

AGRICULTURA SUSTENTABLE Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO: SIEMBRA DIRECTA, ROTACIONES Y FERTILIDAD

Fernando O. García*. 2004. Presentación realizada en el III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

*INPOFOS Cono Sur, Buenos Aires.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Sustentabilidad](#)

RESUMEN

La sustentabilidad de los sistemas agrícola-ganaderos implica preservar y/o mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental y la calidad de los recursos renovables y no renovables involucrados. Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable. La materia orgánica (MO) es el más importante indicador de la calidad de suelo. La MO es la fracción orgánica del suelo excluyendo residuos vegetales y animales sin descomponer y su importancia radica en la relación que presenta con numerosas propiedades del suelo. La siembra directa, las rotaciones y la fertilidad de los suelos y nutrición de cultivos contribuyen a mantener y/o mejorar los contenidos de MO. En siembra directa, la no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie resultan en un mayor contenido de MO en las capas superficiales respecto de situaciones similares bajo labranza con remoción. Las rotaciones de cultivos posibilitan la acumulación de mayores cantidades de residuos de distinta calidad que representan significativos aportes de carbono (C) para el suelo. En general, la inclusión de gramíneas en la rotación mejora el balance de C del suelo, tanto por la cantidad como por la calidad de los residuos y por permitir una mayor cobertura del suelo. La mejor nutrición de los cultivos permite incrementar los rendimientos de los cultivos y acumular una mayor cantidad de residuos con un mayor aporte de C para el suelo.

INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad, en el contexto de la producción agrícola-ganadera, implica preservar y/o mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental y la calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire, biodiversidad, otros). Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable. El suelo debe proveer un medio para el crecimiento de las plantas, regular y particionar el flujo de agua en el ambiente y servir como un buffer ambiental en la formación, atenuación y degradación de compuestos ambientales peligrosos. La calidad del suelo se ha definido en términos de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Entre estas propiedades, la materia orgánica (MO) es considerada como el más importante indicador de la calidad de suelo. La MO es la fracción orgánica del suelo excluyendo residuos vegetales y animales sin descomponer, y entre sus componentes se incluyen los residuos vegetales y animales en descomposición (10-20%), la biomasa microbiana (1-5%) y el humus (50-85%). La importancia de la MO radica en su relación con numerosas propiedades del suelo:

- ◆ Físicas: Densidad, capacidad de retención de agua, agregación y estabilidad de agregados (Fig. 1), color y temperatura
- ◆ Químicas: Reserva de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y otros, pH, capacidad de intercambio catiónica, capacidad tampón, formación de quelatos
- ◆ Biológicas: Biomasa microbiana, actividad microbiana (respiración), fracciones lábiles de nutrientes

El contenido de MO de los suelos es determinado por los factores formadores del suelo (tiempo, clima, vegetación, material madre, topografía, manejo). El manejo de suelos afecta el contenido de MO según el número de años de agricultura, los cultivos, las labranzas, las rotaciones, el manejo del cultivo, la fertilización, y los períodos de barbecho.

El uso de sistemas de siembra directa (SD), la rotación de cultivos y el mantenimiento y/o la generación de adecuados niveles de fertilidad de los suelos permite estabilizar los contenidos de MO ajustados a las condiciones edafo-climáticas del sitio a través de la incorporación de residuos en cantidad y calidad (Fig. 2).

Fig. 1. Relación entre el carbono (C) orgánico humificado y el índice de inestabilidad para distintas rotaciones con doble cultivo trigo/soja (T/S) y maíz (M), sistemas de labranza (Cincel y Siembra directa, SD) y una situación prístina (Sin disturbar) en el sur de Santa Fe (Argentina). Fuente: E. Gómez et al. (2001).

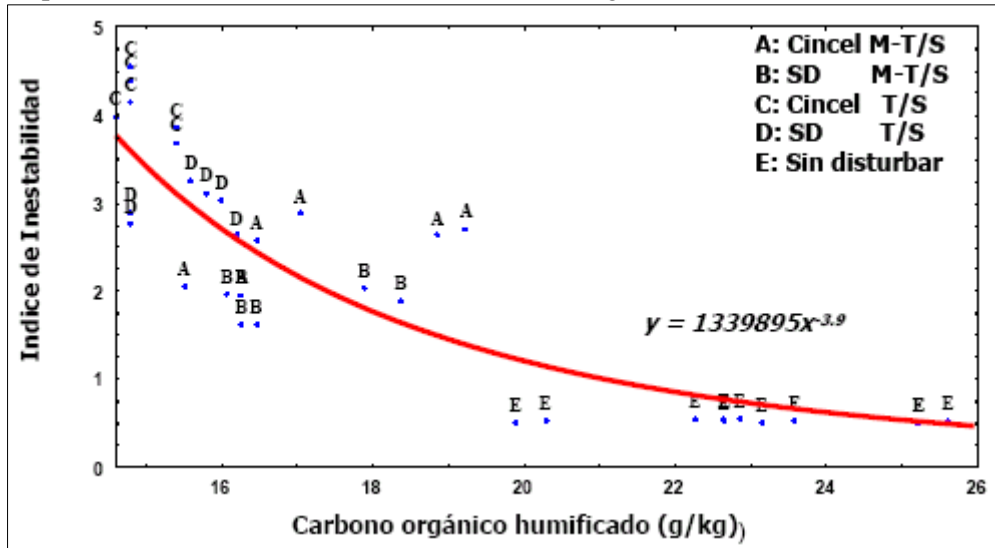


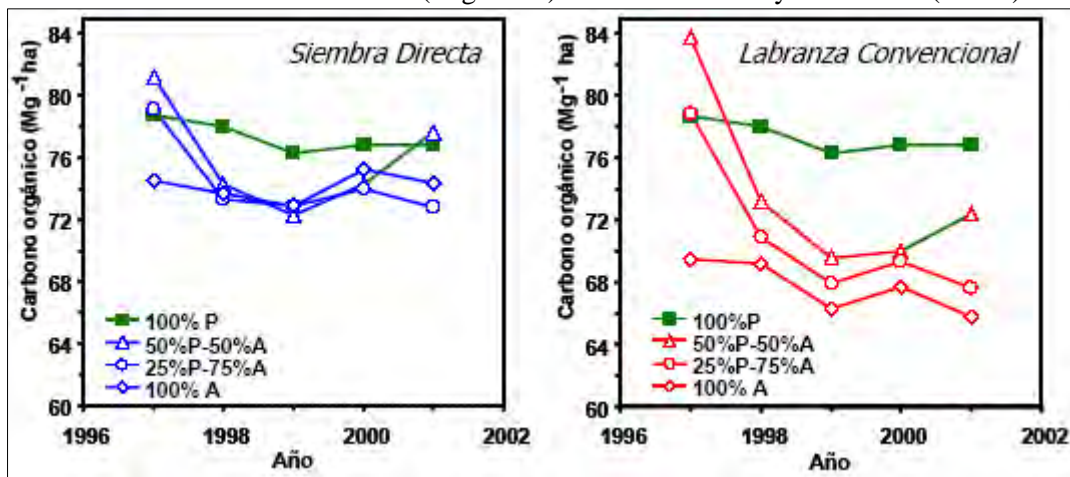
Fig. 2. Relación entre las prácticas de manejo de siembra directa, rotaciones y fertilidad, la materia orgánica y la sustentabilidad en los sistemas agrícola-ganaderos:



LA SIEMBRA DIRECTA Y LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

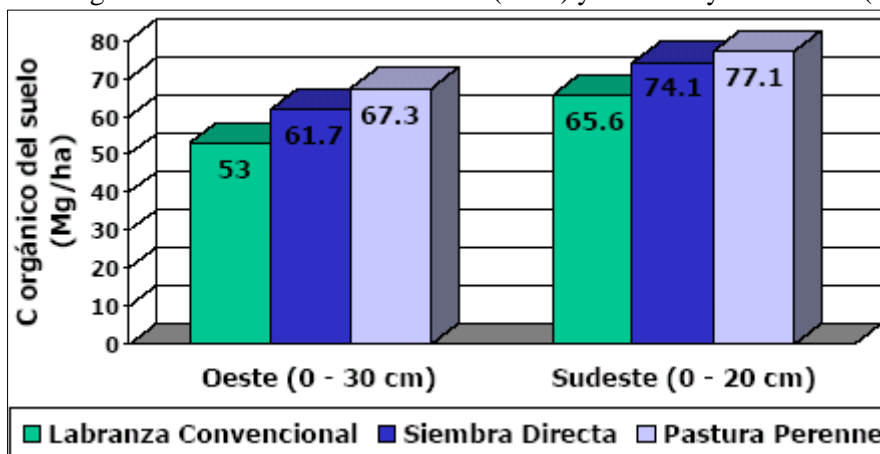
La no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie bajo SD resultan en un mayor contenido de MO en las capas superficiales del suelo respecto de situaciones similares bajo labranza convencional con remoción (LC). Este efecto se explica por la menor oxidación de los residuos aportados, la menor erosión y, eventualmente, por una mayor producción de residuos bajo SD debida a la mayor producción de materia seca que bajo LC. La Fig. 3 muestra la evolución del carbono (C) orgánico del suelo en rotaciones con distinta proporción de pasturas y cultivos agrícolas bajo SD y LC en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), comparada con los contenidos bajo pastura perenne en la misma situación edafo-climática. Si bien los contenidos de C disminuyen bajo SD, las caídas son mucho mayores bajo LC.

Fig. 3. Evolución del carbono (C) orgánico del suelo en distintas rotaciones con pasturas (P) y cultivos agrícolas (A) bajo siembra directa (izquierda) y labranza convencional (derecha) en el sudeste de Buenos Aires (Argentina). Fuente: Studdert y Echeverría (2002a).



Esta situación en el sudeste de Buenos Aires se registra también en el oeste de la región pampeana argentina, con suelos de textura más gruesa y menores contenidos originales de MO (Fig. 4).

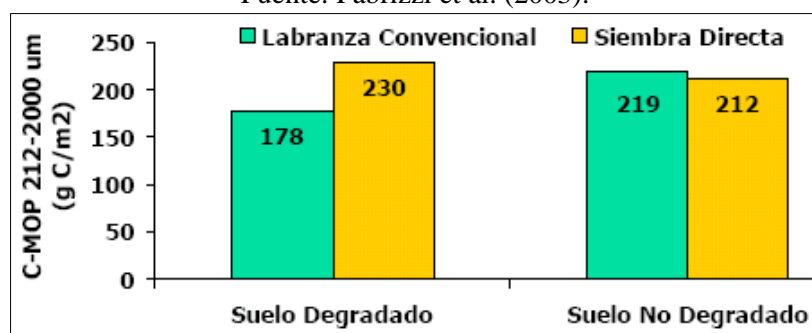
Fig. 4. Carbono (C) orgánico del suelo bajo labranza convencional, siembra directa y pastura perenne en el oeste (0-30 cm de profundidad) y el sudeste (0-20 cm de profundidad) de la región pampeana argentina. Fuente: Díaz Zorita et al. (2002) y Studdert y Echeverría (2002b).



En suelos oxisoles del sur de Brasil, Sá et al. (2001) reportaron incrementos en el contenido de C orgánico del suelo de 806 kg/ha/año a 0-20 cm bajo siembra directa. Los aumentos en C orgánico del suelo se relacionaron estrechamente con la cantidad de residuos aportados ($R_2=0.74$). Los autores atribuyen el incremento a la mayor protección del C orgánico del suelo a través de la formación de agregados estables del tamaño de arenas y limos bajo sistemas de siembra directa, especialmente a 0-10 cm de profundidad. Bayer et al. (2001) indican que la estabilización del C orgánico se debe a la interacción con minerales de carga variable (caolinitas y óxidos de hierro) en suelos ultisoles de Río Grande do Sul. Los efectos positivos de la SD sobre la fracción orgánica del suelo se observan también cuando se evalúan contenidos de N orgánico (Moraes Sá, 1996) y fracciones lábiles de C orgánico del suelo (Fabrizzi et al., 2003) (Fig. 5).

Fig. 5. Carbono (C) orgánico del suelo en la fracción particulada de 212-2000 μm bajo labranza convencional y siembra directa en un suelo de prolongada historia agrícola (degradado) (izquierda) y un suelo con historia de pasturas (no degradado) (derecha) en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

Fuente: Fabrizzi et al. (2003).



LAS ROTACIONES Y LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Las rotaciones de cultivos presentan numerosas ventajas comparadas con los sistemas de monocultivo. Algunas de estas ventajas se relacionan con i) la posibilidad de acumular mayores cantidades de residuos de distinta calidad que representan significativos aportes de C para el suelo, ii) la mayor intensidad de uso del suelo y iii) la mayor eficiencia de uso del agua. En tres sitios del este de Colorado, en una región con precipitaciones anuales de 438 mm, la intensificación del uso del suelo con dos cultivos en tres años o tres cultivos en cuatro años sobre el manejo histórico de trigo-barbecho (un cultivo cada dos años) permitió incrementar el contenido de materia orgánica del suelo en un 6%, la producción anualizada de granos en un 74% y la eficiencia de uso del agua en un 75% (Tabla 1) (Peterson et al., 1998).

Tabla 1. Carbono (C) orgánico, rendimiento anualizado y eficiencia de uso del agua estimada para tres rotaciones bajo siembra directa. Promedios para tres localidades del este de Colorado (EE.UU.).

Elaborado a partir de información de Peterson et al. (1998).

Rotación	C orgánico ¹ (0-20 cm) %	Rendimiento anualizado ² kg/ha	Eficiencia de uso del agua ³ kg/mm
Trigo-Barbecho	0.7	1150	2.6
Trigo-Maíz-Barbecho	0.75	2031	4.6
Trigo-Maíz-Mijo-Barbecho	0.74	1974	4.5

¹ Determinado luego de 12 años de implantadas las rotaciones.
² Promedios de rendimientos de 12 años incluyendo los años bajo barbecho.
³ Estimada a partir del rendimiento anualizado y las precipitaciones anuales promedio de 30 años para cada sitio.

Estas ventajas se reflejaron en ingresos económicos anuales netos superiores en 25-40% para las rotaciones con dos o tres cultivos cada tres y cuatro años, respectivamente, respecto de la práctica tradicional de trigo-barbecho. En un ensayo de larga duración (35 años) establecido en Ontario (Canadá), la rotación de cultivos y la fertilización NPK mejoraron los rendimientos de maíz y el contenido de MO en 1108% y 39%, respectivamente (Tabla 2) (Gregory y Drury, 1996).

Tabla 2. Rendimientos de maíz (promedios 1989-1993) y niveles de materia orgánica (1993) en dos rotaciones con dos niveles de fertilización NPK en un ensayo iniciado en 1959 en Ontario (Canadá) (Gregorich y Drury, 1996).

Rotación	Fertilización NPK # kg/ha	Rendimiento de maíz kg/ha	Materia orgánica %
Maíz continuo	0-0-0	752	3.1
	115-60-30	6520	3.5
Maíz-avena-alfalfa-alfalfa	0-0-0	4075	3.2
	115-60-30	9091	4.3

Dosis en kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O.

En general, la inclusión de gramíneas en la rotación mejora el balance de C del suelo, tanto por la cantidad como por la calidad de los residuos y por permitir una mayor cobertura del suelo. La Tabla 3 muestra el balance de C del suelo para dos rotaciones agrícolas en el sudeste de Córdoba (Argentina). En la rotación con mayor frecuencia de gramíneas (trigo y maíz) que soja, el balance de C es positivo, siendo negativo para la rotación con mayor frecuencia de soja. Los impactos negativos en el contenido de MO cuando existe una mayor frecuencia de soja en las rotaciones respecto de cultivos como el maíz o el sorgo ya han sido destacados por varios autores en diversas regiones del mundo (Havlin et al., 1990; Studdert y Echeverría, 2000).

Tabla 3. Rendimientos en grano, C humificado, pérdida de C y balance de C para dos rotaciones agrícolas en el sudeste de Córdoba (Argentina). Fuente: Alejandro Thomas (com. personal).

<i>A. Trigo/Soja – Maíz, tres cultivos en dos años.</i>				
Cultivos	Trigo/Soja	Maíz	Promedio	
Rendimiento (kg/ha)	3529 / 2771	11000		
C humificado (kg/ha)	2993	3359	3176	
Pérdida de C (kg/ha)	3505	2713	3109	
Balance de C (kg/ha)	-512	646	67	
<i>B. Trigo/Soja – Maíz - Soja, cuatro cultivos en tres años.</i>				
Cultivos	Soja	Trigo/Soja	Maíz	Promedio
Rendimiento (kg/ha)	3500	3529 / 2771	11000	
C humificado (kg/ha)	1763	2993	3359	2705
Pérdida de C (kg/ha)	2713	3505	2713	2977
Balance de C (kg/ha)	-950	-512	646	-273

Una alternativa para mejorar el balance de C en los suelos es la utilización de cultivos de cobertura. Esta práctica está muy difundida en numerosas zonas de Brasil, donde la avena negra participa en la rotación entre dos cultivos de grano de verano (por ejemplo soja y maíz) (Fiorin, 1999). En climas templados, la inclusión de cultivos de cobertura de gramíneas como centeno o avena, o de leguminosas como vicia o trébol encarnado también constituye una alternativa para fijar una mayor cantidad de C atmosférico (Ruffo, 2003).

LA FERTILIDAD Y LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La MO es reserva de numerosos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. La MO contiene aproximadamente un 58% de carbono (C) y presenta una relación C/N/P/S estimada en 140:10:1.3:1.3. A partir de esta información, se estima que cada 1% de materia orgánica en 20 cm de suelo con densidad de 1.1 ton/m³, contiene 22000 kg/ha de materia orgánica, 12000 - 13000 kg/ha de C, 1000 -1200 kg/ha de N, 90 -120 kg/ha de P, y 90 - 120 kg/ha de S. Dados los contenidos de nutrientes en la MO, la misma actúa como fuente y destino de los nutrientes en el sistema. Es así que en situaciones de balance de nutrientes negativos, cuando la exportación de nutrientes en productos de cosecha (granos y forrajes) es superior al aporte vía abonos orgánicos y fertilizantes, los niveles de MO disminuyen aportando los nutrientes necesarios para los cultivos. Esta situación se observa frecuentemente cuando se comienza a cultivar un área nueva con disminuciones importantes de MO en los primeros años que liberan cantidades importantes de nutrientes. La aplicación de nutrientes vía fertilización y/o abonos orgánicos permite mantener y/o mejorar los niveles de MO. La Fig. 6 muestra los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de C orgánico del suelo para cuatro secuencias agrícolas en el sudeste de Buenos Aires (Argentina), y la Tabla 4 los aportes de C en los residuos y la estimación del C humificado para cuatro tratamientos de fertilización en el sudeste de Córdoba (Argentina). En ambas situaciones, la mejor nutrición de los cultivos permitió incrementar los rendimientos de los cultivos y acumular una mayor cantidad de residuos con un mayor aporte de C para el suelo.

Fig. 6. Evolución del carbono (C) orgánico del suelo en distintas rotaciones con trigo (T), girasol (G), soja (S) y maíz (M) sin o con la aplicación de nitrógeno en el sudeste de Buenos Aires (Argentina).

Fuente: Studdert y Echeverría (2002c).

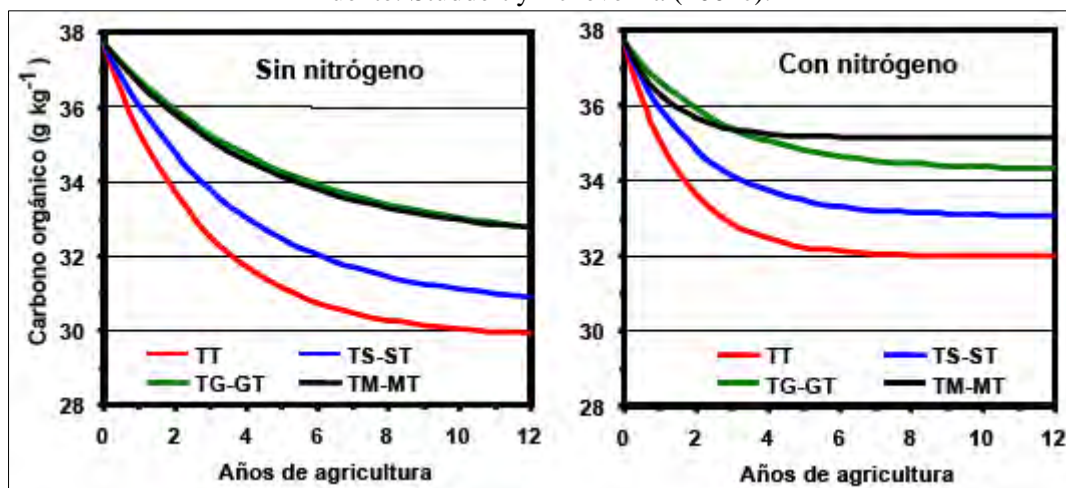


Tabla 4. Aporte de carbono (C) y C humificado en un ciclo de la rotación maíz-trigo/soja para cuatro tratamientos de fertilización en dos sitios del sudeste de Córdoba (Argentina). Los tratamientos NP y NPS incluyeron dosis de nutrientes según diagnóstico y el tratamiento NPS Rep dosis de nutrientes según reposición de los nutrientes extraídos en grano. Elaborado a partir de información de Vicente Gudelj y col. (com. personal).

Tratamiento	Aporte C Residuos # (kg C/ha)	C humificado ## (kg C/ha)
<i>Don Osvaldo</i>		
Testigo	6144	-815
NP	8061	31
NPS	10353	1082
NPS Rep	11381	1532
<i>Los Chañaritos</i>		
Testigo	8358	173
NP	10377	1071
NPS	11019	1359
NPS Rep	11747	1677
# Estimado a partir del índice de cosecha y la concentración de C en residuos. ## Según modelo AMG (Andriulo et al., 1999)		

CONSIDERACIONES FINALES

La producción de alimentos, forrajes y fibras siempre afecta los ecosistemas. El objetivo del manejo adecuado de los suelos es limitar y balancear los procesos de degradación con procesos de producción. La agricultura sustentable se basa en la preservación de la calidad de los recursos naturales: agua, aire, biodiversidad, suelo, etc. La MO es el más importante de los indicadores de la calidad de los suelos. El manejo de rotaciones, siembra directa y fertilidad, adecuado y específico para cada sitio, permitirá mantener y/o alcanzar contenidos de MO sustentables para la producción de cultivos.

REFERENCIAS

- Andriulo A., B. Mary y J. Guérif. 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19: 365-377.
- Bayer C., L. Martín-Neto, J. Mielniczuk, C. Pillon y L. Sangoi. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1473-1478.
- Díaz Zorita M., G. Duarte y J. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65:1-18.

- Fabrizzi K. P., A. Morón y F. O. García. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: in press.
- Fiorin J. E. 1999. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. *En III Curso sobre Aspectos Básicos de Fertilidade e Microbiologia do Solo sob Plantio Direto*. Aldeia Norte Editora. Passo Fundo, RS, Brasil.
- Gómez E., L. Ferreras, S. Toresani, A. Ausilio y V. Bisaro. 2001. Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage. *Soil Till. Res.* 61:179-186.
- Gregory E. y C. Drury. 1996. Fertilizer increases corn yield and soil organic matter. *Better Crops* 80(4): 3-5. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.
- Havlin J.L., D. Kissel, L. Maddux, M. Claassen, y J. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:448-452.
- Moraes Sá J. C. 1996. Manejo de nitrogenio na cultura do milho no sistema plantio direto. Aldeia Norte Editora. Passo Fundo, RS, Brasil.
- Peterson G., D. Westfall, L. Sherrod, D. Poss, K. Larson, D. Thompson y L. Ahuja. 1998. Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin 98-1. Colorado Agricultural Experimental Station. Fort Collins, CO, EE.UU.
- Ruffo M. 2003. Factibilidad de inclusion de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID*. Tomo 1: 171-176. Rosario, Argentina.
- Sá J.C.M., C. Cerri, W. Dick, R. Lal, S. Venske Filho, M. Piccolo y B. Feigl. 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1486-1499.
- Studdert G., y H. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert G. y H. Echeverría. 2002a. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. *En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- Studdert G. y H. Echeverría. 2002b. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. *En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- Studdert G. y H. Echeverría. 2002c. Rotaciones agrícolas y dinámica del carbono orgánico del suelo en Balcarce. *En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.

[Volver a: Sustentabilidad](#)