

# NITRÓGENO LIBERADO POR INCUBACIÓN ANAERÓBICA Y FRACCIONES DE CARBONO EN MACRO- Y MICROAGREGADOS BAJO DISTINTOS SISTEMAS DE CULTIVO

MARÍA VICTORIA COZZOLI<sup>1</sup>; NATALIA FIORITI<sup>1</sup>; GUILLERMO ALBERTO STUDDERT<sup>1\*</sup>; GERMÁN FRANCO DOMÍNGUEZ<sup>1</sup> & MAXIMILIANO JOAQUÍN EIZA<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) - EEA INTA Balcarce, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Suelos, CIRN INTA Castelar.

\* Correo electrónico: [gstuddert@balcarce.inta.gov.ar](mailto:gstuddert@balcarce.inta.gov.ar)

Recibido: 07-12-09

Aceptado: 18-09-10

## RESUMEN

El contenido de carbono orgánico (CO) del suelo determina muchas de sus funciones en el agroecosistema, entre las que se destaca su capacidad de proveer nutrientes como el nitrógeno (N). El contenido de las fracciones de CO y de N mineralizable y su distribución en la masa del suelo dependen de las prácticas de manejo. El objetivo de este trabajo fue analizar el contenido de CO total (COT), asociado a la fracción mineral (COA) y particulado (COP) y del N mineralizable (a través del N liberado por incubación anaeróbica, NAN) en la masa total del suelo y en macro- y microagregados, bajo distintos sistemas de cultivo (pasturas y agricultura con labranza convencional (LC) y bajo siembra directa (SD) y fertilización con N (0 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>). Se muestreó un ensayo de larga duración de rotaciones mixtas y labranzas en Balcarce, provincia de Buenos Aires. Se separaron macro- y microagregados por tamizado en seco y se determinaron los contenidos de COT, COA, COP y NAN en la masa del suelo y en cada fracción de agregados. Los suelos bajo pastura mostraron en general los mayores contenidos de todas las fracciones de CO y de NAN tanto en masa total como en cada fracción de agregados. Por otro lado, los niveles de todas esas variables fueron más bajos cuanto más prolongado fue el período bajo agricultura y bajo LC respecto a SD. No hubo diferencias entre tratamientos en la proporción de macro- y microagregados, pero sí hubo una relación significativa de los contenidos de COT y de COP en macroagregados con su estabilidad en situaciones de escaso disturbio (pasturas y SD). Bajo LC tal relación no fue significativa, y la estabilidad de agregados fue más baja. El NAN en la masa total de los suelos bajo agricultura, se relacionó significativamente con el NAN en los macroagregados y, por tanto, se puede esperar una mayor expresión del potencial de mineralización de N en situaciones de manejo que tiendan a romper los macroagregados o en las que éstos sean menos estables. No obstante, estos resultados indican que un manejo cuidadoso del suelo permitiría aprovechar a través del laboreo el servicio ecológico de la provisión de N con una mínima afectación de sus propiedades, dado que las diferencias entre situaciones bajo agricultura tanto en agregación como en las fracciones de CO y en NAN fueron bajas y los efectos se revirtieron con la inclusión de pasturas en la rotación.

**Palabras clave.** Materia orgánica particulada, nitrógeno potencialmente mineralizable, agregados, sistemas de labranza, rotaciones.

## NITROGEN RELEASED BY ANAEROBIC INCUBATION AND ORGANIC CARBON FRACTIONS IN MACRO- AND MICROAGGREGATES UNDER DIFFERENT CROPPING SYSTEMS

### ABSTRACT

Soil organic carbon (CO) content determines many soil functions in the agroecosystem, including nitrogen (N) supply to crops. The level and distribution of organic carbon fractions and mineralizable N in the soil depends on management practices. The aim of this work was to analyze total organic carbon content (COT) associated with the mineral (COA) and particulate (COP) fraction and mineralizable N (through N release during anaerobic incubation, NAN) in whole soil and in macro- and microaggregates under different cropping systems (pastures and cropping with conventional tillage (LC) and with no-tillage (SD)) and N fertilization (0 and 120 kg N ha<sup>-1</sup>). Soil samples were taken from a long-term crop rotation and tillage system trial at Balcarce, Buenos Aires province. Macro- and microaggregates were separated by dry sieving and COT, COA, POC, and NAN content were determined in whole soil and in each aggregate fraction. The soils under pasture showed the highest CO fraction and NAN content both in whole soil and in each of the aggregate fractions. The longer the period under cropping and LC, the lower the variables compared with the SD regime. Although the proportion of macro- and microaggregates did not vary among treatments, a significant correlation was found between COT and POC content in macroaggregates and their stability when soil was less disturbed (pastures and SD). Under LC, aggregate stability was lower and there was no correlation with CO content. Under cropping there was a significant correlation between NAN in whole soil and NAN in the macroaggregates. A higher expression of N mineralization potential can therefore be expected in soils under management techniques that tend to break up macroaggregates or where these are less stable. However, the lack of significant differences in aggregation and in NAN and CO fractions under cropping suggests that careful tilling can help N mineralization largely without affecting its properties and that the inclusion of pastures in the rotation would reverse the effect of cropping.

**Key words.** Particulate organic matter, potentially mineralizable nitrogen, soil aggregates, tillage systems, crop rotations.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los componentes del suelo más sensibles a las alteraciones producidas por su utilización para la producción es la materia orgánica (MO), especialmente sus fracciones más lábiles (Wander, 2004). Así, el uso indebido de los suelos provoca disminuciones del contenido de MO y, con ello, se altera la capacidad de cumplir con algunas de sus funciones: almacenar y proveer nutrientes, almacenar agua y permitir su circulación y la del aire, mantener una estructura estable, resistir a la erosión (Weil & Magdoff, 2004).

Una de las fracciones más lábiles de la MO es la denominada MO particulada (MOP) que es de origen reciente y está constituida por restos vegetales en descomposición y por hifas de hongos, esporas, granos de polen y restos de fauna edáfica (Wander, 2004). Esta fracción tiene relativamente alta relación C/N y un rápido reciclaje, y puede ser separada fácilmente por tamizado (Cambardella & Elliot, 1992). Desempeña un importante rol no sólo para la actividad biológica del suelo, sino también para sus propiedades físicas. Interviene en la agrupación de partículas para formar macro- y microagregados y en el proceso de su reciclado. Dicho proceso es crucial dado que determina no sólo la estabilidad de los agregados, sino que también incide sobre el grado de protección física de la MO en función del manejo del suelo (Six *et al.*, 2004). Asimismo, la MO, en general, y sus fracciones lábiles, en particular, tienen una importante participación en la dinámica del N edáfico (Fabrizzi *et al.*, 2003; Gregorich *et al.*, 2006) y en la disponibilidad de ese nutriente para los cultivos (Álvarez & Álvarez, 2000; Wander, 2004).

El uso agrícola provoca, en general, una disminución de los niveles de MO que es directamente proporcional a la agresividad y al modo de utilización de los sistemas de labranza, e inversamente proporcional a la cantidad de material carbonado aportado (Kong *et al.*, 2005; Domínguez *et al.*, 2009). La implementación de cultivos de cobertura, de rotaciones mejoradas e intensificadas y/o la conversión a praderas (Reeves, 1997; Studdert *et al.*, 1997) y el logro de altos rendimientos (West & Post, 2002; Domínguez *et al.*, 2009), son acciones necesarias para incrementar el aporte de residuos al suelo. La incorporación de una pastura en la rotación produce un aumento en los niveles de MO y de sus fracciones lábiles (Studdert *et al.*, 1997; Eiza *et al.*, 2006a,b) y un incremento de la cantidad de macroagregados estables (Riley *et al.*, 2008; Ernst & Siri-Prieto, 2009).

Por su parte, las labranzas producen la disrupción de los macroagregados y pueden conducir a la pérdida de su estabilidad, inhibiendo así el reciclaje de los microagregados que se espera ocurra en el interior de aquéllos (Six *et al.*, 2004). Esto se debe a la acción física directa del

laboreo y a la exposición y disminución de las fracciones de la MO que se hallaban protegidas en el interior de los macroagregados (Wander & Bidart, 2000; Six *et al.*, 2004). La siembra directa (SD) tiende a mejorar la agregación (Six *et al.*, 2000; Wander & Bidart, 2000) y la estabilidad de los agregados (Eiza *et al.*, 2006c; Domínguez *et al.*, 2008) por promover la acumulación de MO y de MOP, principalmente en los primeros centímetros del suelo (Puget & Lal, 2005; Domínguez *et al.*, 2009). La proporción de macro- y microagregados dentro del suelo está directamente relacionada con la intensidad del disturbio ejercido sobre el mismo. Este proceso puede ser caracterizado cuantificando la MOP presente dentro y entre macro- y microagregados (Six *et al.*, 2004) en comparación con situaciones no disturbadas.

En el Sudeste Bonaerense (SEB) la manifestación más importante de la disminución de la MO del suelo debida al uso agrícola (Sainz Rozas & Echeverría, 2008) es a través de la menor capacidad del suelo de proveer nitrógeno (N) a los cultivos (Studdert & Echeverría, 2006; Sainz Rozas *et al.*, 2008), sin restar importancia a su efecto sobre la pérdida de resistencia frente a procesos erosivos en los suelos ubicados en sectores del relieve con pendiente (Studdert *et al.*, 2009). Asimismo, se ha informado en el SEB que la mayor acumulación de MO y de MOP bajo SD, se asocia a una mayor capacidad potencial de entrega de N a los cultivos (Fabrizzi *et al.*, 2003; Videla *et al.*, 2005). Sin embargo, se ha determinado que las esperadas diferencias entre SD y laboreos agresivos en contenido de MO y MOP (Diovisalvi *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2009) y en N mineralizable (estimado a través de incubaciones anaeróbicas cortas, NAN) (Diovisalvi *et al.*, 2008), sólo existen en la capa superficial del suelo (0-5 cm), desapareciendo, por lo general, al considerar la capa arable (0-20 cm). No obstante, a pesar de tal situación, la nutrición nitrogenada de los cultivos bajo SD se ve afectada (Diovisalvi *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2009), haciendo necesaria la aplicación de mayores dosis de fertilizante que bajo laboreos agresivos. Además de no fomentarse la mineralización bajo SD, las fracciones más lábiles de la MO (*i.e.* la MOP) pueden estar distribuidas diferencialmente dentro y entre macro- y microagregados, según cual haya sido la historia de laboreos y de secuencias de cultivos. El conocimiento de tal distribución es importante para entender la acumulación o pérdida de MO debidas a cambios en la agregación bajo distintos manejos de residuos y labranzas contribuyen a su relación con cambios en la capacidad del suelo para suministrar nutrientes. Esto contribuirá a la toma de decisiones tendientes a manejar una de las funciones que el suelo debe cumplir en el agroecosistema: la provisión de nutrientes (p.e. N) y el mantenimiento de su salud (Janzen, 2006). El objetivo de este trabajo fue evaluar la distribución de los agregados en

macro- y microagregados y los contenidos de MO, MOP y NAN dentro de ellos en función de distintos sistemas de cultivo, comprendiendo dos sistemas de labranza contrastantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo con muestras de suelo tomadas en un ensayo de rotaciones mixtas y sistemas de labranza iniciado en 1976 en la Unidad Integrada Balcarce (37°45'09" S; 58°18'48" W; 138 msnm) con un diseño experimental en bloques completos aleatorizados y un arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. Las unidades experimentales tienen 17,5 m x 7,5 m (131,3 m<sup>2</sup>). El suelo es un complejo de Argiudol Típico (serie Mar del Plata) y Paleudol Petrocálcico (serie Balcarce) (INTA, 1979) con menos de 2% de pendiente y textura superficial franca.

Desde su inicio y hasta 1993 se implementaron rotaciones mixtas bajo LC, alternando ciclos agrícolas y de pasturas con diferente duración. La descripción de esta fase del experimento fue presentada por Studdert *et al.* (1997). A partir de 1994 se definieron seis sistemas de cultivo (SC) que fueron asignados a las parcelas principales. Los SC se generaron con dos sistemas de labranza (SD y labranza convencional con arado de rejas, LC) y tres combinaciones de cultivos, y se estableció una pastura permanente (Tabla 1). Los SC fueron: agricultura permanente bajo SD (SD100) y bajo LC (LC100), 75% del tiempo (9 años) agricultura y 25% del tiempo (3 años) pastura bajo SD (SD75) y bajo LC (LC75), 50% del tiempo (3 años) agricultura y 50% del tiempo (3 años) pastura bajo SD (SD50) y bajo LC (LC50), y pastura permanente (PP). Al momento de tomarse las muestras de suelo en LC75 y SD75 habían transcurrido 6 años de agricultura desde la última pastura, y en SD50 y LC50 se terminaba un período de 3 años bajo

pastura (Tabla 1). La secuencia de cultivos establecida para los períodos agrícolas es maíz (*Zea mays* L.) - soja (*Glycine max* L. Merr.) - trigo (*Triticum aestivum* L.). La pastura en las parcelas PP fue sembrada en 1994 con una mezcla compuesta por festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). La mezcla de especies utilizada para los períodos bajo pastura en las parcelas SD50, LC50, SD75 y LC75 (Tabla 1) fue pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco. Todas las pasturas fueron cortadas mecánicamente cuando la altura del forraje alcanzaba aproximadamente 18-20 cm y el material se retiraba. A las sub-parcelas se asignaron niveles de fertilización nitrogenada (FN) (0 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>), aplicados anualmente a todos los cultivos (incluyendo la soja) en los períodos bajo agricultura, siempre en la misma sub-parcela. Si bien las pasturas no fueron fertilizadas con N, las sub-parcelas correspondientes habían recibido fertilizante nitrogenado durante los períodos agrícolas previos y, por lo tanto, se tomaron muestras de cada sub-parcela por separado. La LC comprendió la utilización de arado de rejas y rastra de discos y rastra de dientes o cultivador de campo para la terminación de la cama de siembra. El número de pasadas con las herramientas fue el mínimo indispensable para lograr una cama de siembra adecuada.

Se tomaron muestras compuestas (Muestras 1) de cada unidad experimental en el otoño de 2003. Se utilizó un muestreador cilíndrico de 5,5 cm de diámetro para extraer 5 sub-muestras de cada una a las profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm. Para la comparación entre tratamientos se consideró, además, la profundidad de 0-20 cm, a través del promedio ponderado de los resultados obtenidos para las capas muestreadas de cada una de las variables. Dado que no hubo diferencias en la densidad aparente ni entre en las parcelas bajo pastura (PP, LC50 y SD50) las muestras se tomaron en ambas sub-parcelas según la historia de fertilización previa a la implantación de la pastura. Las muestras fueron secadas en estufa con circulación forzada de aire a 30 °C y molidas

Tabla 1. Sistemas de cultivo en las parcelas principales del ensayo.  
Table 1. Cropping systems in the main experimental plots.

Sistema de cultivo*	Cultivo**									
	Año									
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
PP	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
LC50	P	P	P	M	S	T	P	P	P	
SD50	P	P	P	M	S	T	P	P	P	
LC75	P	P	P	M	S	T	M	S	T	
SD75	P	P	P	M	S	T	M	S	T	
LC100	M	S	T	M	S	T	M	S	T	
SD100	M	S	T	M	S	T	M	S	T	

\* PP: pastura permanente; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 50: 50% agricultura-50% pastura; 75: 75% agricultura-25% pastura; 100: 100% agricultura.

\* PP: permanent pasture; LC: conventional tillage; SD: no tillage; 50: 50% cropping-50% pasture; 75: 75% cropping -25% pasture; 100: 100% cropping.

\*\* P: pastura; M: maíz; S: soja; T: trigo.

\*\* P: pasture; M: corn; S: soybean; T: wheat.

hasta pasar por tamiz de 2,0 mm. Por otro lado, de cada unidad experimental y en el mismo momento, se tomaron con pala muestras compuestas (5 sub-muestras) (Muestras 2) de la capa 0-20 cm. Estas muestras fueron tamizadas en húmedo por tamiz de 8,0 mm y luego secadas al aire. Luego fueron tamizadas en seco por un tamiz de 0,3 mm durante 5 minutos. Se consideró que el material recuperado por encima del tamiz eran macroagregados y el que pasó el tamiz eran microagregados. Cada fracción de agregados fue pesada y la de macroagregados, molida hasta pasar por tamiz de 2,0 mm.

Para la cuantificación de los contenidos de MO y de MOP, tanto a la masa total del suelo de 0-5 y de 5-20 cm (Muestras 1) como a las muestras de macro- y de microagregados de 0-20 cm (Muestras 2) se les determinaron los contenidos de C orgánico total (COT) y de C orgánico asociado a la fracción mineral (COA). Para obtener esta última fracción, a una alícuota de cada muestra (10 g) se la sometió al procedimiento de separación granulométrica descripto por Cambardella & Elliott (1992), recuperándose la fracción < 50  $\mu\text{m}$ . El COT y el COA se determinaron por combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (120 °C) durante 90 minutos (Schlichting *et al.*, 1995). El contenido de C en la fracción particulada (> 50  $\mu\text{m}$ , COP) se determinó por diferencia entre los contenidos de COT y de COA. Los resultados de contenido de COT, COA y COP en las Muestras 1 ya fueron publicados en Eiza *et al.* (2005). Asimismo, a una alícuota tanto de las muestras de masa total del suelo de 0-5 y de 5-20 cm (Muestras 1) como de las de macro- y de microagregados de 0-20 cm (Muestras 2), se las sometió a una incubación anaeróbica de 7 días a 40 °C de temperatura para la determinación del NAN (Waring & Bremner, 1964). El  $\text{N-NH}_4^+$  liberado durante la incubación fue determinado por micro destilación por arrastre con vapor (Keeney & Nelson, 1982). Para las fracciones de agregados, los contenidos de COT, COA, COP y NAN se expresaron como concentración en la masa de suelo seco de la fracción de agregados (concentración absoluta,

$\text{g kg}^{-1}$  agregados o  $\text{mg kg}^{-1}$  agregados) y como concentración en la masa total de suelo seco (SS) (concentración relativa,  $\text{g kg}^{-1}$  SS o  $\text{mg kg}^{-1}$  SS).

Se realizaron análisis de varianza de los resultados con un modelo lineal mixto (Litell *et al.*, 2006), utilizando el procedimiento PROC MIXED del Statistical Analysis System (SAS, 1999), siendo el SC y la FN efectos fijos y el bloque, efecto aleatorio. Para la comparación de medias en los casos que fuese pertinente, se utilizó el test de diferencia mínima significativa. Se realizaron análisis de regresión lineal simple mediante PROC REG del SAS (SAS, 1999) para determinar relaciones entre NAN y COT y COP en la masa total del suelo y en macro- y microagregados. Los valores de COT, COA, COP (Eiza *et al.*, 2005) y NAN obtenidos en la masa total del suelo en la capa de 0-20 cm se contrastaron con los obtenidos como suma de los determinados en macro- y microagregados mediante análisis de regresión lineal simple (PROC REG, SAS 1999). Se pusieron a prueba las hipótesis nulas referidas a que la ordenada al origen fuese igual a 0 y la pendiente fuese igual a 1. En todos los análisis estadísticos, para el rechazo de las hipótesis nulas se consideró un valor de  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Masa total del suelo

La interacción SC x FN fue significativa para NAN sólo en la capa de 0-5 cm. Algunos de los SC (PP, SD50 y LC75) (Fig. 1) mostraron el comportamiento esperado: el incremento de la biomasa de los cultivos provocado por la FN produjo un incremento de las fracciones lábiles de MO y, con ello, del N mineralizable (Domínguez *et al.*,

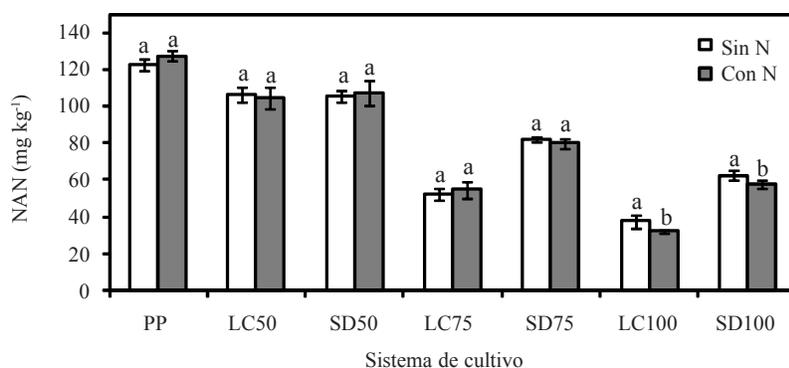


Figura 1. Nitrógeno de amonio liberado por incubación anaeróbica (NAN) en la masa total del suelo en la capa 0-5 cm bajo diferentes sistemas de cultivo sin (Sin N) y con (Con N) fertilización nitrogenada. PP: pastura permanente; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 50: 50% agricultura-50% pastura; 75: 75% agricultura-25% pastura; 100: 100% agricultura. Para cada sistema de cultivo, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre Sin N y Con N. Las líneas verticales en cada columna muestran el error estándar de la media.

Figure 1. Ammonium nitrogen released by anaerobic incubation (NAN) from the whole soil at 0-5 cm under different cropping systems without (Sin N) and with (Con N) N fertilization. PP: permanent pasture; LC: conventional tillage; SD: no tillage; 50: 50% cropping-50% pasture; 75: 75% cropping -25% pasture; 100: 100% cropping. Different letters within each cropping system indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) between Sin N and Con N. Vertical lines in each column show the standard error of the mean.

2009). El resto de los SC (LC50, SD75, LC100 y SD100) mostró la tendencia opuesta (Fig. 1). Por otro lado, de los siete SC, la diferencia en NAN entre dosis de N, aunque pequeña, fue significativa sólo para dos (LC100 y SD100) (Fig. 1) (35,7 vs. 32,2 mg kg<sup>-1</sup> y 62,9 vs. 59,0 mg kg<sup>-1</sup> para Sin N y Con N, respectivamente). Por todo ello, se consideró que la interacción SC x FN en la capa 0-5 cm no tuvo incidencia de importancia sobre el NAN y fue desestimada. Eiza *et al.* (2005) informaron que en la masa to-

tal del suelo, SC y FN no interactuaron significativamente sobre los contenidos de COT y COP a ninguna de las profundidades analizadas (0-5, 5-20 y 0-20 cm). No obstante, en la capa 0-5 cm observaron relaciones entre SC y FN para COT y COP similares a las mencionadas para NAN (Eiza, obs. pers.).

En la Figura 2 se muestran los contenidos de NAN a las tres profundidades analizadas en función de los SC. Para los primeros 5 cm (Fig. 2a), los valores significativamente

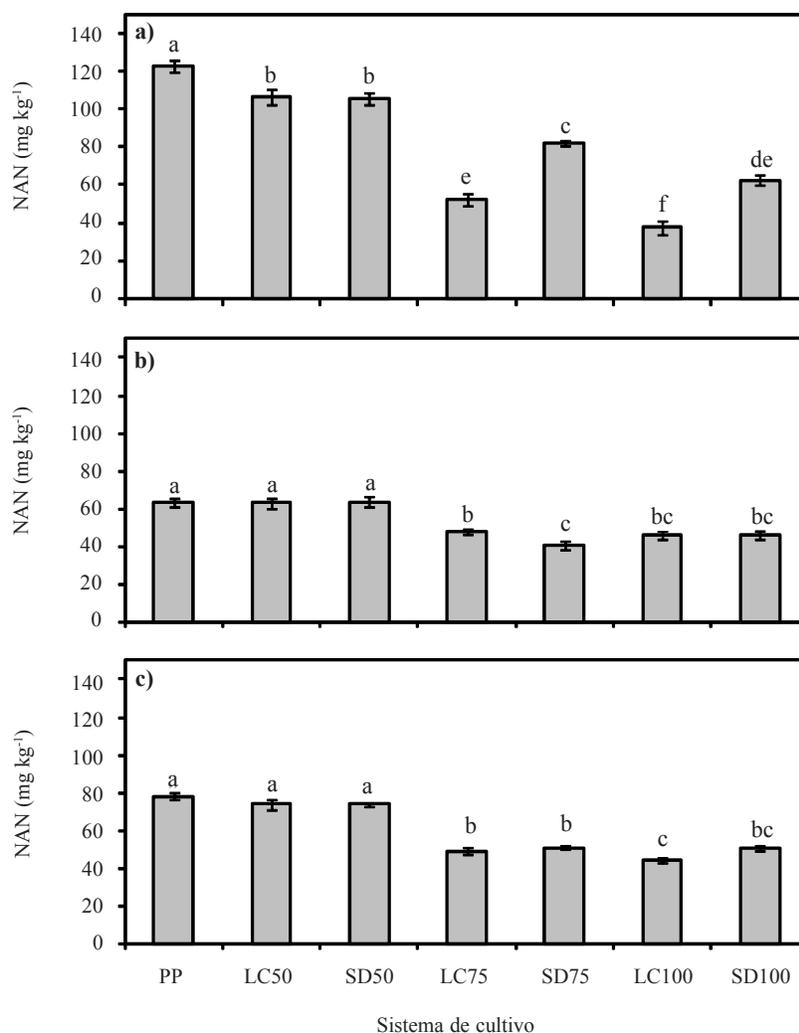


Figura 2. Nitrógeno de amonio liberado por incubación anaeróbica (NAN) en la masa total del suelo a las profundidades de 0-5 cm (a), 5-20 cm (b) y 0-20 cm (c) bajo diferentes sistemas de cultivo. PP: pastura permanente; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 50: 50% agricultura-50% pastura; 75: 75% agricultura-25% pastura; 100: 100% agricultura. Para cada profundidad, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ). Las líneas verticales en cada columna muestran el error estándar de la media.

Figure 2. Ammonium nitrogen released by anaerobic incubation (NAN) from the whole soil at 0-5 cm (a), 5-20 cm (b) and 0-20 cm (c) depths under different cropping systems. PP: permanent pasture; LC: conventional tillage; SD: no tillage; 50: 50% cropping-50% pasture; 75: 75% cropping -25% pasture; 100: 100% cropping. Different letters within each depth indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). Vertical lines in each column show the standard error of the mean.

más altos correspondieron a los SC bajo pastura (PP, LC50 y SD50). En los tratamientos bajo agricultura, aquéllos con SD presentaron los contenidos de NAN significativamente más altos para cada duración del período agrícola (SD75 vs. LC75 y SD100 vs. LC100). Para la capa 0-20 cm las tendencias fueron similares (Fig. 2c), aunque menos marcadas que en la capa superficial, y para la capa 5-20 cm (Fig. 2b) los SC bajo agricultura con SD mostraron valores menores de NAN que aquéllos bajo LC solamente en SD75 vs. LC75. Estos resultados coinciden con lo reportado por Fabrizzi *et al.* (2003) para un suelo degradado y por Morón (2005). Videla *et al.* (2005) informaron resultados similares respecto a NAN, y además que la potencialidad de mineralización bruta tendió a ser mayor bajo SD en la capa superficial del suelo. Por otro lado, Fabrizzi *et al.* (2003), Diovisalvi *et al.* (2008) y Domínguez *et al.* (2009), trabajando con suelos similares pero con historia agrícola corta, no informaron diferencias significativas entre LC y SD en NAN, aunque sí observaron una tendencia a una mayor potencialidad de mineralización de N bajo SD en los primeros centímetros de suelo.

Los sistemas de labranza influyeron sobre la estratificación de los contenidos de NAN (Fig. 2a y 2b). Bajo SD, en la capa de 0-5 cm, dichos contenidos fueron aproximadamente 100 y 40% mayores que en la de 5-20 cm para SD75 y SD100, respectivamente, mientras que bajo LC las diferencias entre capas fueron mucho menores (8% y -19% para LC75 y LC100, respectivamente). La ubicación superficial de los rastrojos bajo SD provoca el aumento en los contenidos de C y de N orgánicos en superficie (Franzluebbers, 2002; Domínguez *et al.*, 2009), debido a que la menor tasa de descomposición de los residuos en esa posición contribuye a la mencionada estratificación (Franzluebbers, 2002; Puget & Lal, 2005) y a la ausencia de mezcla mecánica. En cambio, bajo LC, el laboreo incorpora los residuos de los cultivos al suelo y favorece una distribución más homogénea de los procesos de transformación del C y del N en la profundidad de labranza. Por otro lado, mientras la LC expone las fracciones orgánicas protegidas dentro de los agregados a la acción de los microorganismos provocando una mayor mineralización, la SD genera condiciones que la limitan (Six *et al.*, 2000; Wander, 2004; Puget & Lal, 2005). Así, en la capa arable se acumularía mayor cantidad de C y N orgánicos bajo SD que bajo LC (Fabrizzi *et al.*, 2003; Puget & Lal, 2005) y con ello de N mineralizable (NAN), tendencia que se observó en este trabajo (Fig. 2c) y en el de Eiza *et al.* (2005) para COT y COP.

La potencialidad de entrega de N a los cultivos se puede asociar a mayores contenidos de MO o de sus fracciones lábiles (Álvarez & Álvarez, 2000; Fabrizzi *et al.*, 2003). Eiza *et al.* (2005) ya habían informado relaciones entre COP y COT y los SC a las profundidades analiza-

das en este trabajo, similares a las presentadas en la Figura 2. Los SC bajo pastura (PP, LC50 y SD50) presentaron contenidos de COP significativamente mayores en las capas 0-5 y 0-20 cm que el resto, así como también mayores contenidos de COT en esas mismas capas. Asimismo, tanto para COP como para COT a ambas profundidades, las relaciones entre los tratamientos bajo agricultura fueron similares a las observadas para NAN (LC75 y SD75 > LC100 y SD100; SD75 > LC75, SD100 > LC100), aunque las diferencias no siempre fueron significativas. Los análisis de regresión mostraron que el NAN en la capa de 0-5 cm fue altamente dependiente del contenido de COP (Eiza *et al.*, 2005) ( $P < 0,001$ ,  $r^2 = 0,88$ ), mientras que para la capa de 0-20 cm lo fue, pero con un menor coeficiente de determinación ( $P < 0,001$ ,  $r^2 = 0,60$ ). Relaciones similares se hallaron entre NAN y COT para ambas profundidades, pero con menores coeficientes de determinación ( $r^2 = 0,86$  y  $r^2 = 0,28$  para 0-5 cm y 0-20 cm, respectivamente). Estos resultados demuestran la estrecha relación entre el NAN y una fracción lábil de la MO (COP), especialmente en la capa superficial del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2003; Studdert *et al.*, 2006).

Contrariamente a lo que podría haberse esperado, no hubo diferencias significativas en NAN entre dosis de N como fertilizante a ninguna de las profundidades. Este resultado es coincidente con lo informado por Diovisalvi *et al.* (2008) y Domínguez *et al.* (2009) para suelos similares bajo SD y bajo LC. Asimismo, Eiza *et al.* (2005) no observaron diferencias significativas en COP y COT debidas a la fertilización nitrogenada a las mismas profundidades, pero informaron que en las situaciones con historia de fertilización nitrogenada, los contenidos de COP y COT fueron levemente mayores. En este trabajo la tendencia del NAN fue opuesta (83,2 vs. 80,2; 54,3 vs. 52,6 y 61,3 vs. 60,5 mg kg<sup>-1</sup> para sin N y con N a las profundidades de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente). La fertilización nitrogenada provoca mayor producción de materia seca por parte de los cultivos y con ello incrementa el aporte de C al suelo con lo cual, en el mediano a largo plazo, podría esperarse que el suelo tuviera mayor contenido de MO y de N mineralizable (Wright & Hons, 2005; Kong *et al.*, 2005). Sin embargo, se ha informado también (Khan *et al.*, 2007; Poirier *et al.*, 2009) que la aplicación de N como fertilizante incrementa la actividad biológica edáfica y así las tasas de mineralización del C orgánico compensando los mayores aportes a través de los residuos de los cultivos (Domínguez *et al.*, 2009).

#### Fracciones de agregados

La proporción de macroagregados en la masa del suelo fue en promedio  $0,84 \pm 0,03$ , mientras que la de microagregados fue en promedio  $0,16 \pm 0,03$ . No hubo interacción significativa entre SC y FN ni efectos significativos

de cada uno de los factores individuales de tratamiento sobre ambas proporciones. Las muestras de suelo (Muestras 2) fueron tomadas en un momento del año en el que había pasado mucho tiempo desde el último laboreo o desde la cosecha del cultivo antecesor, según correspondiera. Asimismo, las muestras fueron secadas antes de ser tamizadas para separar por tamaño de agregados. Todo ello puede haber favorecido una reorganización de las partículas del suelo, resultando en la ausencia de diferencias entre tratamientos. No obstante, estos resultados no significan similitud en la estabilidad de los agregados entre los niveles de los factores de tratamiento. Se ha demostrado (Cambardella & Elliott, 1993; Six *et al.*, 2000) que cuando las muestras de suelo seco son humedecidas por sumergimiento, resulta mayor la cantidad de macroagregados estables en suelos bajo pastura respecto a aquéllos con más años de cultivo y, dentro de éstos, en aquéllos bajo SD respecto a LC.

La recuperación de COT, COA, COP y NAN sumando las concentraciones relativas obtenidas en los macroagregados y en los microagregados, fue muy similar a lo determinado en la masa total del suelo (Tabla 2). Para COT, COP y NAN, la suma de las concentraciones en las fracciones de agregados fue levemente mayor que en la masa total, mientras que para COA, fue levemente menor. En todos los casos, la ordenada al origen y la pendiente de la regresión entre lo determinado en la masa total y la suma de lo determinado en las fracciones de agregados, fueron estadísticamente iguales que 0 y 1, respectivamente (Tabla 2). Estos resultados indican que las fracciones de tamaño de agregados representaron adecuadamente a la masa total del suelo.

No hubo interacción significativa SC x FN sobre las concentraciones relativas de COT, COA ni COP, tanto

en macro- como en microagregados. Asimismo, tampoco hubo efecto significativo de la FN sobre las concentraciones relativas de las fracciones de C orgánico para ninguno de los dos grupos de tamaño de agregados estudiados. Estos resultados son coincidentes con los informados por Eiza *et al.* (2005) para la masa total del suelo. Los SC bajo pastura (PP, LC50 y SD50) mostraron, en general, las mayores concentraciones relativas en las tres fracciones de C orgánico (COT, CJOA y COP) tanto en los macro- como en los microagregados (Fig. 3), siendo tales diferencias significativas principalmente para COP. Del mismo modo, tanto para macro- como para microagregados, las concentraciones relativas de COT, COA y COP en los tratamientos bajo agricultura, tendieron a ser mayores cuanto más corto hubiera sido el período agrícola (LC75 y SD75 vs. LC100 y SD100) y en las situaciones bajo SD respecto a aquéllas bajo LC (Fig. 3). En este caso, las diferencias más marcadas fueron en COP. Estas tendencias observadas para ambas fracciones de agregados coinciden con las informadas por Eiza *et al.* (2005) para las tres fracciones del C orgánico en la masa total del suelo. Estos autores sólo encontraron diferencias significativas en COP entre SC a favor de las situaciones bajo pastura respecto a aquéllas bajo agricultura, que no difirieron estadísticamente entre sí, pero las tendencias tanto para COP como para COT fueron similares a las mostradas en la Figura 3. Tales resultados indican que, independientemente del SC, en el suelo analizado, la distribución del C orgánico en macro- y microagregados resultó en patrones similares en respuesta al manejo.

Las concentraciones absolutas de COT y de COA en las fracciones de agregados por tamaño (Tabla 3), fueron significativamente mayores en los macroagregados. Por otro lado, si bien la diferencia no fue significativa, la con-

Tabla 2. Comparación de contenidos de carbono orgánico total (COT), asociado a la fracción mineral (COA) y particulado (COP) y de nitrógeno de amonio liberado por incubación anaeróbica (NAN) determinados en la masa total del suelo (MT) y los obtenidos por la suma de las concentraciones relativas determinadas en macro- y microagregados (Ma+Mi).

Table 2. Comparison of total (COT), mineral associated (COA) and particulate (COP) organic carbon and of ammonium nitrogen released during anaerobic incubation (NAN) determined in the whole soil (MT) and those obtained by summing of the relative concentrations determined in macro- and microaggregates (Ma+Mi).

Variable	Promedios			Regresión MT vs. Ma+Mi					
	Ma+Mi	MT	$\Delta$ (%)*	$r^2$	P>F	Ordenada al origen (OO)		Pendiente (S)	
						Valor	$P>t_{(OO=0)}$	Valor	$P>t_{(S=1)}$
COT (g kg <sup>-1</sup> )	30,6	30,0	2,0	0,72	<0,001	0,02	0,27	0,98	0,21
COA (g kg <sup>-1</sup> )	24,8	25,0	-0,9	0,55	<0,001	2,64	0,15	0,90	0,18
COP (g kg <sup>-1</sup> )	5,8	5,4	6,3	0,75	<0,001	0,57	0,28	0,82	0,05
NAN (mg kg <sup>-1</sup> )	62,5	60,8	2,8	0,66	<0,001	-5,87	0,51	1,04	0,79

\* Diferencia porcentual:  $\Delta$  (%) = ((Ma+Mi)-MT)/MT \* 100.

centración absoluta de COP en los microagregados fue algo mayor que en los macroagregados (Tabla 3). Tradicionalmente se interpretaba que los macroagregados se organizaban alrededor de partículas de MOP. Sin embargo, teorías más recientes sobre la mecánica de formación de agregados en el suelo indican que además de ese rol, el COP también desempeña un papel fundamental en la formación de microagregados dentro de macroagregados, constituyéndose en un proceso crucial para el almacenaje y la estabilidad del C del suelo a largo plazo. Con ello, habrá COP con distinto grado de protección física según se halle entre o dentro de macro- o microagregados, lo que determina su exposición al ataque microbiano y su di-

námica, funcionalidad y estabilidad (Six *et al.*, 2004). A pesar de que no se determinó la concentración de COP en los microagregados dentro de los macroagregados, los resultados de este trabajo parecerían confirmar el rol del COP en la formación de unos y otros, dada la falta de diferencias en la concentración absoluta de COP entre macroagregados y microagregados libres. Cabe aclarar que ni la interacción SC x FN x Tamaño de agregados, ni ninguna de las interacciones dobles fueron significativas, como así tampoco el efecto de la FN. Asimismo, las concentraciones absolutas de C en función de los SC siguieron, en general, los mismos patrones que las relativas en cada fracción de agregados (Fig. 3) y la concentración en la masa del suelo.

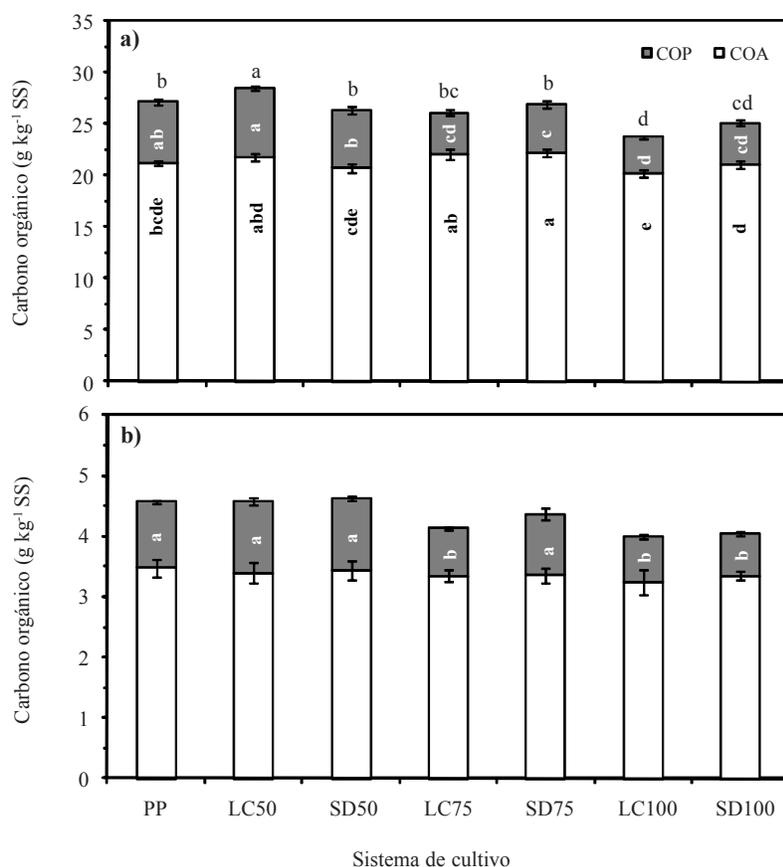


Figura 3. Concentración relativa de carbono orgánico particulado (COP), asociado a la fracción mineral (COA) y total (COT=COP+COA) en macro- (a) y microagregados (b) en la capa 0-20 cm bajo diferentes sistemas de cultivo. PP: pastura permanente; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 50: 50% agricultura-50% pastura; 75: 75% agricultura-25% pastura; 100: 100% agricultura. Letras diferentes dentro de los sectores de las columnas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) para las fracciones correspondientes y letras diferentes sobre las columnas apiladas las indican para COT. Las líneas verticales en cada sector de las columnas muestran el error estándar de la media.

Figure 3. Relative concentration of particulate (COP), mineral associated (COA) and total (COT=COP+COA) organic carbon in macro- (a) and microaggregates (b) at the 0-20 cm layer under different cropping systems. PP: permanent pasture; LC: conventional tillage; SD: no tillage; 50: 50% cropping-50% pasture; 75: 75% cropping -25% pasture; 100: 100% cropping. Different letters within each column section indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) for the corresponding fractions and different letters above the piled columns indicate them for COT. Vertical lines in each column section show the standard error of the mean.

Tabla 3. Concentraciones absolutas de carbono orgánico total (COT), asociado a la fracción mineral (COA) y particulado (COP) y de nitrógeno de amonio liberado por incubación anaeróbica (NAN) en dos tamaños de agregados para distintos sistemas de cultivo y dos niveles de fertilización nitrogenada. PP: pastura permanente; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 50: 50% agricultura-50% pastura; 75: 75% agricultura-25% pastura; 100: 100% agricultura. Letras diferentes acompañando valores de cada variable dependiente para cada factor de tratamiento, indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ).

Table 3. Absolute concentrations of total (COT), mineral associated (COA) and particulate (COP) organic carbon and of ammonium nitrogen released during anaerobic incubation (NAN) in two aggregate-size classes for different cropping systems and two levels of nitrogen fertilization. PP: permanent pasture; LC: conventional tillage; SD: no tillage; 50: 50% cropping-50% pasture; 75: 75% cropping-25% pasture; 100: 100% cropping. Different letters next to the values of each independent variable for each treatment factor, indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

Factor de tratamiento	Nivel de factor de tratamiento	COT	COA	COP	NAN
		g kg <sup>-1</sup> agregados		mg kg <sup>-1</sup> agregados	
Sistema de Cultivo	PP	32,4 a	24,6 a	7,35 a	68,5 a
	LC50	32,8 a	24,2 a	7,93 a	72,8 a
	SD50	30,6 ab	23,6 a	7,06 a	69,2 a
	LC75	29,4 b	24,0 a	5,60 bc	53,7 bc
	SD75	29,9 b	24,0 a	6,20 b	55,2 b
	LC100	26,6 c	22,3 a	4,24 d	44,6 d
	SD100	28,4 bc	23,6 a	4,88 cd	49,8 cd
Fertilización nitrogenada	Sin N	29,9 a	23,6 a	6,06 a	59,6 a
	Con N	30,0 a	23,9 a	6,17 a	57,9 a
Tamaño de agregados	Macroagregados	31,6 a	25,6 a	6,11 a	65,6 a
	Microagregados	28,2 b	21,9 b	6,13 a	51,7 b

Según Six *et al.* (2000), la MOP está más asociada a la presencia de macroagregados estables al agua que a los microagregados. Cambardella & Elliott (1993) y Six *et al.* (2000) observaron que los sistemas bajo SD y bajo pastura generalmente exhibían una mayor proporción de macroagregados estables. Resultados similares fueron informados por Eiza *et al.* (2006c), quienes observaron un mayor cambio del diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP) bajo LC que bajo pastura y bajo SD. Estos autores reportaron además que bajo estas dos últimas situaciones de manejo hubo una alta relación entre los contenidos de COT y COP en la masa total del suelo y la estabilidad de los agregados, no siendo así bajo LC. En este trabajo, la regresión entre contenido de COA en los macroagregados y el CDMP (Eiza, obs. pers.) no fue significativa. Sin embargo, bajo SD (SD75 y SD100) y pastura (PP, LC50 y SD50) el CDMP fue significativamente menor cuanto mayor fue el contenido de COP ( $P < 0,01$ ;  $r^2 = 0,40$ ) o COT ( $P < 0,01$ ;  $r^2 = 0,34$ ) en los macroagregados, mientras que bajo LC (LC75 y LC100), tales regresiones no fueron significativas. Estas relaciones son las mismas que las informadas entre estabilidad de agregados y las fracciones de C orgánico en la masa total del suelo (Eiza *et al.*, 2006c). Esto confirma el rol de la MO

total y de la particulada en la estabilización de los macroagregados y, con ello, en su protección física cuando el suelo no está disturbado (Six *et al.*, 2000; Oorts *et al.*, 2007). Bajo LC, los macroagregados son menos estables y su estabilidad es independiente del contenido de MO. Por lo tanto, los factores que inciden sobre su disrupción, provocan su ruptura y, con ello, la exposición del C orgánico a la acción de los microorganismos (Six *et al.*, 2000) y, entre otras cosas, una mayor disponibilidad de N para los cultivos.

En la Figura 4 se presentan los contenidos relativos de NAN en macro- (Fig. 4a) y microagregados (Fig. 4b). Los contenidos tanto en una como en la otra fracción de agregados respondieron a las mismas tendencias generales informadas en este trabajo para COT y COP en cada uno de ellos (Fig. 3) y para NAN en la masa total del suelo (Fig. 2) y por Eiza *et al.* (2005) para COT y COP en la masa total del suelo: contenidos significativamente mayores en los tratamientos bajo pastura (PP, LC50 y SD50) y, bajo agricultura, mayores con menos años de cultivo y bajo SD (Tabla 3). La interacción SC x FN x Tamaño de agregados no fue significativa, como así tampoco ninguna de las interacciones dobles. Tampoco fue significativo el efecto de la FN. Sin embargo, el NAN en los

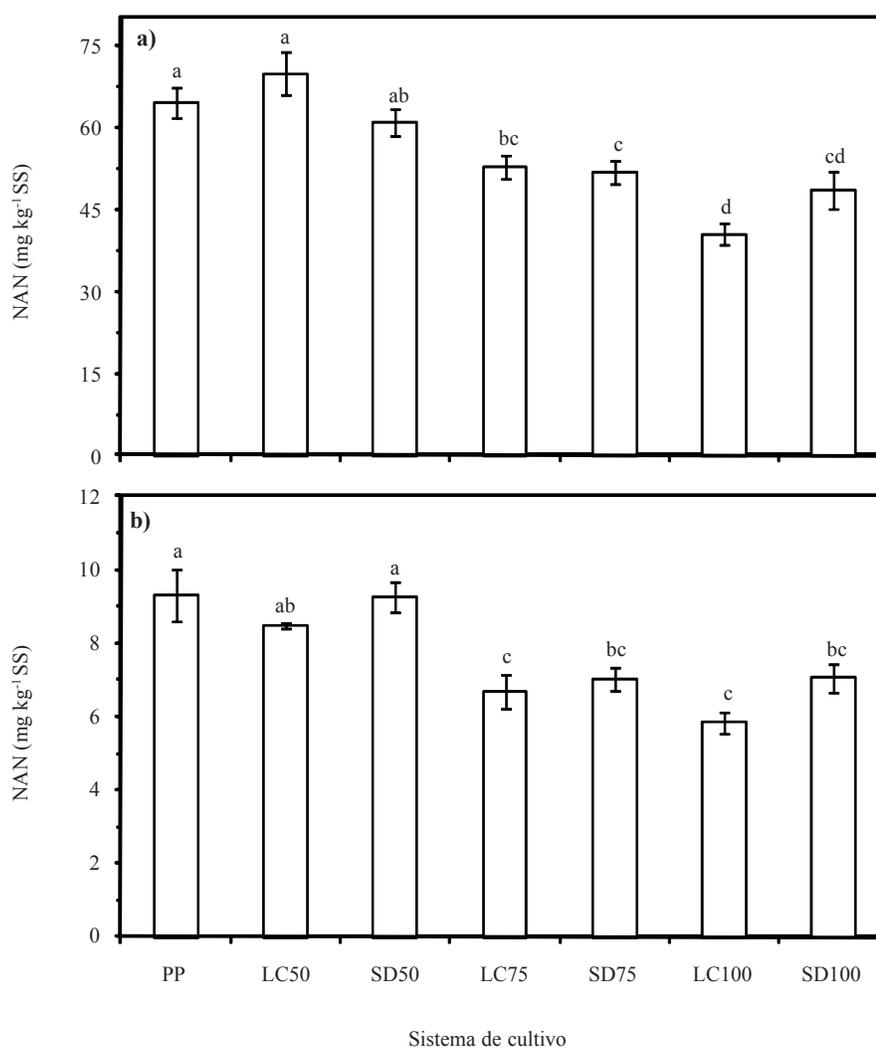


Figura 4. Concentración relativa de nitrógeno de amonio liberado por incubación anaeróbica (NAN) en macro- (a) y micro-agregados (b) en la capa 0-20 cm bajo diferentes sistemas de cultivo. PP: pastura permanente; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 50: 50% agricultura-50% pastura; 75: 75% agricultura-25% pastura; 100: 100% agricultura. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ). Las líneas verticales en cada columna muestran el error estándar de la media.

Figure 4. Relative concentration of ammonium nitrogen released by anaerobic incubation (NAN) in macro- (a) and microaggregates (b) at the 0-20 cm layer under different cropping systems. PP: permanent pasture; LC: conventional tillage; SD: no tillage; 50: 50% cropping-50% pasture; 75: 75% cropping-25% pasture; 100: 100% cropping. Different letters above the columns indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) Vertical lines in each column show the standard error of the mean.

macroagregados fue significativamente mayor que en los microagregados. Asimismo, en las unidades experimentales bajo agricultura, la concentración absoluta de NAN en los macroagregados explicó el 43% de la variación del NAN en la masa total del suelo ( $P < 0,01$ ), independientemente del sistema de labranza empleado, mientras que la de los microagregados no se relacionó con el NAN en la masa total del suelo (Fig. 5). La cantidad de N que puede

mineralizarse y quedar disponible para los cultivos está altamente relacionada con la ruptura de los macroagregados y la exposición de las fracciones orgánicas lábiles dentro de ellos a la acción de los microorganismos (Six *et al.*, 2000). En las unidades experimentales bajo pastura (Fig. 5) no hubo relación significativa entre el NAN en la masa total del suelo y el NAN en macro- y microagregados, aunque los elevados contenidos de NAN en aqué-

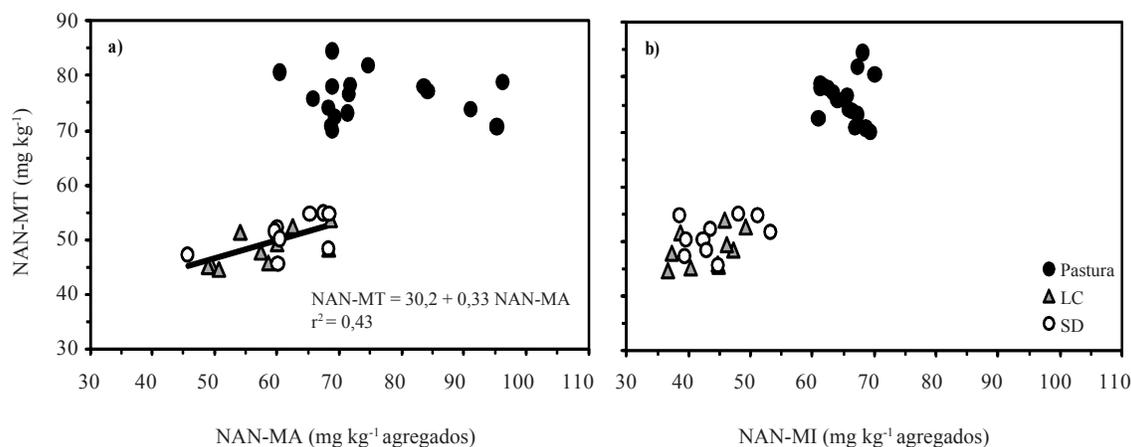


Figura 5. Relación entre nitrógeno de amonio liberado por incubación anaeróbica de la masa total del suelo (NAN-MT) y la concentración absoluta del liberado de macro- (a, NAN-MA) y de microagregados (b, NAN-MI) en la capa 0-20 cm bajo pastura y bajo agricultura con dos sistemas de labranza. LC: labranza convencional; SD: siembra directa.

Figure 5. Relationship between ammonium nitrogen released by anaerobic incubation from the whole soil (NAN-MT) and absolute concentration of that released from macro- (a, NAN-MA) and from microaggregates (b, NAN-MI) at the 0-20 cm layer under pastures and under cropping with two tillage systems. LC: conventional tillage; SD: no tillage.

lla se correspondieron con elevados contenidos en ambas fracciones posiblemente asociado con la elevada densidad de raíces de las pasturas que se relacionan con mayor actividad biológica rizosférica (Ernst & Siri-Prieto, 2009) y la presencia de mayores cantidades de compuestos orgánicos de alta labilidad. Esto sería de gran importancia para cuando ese suelo sea utilizado para producción de cultivos porque sería capaz de proveer más N a los cultivos (Studdert *et al.*, 1997).

## CONCLUSIONES

Los sistemas agrícolas más intensivos produjeron disminuciones del contenido de C orgánico y del NAN tanto en la masa total del suelo como en las dos fracciones de tamaño de agregados estudiadas. Bajo agricultura, los contenidos fueron algo mayores bajo SD, especialmente en los primeros 5 cm de suelo. No obstante, las diferencias en las fracciones orgánicas no se tradujeron en la proporción de macro- y microagregados separados en seco, pero sí en el N potencialmente mineralizable caracterizado a través del NAN. La capacidad del suelo de proveer N a los cultivos se relacionó con el NAN en los macroagregados y, por lo tanto, la disponibilidad del nutriente tendrá una alta relación con la medida en que los mismos sean alterados exponiendo las fracciones orgánicas a la acción de los microorganismos. La LC no sólo se asoció a una mayor ruptura de los macroagregados por

acción directa sino también a su menor estabilidad, lo que provocaría una mayor mineralización y disponibilidad de N. No obstante, la ausencia de diferencias entre sistemas de labranza en la proporción de macro- y de microagregados y las relativamente pequeñas diferencias en los contenidos de las fracciones orgánicas en el suelo bajo estudio, serían un indicio de que un manejo cuidadoso del mismo permitiría aprovechar el servicio ecológico de la provisión de N a través del laboreo con una mínima afectación de sus propiedades. Por otro lado, la inclusión de pasturas en la rotación permitiría la rápida recuperación de propiedades potencialmente afectadas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por los proyectos de investigación de la Universidad Nacional de Mar del Plata N° AGR275/08 y AGR299/09 y el del INTA PNCER-022411.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R & CR Álvarez. 2000. Soil organic matter pools and their association with carbon mineralization kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1): 184-189.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56(3): 777-783.

- Cambardella, CA & ET Elliott. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregate from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57(4): 1071-1076.
- 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. *Ci.Suelo* 26(1): 1-11.
- Domínguez, GF; A Andersen & GA Studdert. 2008. Cambios en la estabilidad de agregados en distintos sistemas de cultivo bajo siembra directa y labranza convencional. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. En CD.
- Domínguez, GF; NV Diovisalvi; GA Studdert & MG Monte-rubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern pampas. *Soil Tillage Res.* 102(1): 93-100.
- Eiza, MJ; N Fioriti; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ci.Suelo* 23(1): 59-67.
- Eiza, MJ; GA Studdert & GF Domínguez. 2006a. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: I. Materia orgánica total. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Eiza, MJ; GA Studdert & GF Domínguez. 2006b. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: II. Materia orgánica particulada. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Eiza, MJ; GA Studdert; N Fioriti & GF Domínguez. 2006c. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Ernst, O & G Siri-Prieto. 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. *Soil Tillage Res.* 105(2): 260-268.
- Fabrizzi, KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(6): 1831-1841.
- Franzluebbers, AJ. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Tillage Res.* 66(2): 95-106.
- Gregorich, EG; MH Beare; UF McKim & JO Skjemstad. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70(3): 975-985.
- INTA. 1979. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja: 3757-31, Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina.
- Janzen, HH. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? *Soil Biol. Biochem.* 38: 419-424.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. Pp. 643-698. In: AL Page (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, EE.UU.
- Khan, SA; RL Mulvaney; TR Ellsworth & CW Boast. 2007. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 36: 1821-1832.
- Kong, AYY; J Six; DC Bryant; RF Denison & C van Kessel. 2005. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69(4): 1078-1085.
- Litell, RC; GS Milliken; WW Stroup; RD Wolfinger & O Schabenberger. 2006. SAS® for Mixed Models, 2nd ed., SAS Institute Inc., Cary, EE.UU.
- Morón, A. 2005. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. Pp. 201-210 en: Actas XIII Congreso de AAPRESID. El futuro y los cambios de paradigmas, Rosario, Santa Fe, 9 al 12 de agosto de 2005.
- Oorts, K; H Bossuyt; J Labreuche; R Merckx & B Nicolardot. 2007. Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. *Eur. J. Soil. Sci.* 58(1): 248-259.
- Poirier, V; DA Angers; P Rochette; MH Chantigny; N Ziadi; G Tremblay & J Fortin. 2009. Interactive effects of tillage and mineral fertilization on soil carbon profiles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73(1): 255-261.
- Puget, P & R Lal. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil Tillage Res.* 80(1-2): 201-213.
- Reeves, DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43(1-2): 131-167.
- Riley, H; R Pommeresche; R Eltun; S Hansen & A Korsaeath. 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. *Agr. Ecosyst. Environ.* 124(3-4): 275-284.
- Sainz Rozas, H & HE Echeverría. 2008. Relevamiento del contenido de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. En CD.
- Sainz Rozas, HR; PA Calviño; HE Echeverría; PA Barbieri & M Redolatti. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agron. J.* 100(4): 1020-1025.
- SAS. 1999. SAS Online Doc®, Versión 8. <www.sas.com>. SAS Institute Inc., Cary, EE.UU.
- Schlichting, E; HP Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum.* Paul Parey. Hamburgo, Alemania. 209 pp.
- Six, J; K Paustian; ET Elliott & C Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I. *Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon.* *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(2): 681-689.
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79(1): 7-31.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2006. Relación entre el cultivo antecesor y la disponibilidad de nitrógeno para el trigo en la rotación. *Ci.Suelo* 24(1): 89-96.

- Studdert, GA; HE Echeverría & EM Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(5): 1466-1472.
- Studdert, GA; GF Domínguez; N Fioriti; MV Cozzoli; NV Diovisalvi & MJEiza. 2006. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia orgánica de molisoles de Balcarce. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Studdert, GA; GF Domínguez & MA Agostini. 2009. Labranzas y rotaciones para un uso sustentable de los suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Pp. 61-67 en Resúmenes Expandidos «Simposio Efectos de la agricultura, la lechería y la ganadería en el recurso natural suelo: Impactos y propuestas». 20 y 21 de agosto de 2009, Montevideo, Uruguay. INIA La Estanzuela, Serie Actividades de Difusión N° 587.
- Videla, C; A Pazos; PC Trivelin; HE Echeverría & GA Studdert. 2005. Mineralización bruta de nitrógeno bajo labranza convencional, siembra directa y pastura. *Ci.Suelo* 23(2): 133-144.
- Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. Pp. 67-102. In: K Magdoff & RR Weil (eds.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, EEUU.
- Wander, MM & MG Bidart. 2000. Tillage practice influences on the physical protection, bioavailability and composition of particulate organic matter. *Biol. Fertil. Soils.* 32(5): 360-367.
- Waring, SA & JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *London Nature* 201(4922): 951-952.
- Weil, RR & F Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. Pp. 1-43. In: K Magdoff & RR Weil (eds.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, EE.UU.
- West, TO & WM Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(6): 1930-1946.
- Wright, AL & FM Hons. 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69(1): 141-147.