

INVESTIGACIÓN

INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA SOBRE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO¹

The impact of tillage systems on the quantity and quality of soil organic carbon¹

Hernán Apezteguía² y Roberto Sereno²

ABSTRACT

For the sustainability of an agroecosystem it is imperative to conserve soil organic matter (MO). Soil organic matter can be divided into a moist stable fraction and a dry labile one. Light fraction soil organic matter can be obtained by flotation in a liquid of known density. In the central region of Córdoba, Argentina, in 1983 a long-term tillage trial was established that included these treatments: conventional tillage (LC), vertical tillage (LV) and direct seeding (SD), in a corn/soybean (*Zea mays* L./*Glycine max* Merr.) rotation. The objective of this work was to evaluate tillage effects on the quantity, quality and depth distribution of soil organic carbon. Conservation tillage increased organic carbon content in the top layer (0-10 cm), while conventional tillage had the reverse effect. Direct seeding stored 6.9 Mg ha⁻¹ more organic carbon than conventional tillage at 0-30 cm depth. For the climatic conditions of the region, it acted as a sink for atmospheric CO₂, conventional tillage was a source of CO₂, and vertical tillage conserved initial values. Under direct seeding, stable carbon fractions were significantly greater than in the other tillage systems. Direct seeding was a sustainable system for the region because it produced a greater quantity of carbon with better quality and stability.

Key words: tillage, organic matter, density fractions.

RESUMEN

Para la sustentabilidad de un agroecosistema es imperativo mantener la materia orgánica del suelo (MO). La MO puede dividirse entre la parte humificada, estable, y la parte no humificada, lábil. La extracción por flotación en un líquido de densidad conocida es una forma de obtener la MO lábil. En la región central de la provincia de Córdoba, Argentina, se estableció en 1983 un ensayo de labranzas de larga duración que incluyó los tratamientos: labranza convencional (LC), labranza vertical (LV) y siembra directa (SD), en la rotación maíz/soja (*Zea mays* L./*Glycine max* Merr.). El objetivo del presente trabajo fue comparar cómo los diferentes sistemas de labranza afectan la cantidad, calidad y distribución en profundidad del carbono orgánico. Las labranzas conservacionistas incrementaron el nivel inicial de carbono (C) en los primeros 10 cm de suelo, mientras que la LC tuvo el efecto inverso. Con el sistema SD se pudo almacenar 6,9 Mg ha⁻¹ más carbono orgánico total (COT) que con LC en la profundidad de 0-30 cm. Para las condiciones climáticas de la región, la SD se comportó como sumidero de CO₂ atmosférico, LC como fuente, y LV prácticamente indiferente. Bajo SD el C estable obtenido por diferencia entre el COT y el C lábil, resultó significativamente mayor que bajo los otros sistemas de labranza. El sistema SD se presentó como sustentable para la región, porque permitió acumular mayor cantidad de C, de mejor calidad y estabilidad.

Palabras clave: labranzas, materia orgánica, fraccionamiento densimétrico.

¹Recepción de originales: 05 de abril de 2001.

²Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Gestión Ambiental de Suelo y Agua, c.c. 509-500, Córdoba, Argentina. E-mail: hapezte@agro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

La conservación o mejoramiento del recurso suelo en el largo plazo es condición necesaria para la sostenibilidad de un agroecosistema, y en ese sentido es imperativo mantener la materia orgánica del suelo (MO), la cual es factor determinante de la porosidad y, por lo tanto, de la capacidad de infiltración, retención de humedad, resistencia a la erosión hídrica y eólica, y es fuente básica de fertilidad química (Izaurre et al., 2000). Además, es el más importante reservorio de C a nivel de la superficie de la tierra, que puede contribuir a disminuir o aumentar el tenor de CO₂ atmosférico, y por lo tanto, afectar el cambio climático global (Rosell y Galantini, 1998; Izaurre et al., 2000). Los distintos sistemas de labranzas o de rotaciones pueden afectar el contenido de MO incrementándolo o deprimiéndolo (Solberg et al., 1997; Izaurre et al., 2001).

Los suelos cultivados que poseen un bajo tenor de MO tienen más facilidad para incrementarlo, a través de un manejo adecuado, que aquellos inicialmente más ricos (Nyborg et al., 1995).

La MO puede dividirse entre la fracción húmica estabilizada, y la parte no humificada, lábil. Para determinar esta última se han usado diferentes métodos: tamizado en seco, en húmedo, y flotación por densidad (Strickland y Sollins, 1987; Andriulo et al., 1990; Barrios et al., 1996).

Utilizando el método de flotación en un líquido de densidad conocida se obtiene la fracción liviana, que es una aproximación de la MO lábil y está compuesta por restos poco descompuestos. Para su determinación se han usado diferentes soluciones extractantes (Richter et al., 1975; Cambardella y Elliot, 1993). Experiencias realizadas en Canadá muestran a esta fracción como indicadora de cambios en el contenido orgánico del suelo, los que todavía no son reflejados por el C total o por la fracción humificada (Bremer et al., 1995).

En comparación con la labranza convencional, se ha encontrado bajo siembra directa (SD) mayor cantidad de C orgánico del suelo (CO) y mayor concentración en los primeros 10 cm, debido a la no inversión del suelo (McCallister y Chien, 2000) y a un ambiente menos oxidativo para la actividad microbiana (Abril et al., 1995; Wats et al., 2000; Balesdent et al., 2000). Además, se ha informado que existe una protección física de la MO que se produce a nivel de macro y microagregados, los cuales son destruidos por la labranza (Balesdent et al., 2000). A una escala regional, las condiciones climáticas de alta temperatura y humedad favorecen una rápida descomposición y menores tenores de MO (Trumbore et al., 1996; Huggins et al., 1998).

El objetivo del presente trabajo fue comparar los diferentes sistemas de labranza en cuanto a su efecto sobre la cantidad, calidad y distribución en profundidad del carbono orgánico, bajo las condiciones edafoclimáticas de Córdoba, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en la Estación Experimental Manfredi del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (31°49' lat. Sur y 63°46' long. Oeste), ubicada en la parte central de la provincia de Córdoba, dentro de la región semiárida Argentina. La temperatura media del mes más cálido (enero) es 23,2 °C y la del mes más frío (julio) oscila entre 9 y 10 °C. El régimen pluviométrico es monzónico, con 70% de las precipitaciones entre los meses de octubre y marzo; la media anual es de 760 mm. En comparación con el período 1911-1981, en la última década ha ocurrido un incremento de las precipitaciones, que puede observarse en el desplazamiento de las isohietas de mayor valor hacia el oeste (Casagrande y Vergara, 1996). El balance hidrológico (Thornthwaite y Mather, 1955) indica un déficit hídrico en todos los meses a excepción de marzo. El suelo es un Haplustol típico de textura franco limosa de la serie Oncativo.

El ensayo de labranzas comenzó en 1983, con una rotación constante maíz/soja (*Zea mays* L./*Glycine max* Merr.), con un diseño en bloques aleatorios, con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Las parcelas eran de 420 m² (Núñez Vázquez *et al.*, 1996).

El presente análisis se restringió a los siguientes tratamientos: a) siembra directa (SD) (rastra de discos liviana después de cosecha, barbecho químico y siembra con rastrojos en superficie. A partir de 1992 se cambió a siembra directa completa); b) labranza convencional (LC) (arado de rejas, rastra de discos y rastra de dientes); y c) labranza vertical (LV) (cincel y cultivador de campo).

Anualmente se tomaron muestras compuestas de los 10 cm superiores en tres de los cuatro bloques. En el invierno de 1999 se tomaron muestras compuestas (20 submuestras por parcela) a 0-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad, en los cuatro bloques. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas con tamiz de 2 mm.

Se determinó densidad aparente por el método del barreno (Solberg *et al.*, 1997), en muestras independientes con tres repeticiones por parcela. El muestreo se realizó con un barreno de presión de 42 mm de diámetro y 50 cm de longitud, el cual se introdujo en el suelo observando que éste no se compactara dentro del barreno y se extrajo cuidadosamente el cilindro de suelo. Con un cuchillo afilado se cortó el cilindro a las profundidades correspondientes (Solberg *et al.*, 1997) y los segmentos fueron secados en estufa a 105 °C a peso constante. Esto se hizo solamente para el muestreo de 1999.

Las determinaciones de C fueron hechas por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1996; Apezteguía *et al.*, 2000), y para el muestreo extra de 1999 se determinó con un equipo de combustión seca (Leco Carbon Analyzer, CR12, Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, USA) (Nelson y Sommers, 1996).

Basado en los valores de porcentaje de C y en la densidad aparente se calculó el contenido de carbono orgánico total (COT) en Mg ha⁻¹.

Se efectuó la extracción de la fracción liviana con la técnica de Strickland y Sollins (1987), modificada por Apezteguía y Sereno (1998). Se pesaron 20 g de suelo en un frasco de 75 mL con tapa, se agregaron 40 mL de NaI (d=1,7 g cm⁻³) y se agitó vigorosamente durante 30 min. Se centrifugó durante 20 min. Se extrajo el material flotante con un tubo de plástico conectado a una trompa de vacío. El material así recogido se filtró con papel filtro, se lavó con solución 0,01M de Ca Cl₂ y agua destilada. El papel con el material se secó en estufa a menos de 50 °C. Luego de secado el material se separó del papel filtro con ayuda de un pincel, y se pesó. Se agregó nuevo NaI al suelo en el frasco y se repitió el resto de la técnica. Las dos fracciones extraídas se sumaron y se calculó el porcentaje sobre el peso del suelo. La extracción se realizó por duplicado y sólo para las muestras obtenidas en 1999.

Se determinó C por combustión seca a siete de las muestras de distintas profundidades y el contenido de C promedio se utilizó para calcular el contenido de C liviano.

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para los datos obtenidos en los muestreos de los años 1997 y 1999.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tendencia en el largo plazo (resultados de tres bloques)

Desde el comienzo del ensayo se notó una paulatina diferenciación en los tenores de COT en los centímetros superiores (Figura 1). En los primeros años pareció incrementarse particularmente en la labranza convencional que apareció más alta que SD y LV. Luego se invirtió la relación, se produjo una estabilización en los sistemas conservacionistas SD y LV, mientras que en LC se observó una caída permanente. Se debe recor-

dar que en 1992 se produjo una modificación en el tratamiento SD, hasta entonces éste había sido labranza mínima, y con posterioridad SD propiamente tal.

El año 1997 en la profundidad 0-10 cm se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,06$) entre tratamientos, y correspondieron a SD y LV con respecto a LC, no encontrándose diferencias entre SD y LV. Para el muestreo de 1999, a la misma profundidad hubo diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre los tres tratamientos considerados. Esto sugiere una profundización del efecto de acumulación de C en el suelo en las labranzas conservacionistas. Además SD se distinguió de LV probablemente porque a partir de 1992 se eliminó toda remoción de suelo.

Los contenidos de COT respecto a la situación inicial se incrementaron en las labranzas conservacionistas, particularmente en SD y disminuye-

ron en LC (Figura 1). Se comenzó con un contenido de COT bajo (1,23%), y con la SD se estabilizaron los valores en alrededor de 1,4%. Esto concuerda con lo mencionado por Nyborg *et al.* (1995), quienes indicaron que mediante un manejo adecuado resulta más fácil incrementar los tenores de COT cuando se parte de un valor inicial bajo.

Densidad aparente

La densidad aparente mostró una tendencia inversa a la del COT y fue variable con la profundidad (Cuadro 1). El ANDEVA indicó diferencias entre tratamientos, entre profundidades e interacción entre ambas ($p \leq 0,01$). SD presentó el valor más alto en las dos primeras profundidades y se igualó en la tercera. El valor más bajo correspondió a la profundidad 0-10 cm, se incrementó de 10-20 cm y descendió a la profundidad de 20-30 cm. El tratamiento LV tuvo igual valor

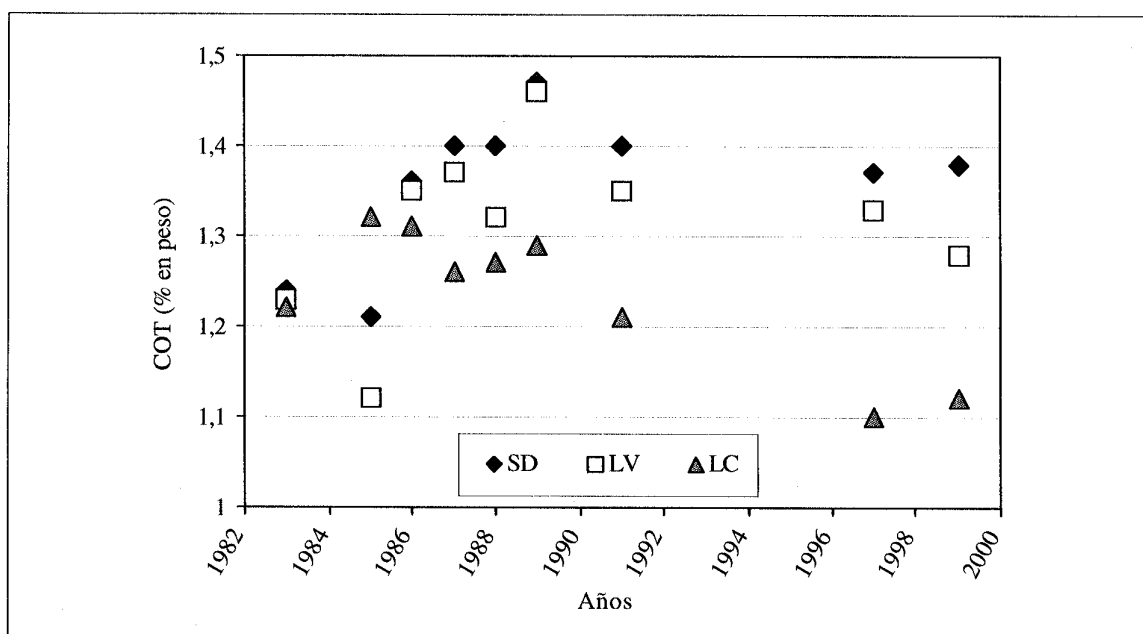


Figura 1. Evolución del carbono orgánico total (COT) en los primeros 10 cm, para siembra directa (SD), labranza vertical (LV) y labranza convencional (LC), expresado como porcentaje en peso de suelo (En la figura se muestran los resultados de tres de los cuatro bloques).

Figure 1. Total organic carbon (COT) evolution in the top 10 cm for direct seeding (SD), vertical chisel tillage (LV) and conventional tillage (LC), expressed as percent of soil weight (In the figure the results of three of the four blocks are shown).

que LC en la primera profundidad, creció con igual pendiente que SD hasta la segunda profundidad y se igualó en la tercera. En cambio, LC presentó siempre los valores más bajos y un crecimiento lineal de la densidad hasta llegar a la tercera profundidad.

Estos valores indican la influencia determinante que tiene la remoción en la densidad aparente de estos suelos, mucho más importante que el contenido de MO, ya que LC removió hasta los 20 cm y LV hasta una profundidad cercana.

La gran diferencia en la densidad aparente de 0-10 y 10-20 cm en los casos de SD y LV fue probablemente debida a la mayor concentración de MO en la primera profundidad (Watts *et al.*, 2000).

Distribución en profundidad y cantidad absoluta de COT

El ANDEVA indicó diferencias significativas e interacción ($p \geq 0,01$) entre tratamientos y profundidades. El COT fue más alto en SD en todas las profundidades (Cuadro 1), aunque las diferencias sólo fueron significativas en la primera, evidenciando la acumulación en superficie que produce este sistema. En LV se observó un incremento superficial, aunque no tan marcado como en SD, y en LC se observó un valor menor en la primera profundidad respecto a la segunda. Otros ensayos realizados en la región semiárida obtuvieron resultados similares (Kruger, 1996; Quiroga *et al.*, 1996). La acumulación superficial de MO es importante para la resistencia del suelo a la erosión hídrica y eólica (Galantini, 1994).

Cuadro 1. Valores de densidad aparente (Dap), carbono orgánico total (COT), C en la fracción liviana (COL), C estable y relación C estable/COT para los distintos tratamientos y profundidades
Table 1. Bulk density (Dap), total organic carbon (COT), carbon in light fraction (COL), stable carbon and stable carbon/COT ratio for the different treatments and depths

	Profundidad (cm)	Dap (Mg m ⁻³)	COT (Mg ha ⁻¹)	COL (Mg ha ⁻¹)	C estable (Mg ha ⁻¹)	C est/COT (%)
SD	0-10	1,11a	17,74a	2,48a	15,27a	86,05
	10-20	1,35a	14,30a	0,45a	13,86a	96,88
	20-30	1,29a	13,04a	0,26a	12,77a	97,99
	0-30		45,08a	3,18a	41,90a	92,94
LV	0-10	1,03b	14,38b	2,33a	12,05b	83,79
	10-20	1,25b	13,71a	0,43a	13,28a	96,83
	20-30	1,27a	11,78a	0,22a	11,57a	98,15
	0-30		39,88b	2,98a	36,90b	92,52
LC	0-10	1,04b	12,27c	0,90b	11,37b	92,69
	10-20	1,16c	13,45a	0,80b	12,65a	94,04
	20-30	1,28a	12,49a	0,38a	12,11a	96,97
	0-30		38,20b	2,08b	36,13b	94,57

SD = siembra directa.

LV = labranza vertical.

LC = labranza convencional.

Resultados seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0,01$). Los valores se comparan entre tratamientos por profundidades.

En la SD la distribución del COT fue igual a la observada bajo vegetación natural, y en los otros dos casos estuvo determinada por el tipo de remoción que han sufrido; en LV la mayor parte de los residuos de cosecha quedan en superficie, de allí que se produzca esta acumulación. En LC la inversión del prisma de suelo lleva los residuos a mayor profundidad, eso explica que se encuentre la mayor riqueza de COT entre los 20 y 30 cm de profundidad.

Además de la distribución, es importante la cantidad absoluta de COT, porque puede mostrar las posibilidades de los sistemas de labranza como fuente o sumidero del CO₂ atmosférico. El COT a 0-30 cm de profundidad, obtenido por sumatoria, fue significativamente superior en SD respecto a LV y LC, pero no existieron diferencias entre estos dos tratamientos. Con el sistema SD se pudieron almacenar 6,9 Mg ha⁻¹ más COT que con la labranza convencional en el total del espesor considerado. Puede concluirse que para los suelos de la región, la rotación maíz/soja, sembrada con SD, se comporta como sumidero de CO₂, realizada con LC se comporta como fuente, y con LV se comporta de una manera intermedia y menos definida.

Carbono orgánico liviano (COL), distribución con la profundidad

El contenido de COL de 0-10 cm fue igual en SD y LV (Cuadro 1), pero significativamente mayor que en LC. En la segunda profundidad el contenido en LC fue superior a SD y LV, y en la tercera los contenidos se igualaron. LC tuvo los menores tenores de 0-10 cm, pero los mantuvo de 10-20 cm, con un comportamiento similar al del COT. Las diferencias no pudieron ser atribuidas solamente a diferente redistribución, ya que las cantidades absolutas fueron diferentes. LC produjo una mayor oxidación y también mayor temperatura del suelo; estas condiciones favorecen la descomposición de esta fracción de la MO, que es más lábil.

Relación entre las fracciones de carbono orgánico

Aun cuando la metodología utilizada para la extracción de la fracción liviana no recupera la totalidad de la fracción orgánica fácilmente descomponible, se supone que es una proporción representativa de aquella, y por lo tanto, la diferencia con el COT está indicando una aproximación al CO más estable, más humificado. Además, puede suponerse que la fracción más lábil es materia prima para la producción de la fracción más estable (Metherell *et al.*, 1993).

Los resultados presentados en la Figura 2 indican que la LC tuvo el menor COL y C estable, en tanto SD poseía la mayor cantidad de COL y de C estable. LV presentó aproximadamente la misma cantidad de COL que SD, pero mucho menos C estable. El C estable de 0-30 cm fue significativamente mayor ($p \leq 0,01$) en SD que en LC y LV, no existiendo diferencias entre estas dos últimas.

Balesdent *et al.* (2000) realizaron un detallado análisis de los factores que afectan la dinámica de la MO, algunos de los cuales explican las diferencias encontradas en este ensayo. Respecto al suelo, la cobertura de residuos en SD reduce la temperatura en 2 ó 3 °C y mantiene la humedad en los primeros centímetros, lo que unido a la mayor densidad aparente y mayor proporción de poros finos, darían condiciones de menor aerobiosis, disminuyendo la actividad microbiana responsable de la mineralización.

La protección física de la MO se verifica en agregados de diferentes tamaños, macro y microagregados, y la labranza los destruye permitiendo el ataque bacteriano (Balesdent *et al.*, 2000). Los microagregados en LC, donde se encuentra la MO humificada, son expuestos al impacto de la gota de lluvia permitiendo su destrucción. En LV también se verifica parcialmente ese fenómeno, porque cuando el cultivo ya está implantado y es la época de mayores precipitaciones tiene poca cobertura de rastrojos. Además, en

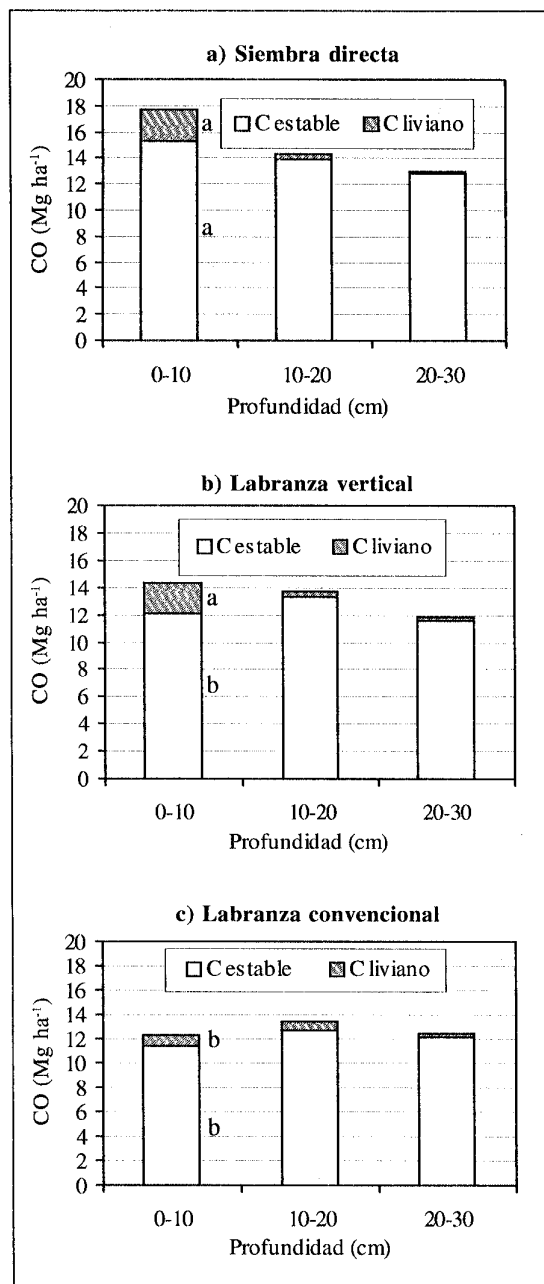


Figura 2. Proporción de carbono orgánico liviano y carbono orgánico estable en: a) siembra directa; b) labranza vertical, y c) labranza convencional. Figure 2. The proportion of light and stable organic carbon in: a) direct seeding, b) vertical chisel tillage, and c) conventional moldboard plow systems. Barras señaladas con diferente letra son significativamente diferentes ($P > 0,01$).

LC los ciclos de humedecimiento y secado son más pronunciados, los cuales también contribuyen a la destrucción de los agregados y exposición de la MO. La LV al igual que SD mantiene una menor temperatura del suelo, pero produce destrucción de agregados en forma similar a LC. Eso explicaría la similitud en el contenido de COL y las diferencias en COT entre ambas labranzas conservacionistas.

La SD al no destruir los microagregados, donde se encuentran las sustancias húmicas y pre-húmicas, proporciona mejor protección de la MO más estable. Por lo tanto, es capaz de acumular MO de superior calidad.

CONCLUSIONES

En las condiciones edafoclimáticas de la provincia de Córdoba se puede concluir que:

Con el sistema SD es posible incrementar el contenido de MO del suelo.

La rotación maíz/soja con SD se comporta como captador de CO_2 , con LC se comporta como fuente, y con LV el resultado es prácticamente indiferente.

Las labranzas conservacionistas acumulan mayor cantidad de C total y liviano en la capa superficial.

Se considera que SD es el sistema más sustentable de los tres porque acumula mayor cantidad de C estable.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Agrónomo Héctor Pedro Salas y al Geólogo Edgar Lovera, técnicos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), por los datos de larga duración. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), a la Agencia Córdoba Ciencia, y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba.

LITERATURA CITADA

- Abril, A., V. Caucas, y F. Núñez Vázquez. 1995. Sistemas de labranza y dinámica microbiana del suelo en la región central de la provincia de Córdoba (Argentina). *Ciencia del Suelo* 13:104-106.
- Andriulo, A., J. Galantini, C. Pecorari, y E. Torioni. 1990. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica (Italia)* 34(5-6):475-489.
- Apezteguía, H.P., E.A. Rampoldi, y R. Sereno. 2000. Evaluación del método de Walkley y Black en suelos del centro de la provincia de Córdoba. Comisión I p. 10. Actas del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 11-14 de abril de 2000. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.
- Apezteguía, H.P., y R. Sereno. 1998. Metodología para la extracción de la materia orgánica liviana del suelo. p. 76. Actas del XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mayo 1998. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Argentina.
- Balesdent, J., C. Chenu, and M. Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res.* 53:215-230.
- Barrios, E., R.J. Buresh, and J.L. Sprent. 1996. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biol. Biochem.* 28:185-193.
- Bremer, E., B.H. Ellert, and L. Janzen. 1995. Total and light-fraction dynamics during four decades after cropping changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1398-1403.
- Cambardella, C.A., y E.T. Elliott. 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56:449-457.
- Casagrande G.A., y G.T. Vergara. 1996. Características climáticas de la región. p. 11-17. *In* Buschiazzo, D.E., J.L. Panigatti, y F.J. Babinec (eds.). Labranzas en la región semiárida Argentina. INTA, Centro Regional La Pampa-San Luis y Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Galantini, J.A. 1994. Modelos de simulación de la materia orgánica en suelos de la región semiárida bonaerense. 69 p. Tesis de Magister Scientiae. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Huggins, D.R., G.A. Buyanovsky, G.H. Wagner, J.R. Brown, R.G. Darmody, T.R. Peck, G.W. Lesoing, M.B. Vanotti, and L.G. Bundy. 1998. Soil organic C in the tallgrass prairie-derived region of the Corn Belt: effects of long term crop management. *Soil Tillage Res.* 47:219-234.
- Izaurrealde, R.C., W.B. McGill, J.A. Robertson, N.G. Juma, and J.J. Thurston. 2001. Carbon balance of the Breton Classical Plots over half a century. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:431-441.
- Izaurrealde, R.C., N.J. Rosemberg, and R. Lal. 2000. Mitigation of climate change by soil carbon sequestration: Issues of science, monitoring, and degraded lands. *Adv. Agron.* 70:1-75.
- Kruger, H.R. 1996. Labranzas en la región semiárida-subhúmeda bonaerense Sur. p. 67-79. *In* Buschiazzo, D.E., J.L. Panigatti, y F.J. Babinec (eds.) Labranzas en la región semiárida Argentina. INTA Centro Regional La Pampa-San Luis y Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- McCallister, D.L., and W.L. Chien. 2000. Organic carbon and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:465-479.

- Metherell, A.K., L.A. Harding, C.V. Cole, and W.J. Parton. 1993. CENTURY Soil organic matter model environment. Technical documentation. Agroecosystem version 4.0. Great Plains System Research Unit. USDA-ARS, Fort Collins, Colorado, USA. Available at: <http://www.nrel.colostate.edu/PROGRAMS/MODELING/CENTURY/CENTURY.html>. Accessed: april 10, 2000.
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1009. *In* Sparks D.L., and J.M. Bartels (eds.). *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3. SSSA Book Series number 5.* Madison, Wisconsin, USA.
- Núñez Vázquez, F., H.P. Salas, O. Bachmeier, W. Robledo, E.F. Lovera, y A. Rollan. 1996. Labranzas en la Region Central de la Provincia de Córdoba. p. 49-66. *In* Buschiazzo, D.E., J.L. Panigatti, y F.J. Babinec (eds.) *Labranzas en la región semiárida Argentina.* INTA Centro Regional La Pampa-San Luis y Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Nyborg, M., E.D. Solberg, S.S. Malhi, and R.C. Izaurralde. 1995. Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N contents after a decade. p. 93-100. *In* R. Lal, J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart (eds.) *Advances in Soil Science: Soil Management and Greenhouse Effect.* Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Quiroga, A.R., M. Monsalvo, D.E. Buschiazzo, y E. Adema. 1996. Labranzas en la región semiárida pampeana central. p. 81-92. *In* Buschiazzo, D.E., J.L. Panigatti, y F.J. Babinec (eds.) *Labranzas en la región semiárida Argentina.* INTA Centro Regional La Pampa-San Luis y Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Richter, M., I. Mizuno, S. Aranguéz, and S. Uriarte. 1975. Densimetric fractionation of soil organo-mineral complexes. *Soil Sci.* 26:112-123.
- Rosell, R.A., and J.A. Galantini. 1998. Soil organic carbon dynamics in native and cultivated ecosystems of South America. p. 11-33. *In* Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart (eds.). *Management of Carbon Sequestration in Soil.* Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Solberg, E.D., M. Nyborg, R.C. Izaurralde, S.S. Malhi; H.H. Janzen, and M. Molina Ayala. 1997. Carbon storage in soils under continuous cereal grain cropping: N fertilizer and straw. p 235-254. *In* Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart (eds.). *Management of Carbon Sequestration in Soil.* Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Strickland, T.C., and P. Sollins. 1987. Improved method for separating light and heavy-fraction organic material from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1390-1393.
- Thorntwaite, C.W., and J.R. Mather. 1955. *The water balance.* 104p. Publications in Climatology III (1) Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey, USA.
- Trumbore, S.E., O.A. Chadwick, and R. Amundson. 1996. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science* 272:393-396.
- Watts, C.W, S. Eich, and A.R. Dexter. 2000. Effects of mechanical energy inputs on soil respiration at the aggregate and field scales. *Soil Tillage Res.* 53:231-243.