

FRACCIONES DE CARBONO Y NITRÓGENO ORGÁNICOS Y NITRÓGENO ANAERÓBICO BAJO AGRICULTURA CONTINUA CON DOS SISTEMAS DE LABRANZA

NATALIA VERÓNICA DIOVISALVI¹; GUILLERMO ALBERTO STUDDERT^{1*};
GERMÁN FRANCO DOMÍNGUEZ¹ & MAXIMILIANO JOAQUÍN EIZA²

¹ Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) – EEA INTA Balcarce, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina.

*Correo electrónico: gstuddert@balcarce.inta.gov.ar

² Instituto de Suelos, CIRN INTA Castelar.

Recibido: 11/09/07

Aceptado: 04/06/08

RESUMEN

El carbono orgánico (CO), componente clave del cual dependen muchas de las propiedades del suelo, está compuesto por fracciones lábiles, CO particulado (COP), y menos lábiles. El COP es un indicador temprano de los cambios en el CO provocados por las prácticas de manejo. Por otro lado, el N anaeróbico (Nan) es un indicador de la capacidad del suelo de mineralizar N. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la siembra directa (SD), de la labranza convencional (LC) y de la fertilización nitrogenada sobre los contenidos de CO total (COT), COP, N orgánico (NO) total (NOT), NO particulado (NOP) y Nan, y su relación con el rendimiento de maíz. Se analizaron muestras de suelo (0-5 y 5-20 cm) de dos sectores de un ensayo iniciado en 1997 sobre Molisoles de Balcarce. Bajo SD hubo mayor concentración de COP, NOP, COT y NOT que bajo LC, principalmente en los primeros centímetros del suelo. En general, no hubo diferencias en el Nan entre sistemas de labranza. La fertilización no afectó los contenidos de las fracciones de CO y NO ni el de Nan. Tampoco se observaron relaciones significativas entre ellos y los rendimientos y la respuesta del maíz a la fertilización. Los elevados contenidos de CO y los altos aportes de C por los residuos pudieron haber sido las causas de que no se manifestaran las diferencias esperadas. Los resultados y tendencias observadas estarían indicando que en el futuro, aquéllas podrían manifestarse.

Palabras clave. Materia orgánica, materia orgánica particulada, sistemas de labranza, nitrógeno potencialmente mineralizable.

EFFECT OF TWO TILLAGE SYSTEMS UNDER CONTINUOUS CROPPING ON ORGANIC CARBON AND NITROGEN FRACTIONS AND ON THE ANAEROBIC NITROGEN INDICATOR

ABSTRACT

The organic carbon (CO) is a key component that determines many soil properties, and it is composed of labile (particulate CO, COP) and less labile fractions. Particulate CO is an early indicator of changes in CO due to management practices. On the other hand, anaerobic N (Nan) is an indicator of the soil capacity to mineralize N. The objective of this study was to evaluate the effect of no-tillage (SD), conventional tillage (LC) and N fertilization on total CO (COT), COP, total organic N (NOT), particulate organic N (NOP), and of Nan contents, and on their relationship with corn yield. Soil samples (0-5 and 5-20 cm-depths) were taken from two areas of a long term experiment started in 1997 on a Mollisol in Balcarce. There was greater concentration of COP, NOP, COT and NOT under SD compared to LC, especially in the soil surface layer. In general, there were no differences in Nan content between tillage systems. Nitrogen fertilization did not affect either CO and NO fractions or Nan contents. There were no significant relationships between the latter and corn yield or corn response to N fertilization. High CO contents and C returns through crop residues in both tillage systems could have caused the lack of differences expected. The observed results and trends would indicate that significant differences between tillage systems could be manifested in the near future.

Keywords: Organic matter, particulate organic matter, tillage systems, potentially mineralizable nitrogen.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO), o carbono orgánico (CO) es un componente fundamental del suelo del cual dependen muchas de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Su contenido y propiedades están íntimamente relacionados con las características edafoclimáticas del

sitio y afectan directa e indirectamente la estabilidad del sistema de producción, dado su rol como reservorio de nutrientes y en la estabilización de la estructura edáfica. Actualmente, el CO es considerado uno de los atributos más importantes para definir la "calidad del suelo" (Carter, 2002).

El contenido de CO del suelo es dinámico y refleja la historia del balance entre las tasas de acumulación y las de su mineralización, el cual es afectado por las labranzas y la secuencia de cultivos y la fertilización (aporte de C de los residuos) (Janzen, 2006). Cuanto más intenso y agresivo sea el laboreo, mayor será la disminución del nivel de CO en el suelo (Studdert & Echeverría, 2000) debido a una mayor tasa de descomposición de los residuos de cosecha y a la exposición a la acción de los microorganismos de fracciones del CO protegidas en los agregados (Gregorich & Janzen, 1996). En cambio, bajo siembra directa (SD), se tiende a aumentar el contenido de CO en la capa superficial del suelo como resultado del menor disturbio, presencia de rastrojos en superficie, mayor contenido de agua, menor temperatura, mayor actividad biológica superficial y menor riesgo de erosión (Blevins & Frye, 1993). Bajo SD se produce una redistribución o estratificación del CO en el perfil debido a la supresión de la mezcla del suelo por el laboreo y a la presencia de residuos en superficie (Dolan *et al.*, 2006). Por otro lado, el volumen de residuos devueltos al sistema, es el factor más importante a tener en cuenta para compensar las variaciones de CO en el suelo asociadas a las prácticas agrícolas (Janzen, 2006). La cantidad de residuos devueltos al suelo puede ser mayor si se aplican fertilizantes a los cultivos debido a su incidencia sobre los rendimientos de los mismos, y con ello sobre el volumen de residuos que pueden ser devueltos (Studdert & Echeverría, 2000).

El CO del suelo forma parte de fracciones lábiles y de fracciones recalitrantes, estas últimas generalmente asociadas a la fracción mineral (Gregorich & Janzen, 1996; Wander, 2004). Las primeras son más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo de suelo y de cultivo (Cambardella & Elliott, 1992; Wander, 2004). Estos compartimientos del CO del suelo, se pueden definir y cuantificar mediante distintos métodos de fraccionamiento. Uno de ellos es el propuesto por Cambardella y Elliott (1992) que plantea la separación de una fracción lábil, a la cual ellos denominan "Materia Orgánica en partículas o particulada" (COP en su expresión como C) con un tamaño entre 50 μm y 2.000 μm (tamaño arena), de la MO asociada a las fracciones minerales (<50 mm). El seguimiento de la variación del contenido del COP se ha propuesto como un indicador temprano de los cambios producidos en la dinámica del C por las prácticas de manejo de suelo y de cultivo (Janzen *et al.*, 1998; Fabrizzi *et al.*, 2003 & Eiza *et al.*, 2005). Por otro lado, el COP puede indicar el tamaño del compartimiento fácilmente mineralizable de nutrientes, pudiendo ser de gran utilidad para el diagnóstico del potencial de mineralización de N del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2003).

A fin de realizar un uso eficiente y ambientalmente seguro de los fertilizantes nitrogenados, es necesario realizar diagnósticos precisos y confiables. Para ello se debería tener en cuenta el N inicial disponible en el suelo y el que se mineralizaría durante el ciclo de los cultivos, de gran importancia para los primavera-estivales como el maíz (*Zea mays* L.). La determinación del N-NH_4^+ generado durante una incubación corta del suelo en condiciones de anaerobiosis, es un indicador de la capacidad del suelo para mineralizar N (Echeverría *et al.*, 2000). Esta determinación rápida y sencilla, denominada N anaeróbico (Nan), es muy sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo (Morón & Sawchick, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2003) y ha sido señalada también como indicador temprano promisorio de los efectos del uso sobre las propiedades del suelo (Carter, 2002; Morón & Sawchick, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2003).

Los suelos del Sudeste Bonaerense poseen elevados contenidos de CO, pero la combinación inadecuada de cultivos y sistemas de labranza ha conducido a una incipiente degradación de los mismos. Por otro lado, están expuestos a condiciones fisiográficas y climáticas predisponentes para la erosión hídrica, particularmente durante los cultivos de verano. Por ello, la continuidad del uso agrícola intensivo de estos suelos hace necesaria la adopción de la SD, especialmente para los cultivos como el maíz. No obstante, el ambiente edáfico asociado a la SD, si bien beneficioso para la protección del suelo, podría tener un efecto negativo sobre el comportamiento del maíz, debido mayormente a la menor disponibilidad de N (Domínguez *et al.*, 2001). Para la toma de decisiones respecto a qué prácticas implementar para una agricultura sustentable se requiere conocer la dinámica de las variables de suelo sensibles a las prácticas de manejo de suelo y de cultivo.

Se hipotetiza que para las condiciones del Sudeste Bonaerense bajo agricultura continua: i) la SD mantendrá una mayor cantidad de CO y de N orgánico (NO), especialmente en la fracción particulada [COP y NO particulado (NOP)], y de Nan, en la capa arable y principalmente en los primeros centímetros de la misma; ii) la fertilización con N, mantendrá más altos niveles de CO, NO y Nan; iii) bajo SD los rendimientos y la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz tendrán una mayor relación con los contenidos de CO, de NO y de Nan, que bajo labranza convencional (LC). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la SD y de la LC continuas con diferentes historias de fertilización, sobre los contenidos de CO y NO totales (COT y NOT) y de COP y NOP, y el Nan de la capa arable (0-20 cm), y su relación con el rendimiento del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en parte de un ensayo de labranzas y fertilización nitrogenada iniciado en 1997 en la Unidad Integrada Balcarce (37° 45' S; 58° 18' W; 130 msm). El suelo en dicho ensayo 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. El sitio en el que se llevó a cabo el ensayo permaneció bajo pastura entre 1992 y 1996, año en que se realizó un cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo labranza reducida (herramientas de disco). A partir de 1997 se aplicaron los sistemas de labranza analizados en este trabajo, aunque ese año se sembró maíz en todo el ensayo. A partir de 1998 se aplicó la secuencia de cultivos maíz-girasol-trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres sectores del ensayo asignando cada uno de esos cultivos a cada sector como inicio de la secuencia. Se analizaron sólo dos de los sectores, uno en el año 2004 (Sector A) y el otro en 2005 (Sector B) (Tabla 1). Los contenidos de COT y de NOT al inicio del ensayo fueron de 3,39, 3,31 y 3,33% y de 0,252, 0,248 y 0,249% para las capas de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente.

Para cada sector por separado, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas divididas y tres repeticiones. A las parcelas principales se asignó el sistema de labranza (LC y SD) y a las subparcelas la fertilización nitrogenada (con y sin N). En el tratamiento con N, se procuró que el mismo no fuera limitante, por lo que se aplicaron 90 kg N ha⁻¹ a girasol, 120 kg N ha⁻¹ a trigo, 180 kg N ha⁻¹ y 120 kg N ha⁻¹ a maíz hasta 2004 y a partir de 2005, respectivamente. Dichas aplicaciones se realizaron todos los años en las mismas subparcelas. 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 extrajeron muestras compuestas de suelo en otoño de 2004 (Sector A) y en otoño de 2005 (Sector B) a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm) y se determinó su densidad aparente (DA). El suelo fue luego secado en estufa a 30 °C, homogeneizado y pasado por un tamiz de 2 mm. El fraccionamiento físico fue realizado según Cambardella y Elliott (1992), recuperándose la fracción < 50 µm en la que se determinó CO asociado a la fracción mineral (COA).

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 COP se determinó por diferencia entre los contenidos de COT y de COA. El NOT y el NO asociado a la fracción mineral (NOA) se determinaron por Micro Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). El NOP se determinó por diferencia entre los contenidos de NOT y de NOA. Para la determinación del Nan se realizó una incubación anaeróbica de 7 días (Echeverría *et al.*, 2000) y la determinación de N-NH₄⁺ se realizó por destilación por arrastre con vapor (Keeney & Nelson, 1982). Los contenidos de CO y de NO fueron expresados en unidades de concentración (%) y, a través de la utilización de los valores de DA se calcularon las masas (Mg ha⁻¹).

El 19 de octubre de 2004 (Sector A, Tabla 1) y el 12 de octubre de 2005 (Sector B, Tabla 1) se sembró maíz (Dekalb 682, resistente a glifosato) a razón de 78.600 semillas ha⁻¹ en líneas distanciadas a 0,70 m. Las variables de cultivo medidas fueron rendimiento y respuesta en grano al agregado de N y acumulación de materia seca aérea (MST). Se calcularon los rendimientos relativos (RR) como el cociente entre el rendimiento en grano obtenido en cada unidad experimental y el máximo rendimiento logrado en el Sector correspondiente. Asimismo, se calculó la respuesta al agregado de N como proporción del rendimiento del testigo (RN= respuesta/rendimiento testigo). Se contó con información de acumulación de MS (residuos aéreos + raíces + rizodeposición) proporcionada por Studdert & Domínguez (comun. pers.) quienes determinaron la biomasa aérea de cada uno de los cultivos y estimaron la cantidad de biomasa de raíces y de rizodeposición a la profundidad de muestreo y para todos los años del ensayo según lo descrito por Domínguez & Studdert (2006). En todos los casos se consideró una concentración de C en el material vegetal de 43% (Sánchez *et al.*, 1996).

Para cada año, los resultados fueron analizados con análisis de varianza con un modelo lineal mixto (PROC MIXED, SAS 1999), siendo el sistema de labranza y la fertilización efectos fijos y el bloque efecto aleatorio. Para la comparación de medias en los casos en los que correspondiera se utilizó el test de diferencia mínima significativa. Se realizaron análisis de regresión simple (PROC REG, SAS 1999) para determinar relaciones entre las variables dependientes estudiadas y algunas de las variables independientes y/o información pre-existente. Para el rechazo de las hipótesis nulas se consideró un valor de P menor que 0,05.

Tabla 1. Secuencia de cultivos de los sectores del ensayo analizados.

Table 1. Crop sequence of the sectors of the experiment under study.

Sector	Año										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
A	P*	G	M	M	G	T	M	G	T	M	-
B	P*	G	M	T	M	G	T	M	G	T	M

* P: pastura, M: maíz; G: girasol; T: trigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de los resultados obtenidos indicó que no hubo interacción significativa entre sistema de labranza y fertilización nitrogenada, ni efecto de ninguno de ellos sobre la DA. Se observó que los valores de dicha variable del Sector A (2004) fueron algo superiores a los del Sector B (2005). Los promedios de DA fueron $1,27 \pm 0,04$, $1,31 \pm 0,04$ y $1,30 \pm 0,04 \text{ Mg m}^{-3}$ en el Sector A (2004) y $1,22 \pm 0,05$, $1,21 \pm 0,03$ y $1,21 \pm 0,03 \text{ Mg m}^{-3}$ en el Sector B (2005), para las capas de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente. Dichos valores fueron similares a los determinados por Domínguez (2004) y Eiza *et al.* (2005) para el mismo suelo, quienes tampoco hallaron diferencias significativas entre SD y LC. Los resultados de DA observados y los informados por los mencionados autores, no responden a lo habitualmente reportado en la bibliografía respecto a que bajo SD la DA es generalmente mayor (Blevins & Frye, 1993).

Debido a la ausencia de efecto significativo de las variables independientes sobre la DA, a continuación sólo se discutirán los resultados de las fracciones de CO y de NO expresados como concentración. Por otro lado, dado que no se detectó interacción significativa entre sistemas de labranza y fertilización nitrogenada para las fracciones de CO y de NO ni para el Nan, se discutirán por separado los efectos producidos por el sistema de labranza y por la fertilización sobre aquellas variables.

De acuerdo con lo esperado, en el Sector A (2004) no hubo diferencias significativas en COA y NOA entre LC y SD (Fig. 1a y 1c). Sin embargo, en el Sector B (2005) se observó que los contenidos de COA y de NOA fueron significativamente mayores bajo SD en las capas de 0-5 y 0-20 cm, aunque las magnitudes de las diferencias entre sistemas de labranza fueron pequeñas (entre 5,5% y 11% para ambas variables en ambas capas) (Fig. 1b y 1d). En

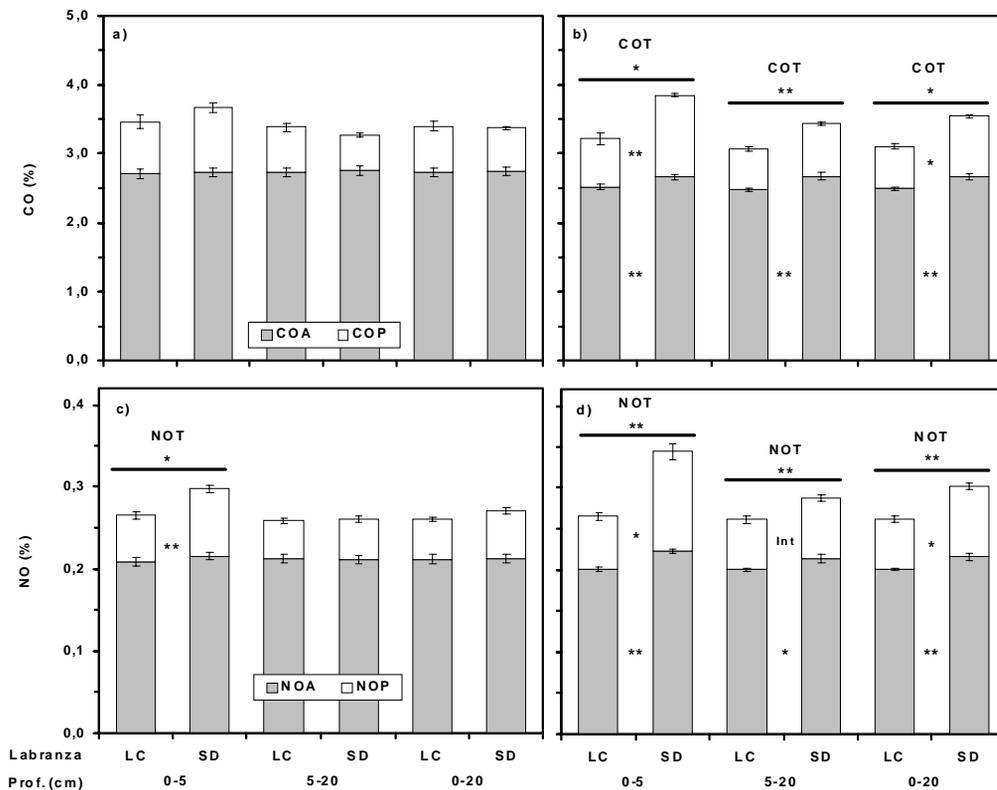


Figura 1. Contenidos de carbono (CO) y nitrógeno (NO) orgánicos: particulados (COP y NOP), asociados (COA y NOA) y totales (COT y NOT) a tres profundidades para el Sector A (2004) (a y c) y para el Sector B (2005) (b y d), comparando sistemas de labranza. LC: labranza convencional, SD: siembra directa. Las líneas verticales en cada sección de cada columna indican error estándar de la media. Para cada fracción “*” indica diferencia significativa ($P < 0,05$) y “**” indica diferencia altamente significativa ($P < 0,01$).

Figure 1. Organic carbon (CO) and nitrogen (NO) contents in particulate (COP and NOP) and associated (COA and NOA) fractions, and total (COT and NOT) at three depths for Sector A (2004) (a and c) and Sector B (2005) (b and d), comparing tillage systems. LC: conventional tillage, SD: no-tillage. Vertical lines in each section of each column indicate standard error of the mean. For each fraction, “*” indicates significant differences ($P < 0.05$) and “**” indicates highly significant differences ($P < 0.01$).

general y a pesar de la significancia de las diferencias observadas en el Sector B (2005), estos resultados responden a lo esperado dado que por su baja labilidad, los valores de COA y de NOA no deberían ser muy diferentes entre suelos bajo diferentes prácticas de manejo (Cambardella & Elliott, 1992; Domínguez, 2004 & Eiza *et al.*, 2005).

Los contenidos de COP, de NOP, de COT y de NOT en la capa de 0-5 cm del suelo fueron mayores bajo SD que bajo LC (Fig. 1). Esto es coincidente con lo mostrado en la bibliografía para unas u otras fracciones tanto de CO como de NO (Domínguez, 2004; Videla, 2004; Morón, 2005 & Eiza *et al.*, 2005, 2006a, b, c). Para las fracciones de CO, aquellas diferencias sólo fueron significativas en el Sector B (2005) (Fig. 1b), mientras que en el Sector A (2004) se observó una tendencia similar aunque no significativa (Fig. 1a). Sin embargo, para NOP y para NOT las diferencias fueron significativas a favor de SD en ambos Sectores (Fig. 1c y 1d).

En cambio, las relaciones entre los sistemas de labranza y los contenidos de COP y de COT en la capa de 0-20 cm, fueron diferentes para cada uno de los sectores analizados en este trabajo. En el Sector A (2004) los contenidos de COP y de COT fueron algo menores bajo SD que bajo LC, aunque no significativamente (Fig. 1a), mientras que en el Sector B (2005) fueron mayores (Fig. 1b). Los resultados observados para el Sector A (2004) coinciden con los informados por distintos autores para Molisoles de diferentes lugares (Wander *et al.*, 1998; Domínguez, 2004; Puget & Lal, 2005), mientras que los del Sector B (2005) coinciden con los de otros autores para distintos tipos de suelos (Havlin *et al.*, 1990; Cambardella & Elliot, 1992; Puget & Lal, 2005) y con Fabrizzi *et al.* (2003) para un suelo similar pero con un alto grado de degradación por uso agrícola continuo. Por otro lado, los valores de NOP y de NOT para ambos sectores fueron significativamente mayores bajo SD (Fig. 1c y 1d). Estos resultados no coinciden con los observados para el mismo suelo por Domínguez (2004) y por Videla (2004) quienes no hallaron diferencias significativas en los contenidos de NOP y de NOT bajo diferentes sistemas de labranza en la capa de 0-20 cm. Sin embargo, Fabrizzi *et al.* (2003) hallaron contenidos significativamente mayores de NOP y de NOT bajo SD en la capa de 0-15 cm de un Molisol degradado.

Los sistemas de labranza influyeron además sobre la estratificación de los contenidos de COP, de NOP, de COT y de NOT. En la capa de 0-5 cm dichos contenidos fueron mayores que en la de 0-20 cm, bajo ambos sistemas de labranza y en los dos sectores del ensayo (Fig. 1). Bajo SD tales diferencias fueron mayores, dado que la ubicación superficial de los rastrojos hace que la tasa de des-

composición de los mismos sea menor (Gregorich & Janzen, 1996; Sánchez *et al.*, 1996) y además, los procesos de transformación del C y del N de éstos, se producen en la zona de contacto de los mismos con el suelo. Todo esto contribuye al aumento de los contenidos de las fracciones de CO y de NO (Blevins & Frye, 1993; Janzen *et al.*, 1998) o a la reducción de la tasa de pérdida de las mismas en los primeros cm del suelo (Eiza *et al.*, 2006a, b, c). En cambio, bajo LC el laboreo incorpora los residuos de los cultivos al suelo y favorece que los procesos de transformación del C y del N se produzcan más distribuidos en la profundidad de labranza. Esta diferencia en la distribución vertical de los procesos de transformación del CO y del NO, se corrobora porque la concentración de las distintas fracciones en la capa de 5-20 cm fue menor que la concentración de las mismas en la capa de 0-20 cm.

Los resultados obtenidos muestran que los contenidos de COP, de NOP, de COT y de NOT tienden a ser mayores bajo SD, tanto de 0-5 cm, como de 0-20 cm (excepto para COP y COT en el Sector A). El laboreo (LC) expone las fracciones protegidas en los agregados a la acción de los microorganismos, provocando una mayor mineralización (Wander & Bidart, 2000; Six *et al.*, 2002; Wander, 2004; Puget & Lal, 2005). En cambio, bajo SD se generan condiciones que limitan la descomposición y la mineralización respecto a la LC (Wander, 2004; Puget & Lal, 2005). Si bien en ambos sectores del ensayo se observaron, en general, tendencias similares respecto al comportamiento de un sistema de labranza y otro, los resultados obtenidos muestran claras diferencias entre sectores (Fig. 2).

En el Sector A (2004) los contenidos de COT se incrementaron en relación con los contenidos iniciales del ensayo (1997) para ambos sistemas de labranza y en todas las capas del perfil analizadas. Sin embargo, en la capa de 0-5 cm, bajo SD los incrementos en los contenidos de COT fueron mayores que los observados bajo LC. Por otro lado, en la capa de 0-20 cm esta situación se revirtió (Fig. 2a). En el Sector B (2005) (Fig. 2b), se observó un incremento en los contenidos de COT bajo SD con respecto a los valores iniciales de este ensayo (1997). Sin embargo, bajo LC los contenidos de COT disminuyeron con respecto a aquéllos. Estas diferencias entre sistemas de labranza fueron más marcadas en la capa superficial del suelo. Por otra parte, los contenidos de NOT se incrementaron en los dos Sectores del ensayo (Fig. 2c y 2d) bajo ambos sistemas de labranza y para todas las profundidades analizadas. Sin embargo, los incrementos de NOT bajo SD, fueron mayores que bajo LC para todas las capas, principalmente en la de 0-5 cm.

Además de los efectos producidos por las labranzas sobre la dinámica del CO y del NO en el suelo, existe una

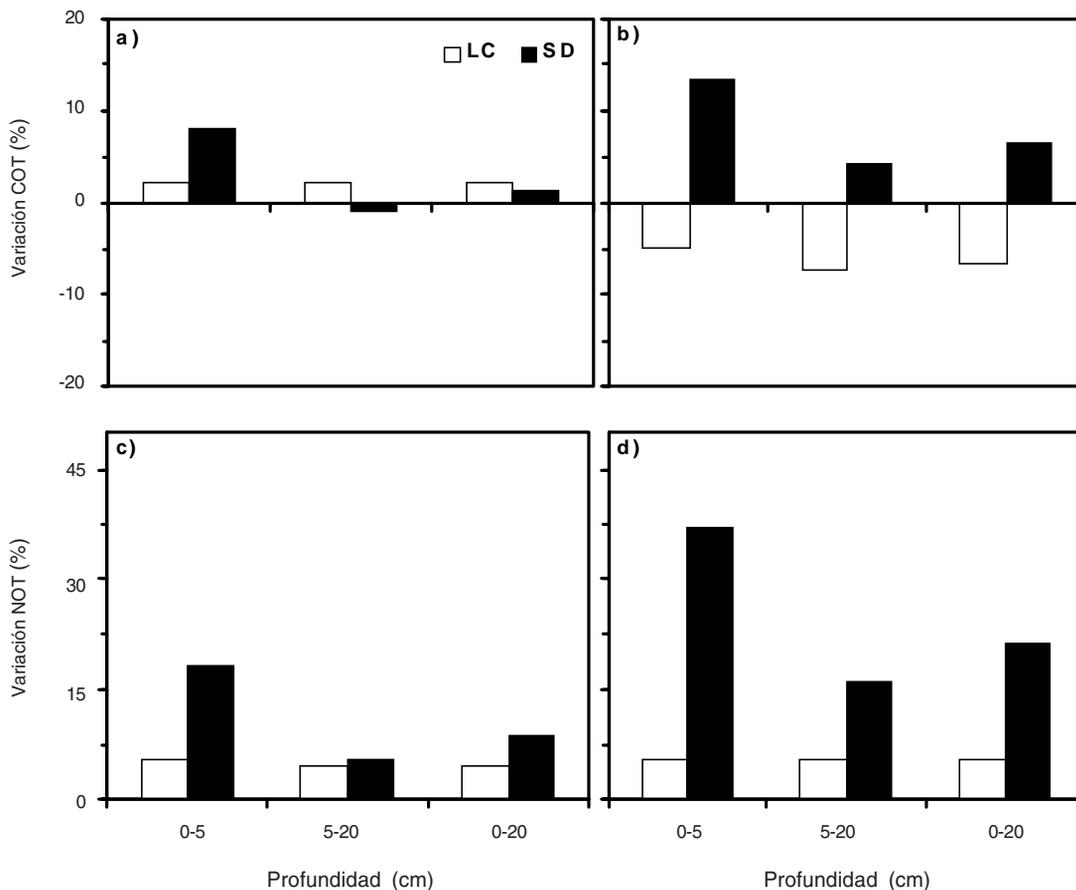


Figura 2. Variación porcentual del contenido de carbono orgánico (COT) y de nitrógeno orgánico (NOT) totales entre el inicio del ensayo (1997) y los años de muestreo para el Sector A (2004, a y c) y el Sector B (2005, b y d), bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).

Figure 2. Percent variation of total organic carbon (COT) and nitrogen (NOT) between the beginning of the experiment (1997) and the years of sampling for Sector A (a and c) and Sector B (b y d), under conventional (LC) and no-tillage (SD).

relación estrecha entre el aporte de los residuos de los cultivos y la variación en los contenidos de aquéllos en el mismo (Studdert & Echeverría, 2000; Domínguez, 2004; Domínguez & Studdert, 2006; Janzen, 2006). De esta manera, las pérdidas de CO y de NO pueden ser compensadas con el manejo del aporte por parte de los cultivos que intervienen en la rotación. Bajo LC el promedio general de aporte de residuos (rastreo + raíces + rizodeposición) fue de 6,3 y 5,5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para los Sectores A y B, respectivamente. En cambio, bajo SD dichos aportes fueron más bajos (5,8 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el Sector A y 4,8 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el Sector B).

Contrariamente a lo esperado, no se observó efecto significativo de la fertilización con N misma sobre ninguna de las fracciones de CO y de NO (Fig. 3). Los cam-

bios en los contenidos de COT y de NOT entre el inicio del ensayo (1997) y los años analizados tampoco fueron diferentes entre los tratamientos fertilizados y los no fertilizados (en promedio de ambos Sectores (años 2004 y 2005), 1,18 y 0,52% de incremento de COT de 0-20 cm para sin y con N, respectivamente, y 9,34 y 10,75% de incremento de NOT de 0-20, respectivamente). Estos resultados coinciden con los informados por Studdert *et al.*, (1997) quienes no hallaron diferencias significativas en el contenido de COT y con Álvarez *et al.*, (1998) quienes no determinaron diferencias en COP en la capa arable, debido a la aplicación de N. Asimismo, Domínguez (2004) y Eiza *et al.*, (2006a, b, c y d), observaron que para suelos similares a los de este ensayo, la fertilización con N no conducía al incremento en los niveles de COT y de

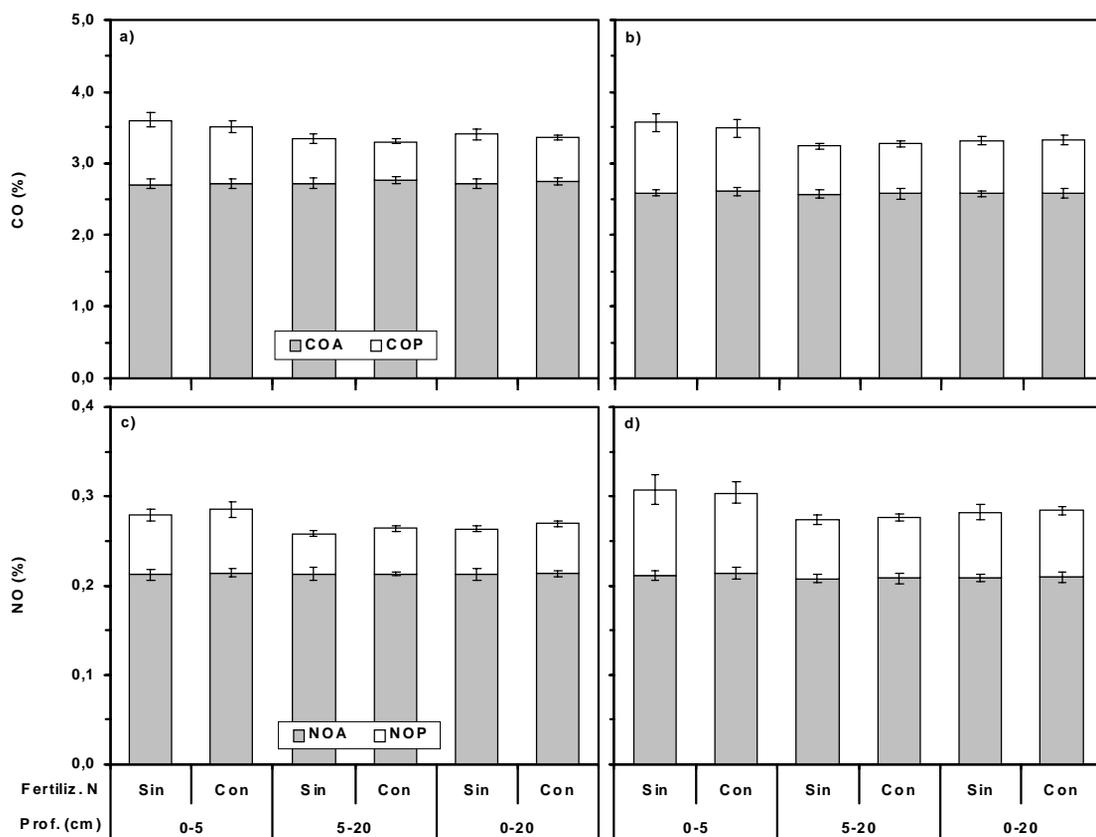


Figura 3. Contenidos de carbono (CO) y nitrógeno (NO) orgánicos: particulados (COP y NOP), asociados (COA y NOA) y totales (COT y NOT) a tres profundidades para el Sector A (2004) (a y c) y para el Sector B (2005) (b y d), sin (Sin) y con (Con) el agregado de fertilizante nitrogenado. Las líneas verticales en cada sección de cada columna indican el error estándar de la media.

Figure 3. Organic carbon (CO) and nitrogen (NO) contents: particulate (COP and NOP), associated (COA and NOA) and total (COT and NOT) at three depths for Sector A (2004) (a and c) and Sector B (2005) (b and d), with (Con) and without (Sin) nitrogen fertilizer. Vertical lines in each section of each column indicate standard error of the mean.

COP. Sin embargo, Campbell y Zentner (1993), para suelos de zonas semiáridas, y Studdert y Echeverría (2000), para suelos similares a los de este ensayo, reportaron aumentos en el contenido de COT o disminuciones en la tasa de caída, respectivamente, en los tratamientos fertilizados debido al aumento en los rendimientos y, por lo tanto, de los rastrojos. Los promedios generales de aporte de residuos (rastrojo + raíces + rizodeposición) de las unidades experimentales sin N y con N del Sector A fueron 5,5 y 6,6 $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, respectivamente, y para el Sector B, fueron 4,7 y 5,6 $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, respectivamente.

En este trabajo no hubo relación significativa ($n=24$) entre los contenidos de las fracciones de CO y de NO, y los aportes de C de los residuos de los cultivos, a ninguna de las profundidades. Para suelos similares a los de este ensayo bajo agricultura continuada con LC, Domínguez

y Studdert (2006) estimaron que para mantener un nivel de 3,3% de COT en la capa arable, era necesario que los aportes de C de los cultivos promediaran 3,7 $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y asumieron que bajo SD podría considerarse un umbral similar (Studdert & Domínguez comun. pers.). En este ensayo, los aportes de los residuos superaron ampliamente dicho umbral, tanto bajo LC como bajo SD y tanto con N como sin N. Por lo tanto, esta podría ser la causa de la ausencia de relación significativa entre los contenidos de las fracciones de CO y dichos promedios anuales de aportes. Cabe aclarar que tampoco hubo relación significativa entre COP a ambas profundidades analizadas y el aporte de C por los residuos del cultivo inmediatamente anterior a los muestreos (trigo, Tabla 1). Todas las regresiones lineales simples entre COP y el C de residuos del trigo antecesor para LC y para SD en cada uno de los años

Tabla 2. Nitrógeno anaeróbico (Nan) del suelo a tres profundidades bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), con y sin nitrógeno para dos sectores (años) del ensayo.

Table 2. Soil anaerobic nitrogen (Nan) at three depths under conventional (LC) and no-tillage (SD), with and without nitrogen for two sectors (years) of the experiment.

Labranza (L)	Fertilización con N (F)	Año					
		2004			2005		
		Profundidad (cm)			Profundidad (cm)		
		0-5	5-20	0-20	0-5	5-20	0-20
-----mg kg ⁻¹ -----							
LC	No	97,1	94,7	95,3	50,9	56,4	55,0
	Si	90,5	80,7	83,2	51,1	52,4	52,1
SD	No	112,7	93,7	98,5	99,0	50,5	62,7
	Si	94,8	83,3	86,2	105,5	58,6	70,4
Promedio LC		-	-	-	51,0 b	-	-
Promedio SD		-	-	-	102,2 a	-	-

(n=6), fueron no significativas, con coeficientes de regresión de entre -0,022 y 0,027% COP (Mg C residuo)⁻¹ para 0-5 cm y entre -0,003 y 0,045% COP (Mg C residuo)⁻¹ (R² entre 0,01 y 0,48). Asimismo, considerando ambos años juntos, las regresiones entre COP y C de residuo del trigo antecesor para LC y para SD (n=12), tampoco fueron significativas, con coeficientes de regresión de -0,001 y 0,023% COP (Mg C residuo)⁻¹ para SD de 0-5 cm y 0-20 cm, respectivamente, y de 0,012 y 0,022% COP (Mg C residuo)⁻¹ para LC de 0-5 cm y 0-20 cm, respectivamente (R² entre 0,001 y 0,306).

Sin embargo, bajo LC se observó una tendencia positiva en la relación entre las fracciones de CO y el aporte promedio anual de de C a través de los residuos, la que podría estar explicando las diferencias entre sectores en la variación del COT respecto al inicio del ensayo bajo este sistema de labranza (Fig. 2), dado que en el Sector B los aportes de C de los residuos fueron menores. Por otro lado, la ausencia de efecto del mayor aporte de C debido a la fertilización con N sugiere que la aplicación del nutriente también agilizaría los procesos de transformación del CO del suelo tal como fue reportado por Wander y Nissen (2004) y Khan *et al.* (2007), aunque dado que los niveles de aporte superaron el umbral estimado (Domínguez & Studdert, 2006), tal efecto no puede ser identificado. Cabe aclarar que para NOP y NOT no se observaron las mismas tendencias mencionadas para COP y COT.

Como en estudios previos sobre suelos similares (Fabrizzi *et al.*, 2003 & Domínguez, 2004), no hubo

interacción significativa ni, en general, efecto del sistema de labranza ni de la fertilización sobre el Nan a ninguna profundidad (Tabla 2). Para este tipo de suelos, los pocos años de agricultura sumados a la baja agresividad de la LC, pueden haber sido las causas de la falta de alteración del potencial del suelo para mineralizar N y de la ausencia de diferencias entre sistemas de labranza (a pesar de la existencia de diferencias entre sistemas de labranza en las fracciones de NO). Si bien la bibliografía (Morón & Sawchick, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2003) propone al Nan como un indicador de alta sensibilidad a los cambios producidos por las prácticas de manejo, parecería ser que en estos suelos con escaso grado de degradación, esa propiedad no llega a manifestarse. No obstante, bajo SD se observaron valores más elevados de Nan en superficie (Tabla 2), llegando a ser significativos en el sector con una historia agrícola algo más prolongada (Sector B). Esto sería un indicio de que en los próximos años de este ensayo podrían llegar a manifestarse efectos significativos de las prácticas de manejo sobre el Nan, al menos en la capa superficial.

Los rendimientos y la acumulación de MST del maíz (Tabla 3) promedio general de cada sector fueron 5.953 kg ha⁻¹ y 12.881 kg ha⁻¹, respectivamente, para el Sector A (2004) y 9.621 kg ha⁻¹ y 18.446 kg ha⁻¹, respectivamente, para el Sector B (2005). Estas grandes diferencias indican que las condiciones ambientales de cada año fueron distintas. En el año 2004 las precipitaciones totales durante el ciclo del cultivo fueron menores que la mediana histórica, mientras que en 2005 fueron mayores. En el

período crítico el déficit hídrico fue marcadamente mayor en 2004 que en 2005 (diferencia precipitación-ETP: -151 mm y -43 mm para 2004 y 2005, respectivamente), lo que puede haber generado aquella diferencia de rendimiento entre años (Andrade & Sadras, 2002). En ambos años, hubo respuesta significativa (Tabla 3) al agregado de N en rendimiento en grano y en MST bajo ambos sistemas de labranza. Dichas respuestas fueron proporcionalmente mayores en el año 2004 y bajo SD. La menor mineralización de N en el suelo en ambos años y el déficit hídrico en 2004 pueden haber sido las causas del mayor nivel de respuesta observado bajo SD (Rizzalli, 1998; Domínguez *et al.*, 2001). La mayor conservación del agua en el suelo bajo SD, permite un mejor aprovechamiento del N agregado (Rizzalli, 1998).

Debido a las condiciones meteorológicas de cada año y su efecto sobre el comportamiento del cultivo, se analizaron las relaciones entre las variables de suelo medidas y el RR y la RN. No hubo relación significativa entre los RR y el COP, el COT, el NOP, el NOT ni el Nan a ninguna de las profundidades, bajo ningún sistema de labranza y para ninguna condición de fertilización. Tampoco se observaron relaciones significativas entre la RN y todas las variables y condiciones mencionadas. Estos resultados no fueron los esperados, dado que se pensaba que las variables de suelo asociadas con la capacidad del suelo de proveer N, se iban a relacionar positivamente con los RR y negativamente con las RN, especialmente en las situaciones de menor agresividad de

laboreo. En este sentido, no hay coincidencia con los resultados de otros autores, quienes informaron incrementos de los rendimientos de maíz (Domínguez *et al.*, 2006a) y disminuciones de la respuesta al agregado de N (Calviño & Echeverría, 2003; Domínguez *et al.*, 2006a) con el incremento del Nan. Por otro lado, tampoco hay coincidencia con lo informado por Domínguez *et al.* (2006b) quienes, para años con adecuada disponibilidad hídrica, determinaron relaciones positivas significativas entre los RR logrados sin fertilización nitrogenada y el COP y el COT en la capa arable, especialmente bajo SD. Estos autores encontraron que estas relaciones no eran significativas en años secos.

La falta de relación entre los RR y la RN, y las variables de suelo analizadas en este ensayo, podría explicarse teniendo en cuenta que los valores de dichas variables determinados en la presente experiencia fueron altos. Como ya fue mencionado, los aportes de los residuos en años anteriores han sido elevados, por lo cual los niveles de CO, en general, no han variado de manera importante con respecto al momento de inicio del ensayo (1997). Además, bajo LC, el laboreo fue aplicado con baja intensidad, de modo que no se manifestaron las diferencias entre este sistema y SD con respecto al grado de relación entre las variables de suelo y los RR y la RN. Quizás en años siguientes, con más años de laboreo, podrían llegar a manifestarse las relaciones que se esperaban observar en este ensayo.

Tabla 3. Materia seca total (MST) y rendimiento en grano (Rto) de maíz en dos campañas bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), con y sin nitrógeno y el correspondiente análisis estadístico. Los valores seguidos por la misma letra en cada columna no difieren significativamente.

Table 3. Total aboveground corn dry matter (MST) and grain yield (Rto) in two years under conventional (LC) and no-tillage (SD), with (Con N) and without (Sin N) nitrogen and the corresponding statistical analysis. Values followed by the same letter for each column do not differ significantly.

Sistema de labranza (L)	Fertilización con N (F)	Año				
		2004		2005		
		MST	Rto	MST	Rto	
kg ha ⁻¹						
LC	Sin N	10.460	5.450	17.148	9.137	bc
	Con N	13.487	6.772	18.501	10.608	ab
SD	Sin N	10.158	4.472	16.726	7.690	c
	Con N	17.420	7.118	21.410	11.051	a
Promedio F	Sin N	10.309	4.961	16.937	-	B
	Con N	15.454	6.945	19.955	-	A
Valor de P	L	NS	NS	NS	NS	
	F	0,003	0,0004	0,02	0,0001	
	LxF	NS	NS	NS	0,004	

CONCLUSIONES

Para las condiciones en que se realizó este ensayo, no se reunieron evidencias suficientes como para rechazar totalmente la primera de las hipótesis planteadas. Se puede concluir que bajo SD hubo una mayor concentración (aunque no siempre significativa) de COP, de NOP, de COT y de NOT que bajo LC, principalmente en los primeros centímetros del suelo. No obstante, para el Nan se obtuvieron evidencias suficientes como para rechazar la hipótesis, debido a que en general, no hubo diferencias entre sistemas de labranza. Por otro lado, contrariamente a lo hipotetizado, no se observaron mayores niveles de las fracciones de CO y de NO ni de Nan, cuando se fertilizó con N. Por lo tanto, se recopilaron evidencias suficientes como para rechazar la segunda hipótesis. Tampoco se observaron mayores relaciones entre los contenidos de COP, de NOP, de COT, de NOT y de Nan, y los rendimientos y la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz bajo SD que bajo LC. Consecuentemente, se reunieron evidencias suficientes como para rechazar la tercera de las hipótesis planteadas en este trabajo.

Si bien las evidencias recogidas condujeron al rechazo de la mayoría de las hipótesis planteadas, los resultados obtenidos y algunas tendencias observadas estarían indicando la posibilidad de que en el futuro pudieran manifestarse más marcadamente los efectos de las prácticas de manejo. No obstante, parecería que para los suelos y las condiciones evaluados, los cambios producidos por el manejo son de muy escasa magnitud a pesar de la diferencia de agresividad de los sistemas de labranza empleados. Esto conduce a que la toma de decisiones de manejo se pueda hacer en función de cómo las prácticas influyen sobre otros servicios que puede dar el suelo a la producción, como por ejemplo el suministro de N a los cultivos. Habría que continuar evaluando este ensayo en años siguientes para poner a prueba las hipótesis luego de un uso continuo del suelo más prolongado y verificar si las tendencias observadas se mantienen en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Mar del Plata N° AGR221/06 y los del INTA AERN5654 y PNCER2341.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R; ME Russo; P Prystupa; JD Scheiner & L Blotta. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in Argentine rolling pampa. *Agron. J.* 90: 138-143.
- Andrade, FH & VO Sadras. 2002. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Pp. 175-210 *En: FH Andrade & VO Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.* EEA INTA Balcarce-FCA UNMdP, Balcarce, Buenos Aires.
- Blevins, RL & WW Frye. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51: 33-78.
- Brenner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. Pp. 595-624 *En: A.L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EE.UU.*
- Calviño, PA & HE Echeverría. 2003. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ci.Suelo* 21: 24-29.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Campbell, CA & RP Zentner. 1993. Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1034-1040.
- Carter, MR. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
- Dolan, MS; CE Clapp; RR Allmaras; JM Baker & JAE Molina. 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil Tillage Res.* 89: 221-231.
- Domínguez, GF. 2004. Materia orgánica particulada: su relación con dos sistemas de labranza y con el rendimiento de maíz en un molisol de Balcarce. Tesis MS, Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce, Balcarce, Buenos Aires.
- Domínguez, GF & GA Studdert. 2006. Balance de carbono en un Molisol bajo labranza convencional. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy*, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Domínguez, GF; GA Studdert; HE Echeverría & FH Andrade. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ci.Suelo* 19: 47-56.
- Domínguez, GF; GA Studdert; MV Cozzoli & NV Diovisalvi. 2006a. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maíz. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy*, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Domínguez, GF; GA Studdert; MJ Eiza; NV Diovisalvi & N Fioriti. 2006b. Relación entre la materia orgánica y el rendimiento de maíz. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy*, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Echeverría, HE; NF San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación de nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ci.Suelo* 18: 9-16.
- 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: 59-67.

- Eiza, MJ; GA Studdert & GF Domínguez. 2006a. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo agricultura continua: 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 & GF Domínguez. 2006b. 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. 2006c. 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 & GF Domínguez. 2006d. 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.
- 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: 1831-1841.
- Gregorich, EG & HH Janzen. 1996. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. Pp. 167-190. *En: MR Carter & BA Stewart (eds.) Structure and organic matter storage in agricultural soil*. Lewis Publishers. CRC Press. Boca Raton, Florida, EE.UU.
- Havlin, JL; DE Kissel; LD Maddux; MM Claasen & JH Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.
- 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. 76 pp.
- Janzen, HH. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it?. *Soil Biol. Biochem.* 38: 419-424.
- Janzen, HH; CA Campbell; RC Izaurralde; B Hellert; N Juma; WB McGill & RP Zentner. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Tillage Res.* 47: 181-195.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. Pp. 643-698. *En: AL Page (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties Agron. Monog 9 ASA and SSSA*, Madison, Wisconsin, 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.
- 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.
- Morón, A & J Sawchik. 2002. Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. Paper 1327. Proceedings 17th World Congress of Soil Science. Symposium N° 32. Bangkok, Tailandia. En CD.
- 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: 201-213.
- Rizzalli, RH. 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis, MS. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Sánchez, SR; GA Studdert & HE Echeverría. 1996. Descomposición de residuos de cosecha en un Argiudol típico. *Ciencia del Suelo* 14: 63-68.
- Schlichting E; HP Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*. Paul Parey. Hamburg, Alemania. 209 pp.
- Six, J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241: 155-176.
- 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, 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: 1466-1472.
- Videla, CC. 2004. Mineralização bruta de nitrogênio em um Molisol do sudeste da Província de Buenos Aires (Argentina). Tesis Doctoral. Centro de Energía Nuclear en Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- 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, Florida, EE.UU.
- Wander, MM & MG Bidart. 2000. Tillage practice influences on the physical protection, bioavailability and composition of particulate organic matter. *Biol. Fertil. Soils.* 32: 360-367.
- Wander, MM & TM Nissen. 2004. Value of soil organic carbon in agricultural lands. *Mitigation and Adaptation for Global Change* 9: 417-431.
- Wander, MM; MG Bidart & S Aref. 1998. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1704-1711.