefante revirtió el proceso de degradación hasta prácticamente alcanzar los valores del suelo virgen.

Palabras claves: Materia orgánica particulada, ácido húmico, ácido fúlvico.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, D.W.; SAGGAR, S.; BETTANY, S. AND STEWART, J.W.B. 1981. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Science Society of American Journal* 45: 767-772.
- ANDRIULO, A.; GALANTINI, J.; PECORARI, C. Y TORIONI, E. 1990. Materia orgánica del suelo en la Región Pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica* 34: 475-489.
- BUYANOSKY, G.A.; ASLAM, M. AND WAGNER, G.H. 1994. Carbon turnover in soil physical fractions *Soil Science Society of American Journal* 58: 1167-1173.
- CAMBARDELLA, C.A. AND ELLIOTT, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of American Journal* 56: 777-783.
- FORD, G.W. AND GREENLAND, D.J. 1968. The dynamics of partly humified organic matter in some arable soils. *In: Holmes, J.W. (ed.) Trans. Int. Congr. Soil Sci. 9th. Adelaide, Australia. Elsevier. New York, USA. Vol. 2. p. 403-4011.*
- JENKINSON, D.S. AND RAYNER, J.H. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* 123: 398-305.
- JENKINSON, D.S.; HART, P.B.S.; RAINER, J.H. AND PARRY, L.C. 1987. Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments in Rothamsted. *INTECOL Bulletin* 15: 1-8.
- LADD, J.N.; PARTONS, J.W. AND AMATO, M. 1977. Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. I. Distribution of immobilized nitrogen amongst soil fractions of different particle size and density. *Soil Biology and Biochemistry* 9: 309-318.
- MIGLIERINA, A.M. AND ROSELL, R.A. 1995. Humus quantity of an entic Haplustoll under different soil-crop management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20: 3343-3357.
- MCKEAGUE, J.A. 1967. Humic-fulvic ratio, Al, Fe and C in pyrophosphate extracts as a criteria of A and B horizons. *Canadian Journal of Soil Science* 48: 27-35.
- PALLO, F.J.P. 1993. Evolution of organic matter in some soils under shifting cultivation practices in Burkina Faso. *In: Mulongoy, K. and Merckx, R. (eds.) Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. IITA/K.U. Leuven. England.*
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V. AND OJIMA, D.S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of American Journal* 51: 1173-1179.
- PICCOLO, G.A. 1995. Efecto de diferentes cultivos utilizados como abonos verdes sobre un rodudal típico (Misiones, Argentina). *Ciencia del Suelo* 13: 101-103.
- PICCOLO, G.A.; ROSELL, R.A. AND GALANTINI, J.A. 1998. Transformaciones de la materia orgánica en un suelo laterítico (Misiones, Argentina): I. Distribución del carbono orgánico en fracciones de agregados. *Agricultura Técnica (Chile)* 58(2): 133-141.
- ROSELL, R.A.; ORTIZ, M.Y. AND QUEVEDO, L. 1971. A comparison of the effectiveness of various extractants for determining humus quality in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2: 275-282.

- SCHNITZER, M. 1970. Characteristics of organic matter extracted from podzolic horizons. *Canadian Journal of Soil Science* 50: 199-204.
- SCHNITZER, M. AND SKINNER, S.Y.M. 1964. Organo-metallic interactions in soils: 3. Properties of iron- and aluminium-organic matter complexes prepared in the laboratory and extracted from a soil. *Soil Science* 98: 197-203.
- STEVENSON, F.J. 1982. Humus chemistry, genesis, composition, reactions. John Willey and Sons. New York, U.S.A. 443 p.
- STEWART, B.A. AND POWER, P.O. 1993. Managing crop residues for the retention of carbon. *Water, Air and Soil Pollution* 70: 373-380.
- TIESSEN, H. AND STEWART, J.W.B. 1983. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Science Society of American Journal* 47: 509-514.
- VAN VEEN, J.A. AND PAUL, E.A. 1981. Organic C dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. *Canadian Journal of Soil Science* 61: 185-201.