

## FRACCIONAMIENTO Y MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN DISTINTOS SISTEMAS DE LABRANZA EN UN INCEPTISOL DE SALTA

FLORENCIA FERRARY LAGUZZI<sup>1\*</sup>; RAMÓN OSINAGA<sup>2</sup>; JOSÉ LUIS ARZENO<sup>3</sup>; ANALÍA ROSA BECKER<sup>4</sup> & T RODRÍGUEZ<sup>3</sup>

Recibido: 03-06-12

Recibido con revisiones: 08-11-13

Aceptado: 15-11-13

### RESUMEN

La Materia Orgánica (MO) posee una influencia trascendente sobre las propiedades del suelo. Está compuesta por fracciones lábiles, MO particulada (MOP) y estables, MO humificada (MOH). La MOP es un indicador temprano de los cambios provocados por las prácticas de manejo. Por otro lado, el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) es un indicador de la capacidad de un suelo de mineralizar nitrógeno. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de cuatro sistemas de labranza (SL): labranza convencional (LC), labranza mínima con disco (LMD), labranza mínima vertical (LMV) y siembra directa (SD) sobre los contenidos de MO total, MOP y MOH y sobre la mineralización de nitrógeno (MN). Se analizaron muestras de suelo (0-5 y 0-20 cm) de un ensayo de largo plazo iniciado en 1990 sobre un Inceptisol (Ustocrept údico) de Salta. Bajo SD y LMV hubo mayor contenido de MO (2,93% y 3,16%), de MOP (9,62 y 10,98 g kg<sup>-1</sup>) y de MOH (13,62 y 14,63 g kg<sup>-1</sup>), principalmente en los primeros centímetros del suelo que bajo LMD (2,19%, 7,08 g kg<sup>-1</sup> y 9,76 g kg<sup>-1</sup>) y LC (1,35%, 3,23 g kg<sup>-1</sup> y 8,98 g kg<sup>-1</sup>). En LMV hubo mayor cantidad de nitrógeno mineralizado (18 mg N kg suelo<sup>-1</sup>) y nitrógeno potencialmente mineralizable (32 mg N kg suelo<sup>-1</sup>) (CNM y NPM) que en los demás sistemas de labranza (SL) (CNM: LC=6 mg N kg suelo<sup>-1</sup>, LMD y SD=10 mg N kg suelo<sup>-1</sup>; NPM: LC= 16 mg kg suelo<sup>-1</sup>, LMD= 20 mg kg suelo<sup>-1</sup>, SD= 19 mg kg suelo<sup>-1</sup>) en la capa arable. Se observaron relaciones de dependencia más fuertes entre el NPM y la MOP (R<sup>2</sup>=0,65) que con la MOH (R<sup>2</sup>=0,32). Al mismo tiempo se evaluó de manera comparativa, la eficacia de MO, MOP, MOH, CNM y NPM como indicadores de calidad de suelos (ICS). Los resultados mostraron que la MOP y en especial la fracción gruesa de ésta y la CNM son indicadores más sensibles para detectar cambios producidos por los distintos SL.

**Palabras clave.** Materia Orgánica Particulada. Mineralización de Nitrógeno. Indicadores de Calidad de Suelos. Sistemas de Manejo Sustentable.

## FRACTIONATION AND MINERALIZATION OF ORGANIC MATTER ON DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS IN A SOIL OF SALTA

### ABSTRACT

Organic matter (MO) has an important influence on soil properties; it is composed of labile (particulate MO, MOP) & stable fractions (humified MO, MOH). Particulate MO is an early indicator of changes due to management practices. On the other hand, potentially mineralizable nitrogen (NPM) is an indicator of the soil capacity to mineralize nitrogen. The objective of this study was to evaluate the effect of four tillage systems (SL): conventional tillage (LC), minimum tillage with disc (LMD), minimum vertical tillage (LMV) and no tillage (SD) on total MO, MOP and MOH contents and on nitrogen mineralization (MN). Soil samples (0-5 and 0-20 cm) were taken from a long-term experiment started in 1990 on an Inceptisol (Udic Ustocrept) in Salta. Average concentrations of the following variables were found under SD and LMV, respectively: MO: 2.93% and 3.16%, MOP 9.62 and 10.98 g kg<sup>-1</sup> and MOH 13.62 and 14.63 g kg<sup>-1</sup>. These values were greater than those found under LMD (2.19%, 7.08 g kg<sup>-1</sup> and 9.76 g kg<sup>-1</sup>) and LC (1.35%, 3.23 g kg<sup>-1</sup> and 8.98 g kg<sup>-1</sup>), for MO, MPO and MOH, respectively, in the soil surface layer. There was a higher quantity of mineralized nitrogen (18 mg N kg soil<sup>-1</sup>) and potentially mineralizable nitrogen (32 mg N kg soil<sup>-1</sup>) (CNM and NPM) under LMV compared to the other tillage systems: CNM: LC=6 mg N kg soil<sup>-1</sup>, LMD and SD=10 mg N kg soil<sup>-1</sup>; NPM: LC= 16 mg kg soil<sup>-1</sup>, LMD= 20 mg kg soil<sup>-1</sup>, SD= 19 mg kg soil<sup>-1</sup>) in the topsoil. There were stronger dependency relationships between PMN and MOP (R<sup>2</sup>=0.65) than between the first and MOH (R<sup>2</sup>=0.32). Organic Matter, MOP, MOH, CNM and NPM were also evaluated as soil quality indicators (ICS). Particulate organic matter and especially the coarse fraction and the CNM were more sensitive indicators for detecting changes caused by different SL.

**Key words.** Particulate Organic Matter. Nitrogen Mineralization. Soil Quality Indicators. Sustainable Management Systems.

1 CONICET

2 Cátedra de Uso Sustentable de Suelo - Facultad de Ciencias Naturales - UNSa

3 Estación Experimental Agropecuaria Salta - INTA

4 Departamento Geología - Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales - UNRC

\* Autor de Contacto: florenciaferrarylaguzzi@hotmail.com. Ruta Nac.68, km 172; CP: 4403; Cerrillos, Salta, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo (CS) se define como su capacidad o aptitud para soportar el crecimiento de los vegetales sin que esto resulte en la degradación del suelo o en un daño ambiental (Gregorich & Acton, 1995). La CS se establece como resultado de asociar su condición a características necesarias para un uso particular (aptitud). Queda implícita su capacidad para mantener la aptitud en el futuro.

El uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan esencialmente la dirección y el grado de cambios en su calidad, en el tiempo y en el espacio (Corbella *et al.*, 2006). Actualmente, el carbono orgánico (CO) es considerado uno de los atributos más importantes para definir la "calidad del suelo" (Carter, 2002). La materia orgánica (MO) fue señalada como el principal indicador y la que posee una influencia más trascendente sobre la calidad y productividad del suelo (Corbella *et al.*, 2006). Sin embargo, Tan *et al.* (2007) señalan que la dinámica de la MO aporta muy poco al estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto y mediano plazo, ya que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento, por ello se necesitan períodos de tiempo más largos para detectar diferencias (Galantini & Suñer, 2008). Las fracciones de la MO, que son sensibles a los efectos de diferentes usos y que pueden ser utilizadas como indicadores tempranos de la dirección de esos cambios (Six *et al.*, 2002), son sus componentes lábiles (Gregorich *et al.*, 1994; Quiroga *et al.*, 1996; Janzen *et al.*, 1998; Álvarez & Álvarez 2000; Haynes, 2000; Fabrizzi *et al.*, 2003; Galantini *et al.*, 2007). Los compartimientos de la MO del suelo, se pueden definir y cuantificar mediante distintos métodos de fraccionamiento. Uno de ellos es el propuesto por Cambardella & Elliott (1992) que plantea la separación de una fracción lábil, a la cual ellos denominan "Materia Orgánica en partículas o particulada" (MOP) con un tamaño entre 50  $\mu\text{m}$  y 2000  $\mu\text{m}$  (tamaño arena), de la MO asociada a las fracciones minerales (< 50  $\mu\text{m}$ ), la que se denomina MO humificada (MOH).

La MOP es la fracción más sensible a los cambios producidos por las técnicas de manejo de suelo y de cultivo (Cambardella & Elliot, 1992; Diovisalvi *et al.*, 2006). En ella se distingue una fracción gruesa con un tamaño entre 212  $\mu\text{m}$  y 2000  $\mu\text{m}$  (MOP212) y una fracción fina entre 53  $\mu\text{m}$  y 212  $\mu\text{m}$  (MOP53) (Morón & Sawchick, 2002).

Por otro lado, la MOP puede indicar el tamaño del compartimiento fácilmente mineralizable de nutrientes, pudiendo ser de gran utilidad para el diagnóstico del nitró-

geno potencialmente mineralizable (NPM) (Fabrizzi *et al.*, 2003). El NPM hace referencia a la máxima capacidad que tiene un suelo para mineralizar N y su valor es utilizado como un indicador de calidad de suelo (ICS) ya que es muy sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo (Morón & Sawchick, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2003) y por ello ha sido señalado como un indicador temprano promisorio de los efectos del uso sobre las propiedades del suelo (Carter, 2002; Morón & Sawchick, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2003; Diovisalvi *et al.*, 2008).

Los suelos difieren enormemente en su capacidad de mineralizar N debido a los numerosos factores que afectan la mineralización, entre ellos las prácticas de manejo. La labranza convencional acelera la mineralización de nitrógeno (MN) en los suelos debido a que cuanto más intenso y agresivo es el laboreo, se crea un medio muy activo con altas temperaturas y bien aireado, disminuyendo el nivel de CO en el suelo (Studdert & Echeverría, 2000). En cambio, bajo siembra directa ocurre lo contrario y se tiende a aumentar el contenido de CO en la capa superficial del suelo como resultado del menor disturbio.

Se hipotetiza que para las condiciones del área de estudio en la provincia de Salta: i) los manejos mejoradores (siembra directa (SD) y labranza mínima vertical (LMv)) aumentan los contenidos de MO, especialmente de su fracción particulada (MOP) y particularmente en los primeros centímetros del perfil y conducen a una mayor cantidad y potencial de nitrógeno mineralizable (CNM y NPM) en la capa arable que los sistemas de labranza mínima con disco (LMd) y labranza convencional (LC); ii) la MOP es más eficaz como ICS que la MO, MOH, CNM y NPM.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de LC, LMD, LMv y SD en parcelas de largo plazo (PLP), sobre los contenidos de MO, de MOP y de MOH en superficie (0-5cm) y en profundidad (0-20 cm) y sobre la CNM y el NPM de la capa arable (0-20 cm) y de esta forma evaluar los cambios en la calidad del suelo de sistemas productivos. Al mismo tiempo se evaluó de manera comparativa, la eficacia de MO, MOP, MOH, CNM y NPM como ICS.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en un ensayo de labranzas, iniciado en 1990 en la Estación Experimental Agropecuaria Salta INTA (Cerrillos). El suelo en dicho ensayo es un Ustocrept údico (Serie Cerrillos) (Vargas Gil, 1999) con textura franco a franco arcillosa (Tabla 1). El sitio en el que se llevó a cabo el ensayo permaneció bajo labranza convencional hasta 1990,

año en que se aplicaron los sistemas de labranza (SL) analizados en este trabajo: labranza convencional (LC): se pasaron dos cinceles cruzados y dos o tres rastras; labranza mínima con disco (LMd): una sola rastra con control de profundidad; labranza mínima vertical (LMv): un escarificador chato, con púas separadas a 1 m y siembra directa (SD). En 19 años de producción, la rotación fue 10 años de maíz (*Zea mays*) y 10 de soja (*Glycine max*) o poroto negro (*Phaseolus vulgaris*) (Tabla 2). El contenido de MO al inicio del ensayo fue de 1,6% para la capa de 0-20 cm.

Se extrajeron muestras compuestas (MC) de suelo en marzo de 2009, cuando la superficie de la parcela, aproximadamente 8 ha (400 x 200 m) se encontraba sembrada con soja (*Glycine max*) y en el momento en que el cultivo se hallaba en época de llenado de grano. Se tomaron de cada SL, cinco unidades muestrales (UM) de 30 x 30m, teniendo en cuenta el efecto borde. En cada UM, se tomaron con muestreador tipo balde, MC a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) sobre transectas cruzadas. En cada punto de muestreo se tomó una submuestra a 0-20 cm de profundidad y cuatro a 0-5 cm alrededor de la primera, de manera de poder controlar la uniformidad y prolijidad del muestreo: 1 MC = 12 submuestras (0-20 cm) = 48 submuestras (0-5cm). De esta forma se obtuvo un total de cinco réplicas por SL.

El suelo fue seco, homogeneizado y tamizado por 2 mm. Para la cuantificación de los contenidos de materia orgánica total (MO), de MO particulada gruesa de 2000-212  $\mu\text{m}$  (MOP212), de MO particulada fina de 212-53  $\mu\text{m}$  (MOP53) y de MO humificada < 53  $\mu\text{m}$  (MOH), a la masa de suelo de 0-5 y de 0-20 cm, se les determinaron los contenidos de carbono orgánico total (CO), de CO particulado grueso de 2000-212  $\mu\text{m}$  (COP212), de CO particulado fino de 212-53  $\mu\text{m}$  (COP53) y de CO humificado < 53  $\mu\text{m}$  (COH). Para obtener estas tres últimas fracciones, a una alícuota de cada muestra (10 g) se la sometió al procedimiento de separación granulo-

métrica descrito por Cambardella & Elliot (1992) y modificado por Morón & Sawchick (2002), recuperándose las fracciones 2000-212  $\mu\text{m}$ , 212-53  $\mu\text{m}$  y < 53  $\mu\text{m}$ . El CO, COP212, COP53, y COH se determinaron por combustión húmeda (Walkley & Black, 1934), adoptando un factor de recuperación de 0,77 y un factor de conversión a MO de 1,724. Asimismo, a una alícuota de las muestras de suelos de 0-20 cm (10 g), se le agregó 30 g de arena y 5 mL de agua destilada, se la tapó con un plástico con orificios y se la sometió a una incubación aeróbica de 14 días a 30 °C de temperatura para la determinación de formas inorgánicas de N ( $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$ ), las cuales se obtuvieron agregando 0,2 a 0,3 g de MgO y aleación Devarda, respectivamente, y destilando hasta un volumen de 50 mL, lo que se recibió en un recipiente con 5 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  al 2% y luego se tituló empleando microbureta y con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,005 N (Keeney & Bremner, 1962). Se midieron cuatro tiempos de incubación (días 0, 3, 7 y 14). Para este análisis se consideraron tres réplicas por SL.

La cantidad de nitrógeno mineralizado (CNM) durante las dos semanas de incubación se calculó mediante la fórmula:

$$\text{CNM} = \sum (\text{N-NH}_4^+ \text{ y N-NO}_3^- \text{ día 14}) - \sum (\text{N-NH}_4^+ \text{ y N-NO}_3^- \text{ día 0})$$

El nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) se asumió como el valor de  $\text{N-NO}_3^-$  del día 14.

Los contenidos de MO se expresaron en porcentaje, mientras que los contenidos de MOP212, MOP53 y MOH se expresaron como concentración en la masa total de suelo seco (SS) (concentración relativa,  $\text{g kg}^{-1}\text{SS}$ ).

La CNM se expresó en  $\text{mg kg}^{-1}$  de suelo y en  $\text{kg ha}^{-1}$ . La densidad del suelo se tomó de Díaz (2010).

Se realizaron análisis de varianza de los resultados utilizando el programa InfoStat (Universidad Nacional de Córdoba, 2012), para detectar diferencias debidas a los SL. Se pusieron a prueba las hipótesis nulas referidas a que los diferen-

Tabla 1 Características físico químicas iniciales del suelo en estudio.

Table 1 Initial physical and chemical characteristics of the studied soil.

Clasificación	Clasificación utilitaria	Textura superior	MO%	N%	Pppm	pH	CO <sub>3</sub> %	Limitantes
Ustocrept	1	Franco	1,6	0,10	6	7,1	0	Susceptibilidad a la erosión hídrica

Tabla 2. Secuencia de cultivos del ensayo analizado.

Table 2. Crop sequence of the experiment under study.

Años									
1991-95	1996-97	1998-00	2001-02	2003	2004	2005-06	2007	2008-09	
M	P	M	P	S	M	S	M	S	

M: maíz; P: poroto; S: soja.

tes SL no producen modificaciones en las propiedades del suelo. Para el rechazo de las hipótesis nulas se consideró un valor de  $P < 0,05$ . Para la comparación de medias en los casos que fuese pertinente, se utilizó el test de Duncan 0,05. Se realizaron análisis de regresión lineal simple para determinar relaciones entre NPM/MOP212; NPM/MOP53 y NPM/MOH.

Se realizó un análisis de sensibilidad de las variables utilizadas como ICS (MO, MOP212, MOP53, MOH, CNM y NPM), de manera de conocer cuál/cuáles variables responden con mayor eficacia a los cambios producidos en el suelo por los distintos SL, para ello se asumió como criterio que un cambio relativo más alto implica una sensibilidad más alta.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hubo efecto significativo de los SL sobre los contenidos de MO en la capa de 0-5 y en la de 0-20 cm. Los SL mostraron el comportamiento esperado: la mínima o nula labranza del suelo (LMv, SD) que permitió la acumulación de residuos vegetales en superficie, produjo un incremento de la MO. Respecto al valor de MO en el inicio de la experiencia en 1990 (1,6%) a 0-20 cm, la MO se incrementó en un 40% en LMv y en un 21% en SD. Arzeno & Corvalán (2001) en el mismo sitio, detectaron aumentos de MO en LMv de 32% y en SD de 18% a la profundidad de 0-20 cm. En LMd la MO de 0-20 cm se mantuvo y LC también mostró la conducta esperada: el laboreo intensivo del suelo aumenta la superficie específica del suelo que se expone al ataque microbiano, la aireación, la tasa de mineralización de la MO y el riesgo de erosión, lo que condujo a una disminución de la MO (19%) respecto al valor inicial.

El Coeficiente de Variación (CV) se encontró dentro de los valores aceptables ( $< 20\%$ ), indicando que la variación

encontrada entre UM tratadas de la misma forma es baja (Tabla 3).

Los SL influyeron de manera significativa y diferencialmente sobre las fracciones orgánicas (MOP y MOH). La MOP y en especial en la capa de 0-5 cm marcó la diferencia entre las situaciones de manejo evaluadas con mayor determinación que la MOH. Estos resultados son similares a lo reportado por otros autores, aún a pesar de las diferencias en tipos de suelos y sistemas de manejo que podrían existir (Gregorich *et al.*, 1994; Quiroga *et al.*, 1996; Janzen *et al.*, 1998; Álvarez & Álvarez 2000; Haynes, 2000; Six *et al.*, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2003; Galantini *et al.*, 2007).

La MOH fue el principal constituyente de la MO, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Morón & Sawchick (2002), Tan *et al.* (2007), Galantini & Suñer (2008) quienes señalaron que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento (Tabla 4).

El contenido de  $N-NH_4^+$  en el suelo fue bajo durante todo el período experimental (menores a  $11 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo) para todos los manejos. Durante los cuatro tiempos de incubación, el  $N-NH_4^+$  fue disminuyendo hasta llegar a niveles menores a  $5 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo.

El contenido de  $N-NO_3^-$  en el suelo presentó cantidades iniciales bajas y menores aún que el amonio (menores a  $8 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo), sin embargo fue incrementando su cantidad a lo largo del período experimental hasta alcanzar valores entre  $16$  y  $32 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo para LC y LMv, respectivamente. Esta tendencia al incremento en las cantidades de  $N-NO_3^-$  y decrecimiento en las cantidades de  $N-NH_4^+$  estaría confirmando la ocurrencia del proceso de nitrificación en el suelo (Fig. 1).

Tabla 3. Contenido de materia orgánica (MO) a dos profundidades, en un Inceptisol (Ustocrept údico), en diferentes sistemas de labranza: LC: labranza convencional, LMd: labranza mínima con disco, LMv: labranza mínima vertical y SD: siembra directa.

Table 3. Organic matter (MO) percentage at two depths, of an Inceptisol (Udic ustocrepts), in the following tillage systems: LC= conventional tillage, LMd= minimum tillage with disc, LMv = minimum vertical tillage and SD =: no tillage.

Sistemas de labranza	MO %	CV % 0-20 cm	Duncan	MO %	CV % 0-5 cm	Duncan
LC	1,29	15	C	1,35	15	C
LMd	1,70	19	B	2,19	22	B
LMv	2,24	13	A	3,16	16	A
SD	1,94	8	AB	2,93	13	AB

CV: coeficiente de variación (%) y comparación de medias con Duncan, nivel de confianza 95%.

Letras iguales en la misma columna, no tienen diferencias estadísticas significativas a un  $P \leq 0,05$  de acuerdo con Duncan.

CV: coefficient of variation (%) and means separation by the Duncan test, ( $\alpha=0.05$ ).

Same letters in the same column, are not significantly different at  $P \leq 0.05$  according to the Duncan means separation test.

Tabla 4. Contenido de materia orgánica: particulada gruesa de 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP 212), particulada fina de 53-212  $\mu\text{m}$  (MOP 53) y humificada  $<53 \mu\text{m}$  (MOH) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) a dos profundidades, en un Inceptisol para los distintos sistemas de labranza.

Table 4. Organic matter content in the coarse particulate fraction of 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP 212), fine particulate of 53-212  $\mu\text{m}$  (MOP 53) and humified fraction of  $<53 \mu\text{m}$  (MOH) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) at two depths, of an Inceptisol under the different tillage systems.

Sistemas de Labranza	MOP212	MOP53 0-20 cm	MOH	MOP212	MOP53 0-5 cm	MOH
LC	1,00b	1,78b	9,47b	1,17c	2,06c	8,98b
LMd	1,32b	2,20ab	9,66b	3,30b	3,78b	9,76b
LMv	2,62a	2,92a	13,69a	5,58a	5,40a	14,63a
SD	2,04ab	2,37ab	11,23ab	4,65ab	4,97a	13,62a

LC: labranza convencional, LMD: labranza mínima con disco, LMv: labranza mínima vertical y SD: siembra directa.

Letras iguales en la misma columna no tienen diferencias estadísticas significativas a un  $P \leq 0,05$  de acuerdo con Duncan.

LC: conventional tillage, LMD: minimum tillage with disc, LMv: minimum vertical tillage and SD: no tillage.

Values in the same column followed by the same letter are not significantly different at  $P \leq 0.05$  according to the Duncan means separation test.

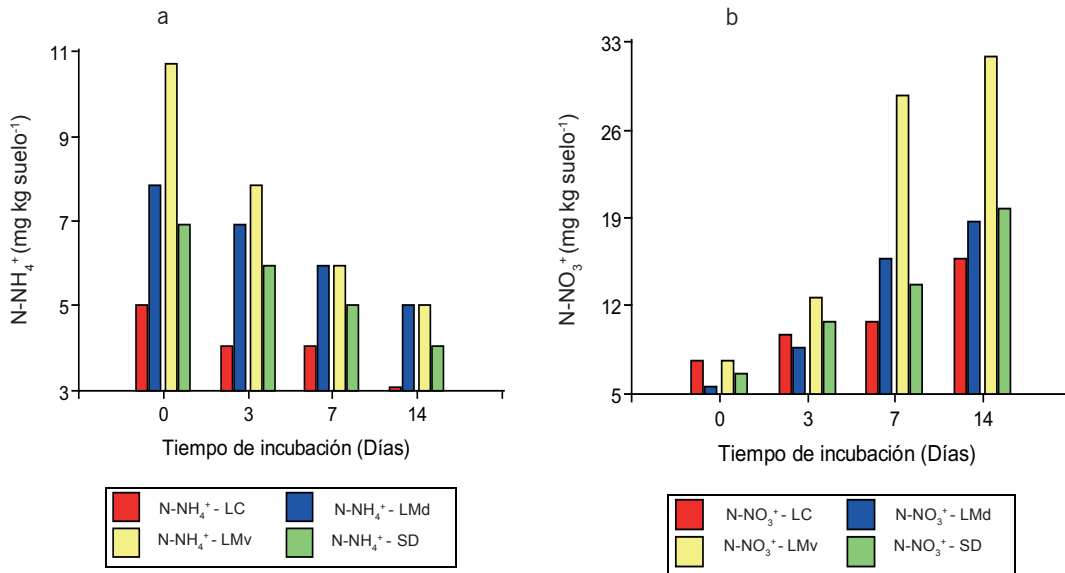


Figura 1. Evolución del contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  (a) y contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  (b) para labranza convencional (LC), labranza mínima con disco (LMD), labranza mínima vertical (LMv) y siembra directa (SD) en cuatro momentos durante la incubación, en un Inceptisol.

Figure 1.  $\text{NH}_4^+$  - N content (a) and  $\text{NO}_3^-$  - N content evolution for conventional tillage (LC), minimum tillage with disc (LMD), minimum vertical tillage (LMv) and no tillage (SD) at four incubation moments, in an Inceptisol.

La CNM para los cuatro manejos fue para todo el período experimental (14 días) menor a  $18 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo. La CNM en LC fue menor que la del resto de los SL. Dicho sistema presentó una CNM baja ( $6 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo) durante el período experimental. El tratamiento de LMv alcanzó la máxima CNM ( $18 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo) diferenciándose estadísticamente de LC y de los sistemas SD y LMD, los que mostraron una CNM intermedia de  $10 \text{ mg N kg}^{-1}$  suelo.

Estas diferencias en los manejos evaluados, se deberían a la menor cantidad de fracciones lábiles en LC ( $2,78 \text{ g kg}^{-1}$  suelo), a la mayor acumulación de ellas en LMv ( $5,54 \text{ g kg}^{-1}$  suelo) y a una acumulación intermedia de fracciones lábiles en LMD ( $3,52 \text{ g kg}^{-1}$  suelo) y SD ( $4,41 \text{ g kg}^{-1}$  suelo). Esto se explica porque la MO está constituida por una mezcla de componentes lábiles más sensibles al ataque microbiano que conducirían a niveles más altos de nitrógeno minera-

lizado; y otros componentes muy estables de baja mineralización (Fig. 2).

La CNM se expresó también en kg de N mineralizados  $\text{ha}^{-1}$  ya que sería un valor más práctico para la toma de decisiones acerca de los requerimientos de fertilización.

Los SL mostraron la tendencia esperada: la labranza intensiva del suelo (LC) que aceleraría la mineralización de las fracciones más lábiles de N, después de 19 años bajo este tratamiento, habría dejado en el suelo las fracciones humificadas y por tanto, las más difíciles de mineralizar, lo que conduciría a niveles más bajos de N mineralizado ( $18,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La mínima labranza del suelo (LMv), en cambio, que permitiría la acumulación de fracciones lábiles de N, llevaría a registrar valores más altos de N mineral ( $51,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Sin embargo, la nula labranza del suelo (SD) mineralizó  $29,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ , similar a la mínima labranza con disco que obtuvo un valor de  $28,16 \text{ kg ha}^{-1}$ .

El suelo bajo LMv presentó los mayores valores de NPM ( $32 \text{ mg N kg de suelo}^{-1}$ ), duplicando los valores de LC ( $16 \text{ mg N kg de suelo}^{-1}$ ). SD y LMd obtuvieron valores intermedios de NPM pero más cercanos a los de LC ( $19$  y  $20 \text{ mg N kg de suelo}^{-1}$ , respectivamente) e incluso no presentaron diferencias estadísticamente significativas con ésta última.

Los resultados encontrados presentan una tendencia similar a los observados por Videla *et al.* (2005), sobre un Molisol bajo LC, SD y Pasturas permanentes (PP), quienes estudiando la Mineralización en diferentes sistemas de

labranza encontraron, que siempre fue mayor en PP que en manejos agrícolas.

El NPM varió en función del contenido de MO y sus fracciones (Studdert *et al.*, 2008a). Esto implica que en general, a medida que aumentó el contenido de MO, aumentó el NPM. A su vez, según el análisis de Regresión lineal (Fig. 3) el NPM varía especialmente en función de la MOP ( $\text{NPM/MOP}_{212}: r = 0,80; R^2 = 64\%$ ;  $\text{NPM/MOP}_{53}: r = 0,81; R^2 = 66\%$ ). Esto demuestra que aquella es la fracción de MO más susceptible al ataque microbiano, siendo la fuente de nutrientes disponible para las plantas, a corto o mediano plazo, contribuyendo de este modo a la fertilidad actual del suelo. Lo anterior concuerda con Morón & Sawchick (2002); Fabrizzi *et al.* (2003) y Studdert *et al.* (2008a), quienes afirmaron según las condiciones planteadas en sus experiencias, que la variación del NPM se logra en mayor medida a través de la variación de MO total y particularmente de la MOP, especialmente en los primeros 5 centímetros del perfil. Esto explica que LMv tenga un mayor NPM ya que tiene los mayores contenidos de MOP según lo informado en la Tabla 4.

La MO y sus fracciones hacen referencia a la cantidad de MO presente en el suelo, mientras que el NPM se refiere a la calidad de esa MO, por lo que es posible afirmar que los suelos tratados con LMv no sólo tienen los mayores contenidos de MO sino que esa MO es de mejor calidad para favorecer la fertilidad actual debido a que tienen mayor contenido de MOP.

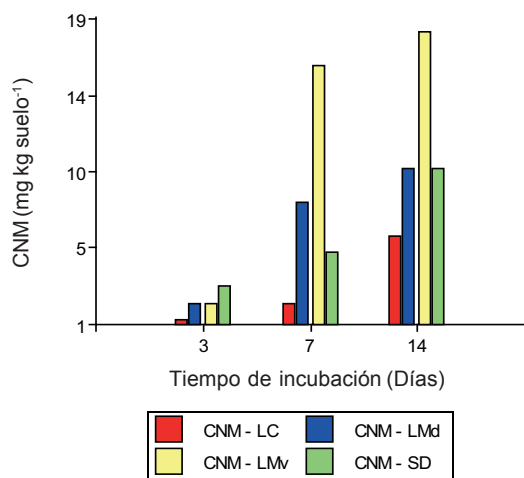


Figura 2. Cantidad de nitrógeno mineralizado (CNM) en un Inceptisol, bajo labranza convencional (LC), labranza mínima con disco (LMd), labranza mínima vertical (LMv) y siembra directa (SD) en cada tiempo de incubación.

Figure 2. Quantity of mineralized nitrogen in an Inceptisol, under conventional tillage (LC), minimum tillage with disc (LMd), vertical minimum tillage (LMv) and no tillage (SD) at each incubation moment.

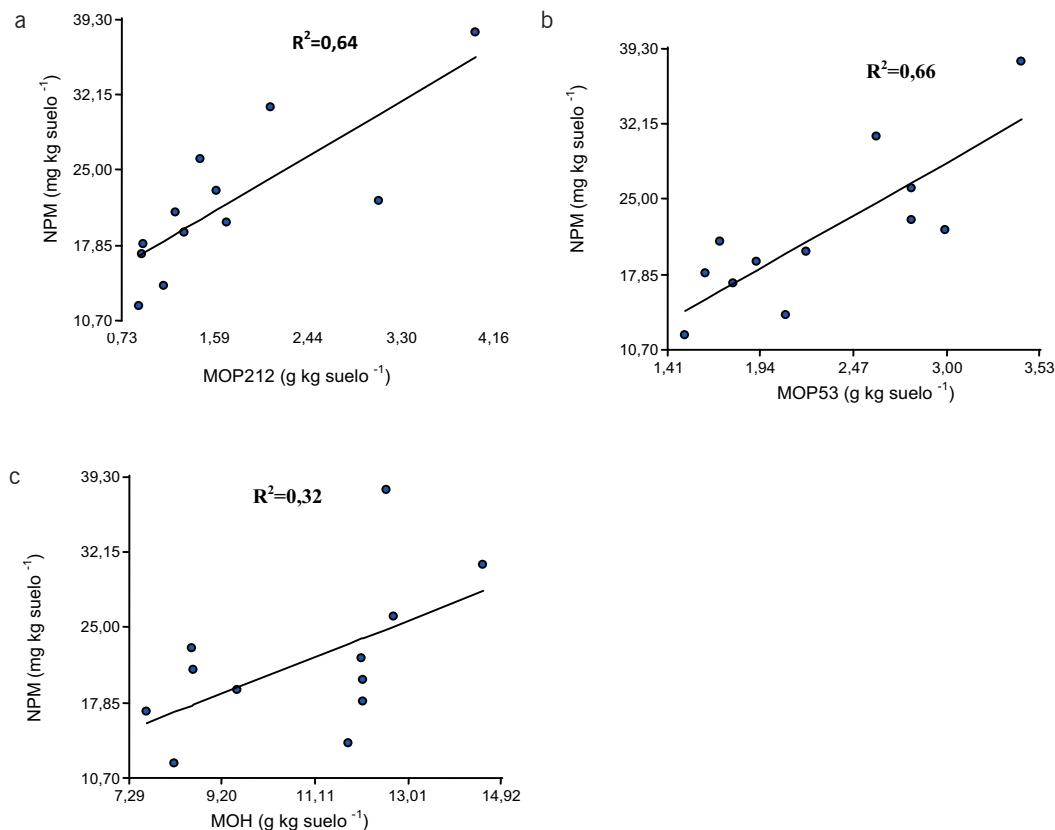


Figura 3. Nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) versus a) materia orgánica particulada de 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP212); b) materia orgánica particulada de 53-212  $\mu\text{m}$  (MOP53), y c) materia orgánica humificada < 53  $\mu\text{m}$  (MOH).

Figure 3. Potentially mineralizable nitrogen (NPM) versus a) particulate organic matter 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP212); b) particulate organic matter 53-212  $\mu\text{m}$  (MOP53) and c) humified organic matter < 53 (MOH).

Los valores relativos de MO, sus fracciones, la CNM y el NPM contribuirían a la interpretación acerca de su sensibilidad como indicadores de calidad de suelos (ICS). Los cambios en las propiedades del suelo producto de los distintos SL, son reflejados mejor y más rápidamente por la MOP y en particular por la MOP212, especialmente en los primeros 0-5 cm, que por la MO total, ya que las diferencias relativas más altas entre el valor de comparación (LC = 100) y el de los otros SL se observan en la MOP212 y especialmente a 0-5 cm. Esto coincide con Bremer *et al.* (1994) y Morón & Sawchick (2002), entre otros, quienes resaltaron que la MOP refleja cambios en el contenido orgánico del suelo mucho antes que la MO total. Esto, como indicaron Morón & Sawchick (2002); Tan *et al.* (2007) y Galantini & Suñer (2008), ocurre debido a que la MO total está constituida en su mayor parte por las fracciones orgánicas de ciclado más lento, aquellas de baja actividad

biológica (MOH), por lo que se necesitarían períodos de tiempo muy largos para detectar diferencias por efecto de los sistemas de labranza. Sin embargo, como afirmaron numerosos autores, entre ellos, Cambardella & Elliot (1992); Elliot *et al.* (1994); Wander & Bollero (1999), Morón & Sawchick (2002) y Corbella *et al.* (2006), las fracciones de MOP sí pueden ser indicadores tempranos de los cambios en la calidad del suelo ya que son muy sensibles para detectar cambios producidos por diferentes prácticas de manejo de suelo y de cultivo.

Asimismo, en otras áreas de la Argentina, como en el centro sur de Córdoba (Cabrera *et al.*, 2010), centro este de Santiago del Estero (Albanesi & Anríquez, 2008), suroeste de Buenos Aires (Galantini *et al.*, 2004), sur-este Bonaerense (Studdert *et al.*, 2008b), región Semiárida pampeana (Quiroga *et al.*, 1996, 2008) entre otros, se cuantificó el fraccionamiento de MO obteniendo resulta-

dos similares. Por este motivo, los componentes lábiles del carbono del suelo han sido sugeridos como los indicadores más sensibles a los efectos de la rotación de cultivos o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Gregorich *et al.*, 1994; Quiroga *et al.*, 1996; Janzen *et al.*, 1998; Alvarez & Alvarez, 2000; Haynes, 2000, Fabrizzi *et al.*, 2003; Galantini *et al.*, 2007) (Tabla 5). Además, a 0-20 cm de profundidad, la CNM resultó ser un indicador muy sensible a los cambios producidos por los distintos SL, ya que por lo general, las diferencias relativas entre el valor de comparación y los demás valores, son más altos para dicho indicador.

De acuerdo con los ICS utilizados en esta experiencia, el orden de los SL a favor de la sustentabilidad para ambas profundidades sería LMv, SD, LMd y LC. Estos resultados coinciden con lo expresado por Aciar *et al.* (2010) quienes integraron y cuantificaron resultados de numerosos estudios realizados durante 20 años, que involucraban el análisis de atributos edáficos y de productividad y concluyeron que los sistemas se ordenan de la siguiente manera: LMv, SD, LMd y LC, en cuanto a la sustentabilidad de los sistemas productivos.

## CONCLUSIÓN

Para las condiciones en que se realizó este ensayo, se reunieron evidencias suficientes como para concluir que los diferentes sistemas de labranza (SL) producen modifi-

caciones en la fracción orgánica del suelo. Bajo labranza mínima vertical (LMv) y siembra directa (SD) hubo una mayor concentración (aunque no siempre significativa) de materia orgánica (MO) y MO particulada (MOP) respecto a la labranza mínima con disco (LMd) y labranza convencional (LC), principalmente en los primeros centímetros del suelo.

Se obtuvieron evidencias que permitirían afirmar que hubo diferencias en la cantidad de nitrógeno mineralizado (CNM) y en el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) entre distintos sistemas de labranza.

Hubo mayores relaciones entre los contenidos de MOP de 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP212) y el NPM, que entre éste último y las otras fracciones, lo que indicaría que la fracción de MOP212 es la de mayor labilidad.

En las condiciones evaluadas, la MOP212 y la CNM resultaron ser los indicadores más sensibles para detectar los cambios que producen los SL.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación "Indicadores agroambientales (suelo y agua) para la evaluación de la sustentabilidad de sistemas productivos en áreas sujetas a cambios en el uso de la tierra". PNECO 093012-Programa Nacional Ecorregiones (INTA).

Tabla 5. Valores relativos de los indicadores de calidad de suelos (ICS): materia orgánica (MO), MO particulada 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP212), MO particulada 53-212  $\mu\text{m}$  (MOP53), MO humificada <53  $\mu\text{m}$  (MOH), nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) y cantidad de nitrógeno mineralizado (CNM), a dos profundidades, en un Inceptisol, comparando sistemas de labranza.

Table 5. Relative values of Soil Quality Indicators (ICS): organic matter (MO), particulate MO 212-2000  $\mu\text{m}$  (MOP212), particulate MO 53-212  $\mu\text{m}$  (MOP53), humified MO <53  $\mu\text{m}$  (MOH), potentially mineralizable nitrogen (NPM) and mineralized nitrogen (CNM), at two depths of an Inceptisol in Salta (Argentina), according to different tillage systems.

Profundidad (cm)	Sistemas de Labranza							
	LC		LMd		LMv		SD	
	0-20	0-5	0-20	0-5	0-20	0-5	0-20	0-5
MO	100	100	132	162	174	234	150	217
MOP212	100	100	132	282	262	477	204	397
MOP53	100	100	124	183	164	262	133	241
MOH	100	100	102	109	145	163	119	152
NPM	100	100	119		200		125	
CMN	100	100	167		300		167	
Promedio	100	100	131	184	208	284	150	252

LC: labranza convencional, LMd: labranza mínima con disco, LMv: labranza mínima vertical y SD: siembra directa. Valor de Comparación: LC = 100.

LC: conventional tillage, LMd: minimum tillage with disc, LMv: vertical minimum tillage and SD: no tillage.



**BIBLIOGRAFÍA**

- Aciar, LM; JL Arzeno & R Osinaga. 2010. Integración cuantitativa de resultados durante 20 años comparando cuatro sistemas de labranza en Salta. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina. CD 4 pp.
- Albanesi, A & A Anríquez. 2008. Cantidad total y el fraccionamiento del carbono orgánico como indicadores de calidad de sitios en agroecosistemas de la región chaqueña. Contribución Facultad de Agronomía, Universidad de Santiago del Estero (UNSE). Santiago del Estero. Argentina.
- Álvarez, R & CR Álvarez. 2000. Soil Organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 184-189.
- Arzeno, JL & ER Corvalán. 2001. Experiencia de largo plazo (1990 - 2000) con cuatro sistemas de labranza en Salta. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina. CD 6 pp.
- Bremer, E; HH Janzen & AM Jhonston. 1994. Sensitivity of total, ligh fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil. *Canadian Journal Soil Science* 74: 131-138.
- Cabrera, FS; AR Becker; MP Cantú & JA Galantini. 2010. Efecto de distintos Sistemas de Labranza sobre las fracciones orgánicas en un Haplustol del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina. CD 4 pp.
- Cambardella, CA & ET Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 57: 512- 516.
- Carter, MR. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
- Corbella, RD.; JR García; GA Sanzano; AM Plasencia & J Fernández de Ulivari. 2006. Diferentes fracciones de carbono orgánico como indicadores de calidad de suelos del este Tucumano. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina. CD 5 pp.
- Díaz, C.G. 2010. Análisis de Indicadores Físicos de Calidad de Suelos en Cuatro Sistemas de Labranza. Tesina de Grado. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. UNSa. 78 páginas.
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; GF Domínguez & MJ Eiza. 2006. Materia Orgánica total y particulada en un Molisol de Balcarce bajo dos sistemas de labranza. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina. CD 5 pp.
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; GF Domínguez & MJ Eiza. 2008. Fracciones de Carbono y Nitrógeno orgánicos y Nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina. CD 6 pp. Elliot, ET; IC Burke; CA Moz; SD Frey; KH Paustian; HP Collins; EA Paul; CV Cole; RL Bevlins; WW Frye; DJ Lyon; A Halvorson; DR Huggins; RF Turco & MV Hickman. 1994. Terrestrial carbon pools preliminary data from the corn Belt and great plains regions, pp-179 -191. En: JW Doran, DC Coleman, DF. Bezdieck, BA. Stewart (eds.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication.
- Fabrizzi, P; A Moron & F García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non- degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Galantini, JA.; N Senesi; G Brunetti & R Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- Galantini, JA.; M Landriscini & C Hevia. 2007. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo. Revista técnica especial en SD: Sistemas Productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense. pp. 36-40.
- Galantini JA & L Suñer, 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* Vol. XXV (1): 41-55.
- Gregorich, EG; MR Carter; DA Angers; CM Monreal & HB Ellert. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
- Gregorich, LJ & DF Acton. 1995. Understanding soil health. In The health of our soils-towards sustainable agriculture in Canada. (DF Acton and LJ Gregorich, eds.). Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont., Canada. 5-10.
- Haynes RJ. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32: 211-219.
- Janzen, HH; CA Campbell; RC Izaurrealde; BH Ellert; N Juma; W Mcgill & R Zentner. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian Prairies. *Soil Tillage Res.* 47: 181-95.
- Keeney, DR & JM Bremner. 1962. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison, Wisconsin, USA. 1965.
- Morón A. & J. Sawchick, 2002. Soil quality indicators in a long - term crop - pasture rotation experiment in Uruguay. Estación Experimental La Estanzuela, Colonia, Uruguay.
- Quiroga, A; D Buschiazio & N Peineman. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soil of semiarid Argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161: 104-108.
- Quiroga, A; R Fernández; D Funaro & N Peineman. 2008. Materia orgánica en Molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre las propiedades físicas y productividad. Estudio de las fracciones orgánicas de suelos de la Argentina. Ed. J. Galantini. 97-116.
- Six J.; PT Callewaer; S Lenders; S De Gryze; SJ Morris; EG Gregorich; EA Paul & K. Paustian. 2002. Measuring and Understanding Carbon Storage in Afforested Soils by Physical Fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1981-1987.
- Studdert, G & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 64: 1496-1503.
- Studdert, G; G Domínguez; N Fioriti; MV Cazzoli; NV Diovisalvi & MJ Eiza. 2008a. Relación entre Nitrógeno anaeróbico y Materia Orgánica de Molisoles de Balcarce. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina. CD 6 pp.
- Studdert, G; G Domínguez; M Eiza; C Videla & H Echeverría. 2008b. Materia orgánica particulada y su relación con la fertilidad nitrogenada en el sudeste bonaerense. Estudio de las fracciones orgánicas de suelos de la Argentina. Ed. J. Galantini. 97-116.
- Tan, Z; R Lal; L Owens & RC Izaurrealde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92: 53-59.

- Universidad Nacional de Córdoba. 2012. Estadística y Biometría, InfoStat. Versión 1.6.
- Vargas Gil, JR. 1999. Carta de suelos de la República Argentina Provincia de Salta. Valle de Lerma. Hoja 7 -Cerrillos. EEA INTA-Salta.
- Videla, C; A Pazos; PC Travelín; HE Echeverría & GA Studdert. 2005. Mineralización Bruta de Nitrógeno bajo labranza convencional, siembra directa y pastura. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251-263.
- Wander, M & G Bollero. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Sci Soc. Am. J.* 63: 961-971.