

EFFECTOS DE OCHO AÑOS DE SIEMBRA DIRECTA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN LUVISOL CRÓMICO DEL SUROESTE DE ESPAÑA

A. MUÑOZ¹, A. LÓPEZ-PIÑEIRO¹, J.M. RATO², A. ALBARRÁN¹, D. PEÑA, M. RAMÍREZ³, A. GARCÍA¹

¹Área de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Avda de Elvas S/N, 06071 Badajoz, España, e-mail: pineiro@unex.es

²Escola Superior Agraria de Elvas, 254- 7350 Elvas, Portugal

³Área de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Avda de Elvas S/N, 06071 Badajoz, España.

Abstract. The environment conservation requires to develop productive systems to prevent the erosion and assure the maintenance of the soil fertility and optimum use of the water. The objective of this work is to determine the effects that eight years of conservation agriculture technique exercise on the physico-chemical properties of a Cromic Luvisol in Extremadura (Spain) under a semi-arid climate. In order to reach the objective proposed a tillage experiment it will be carried out in experimental parcels. The experimental design will be analyzed as a complete randomized block with three agricultural systems and four repetitions: a) corn crop by direct sowing b) corn crop by conventional agriculture and c) corn crop by direct sowing in a 6 year-old parcel dedicated to non-tillage. An organic matter increment (68%) was observed in SD regarding to LC. The pH values are lower in SD than LC. Also has been verified that LC shows electrical conductivity higher (50%) than SD values. The direct seeding techniques exercise a beneficial effect on selected properties and they are hardly observed lapsed two years from their installation. The improvement observed in the studied soil quality diminishes its vulnerability to erosion, salinization and acidification processes.

Resumen. La conservación del medio ambiente requiere desarrollar sistemas productivos que impidan la erosión y garanticen el mantenimiento de la fertilidad del suelo, así como un óptimo aprovechamiento del agua. El objetivo de este trabajo es valorar los efectos que ocho años de aplicación de técnicas utilizadas en agricultura de conservación (siembra directa en un cultivo de maíz en regadío) ejercen sobre las propiedades físico-químicas de un Luvisol distri-crómico en Extremadura (España) bajo un clima semiárido. Para la consecución del objetivo propuesto se ha llevado a cabo una serie de experiencias en parcelas experimentales de manera que se obtuvieron diferentes técnicas de manejo agrícola en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones por manejo: a) cultivo de maíz mediante técnicas de siembra directa (SD), b) cultivo de maíz mediante técnicas de agricultura convencional habituales en la región (LC) y c) cultivo de maíz mediante técnicas de siembra directa con una antigüedad de 6 años dedicada a este tipo de explotación en el inicio de los ensayos (SDC). Del análisis de los resultados se desprende que en los sistemas de explotación con siembra directa (SDC) se registra un incremento en materia orgánica de hasta un 68% con respecto a LC. Los valores de pH son más ácidos en suelos sometidos a laboreo convencional. Igualmente se comprueba que la conductividad eléctrica registrada en LC es un 50% superior a la de SDC. Las técnicas empleadas en siembra directa ejercen un efecto beneficioso sobre las propiedades seleccionadas que se aprecian apenas transcurridos dos años desde su implantación. La mejora observada en la calidad del suelo

estudiado disminuye su vulnerabilidad frente a procesos degradativos como la erosión, salinización y acidificación.

Palabras Clave: Agricultura de conservación, Siembra directa, Propiedades edáficas, Luvisol

INTRODUCCIÓN

Este estudio centra la atención en un suelo de clima mediterráneo semiárido, que posee condiciones poco favorables para los cultivos agrícolas, al tener que soportar fuertes contrastes térmicos y pluviométricos a lo largo del año. Bajo estas condiciones climáticas, los suelos mediterráneos están muy expuestos a procesos erosivos y de degradación, lo cual supone un grave problema para la productividad agrícola.

Uno de los responsables de la degradación física de estas tierras de cultivo es el sistema de laboreo utilizado, asociado además a la erosión y al efecto directo sobre la pérdida de materia orgánica y la degradación biológica (Lal, 1997). En Europa, la degradación del suelo debido a la erosión y a procesos de compactación es, probablemente, el principal problema causado por la agricultura convencional.

Esta degradación de los suelos afecta a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los agroecosistemas y no es ningún problema aislado, teniendo en cuenta que el 65% de los aproximadamente 1.500 millones de hectáreas de tierras de cultivo que hay en todo el mundo ha experimentado algún grado de degradación del suelo. Ante estas cifras cabe plantearse la búsqueda de soluciones que sean realmente eficaces y realistas en cuanto a sus posibilidades de aplicación.

En los últimos años el interés por la utilización de sistemas de producción sostenibles ha experimentado un notable incremento, persiguiéndose la consecución de óptimos rendimientos conservando el suelo, agua, energía y, en definitiva, protegiendo el medio ambiente (Stamatiadis *et al.*, 1996). Como alternativa a la agricultura convencional, se está desarrollando

desde hace décadas la denominada "agricultura de conservación", basada en la reducción o eliminación del laboreo dejando protegido el suelo con los rastrojos y otros restos vegetales. De entre los diferentes sistemas de conservación, aquél que en la actualidad está recibiendo más estudios y con mayor implantación es el conocido como "siembra directa", que es el utilizado en las parcelas del estudio destinadas a aplicar métodos de agricultura de conservación. En este trabajo se han comparado parcelas de características similares que aplican diversos manejos agrícolas, para conocer las diferencias que puedan causar el laboreo tradicional de la tierra frente al no-laboreo sobre los parámetros edáficos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la consecución de los objetivos propuestos se ha diseñado una serie de experiencias que se han implantado en una parcela con un suelo clasificado como Luvisol distri-crómico, FAO (1999), y ubicada en Madrigalejo (Cáceres). La finca seleccionada es pionera en Extremadura en la aplicación de siembra directa en el cultivo de maíz, concretamente en la actualidad tiene una antigüedad de 8 años. Las experiencias se han planteado de manera que se obtenga tres sistemas de manejos en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento: a) cultivo de maíz mediante técnicas de siembra directa (SD), b) cultivo de maíz mediante técnicas de agricultura convencional habituales en la región (LC) y c) cultivo de maíz mediante técnicas de siembra directa con una antigüedad de 6 años dedicada a este tipo de explotación en el inicio de los ensayos (SDC).

Durante dos años consecutivos se han tomado muestras de suelos que pertenecen a los cinco primeros centímetros de suelo (menos los datos de compactación, que se refieren a los 10 centímetros superficiales). El motivo de tomar las muestras a esta profundidad es poder comparar estos datos edáficos con otros datos microbiológicos tomados simultáneamente dentro del mismo estudio. En todas las muestras se han efectuado las siguientes determinaciones: materia orgánica por oxidación en húmedo con dicromato potásico y posterior valoración del exceso con sulfato ferroso amónico (Nelson *et al.*, 1982); nitrógeno total según el método de Kjeldahl (Bremner *et al.*, 1982); pH sobre una suspensión 1:1 suelo-agua; conductividad eléctrica en pasta saturada según Allison (1973); humedad mediante sonda de perfil tipo PR1, provista de sensores electromagnéticos y compactación del terreno con un penetrómetro de mano con un cono de 1 cm² de superficie.

Para el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el software informático SPSS 11.5 para Windows. Para cada prueba estadística se ha tenido en cuenta la prueba de significación previa correspondiente que dé validez a los resultados, considerando siempre un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan son valores medios de tres tomas de muestras de suelo distribuidas en un año agrícola al comienzo, mediado y final del cultivo y durante dos años consecutivos.

Compactación

Los valores de compactación en SDC son un 40% más bajos que los registrados en LC durante los dos años en los que se ha determinado este parámetro. Durante el segundo año, la compactación del SD desciende un 35% respecto al año anterior, mientras que la del LC se mantiene prácticamente igual que en 2002, lo que supondría un 14% más de compactación respecto a su subparcela contigua, como se observa en la Figura 1.

Se ha descrito que la siembra directa es beneficiosa en términos de compactación del suelo (Prechác, 1997), algo que se observa en este estudio, sobre todo en los resultados del segundo año. Los diferentes manejos analizados presentan diferencias de compactación, que condicionará la capacidad de infiltración, la aireación y el crecimiento adecuado de las raíces a través del suelo.

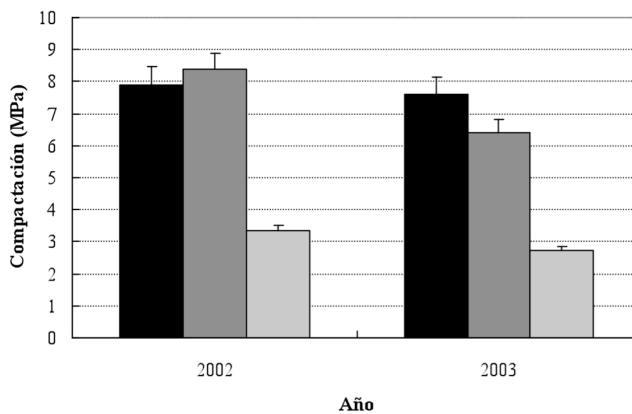


FIGURA 1. Compactación media durante 2002 y 2003. ■: LC; ■:SD y ■:SDC

El tiempo transcurrido es un factor fundamental en la comprensión de estos resultados, pues según Marking (2002), en los suelos donde se comienza a aplicar el no-laboreo se produce un aumento inicial de la compactación, para después disminuir de forma espectacular en el segundo o tercer año de aplicación respecto a los suelos con laboreo. Este hecho obedece a que tanto las raíces como los rastrojos, al igual que la mesofauna, necesitan algún tiempo para generar y construir los túneles y conductos naturales que incrementan la porosidad del suelo. En la subparcela de laboreo tra-

dicional, con escasa o nula cubierta vegetal, el suelo se compacta por el paso de la maquinaria agrícola y por el agua de lluvia o riego.

Humedad

En un clima semiárido es esencial que la humedad del suelo se mantenga el mayor tiempo posible, para que la planta no tenga carencias de agua en ninguna época del año. En la figura 2 se puede observar los diferentes niveles de humedad entre los distintos manejos a lo largo de los dos años de estudio, durante los cuales se registraron estos datos.

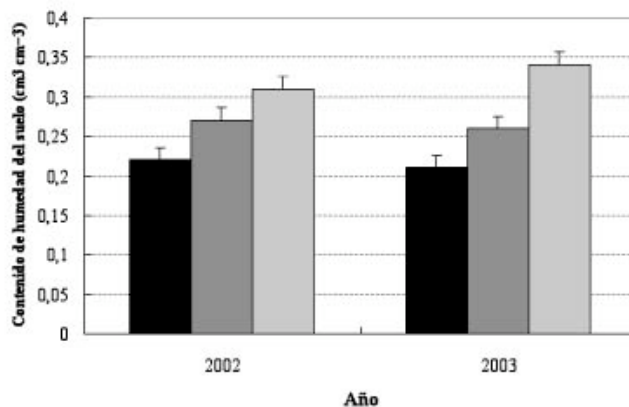


FIGURA 2. Humedad media durante 2002 y 2003. ■: LC; ■:SD y ■:SDC

Los suelos con laboreo convencional mostraron un 33 % menos de humedad que los de siembra directa con ocho años de antigüedad (SDC) y un 20 % menos que los de siembra directa (SD). En LC se puede observar un descenso de la humedad de 2002 a 2003 en estos primeros centímetros de suelo, algo que no ocurre en las zonas donde no se aplica laboreo. Esto es debido a que el arado airea la superficie del suelo y aumenta la evaporación, además de no disponer de una capa de rastrojos de la cosecha anterior sobre el suelo, que sirve al suelo de protección del contra la pérdida de humedad.

En otros estudios la siembra directa también registra mayor contenido de humedad de

suelo, lo que significa menor desecación superficial del suelo y mayor retención de agua en caso de darse largos periodos de sequía; por el contrario, el laboreo convencional tiene mayor desecación superficial, inclusive llegando a niveles de agua no asimilable por los cultivos en periodos de prolongada sequía, según las conclusiones extraídas de estudios en zonas semiáridas.

Carbono orgánico

Una de las causas más frecuentes de degradación química del suelo es la pérdida de materia orgánica, bien por el cultivo o por procesos erosivos que decapitan el suelo. Esto causa una pérdida de nutrientes aniónicos y un

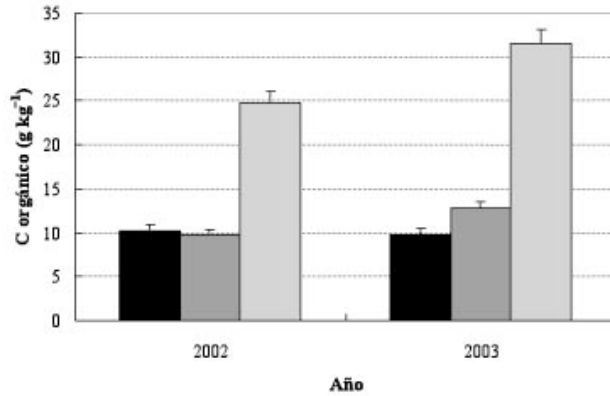


FIGURA 3. Valores medios de carbono orgánico durante 2002 y 2003. ■: LC; ■:SD y ■:SDC

desajuste de las propiedades del suelo relacionadas con la materia orgánica. La figura 3 corresponde a las medidas de carbono orgánico de las muestras recogidas durante 2002 y 2003.

Los suelos con más antigüedad en siembra directa presentan un contenido en carbono orgánico 55% superior al de laboreo convencional en el 2002, ascendiendo este porcentaje en 2003 hasta alcanzar el 68%.

En 2002 tanto LC como SD ofrecen cantidades similares de carbono orgánico, pero durante 2003 el SD tiene un 20% más de carbono orgánico que LC. Mientras este manejo de conservación ha aumentado el contenido en este

parámetro un 8%, en LC ha disminuido un 18%. Esta disminución de materia orgánica puede provocar a corto y medio plazo que el suelo sea más vulnerable a procesos tales como la erosión, compactación, acidificación y salinización.

Nitrógeno total

El nitrógeno es el nutriente más requerido por el maíz, controlando en mayor medida su producción (Andrade *et al.*, 1996), es uno de los factores limitantes de este cultivo. Por este motivo es importante analizar con detenimiento la figura 4.

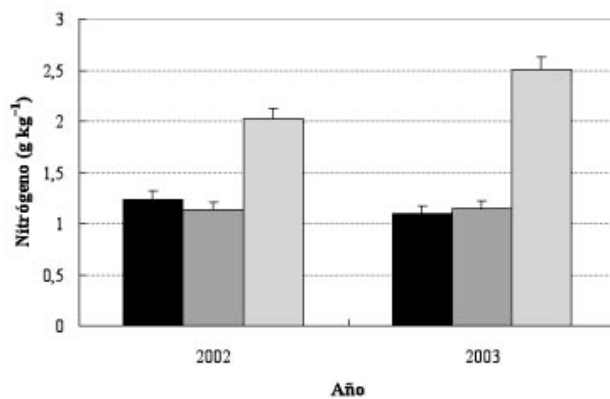


FIGURA 4. Nitrógeno total medio durante 2002 y 2003. ■: LC; ■:SD y ■:SDC

El suelo bajo SDC tiene un 35% más de nitrógeno que el del LC en 2002, elevándose este porcentaje hasta el 58% en 2003. SD se mantiene prácticamente con la misma cantidad de nitrógeno en 2002 y en 2003, mientras que de un año a otro en el LC el contenido en nitrógeno total disminuye un promedio del 23%.

Al no labrarse el suelo se producen cambios muy importantes en la dinámica del nitrógeno. Los rastrojos de maíz dejados en el suelo después de campañas anteriores son una fuente de nitrógeno importante y si no se volatiliza o se inmoviliza, proporcionará al suelo un aporte extra de nitrógeno.

Relación C/N

De la combinación de los datos de materia orgánica y de nitrógeno total, se puede deducir que los suelos sometidos a agricultura de conservación durante más años presentan una relación C/N un 30% superior a la ofrecida en el laboreo convencional. La relación C/N encontrada en SDC nos indica que en estos suelos se produciría una adecuada liberación de N. Por el contrario en LC cabe esperar una excesiva liberación de N.

Se constata también que en los sistemas de no laboreo la mineralización de la materia orgánica se encuentra reducida, haciéndose más lenta la descomposición de los residuos, que originan una relación C/N más alta que en el laboreo convencional. Esto obliga a controlar rigurosamente la relación C/N para evitar la inmovilización del nitrógeno. En consecuencia, los requerimientos de fertilización nitrogenada deben ser superiores en suelos de siembra directa que en los de laboreo convencional.

pH

Según los resultados de este estudio (Figura 5), los suelos de siembra directa presentan valores de pH más elevados que los suelos de laboreo convencional, sobre todo en 2003. Estos resultados contrastan con la disminución de pH que encuentran otros autores en suelos con agricultura de conservación. Este hecho se puede relacionar con la disminución de la materia orgánica registrada en la parcela con laboreo convencional, lo que provoca la disminución de la capacidad tampón del suelo que, como se comprueba, se traduce en mayor vulnerabilidad a la acidificación.

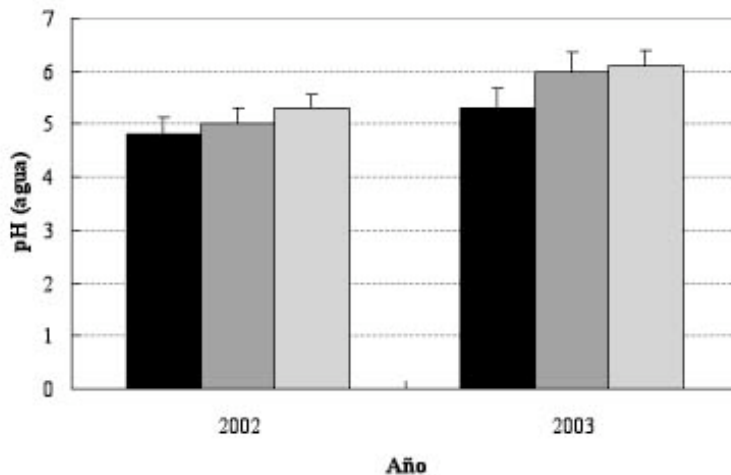


FIGURA 5. pH medio durante 2002 y 2003. ■: LC; ■:SD y ■:SDC

Conductividad eléctrica

Los datos recogidos en los muestreos a lo largo de los dos años muestran considerables diferencias entre los distintos manejos que consideramos, como puede observarse en los valo-

res medios anuales de la figura 6. Los suelos de siembra directa con ocho años de antigüedad tienen una conductividad eléctrica 55% menor a la registrada en LC en 2002. En el 2003 este porcentaje se aproxima al 50%.

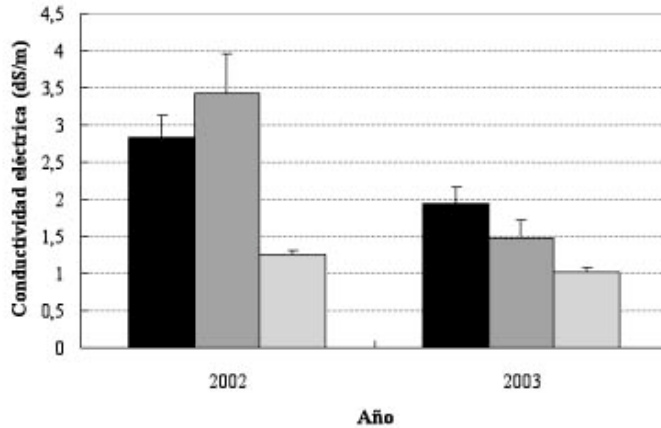


Figura 6. Conductividad eléctrica media durante 2002 y 2003. ■: LC; ■:SD y ■:SDC

Durante junio de 2002 se produjo un aumento considerable de conductividad eléctrica en la parcela que engloba LC y SD. Transcurrido un año, SD disminuye un 57% su conductividad eléctrica, mientras que en LC, solamente disminuye su conductividad en un 30%. Los suelos de laboreo convencional pasan de tener una conductividad eléctrica entre el 13 y 17% menor que los de SD a tener un 25% más.

Análisis factorial de parámetros edáficos

Introduciendo las variables medidas en el

campo (que han sido analizadas anteriormente por años) en un estudio de análisis factorial, obtenemos que en la suma de las saturaciones al cuadrado que se realiza con los datos la rotación Varimax, existen dos componentes que explican casi el 75% de la varianza, como se muestra en la Tabla 1.

Con estos resultados cabe preguntarse cuales son las variables que influyen principalmente en estos componentes, puesto que serán ellas las que expliquen las diferencias esenciales que existen entre los datos de cada manejo que se considera en el estudio. Para ver las variables más influyentes se ha utilizado el mé-

TABLA 1. Varianza total explicada por los componentes edáficos.

Componente	Varianza total explicada
1	42,825%
2	31,424%

todo de extracción que analiza los componentes principales, que da lugar a la matriz de componentes rotados, utilizando el método de rotación Varimax con Kaiser con un número máximo de 25 interacciones para convergencia. De esta forma se obtiene la Tabla 2.

Las variables más influyentes en el componente 1 son: materia orgánica, nitrógeno y humedad, y en el componente 2: pH y conductividad eléctrica. En el trabajo de Feng *et al.* (2003) se describe que la materia orgánica y el

nitrógeno disminuyen junto con la biomasa microbiana en suelos de laboreo convencional, exactamente como se observa en nuestros resultados, destacando la significación de estos dos parámetros edáficos como componentes principales en nuestro estudio, es decir, que estas variables son las que diferencian esencialmente los tres manejos que se consideran. La figura de distribución de vectores derivados del análisis factorial muestra visualmente estas diferencias entre los manejos.

Tabla 2. Componentes edáficos principales

Variables	Componente	
	1	2
pH	0,245	- 0,728
Nitrógeno	0,897	- 0,229
Materia orgánica	0,851	- 0,371
Conductividad	0,102	0,858
Compactación	- 0,619	0,621
Humedad	0,766	0,209

Como muestra la estadística gráfica en la figura 7, el segundo año de implantación de la agricultura de conservación ya se perfilan diferencias entre el Laboreo Convencional (LC) y el manejo de siembra directa (SD) en tan solo dos años de diferenciación de

esta parcela. Este hecho no se pudo concluir durante el primer año ya que según Marking (2002) el suelo sin laboreo comienza a mostrar los efectos de su autorregulación a partir del segundo año.

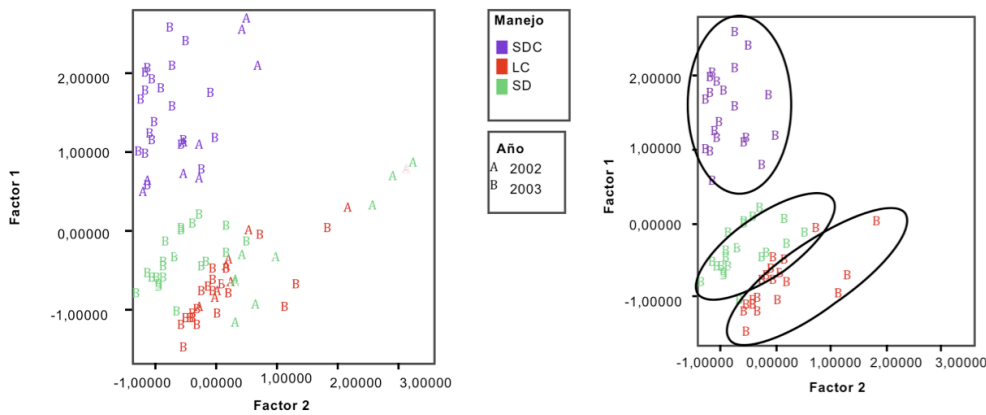


Figura 7. Análisis factorial de los parámetros edáficos estudiados.

CONCLUSIONES

La aplicación de técnicas de siembra directa provoca una disminución en la compactación respecto a los sistemas de laboreo convencional, manifestándose transcurrido el segundo año desde la implantación de estas técnicas. Las prácticas de agricultura de conservación permiten incrementar las reservas de agua disponibles para el crecimiento del cultivo, registrando un 33% más de humedad con respecto al laboreo convencional. Las técnicas de agricultura de conservación provocan un incremento en el contenido de materia orgánica de hasta un 68 % superior a la registrada en suelos de laboreo convencional. Los suelos sometidos a agricultura de conservación ofrecen valores en la relación C/N de hasta un 30% superiores a los de laboreo convencional. Los suelos de laboreo convencional registran valores de pH más ácidos que los que soportan una agricultura de conservación. Los parámetros edáficos analizados se asocian en dos factores que explican el 75 % del total de la varianza. Los efectos de autorregulación se evidencian transcurridos dos años de implantación de la siembra directa.

REFERENCIAS

- Allison, L. E. y Moodie, J. D. 1965. Methods of soil analysis. *American Society of Agronomy*. Part 2: 1389-1392.
- Andrade, F.H.; Echeverría, H. E.; González, N. S.; Uhart, S, Darwich, N. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. *CERBAS*, EEA INTA Balcarce, Boletín Técnico 134: 17.
- Bremner, J. M. y Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total in Methods of soil analysis, part 2. A. L. Agronomy Monog. 9 *ASA and SSSA*, Madison, WI, 595-624.
- Cabeda, M.S.V. 1984. Degradação física e erosão do solo. Simposio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul Brasil. Simposio de Conservação do Solo do Planalto.
- Feng, Y.; Motta, A.C.; Reeves, D.W.; Burmester, C.H.; Van Santen, E, Osborne, J.A. 2003. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 1693-1703.
- García Prechác, F.; Cruse, R.M, Ghaffarzadeh, M. 1997. Tillage effect on soil water content and corn yield in a trip intercropping system. *Agronomy Journal* 89: 893-899.
- Lal, R. 1997. Degradation and resilience of soils. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. 352: 997-1010.
- Marking, S. 2002. No-till fights compaction. *The Corn and Soybean Digest*. November.
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. p. 539-580. En A.L. Page *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*. 2nd ed. Agronomy Monograph 9. *ASA and SSSA*, Madison, WI.
- Stamatiadis, S.; Liopa, A.; Maniati, L.M.; Karageorgu, P; Natioti, E. 1996. A comparative study of soil quality in two vineyards differing in soil management practices. Doran and Alice (eds).
- Wells, K.L; Touchton, J.T. 1985. Soil Management and Fertility for No-Till Production. Proceedings of the 8th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. *The Rising Hope of Our Land.*, Griffin, Georgia.