

## MATERIA ORGANICA DEL SUELO BAJO ROTACIONES DE CULTIVOS. II EFECTO DE LOS CICLOS DE AGRICULTURA Y PASTURA.

E M CASANOVAS, G A STUDDERT, H E ECHEVERRIA

Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce C.C. 276 - 7620 Balcarce, Argentina

### SOIL ORGANIC MATTER UNDER CROP ROTATIONS. II EFFECT OF TIME UNDER AGRICULTURE AND PASTURE

The impact of the length of the periods of agriculture and pasture on the contents of total organic matter (MOT) and some of its fractions separated granulometrically (humified OM (MOH) and young organic matter (MOJ)) and densimetrically (organic matter in the light fraction (MO FL)) and on the microbial biomass nitrogen (N BM) of a Typic Argiudoll from Balcarce (Province of Buenos Aires, Argentina) under three crop rotations, was evaluated. The results were fitted to a model using years under pasture and years under agriculture as independent variables. Synthesis and decay rates, half life, final equilibrium levels and approximated time to reach them, were estimated for each dependent variable and soil management situation. Granulometric fractions did not show the expected trend, probably due to an incomplete separation of fractions due to the way the technique was applied. The results of fitting MOT, MO FL and N BM data to the model confirmed that the two latter variables are more sensitive and early indicators than MOT of the effects of rotations on soil biochemical properties.

**Key words:** Soils, Organic matter-Rotations-Fractionation-Microbial biomass-Turnover

### INTRODUCCION

Distintos autores han trabajado en la búsqueda de modelos matemáticos que permitan describir las disminuciones en los contenidos de materia orgánica (MO) en el período agrícola y la recuperación de los mismos en el ciclo bajo pastura (Tisdall, Oades 1982, Stevenson 1986, Doran, Smith 1987). La cantidad de MO presente en el suelo es determinada por las magnitudes relativas o tasas de los procesos de adición y descomposición (Anderson, Domsch 1989). Jenny (1941) propuso la siguiente ecuación para describir la variación de los contenidos de nitrógeno (N) o MO en función del tiempo (dN/dt):

$$dN/dt = -rN_0 + A \quad [1]$$

donde  $N_0$  es el contenido inicial de N ( $mg\ kg^{-1}$ ) o MO ( $g\ kg^{-1}$ ),  $r$  es la tasa anual de degradación de N o MO ( $año^{-1}$ ) y  $A$  es la tasa anual de retorno de N ( $mg\ kg^{-1}\ año^{-1}$ ) o MO ( $g\ kg^{-1}\ año^{-1}$ ). La Ecuación [1] sería posteriormente integrada por Bartholomew y Kirkham (1960):

$$N = A/r - (A/r - N_0) e^{-rt} \quad [2]$$

donde  $A/r$  representa el valor de equilibrio anteriormente mencionado y el resto de la ecuación representa los procesos de cambio. El tiempo que se tarda en llegar al equilibrio puede calcularse en forma iterativa utili-

zando los parámetros  $A$ ,  $r$  y  $N_0$  en la ecuación [1] hasta que los valores de  $N$  no difieran más de 0,5 punto porcentual de los valores de  $A/r$ . También es posible calcular período desemedescomposición ( $t_{1/2}$ ), o sea, el período en el que se produce la mitad de la variación entre el nivel original de MO y el nuevo nivel de equilibrio, el que sería igual a  $t_{1/2} = 0,693/r$  (Jenkinson, Rayner 1977).

La pérdida de MO durante los primeros años de agricultura convencional es más alta que en los años siguientes. Durante los tres primeros años de cultivo se produciría el 80% de las pérdidas del C más lábil (Bowman *et al.* 1990). Como consecuencia de la descomposición de la fracción liviana (FL) o activa quedan como remanente formas más estables de la MO (Ladd *et al.* 1977, Dalal, Mayer 1986a, Doran, Smith 1987). Estas últimas fracciones presentan una menor disponibilidad inmediata de nutrientes (Dalal, Mayer 1986a, Cambardella, Elliott 1992). La proporción de la MO más fácilmente mineralizable sobre la MO total refleja el enriquecimiento en C orgánico en suelos arables bajo pastura, y su mineralización relativamente rápida con los cultivos siguientes (Richter *et al.* 1975, Dalal, Mayer 1986b). En muchos suelos el C y el N orgánicos contenidos en la biomasa microbiana (BM) disminuyen linealmente con el período de cultivo (20-70 años)

reduciéndose por lo tanto, su capacidad de aportar nutrientes, especialmente N (Dalal, Mayer 1986d; Powlson *et al.* 1987, Follett, Schimel 1989).

En la primera parte de esta experiencia (Casanovas *et al.* 1995) se determinó el efecto de distintas secuencias y rotaciones de cultivos sobre los niveles de MO total (MOT) y distintas fracciones de la fase orgánica del suelo. El objetivo del presente trabajo es cuantificar el impacto de la duración de los períodos de agricultura y de pastura sobre aquellas variables para un Argiudol típico del Sudeste Bonaerense, mediante el empleo del modelo de Bartholomew y Kirkham (1960).

## MATERIALES Y METODOS

La experiencia se efectuó sobre muestras tomadas de los 15 cm superficiales del horizonte A<sub>1</sub> de un Argiudol típico (fino, mixto, térmico) de la zona de Balneario. Sobre este suelo se lleva a cabo un ensayo de rotaciones de cultivos agrícolas y pasturas desde el año 1976. Dicho ensayo cuenta con siete tratamientos, de los cuales se seleccionaron tres como representativos de situaciones contrastantes de manejo. Más información sobre las características y manejo de los suelos en estudio, así como el

muestreo y las técnicas analíticas empleadas fueron previamente descritas (Casanovas *et al.* 1995).

En el presente trabajo se utilizaron los valores correspondientes a MOT; materia orgánica humificada calculada y determinada (MOH C y MOH D) y materia orgánica joven (MOJ) determinadas utilizando el método seco de dispersión de agregados: MO FL y contenido N BM.

Los resultados obtenidos de las distintas variables fueron ajustados en función de los años de agricultura y de pastura a través de regresión no lineal utilizando el modelo propuesto por Bartholomew y Kirkham (1960) (ecuación 2). El coeficiente de determinación (r<sup>2</sup>) para cada una de los ajustes realizados, fue calculado mediante la elevación al cuadrado del coeficiente de correlación entre los valores observados y los estimados por el modelo. Sólo se aplicó este procedimiento a los casos en los que el coeficiente de correlación (r) era significativo (p>0,05). Se empleó el PROC NLIN y el PROC CORR del SAS (SAS Institute Inc. 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los parámetros que surgen de la aplicación de la ecuación 2 para ajustar la variación de los niveles de MOT, MOH, MO FL y N BM con los años de agricultura y de pastura se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Parámetros obtenidos utilizando el modelo de Bartholomew y Kirkham (1960) para ajustar las distintas variables determinadas.

	N <sub>0</sub> (mg kg <sup>-1</sup> ) o MO <sub>0</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	r (año <sup>-1</sup> )	A (mg kg <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )*o (g kg <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )**	A/r (mg kg <sup>-1</sup> )* o (g kg <sup>-1</sup> )**	t 1/2 (años)	Tiempo en alcazar A/r (años)
MOT						
Agric.	61,40	0,18	9,19	51,11	3,8	20,6
Past.	55,00	0,23	15,80	68,70	3,0	16,0
MOH D.						
Agric.	54,69	0,17	8,38	47,29	3,2	20,3
MOH C.						
Agric.	56,29	0,32	15,46	48,31	3,9	10,9
MO FL						
Agric.	3,00	0,62	0,95	1,53	1,1	8,5
Past.	1,38	0,29	1,00	3,50	2,5	16,5
N BM A						
Agric.	219,17	0,58	80,38	138,59	1,2	8,2
Past.	85,30	0,80	192,70	246,50	0,8	6,1
N BM B						
Agric.	47,60	0,96	28,79	29,50	0,7	5,0
Past.	24,40	0,62	31,28	40,99	1,1	7,1

N<sub>0</sub> y MO<sub>0</sub> representan el nivel inicial de N o MO, r la tasa de degradación o síntesis en agricultura (Agric.) o pastura (Past.) respectivamente, A la MO o el N retornado anualmente, A/r el nivel de equilibrio y t<sub>1/2</sub> la vida media, \* N BM; \*\*MOT, MOH, MO FL y N BM.

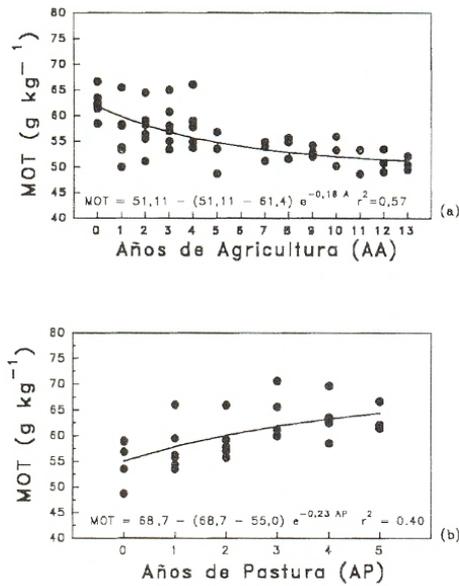


Figura 1: Contenido de MOT a través de los años de agricultura (a) y de pastura (b)

#### Materia orgánica total

Los resultados obtenidos para MOT en función de los años de agricultura se observan en la Figura 1a. Los valores de A fueron menores que los de  $rN_0$  (ecuación 1) (Tabla 1) y, por lo tanto, los contenidos de N o MO disminuyen (Figura 1a) (Greenland 1971). Los valores de r estimados son similares a los reportados para algunos suelos de Australia cuyos contenidos de MO variaban entre 13,3 y 38,5 g kg<sup>-1</sup>. Los niveles de equilibrio para estos suelos oscilaron entre 6 y 17 g kg<sup>-1</sup> y el período de semidescomposición entre 0,6 y 11 años (Dalal, Mayer 1986a). En trabajos similares realizados para suelos de la zona maicera de Estados Unidos sometidos a períodos de agricultura que oscilaron entre 30 y 70 años, se estimó que los niveles de equilibrio se alcanzarían entre los 60 y los 100 años de agricultura continua (Jenny 1941, Bartholomew, Kirkham 1960). Resultados distintos a los anteriores fueron obtenidos para suelos de zonas semiáridas del noroeste de los Estados Unidos cultivados durante 45 años con la secuencia trigo-barbecho, los que presentaron caídas lineares en los niveles de N y MO, estimándose que el nuevo equilibrio se alcanzaría a los 100 años (Rasmussen *et al.* 1980).

En la situación bajo pastura los resultados confirman que durante esos períodos A generalmente excede los valores de  $rN_0$  (ecuación 1) (Tabla 1) por lo cual los niveles de MO o N tienden a aumentar (Figura 1b). Los contenidos de MO de los suelos con los que se trabajó fluctuarían, en condiciones de agricultura y ganadería muy prolongada, entre 51,1 y 68,7 g kg<sup>-1</sup>, lo que implicaría la existencia de una fracción degradable máxima de aproximadamente 18 g kg<sup>-1</sup>. Las velocidades de degradación y recuperación de esta fracción serían mayores que las reportadas por Bartholomew y Kirkham (1960), lo que sugeriría una muy elevada tasa de recambio de la MOT en estos suelos.

#### Fraccionamiento granulométrico

Los resultados obtenidos y el ajuste de la ecuación 2 para la MOH (calculada y determinada) se presentan en la Figura 2 a y b. Los valores de MOJ no pudieron ser ajustados mediante la ecuación 2 aunque muestran una tendencia a disminuir con los años de agricultura (Figura 2c). En la situación bajo pastura tanto los valores de MOJ (Figura 3c), como los MOH determinada y calculada (Figura 3a y b), tampoco pudieron ser ajustados mediante la ecuación 2. Los niveles de MOJ y los de MOH disminuyen durante el ciclo agrícola. Después de trece años de agricultura continua los primeros decaen

Tabla 2: Matriz de correlación. Dentro de cada casilla la primera línea corresponde al valor de r, la segunda indica la probabilidad y la tercera el número de casos.

	MOT	MOH C	MOH D	MOJ	MO FL	N BM
MOT	0,9					
MOH C	0,0001	0,67				
MOH D	0,77	0,0001	0,0001			
MOJ	0,34	0,14	0,31	0,07	0,58	0,09
MO FL	0,34	0,29	0,328	1,00	0,045	0,112
N MB A	0,53	0,54	0,24	0,18	0,66	0,0014
N MB B	0,37	0,36	0,36	0,15	0,58	0,83

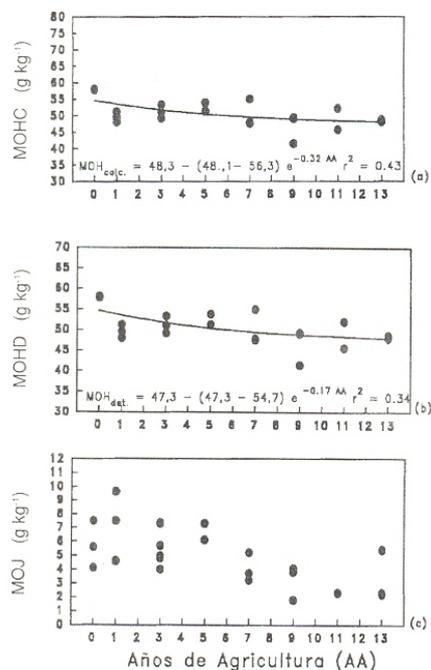


Figura 2: Contenidos de MOH C (a), MOH D (b) y MOJ (c) a través de los años de agricultura

en forma más notoria (57%) que los segundos (13,8%). Además se obtuvieron altos coeficientes de correlación entre los valores de MOT y de MOH, tanto la calculada como la determinada ( $r=0,9$  y  $0,77$  respectivamente) (Tabla 2) lo que sugeriría una baja capacidad del método de fraccionamiento granulométrico para separar las fracciones lábiles de las estables. El coeficiente de correlación entre la MOT y la MOJ fue bajo ( $r=0,34$ ) (Tabla 2), lo que se debería a que por sus diferentes tasas de síntesis y degradación responden de distinta manera ante cambios en la rotación. Además, de acuerdo a lo expresado anteriormente, estos resultados no muestran con claridad las tendencias que se citan en la bibliografía, en la cual la fracción lábil de la MO (MOJ) disminuye marcadamente con los años de agricultura y aumentan con los de pastura, mientras que la fracción estable o humificada (MOH) no sufriría cambios por el tipo de actividad (Dalal, Mayer 1986b, Tisdall, Oades 1982, Andriulo *et al.* 1990, Pecorari 1991).

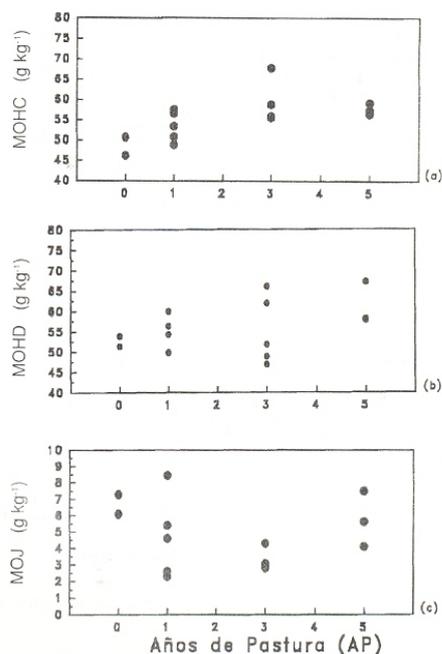


Figura 3: Contenido de MOH C (a), MOH D (b) y MOJ (c) a través de los años de pastura

#### Fraccionamiento densimétrico

A través de los años de agricultura se observa que los contenidos de MO FL disminuyen (Figura 4a). Los valores obtenidos al aplicar la ecuación 2 (Tabla 1), aunque algo mayores, son muy similares a los calculados por Dalal y Mayer (1986c) cuando aplicaron este mismo modelo a la variación en los contenidos de carbono orgánico liviano. En la situación bajo pastura los resultados muestran una rápida recuperación de los contenidos de MO FL al inicio del ciclo (Figura 4b). Estos resultados indicarían que la agricultura tiende a afectar selectivamente la tasa de pérdida de la MO más liviana frente a la de aquellas fracciones de mayor densidad asociadas a la matriz mineral del suelo (Conti *et al.* 1990). Para explicar esta mayor tasa de pérdida Young y Spycher (1979) proponen que los componentes de la fracción lábil serían fácilmente accesibles para los microorganismos del suelo por estar ubicados sobre la superficie de los agregados y en el espacio entre

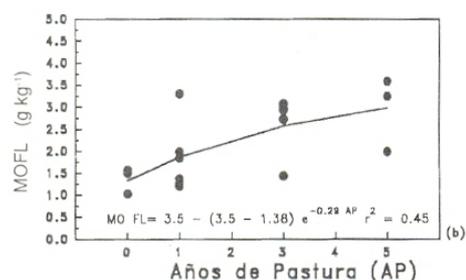
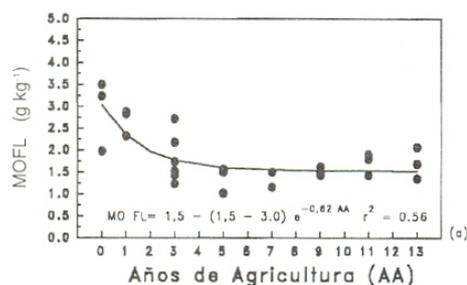


Figura 4: Contenido de MO FL a través de los años de agricultura (a) y de pastura (b)

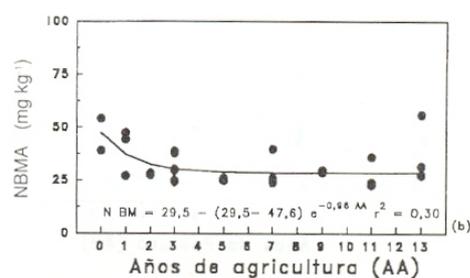
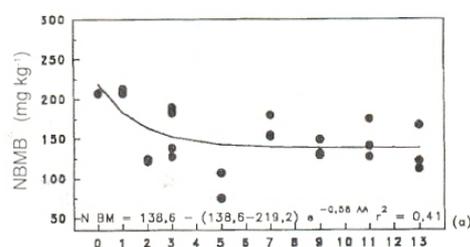


Figura 5: Contenidos de N BM método de cálculo a) (a) y b) (b) a través de los años de agricultura

agregados. Ladd y Amato (1980) y Spycher *et al.* (1983) concluyeron que la fracción liviana es el reservóreo más importante de MO de fácil y rápido reciclaje. Esto coincide también con lo citado por Dalal y Mayer (1986c) quienes reportaron que la fracción lábil representa sólo el 2-3% de la masa total del suelo, pero contiene un 15-32% del carbono orgánico del suelo.

Los resultados obtenidos muestran que luego de 1-2 años de agricultura el contenido de MO FL del suelo disminuye un 50%. La mitad de esta caída se produce durante el primer año de cultivo (Figura 4a). Esto coincide con lo reportado por Bowman *et al.* (1990) quienes afirmaron que el 80% de las pérdidas de C liviano se producía durante los tres primeros años de cultivo. Por otro lado, los resultados del presente trabajo muestran que después de 5 años de pastura el contenido de MO FL aumenta un 123%. La mitad de este aumento se produce en los primeros dos años y medio bajo pastura (Figura 4b). El nivel de equilibrio se alcanzaría a los 8,5 y 16,5 años para las situaciones de agricultura y pastura, respectivamente. Estos valores indican la gran susceptibilidad de esta fracción de la MO a los cambios en los sistemas de manejo debido a su elevada tasa de reciclo.

#### Nitrógeno en la Biomasa microbiana

El contenido de N BM disminuye rápidamente con la agricultura convencional (Figura 5), la cual, al reducir la disponibilidad de sustrato para el crecimiento microbiano, disminuiría la capacidad del suelo para inmovilizar y conservar el N mineral (Follett, Schimel 1989). De esta forma responde más rápido que los niveles de MOT a cambios en el manejo que alteren la reposición anual de material orgánico al suelo (Powlson *et al.* 1987). Asimismo, en la situación bajo pastura (Figura 6) tanto el N fácilmente mineralizable como la BM total aumentan (Rizzalli *et al.* 1984). Los parámetros determinados son similares a los reportados por Dalal y Mayer (1986d) siendo los de  $r$  sensiblemente mayores para nuestras condiciones. Esto indicaría una velocidad de reciclo del N BM mucho mayor para nuestros suelos. Se debe destacar la importancia de las variaciones del tamaño y actividad de la BM por sus efectos directos sobre la mineralización e inmovilización de nutrientes y la sensibilidad de la misma como indicador temprano del impacto producido por cambios en el manejo del suelo.

Las correlaciones entre los valores de MO FL y el

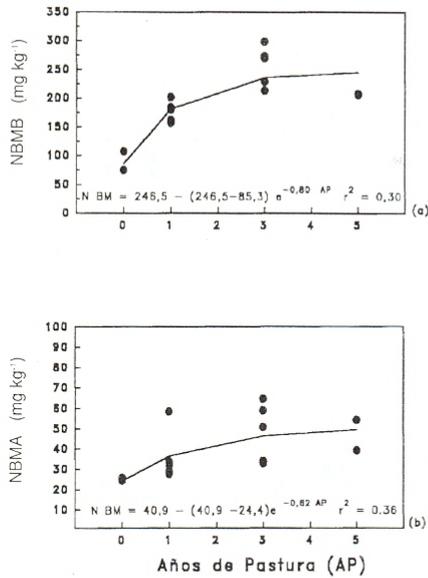


Figura 6: Contenido de N BM método de cálculo A (a) y B (b) a través de los años de pastura

contenido de N BM fueron altamente significativas ( $p > 0,01$ ) (Tabla 2) y presentaron coeficientes mayores que los reportados en la bibliografía (Janzen *et al.* 1992). Estos resultados sugerirían que la BM representa una parte importante de la FL (Ladd *et al.* 1977) y que, a su vez, la FL es una fuente significativa de C para los microorganismos debido a su accesibilidad y a la labilidad de sus constituyentes (Spycher *et al.* 1983, Dalal, Mayer 1986c).

#### Consideraciones finales

El presente trabajo se realizó bajo un sistema de agricultura convencional y pastura manejada por corte. Los resultados obtenidos en tales circunstancias sugerirían que una rotación de 7 años, con 4 años de agricultura y 3 de pastura, permitiría evitar que los niveles de la fracción degradable de la MOT disminuyeran más del 50% (Tabla 1). Si bien podría decirse que esta disminución no es muy marcada (aproximadamente  $6 \text{ g kg}^{-1}$ ), en dicha rotación la disminución y la recuperación de la MO FL y el N BM alcanzarían entre un 80 y el 90% de la variación máxima estimada (Figuras 4, 5 y 6). Esto último es importante si se considera que tales fracciones cumplen un papel pre-

ponderante en la definición de la capacidad de un suelo para mineralizar nutrientes. La utilización de otros tipos de labranzas y manejo de cultivos como así también la aplicación de fertilizantes nitrogenados, inciden sobre la dinámica de la MO provocando cambios significativos en los períodos anteriormente mencionados, por afectar procesos tales como la incorporación de residuos y las tasas de mineralización y síntesis.

Por otra parte, para suelos similares se ha reportado una mayor disminución del índice de estabilidad durante los primeros años del ciclo agrícola, produciéndose el 50% de la pérdida total durante los primeros 2-3 años de agricultura. También se observó que la recuperación del índice de estabilidad es muy alta durante igual período de pastura (Suero, Garay 1978). Esta dinámica coincide con la descrita en este trabajo para las fracciones lábiles y sugiere una estrecha relación entre las propiedades físicas y las bioquímicas del suelo ante cambios en la rotación y secuencia de cultivos.

Resumiendo, la aplicación del modelo de Bartholomew y Kirkham (1960) a una experiencia de larga duración realizada sobre un Argiudol típico del Sudeste Bonaerense, permitió describir la variación de la fracción orgánica del sistema suelo en función de la duración de los ciclos agrícolas y bajo pastura. Se concluye que la mayor tasa de degradación o descomposición y el menor período de semidescomposición media determinados para N BM y MO FL con respecto a los mismos parámetros para MOT, confirman su naturaleza más dinámica. Por esa razón, tales fracciones orgánicas del suelo serían indicadores más tempranos que la variación de los contenidos de MOT para reflejar los efectos de cambios provocados por la rotación de cultivos.

#### AGRADECIMIENTO

Trabajo financiado por EEA INTA, Balcarce (Planes de trabajo 08-82-036 y 08-82-040) y la FCA de la UNMdP (Subsidio de la Secretaría de Ciencia y Técnica N° 13).

#### REFERENCIAS

- Anderson T H, Domsch K H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. *Soil Biol. and Biochem.*, 21: 471-479
- Andriulo A, Galantini J, Pecorari C, Torionie 1990. Materia orgánica del suelo en la Región Pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimia*, 34: 475-489
- Bastholomew W V, Kirkham D. 1960. Mathematical descriptions and interpretations of culture induced soil nitrogen changes. *Int. Congr. Soil Sci.*, 7<sup>th</sup>, Madison, Wis., 1960. Comm. III, pp. 471-477
- Bowman R A, Reeder J D, Lobner R W. 1990. Changes in soil

- properties in a Central Plains rangeland soil after 3, 20 and 60 years of cultivation. *Soil Sci.*, 150: 851-857
- Cambardella C A, Elliott T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 777-783
- Casanovas E M, Echeverria H E Y Studdert G A. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. I. Contenido total y de distintas fracciones (Ciencia del Suelo, este volumen)
- Conti M E, Palma R M, Gonzalez M G, Giardina E. 1990. Influencia de dos sistemas de manejo sobre algunas variables orgánicas de suelos de la provincia de Buenos Aires. *Rev. de la Facultad de Agronomía*, 11: 1-6
- Dalal R C, Mayer R J. 1986a. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: I. Total organic carbon and rate of loss from the soil profile. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 281-292
- Dalal R C, Mayer R J. 1986b. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: II. Distribution and kinetics of soil organic carbon in particle-size fractions. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 293-300
- Dalal R C, Mayer R J. 1986c. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: III. Loss of organic carbon from different density functions. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 301-309
- Dalal R C, Mayer R J. 1986d. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: IV. Dynamics of nitrogen mineralization potential and microbial biomass. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 461-472
- Doran J W, Smith M S. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. pp.: 53-71 En: R.F. Follett *et al.* (eds.). *Soil fertility and organic matter as critical components of production systems*, SSSA Spec. pub. N°19.
- Follett R F, Schimel D S. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1091-1096
- Greenland D J. 1971. Changes in the nitrogen status and physical conditions of soil under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soils used for growing wheat. *Soil Fert.*, 34: 237-251
- Janzen H H, Cambell C A, Brandt S A, Lafond, G P, Townley-Smith L. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1799-1806
- Jenkinson D S, Rayner J H. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical Experiments. *Soil Sci.*, 123: 298-305
- Jenny H. 1941. *Factors of Soil Formation*. Mc.Graw-Hill, New York, New York, (E.U.A.) 281 pp
- Ladd J M, Amato M. 1980. Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. 4. Changes in the nitrogen of light and heavy subfraction of silt and fine clay - size particles during nitrogen turnover. *Soil Biol. Biochem.*, 12: 185-189
- Ladd J N, Parton W J, Amato M. 1977. Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils: I. Distribution of immobilized nitrogen amongst soils fractions of different particle size and density. *Soil Biol. Biochem.*, 9: 309-318
- Pecorari C. 1991. La materia orgánica de los suelos en la región pampeana. En: *Jornada: Materia orgánica del suelo*. INTA EEA-Pergamino, 1991, noviembre. Programa de Ambito Nacional Suelos del INTA
- Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 19: 159-164
- Rasmussen P E, Allmaras R R, Rohde C R, Roager N C Jr. 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in wheat-fallow system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 596-601
- Richter M, Mizuno Y, Aranguez S y Uriarte S. 1975. Densimetric fractionation of soil organo-mineral complexes. *J. Soil Sci.*, 26: 113-123
- Rizzalli R H, Navarro C A, Echeverria H E. 1984. Efecto del manejo y la estación del año sobre la capacidad de mineralización y biomasa total en un Argiudol típico del sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 2: 61-67
- Sas Institute Inc. 1985. *SAS. User's guide*. Satatistics version 5 edition. SAS Institute Inc., Cary, Nort Carolina. (USA)
- Spycher, Sollins P, Rose S L. 1983. Carbon and nitrogen in the light fraction of a forest soil: vertical distribution and seasonal patterns. *Soil Science*, 135: 79-86
- Stevenson F J. 1986. *Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients*. John Wiley & Sons, New York (USA)
- Suero E, Garay A F. 1978. Estado estructural del horizonte superficial de suelos Argiudoles del sudeste bonaerense. II. Modificaciones producidas por el manejo a que han sido sometidos los suelos. *Actas 8ª Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo*. Bs. As.
- Tisdall J M, Oades J M. 1982. Organic matter-stable aggregates in soils. *J. Soils Sci.*, 33: 141-163
- Young J L, Spycher G. 1979. Water dispersible soil organic-mineral particles. I. Carbon and nitrogen distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43: 324-328