

## EFFECTOS DE SEIS AÑOS DE LABRANZAS EN UN HAPLUDOL DEL NOROESTE DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

M DÍAZ-ZORITA

EEA INTA Gral. Villegas - CC 153 (6230) Gral. Villegas (Bs.As.), Argentina and Dep. of Agronomy, University of Kentucky, N-122 Agric. Sci. Center North, Lexington, KY, 40546-0091, USA e-mail = zorita@inta.gov.ar

### SIX YEARS OF TILLAGE IN AN HAPLUDOLL FROM THE NORTHWESTERN OF BUENOS AIRES, ARGENTINA

The objective of this research was to select tillage systems for the sustainable management of corn-soybean sequences in soils of the Northwestern of Buenos Aires, Argentina. Evaluation of soil chemical (Total organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, pH) and physical properties (actual and maximum bulk density, soil resistance, aggregate distribution, and wet aggregate stability) was carried out in 1996 from tillage experiments established in 1990 on a Typic Hapludoll. Tillage treatments included: moldboard plowing (LC), chisel plowing (LV) and no-till (SD). After six years of continuous cropping total organic carbon contents (COT) in the 0-30 cm layer decreased 18.9 % and 7.3 % under LC and LV, respectively. No differences in COT between the initial condition and SD were found. Phosphorus (Bray Kurtz 1) content in the 0-3 cm layer was lower under SD than LV or LC. Soil pH was not affected by the different tillage systems. There were no significant differences in corn or soybean yields among tillage systems. SD was shown to be a beneficial management practice conserving the soil fertility of Typic Hapludolls during agricultural cycles, in the Northwestern of Buenos Aires, Argentina.

**Key words:** No tillage; Organic matter, compaction, Corn, Soybean

### INTRODUCCION

Las labranzas modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Los sistemas que mantienen cobertura vegetal sobre su superficie, denominados conservacionistas, mejoran sus características físicas y químicas con respecto a sistemas convencionales y constituyen valiosas herramientas para detener la degradación y mantener su calidad ambiental ya que reducen las pérdidas por erosión y facilitan el secuestro del carbono (Dickey et al. 1994; Buschiazzo, Panigatti 1996). Puricelli (1985) describió a la agricultura continuada bajo sistemas con laboreo de los suelos de la Región Pampeana como un sistema inestable y proclive a la degradación. A pesar de esto, el manejo convencional en esta región incluye el laboreo continuo con arado de rejas en la preparación de la cama de siembra, mientras que los sistemas coiservacionistas (labranza vertical, siembra directa) muestran un menor grado de adopción (Senigagliaesi, Ferrari 1993).

La conservación de la materia orgánica de los suelos es un propósito deseable en los agroecosistemas, tanto por el mantenimiento de las respuestas potenciales de los cultivos como por la reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Su acumulación en los suelos depende básicamente de los aportes de residuos. La reducción de la intensidad de las labranzas y de la duración del ciclo agrícola son herramientas para la conservación del carbono (Robinson et al. 1996).

En general, los contenidos de materia orgánica, la estabilidad de los agregados a la acción erosiva del agua y la densidad aparente en las capas cercanas a la superficie de los suelos son mayores en siembra directa que en labranzas con remoción (Kladivko et al. 1986). Los nutrientes, por ejemplo fósforo y potasio, también son redistribuidos en estos sistemas, concentrándose en la capa superficial de los suelos, sin observarse efectos negativos de este fenómeno sobre la productividad de los cultivos (Dick et al. 1991).

En la Región Noroeste de Buenos Aires es común el establecimiento de pasturas luego que el suelo ha sido cultivado reiteradamente para lograr la recuperación física de su capa superficial. Ante la expansión de las prácticas agrícolas en esta área, a expensas del aumento en la duración de los ciclos bajo cultivos anuales de cosecha, se requiere de la implementación de prácticas de manejo que atenúen las pérdidas de fertilidad de los suelos. Se han descripto variaciones en los efectos de diferentes prácticas de labranza sobre propiedades de los suelos y productividad de los cultivos, dependiendo del ambiente considerado, por lo que no hay un sistema de labranza que pueda ser empleado con éxito en diversas condiciones ambientales (Lal 1991). El propósito de este estudio fue seleccionar sistemas de labranzas para el manejo sustentable durante ciclos agrícolas consecutivos de maíz (*Zea mays* L.) y soja (*Glycine max* (L.) Merrill) a partir de una pastura de festuca (*Festuca arundinacea* Schreber) en un Hapludol Típico representativo de la Región Noroeste de Buenos Aires (Argentina).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la EEA del INTA Gral. Villegas (34°54'S, 63°44'W) en Drabble (Buenos Aires, Argentina). En 1990 se establecieron dos grupos de parcelas cultivadas con maíz y soja en rotación a partir de una pastura perenne de cuatro años de edad con predominio de festuca.

Los suelos, característicos de la Región Noroeste Bonaerense, fueron clasificados como Hapludoles Típicos de textura franco-arenosa en el horizonte superior (Alfieri *et al.* 1991). En esta región el clima es templado-subhúmedo (temperatura media anual = 16,2°C), sin grandes amplitudes térmicas diarias ni anuales. El régimen de lluvias (929 mm año<sup>-1</sup>, período 1974-1994) presenta distribución primavera-estivo-otoñal con un marcado déficit hídrico en enero y en febrero.

El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones, en parcelas de 800 m<sup>2</sup>. Los tratamientos de labranza fueron: 1) convencional (LC) con arado de rejas, 2) vertical (LV) con arado de cinceles y 3) cero o siembra directa (SD) de los cultivos. Las labores primarias de preparación del barbecho (mecánicas y

químicas) se iniciaron anualmente en el mes de agosto. Los repasos de mantenimiento, en LC y LV, se realizaron con vibrocultivador la semana anterior a la siembra de los cultivos (maíz en octubre y soja en noviembre). En las campañas 1994-95 y 1995-96 el cultivo de maíz fue fertilizado en estadios vegetativos (seis hojas desplegadas) a razón de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno aplicados al voleo, en forma de urea. No se realizaron aplicaciones de fertilizantes fosfatados.

El muestreo inicial de los suelos se realizó en mayo de 1990 y el correspondiente a la sexta campaña productiva en mayo de 1996, después de la cosecha mecánica del cultivo de maíz. En ambos casos las profundidades de muestreo fueron: 0 a 3, 3 a 15 y 15 a 30 cm. En cada una de las muestras de suelo secado al aire y tamizado por malla menor a dos mm, se determinó: carbono orgánico total (COT, Nelson, Sommers 1982), nitrógeno total (NT, Kjeldhal semimicro, Bremner, Mulvaney 1982), fósforo extractable (PE, Bray, Kurtz 1945) y pH (1:2,5 en agua, potenciométricamente). También se evaluó la densidad aparente (DA) de cada capa, en muestras inalteradas extraídas con cilindros de 137 cm<sup>3</sup>. Los contenidos totales de COT en la capa 0-30 cm fueron calculados mediante la suma de los cocientes entre la concentración de COT y el peso de cada capa de suelo (cociente entre su DA y el espesor de suelo evaluado).

En julio de 1996 se extrajeron muestras sin disturbar de la capa superficial (0-15 cm) de cada parcela, para determinar la distribución de agregados entre ocho y dos mm (fraccionamiento manual) y el cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados por tamizado en húmedo (CDMP, De Leenheer, De Boodt 1958). Para esta determinación, 100 g de agregados fueron liumedecidos hasta lograr contenidos equivalentes al contenido de humedad en capacidad de campo con gotas de agua aplicadas desde 0,5 m, equilibrados en desecador durante 24 horas y posteriormente tamizados. Se empleó la prueba Proctor (American Society for Testing and Materials 1985) para determinar la densidad aparente máxima (DAMAX) de la capa superficial (0-15 cm) de cada tratamiento en muestras disturbadas tamizadas por malla inferior a dos mm. La prueba de compactación se desarrolló con cinco niveles de humedad para establecer la relación entre DAMAX y humedad del suelo (H, método gravimétrico). La DAMAX fue graficada en función de H y se estableció el valor máximo y el contenido de H correspondiente a éste a través del ajuste de ecuaciones exponenciales entre ambas

variables. Se determinó el COT (Nelson, Sommers 1982) en las muestras utilizadas para esta evaluación.

En el momento de la siembra del cultivo de soja (noviembre de 1996) se evaluó la resistencia a la penetración usando penetrómetro de golpes (cono de 30° y 8,1 cm<sup>2</sup>). Las mediciones se hicieron en capas de cinco cm de espesor hasta los cuarenta cm de profundidad y en transectas con cinco puntos equidistantes a 0,30 m (O'Sullivan *et al* 1987). Los registros de penetrometría se efectuaron 48 horas después de una lluvia de 28 mm, la que determinó contenidos de humedad edáfica entre 20 y 22 % (0-40 cm de profundidad).

La producción de los cultivos se evaluó anualmente por cosecha manual de diez m<sup>2</sup> de cada parcela en estadios de madurez fisiológica. Estos datos se analizaron para todos los años en conjunto considerando análisis de la varianza en un diseño en parcelas divididas y comparando los promedios con la prueba de Tukey (Snedecor, Cochran 1989). En el análisis de los resultados de suelos se emplearon ANOVA, considerando un diseño en bloques completamente aleatorizados, prueba de diferencias de medias de Tukey y análisis de

regresión (Analytical Software 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de COT varió entre 1,45 y 2,60 g kg<sup>-1</sup> (Tabla 1) detectándose una interacción significativa entre sistemas de labranzas y profundidad de la capa evaluada. En cada profundidad, los niveles observados en LC fueron significativamente inferiores a los determinados en SD o en la situación inicial. La información disponible no fue suficiente para detectar diferencias de COT luego de seis años de SD o LV y la situación inicial.

La DA en la capa de 3 a 15 cm (Tabla 1) y la resistencia a la penetración hasta los 15 cm de profundidad fueron mayores en los suelos bajo SD que en LC o en LV. Entre 15 y 25 cm de profundidad la resistencia a la penetración detectada en SD fue sólo superior a la medida en LC (Fig. 1).

Tabla 1: Cambios en propiedades edáficas en tres profundidades de un Hapludol Típico del noroeste de Buenos Aires luego de seis años de aplicar tres sistemas continuos de labranzas. COT = Carbono orgánico total; NT = Nitrógeno total; PE = Fósforo extractable; DA = Densidad aparente; Sit. Inicial = Situación inicial (año cero); SD = Siembra directa; LV = Labranza vertical; LC = Labranza convencional.

|          | COT<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | NT<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | PT<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | pH    | DA<br>(Mg m <sup>-3</sup> ) |
|----------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------|-----------------------------|
| 0-3 cm   |                              |                             |                              |       |                             |
| Sit. Ini | 26,0 a                       | 2,1 b                       | 18,5 ab                      | 6,2 a | 1,26 a                      |
| SD       | 25,7 a                       | 2,0 b                       | 16,9 b                       | 6,3 a | 1,25 a                      |
| LV       | 21,7 a                       | 1,7 ab                      | 23,2 a                       | 6,4 a | 1,25 a                      |
| LC       | 15,6 b                       | 1,3 b                       | 24,2 a                       | 6,1 a | 1,26 a                      |
| 3-15 cm  |                              |                             |                              |       |                             |
| Sit. Ini | 19,3 a                       | 1,5 b                       | 7,9 a                        | 6,2 a | 1,33 ab                     |
| SD       | 18,5 a                       | 1,6 b                       | 8,8 a                        | 6,3 a | 1,40 b                      |
| LV       | 18,0 a                       | 1,5 b                       | 9,7 a                        | 6,2 a | 1,28 a                      |
| LC       | 15,7 b                       | 1,3 a                       | 7,9 a                        | 6,3 a | 1,28 a                      |
| 15-30 cm |                              |                             |                              |       |                             |
| Sit. Ini | 15,6 a                       | 1,3 a                       | 7,2 a                        | 6,3 a | 1,38 a                      |
| SD       | 15,3 a                       | 1,2 a                       | 6,8 a                        | 6,3 a | 1,39 a                      |
| LV       | 15,4 a                       | 1,3 a                       | 8,4 a                        | 6,3 a | 1,38 a                      |
| LC       | 14,5 b                       | 1,3 a                       | 7,2 a                        | 6,2 a | 1,34 a                      |

Letras distintas en sentido vertical, para cada profundidad, indican diferencias significativas entre sistemas de labranza ( $p < 0,05$ ).

Larney y Kladviko (1989) observaron que cuanto menor fue el laboreo de un Molisol la zona de máxima dureza se ubicó más cercana a la superficie del suelo. Según Vepraskas (1994), los valores de DA y de resistencia a la penetración observados no limitarían el normal desarrollo de las raíces en suelos de textura similar a la presente en este estudio.

El COT en la capa 0-30 cm fue mayor en la condición inicial ( $72,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) o en SD ( $72,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) que en LV ( $67,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y en LC ( $59,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

La pérdida del 18,9 % de COT en LC con respecto a la situación inicial fue superior a la descrita por Andriulo *et al.* (1987) para el mismo sistema de laboreo en un Argiudol Típico del centro de Argentina.

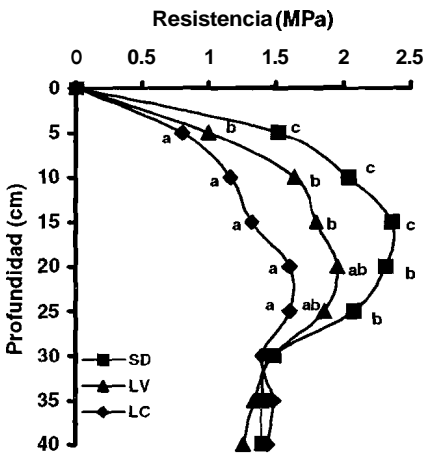


Figura 1: Perfil medio de resistencia a la penetración de un Hapludol Típico del noroeste de Buenos Aires sometido a tres sistemas continuos de labranzas durante seis años. SD = Siembra directa; LV = Labranza vertical; LC = Labranza convencional. Letras iguales o su ausencia en sentido horizontal (cada profundidad) indican diferencias no significativas entre sistemas de labranzas ( $p < 0,05$ ).

Esta diferencia es atribuible a que la textura y las condiciones ambientales favorecen la rápida mineralización del carbono en Hapludoles Típicos con respecto a lo esperable en un Argiudol Típico (Conti *et al.*

1992). Las mayores concentraciones de COT en la superficie de los suelos en detectadas SD y en LV que en LC ha sido descrita para diferentes secuencias de cultivos y tipos de suelos (Havlin *et al.* 1990). La mayor conservación de COT en SD que en LC, ante similares aportes de residuos de cosecha, es explicado por una mayor tasa de oxidación del carbono en este último sistema de labranza (Costantini *et al.* 1995). Este comportamiento se asocia con la redistribución en profundidad de los residuos de cosecha y con la exposición de nuevos sitios de descomposición (Dalal Mayer 1986).

La información disponible no fue suficiente para detectar interacciones entre sistemas de labranza y las campañas estudiadas, ni diferencias significativas en los rendimientos de maíz cultivado en LC ( $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), en LV ( $7,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) o en SD ( $7,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). El mismo comportamiento se observó al comparar los rendimientos de soja entre LC ( $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), LV ( $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y SD ( $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

La proporción de agregados del suelo menores a dos mm en la capa 0-15 cm fue mayor en LC y LV que en SD. En este sistema predominaron los agregados mayores a ocho mm. No obstante, la inestabilidad de los agregados fue sólo mayor en LC, sin detectarse diferencias entre LV y SD. La susceptibilidad a la compactación de esta capa, medida a través de la DAMAX, fue similar en SD que en LV e inferior a la determinada en LC. El contenido de humedad en el que se detectó la DAMAX fue mayor en SD y en LV que en LC. Estos comportamientos estuvieron asociados a los contenidos de COT en las muestras estudiadas, los que fueron significativamente mayores en SD y LV que en LC (Tabla 2). Se comprobó que los sistemas de manejo que promueven la conservación de altos contenidos de materia orgánica en las capas superficiales de los suelos son una defensa contra la formación de compactaciones (Thomas *et al.* 1996) y favorecen la agregación de partículas minerales (Tisdall, Oades 1982).

Tabla 2: Cambios en el diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP), densidad aparente máxima (DAMAX), contenido de humedad en el punto de DAMAX (H), distribución de agregados y contenido de carbono orgánico total (COT) de la capa 0-15 cm de un Hapludol Típico de la región noroeste de Buenos Aires sometido a tres sistemas continuos de labranza durante seis años. SD = Siembra directa; LV = Labranza vertical; LC = Labranza convencional.

| Labranza | CDMP<br>(mm) | DAMAX<br>(Mg m <sup>-3</sup> ) | H<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Agregados (%) |        | COT<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
|----------|--------------|--------------------------------|----------------------------|---------------|--------|------------------------------|
|          |              |                                |                            | < 2 mm        | > 8 mm |                              |
| SD       | 0,69 a       | 1,45 a                         | 202 a                      | 7,2 a         | 82,6 b | 19,2 a                       |
| LV       | 0,68 a       | 1,48 a                         | 199 a                      | 22,2 b        | 60,3 a | 18,6 a                       |
| LC       | 1,13 b       | 1,54 b                         | 191 a                      | 30,8 b        | 49,9 a | 16,3 b                       |

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre sistemas de labranzas ( $p < 0,05$ ).

Los contenidos de NT estuvieron estrechamente relacionados con los niveles de COT y mostraron una acumulación significativa en la capa superficial de los suelos bajo SD y una distribución uniforme en la capa 0-15 cm de LC (Tabla 1). En cambio, si bien muchos autores han descripto una mayor disponibilidad de fósforo en la superficie de los suelos manejados con SD que con LC, los resultados de este estudio mostraron una reducción significativa del PE en el estrato superficial de los suelos con SD con respecto a los de LC y LV (Tabla 1), coincidiendo con observaciones de Galetto *et al.* (1992). Se han descripto reducciones en la disponibilidad de este nutriente en las capas subsuperficiales de suelos en sistemas de SD en comparación con suelos bajo laboreo, atribuyendo el comportamiento al ciclado desde capas profundas para su acumulación superficial (Lal *et al.* 1990).

La acidez del suelo es frecuentemente modificada por las prácticas de labranza. En general el pH desciende en sistemas de SD como resultado de aumentos en los contenidos de materia orgánica (Buschiazzo, Panigatti 1996) o de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Blevins *et al.* 1983). En este estudio, al igual que en otros desarrollados en la Región Pampeana (Krüger 1996), la reducción en los valores de pH no se ha manifestado (Tabla 1). Este hecho es atribuible a que, en los seis años evaluados, las dosis aplicadas de fertilizantes fueron escasas y no se observaron cambios significativos en los contenidos ni distribución del COT con respecto a la situación inicial.

Basados en seis años de observaciones, es posible concluir que SD, debido a que conserva la materia orgánica inicial y mejora la estabilidad de los agregados, puede mantener la productividad de un Hapludol Típico representativo del noroeste de Buenos Aires (Argentina). Esto no ocurre en sistemas de laboreo con arado de rejas o cinceles. Los cambios observados en las propiedades físicas en SD no serían críticas para la normal productividad de cultivos de maíz o de soja en rotación.

## REFERENCIAS

- Alfieri A E, Viale J C, Sobral R E. 1991. Carta de suelos del campo experimental de la EEA General Villegas. INTA - CIRN, 90 pág.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1985. Standard test for moisture density relations of soils using 5.5-lb (2.5 kg) hammer and 12 inch (304.8 mm) drop. 1985 Annual Book of ASTM Standards, Part 19. pp. 157-162
- Analytical Software. 1996. Statistix for windows. User's Manual. 333 pág.
- Andriulo A, Rosell R A, Crespo M B. 1987. Effect of tillage on organic matter properties of a soil of central Argentina. *Science of The Total Environment* 62: 453-456
- Blevins R L, Smith M S, Thomas G W, Frye W W. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 38: 301-305
- Bray R H, Kurtz L T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner J M, Mulvaney C S. 1982. Nitrogen-Total. In A.L. Page, R.H. Miller, and

- D.R. Miller (Eds) Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp 595-624
- Buschiazzo D E, Paiigatti J L. 1996. Labranzas en la Región Semiárida Argentina. Consideraciones finales. Eu: Buschiazzo D E, Panigatti J L, Babinec F (Ed). Labranzas en la Región Semiárida Argentina. pp. 147-156
- Conti M E, Palma R M, Arrigo N, Giardina E. 1992. Seasonal variations of the light organic fractions in soils under different agricultural management systems. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 1693-1704
- Costantini A, Segat A, Cosentino D. 1995. The effect of different soil management procedures on carbon cycle components in an Entic Hapludoll. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 2761-2767
- Dalal R C, Mayer R J. 1986. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Aust. J. Soil Res.* 24: 282-292
- De Leenheer L, De Boedt M. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Proc. Internac. Symposium of Soil Structure.* Gent (Bélgica), 290-330
- Dick W A, McCoy E L, Edwards W M, Lal R. 1991. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. *Agron. J.* 83: 65-73
- Dickey E C, Jasa P J, Grisso R D. 1994. Long-term tillage effects on grain yield and soil properties in a soybean/grain sorghum rotation. *J. Prod. Agric.* 7: 465-470
- Galleto M L R de, Blotta L, Zeljkovich V, Hansen O. 1992. Sistemas de labranzas eii la rotación maíz-trigo-soja evaluación de las propiedades químicas del suelo, a los 5 años de implantado el ensayo. *EEA INTA Pergamino, Carp. Prod. Vegetal XI Inf.* 90:1-9
- Haviri J L, Kissel R J, Maddux L D, Claassen M M, Long J H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452
- Kladivko, E J, Griffith D R, Mariner J V. 1986. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soybeans in Indiana. *Soil Tillage Res.* 8: 277-287
- Kröger H. 1996. Sistemas de labranza y variaciones de propiedades químicas en un Hapludol éntico. *Ciencia del Suelo* 14: 104-106
- Lal R, Logan T J, Fausey N R. 1990. Long-term tillage effects on Mollic Ochraqualf in North-west Ohio. III. Soil nutrient profile. *Soil Till. Res.* 15: 371-382
- Lal R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil Till. Res.* 20: 133-146
- Larney F J, Kladivko E J. 1989. Soil strength properties under four tillage systems at three long-term study sites in Indiana. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1539-1545
- Nelson D W, Sommers L E. 1982. Total carbon, organic, carbon, and organic matter p. 539-579. In: *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties* A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Miller eds. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- O'Sullivan M F, Dickson J W, Campbell D J. 1987. Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. *J. Soil Sci.* 38: 137-148
- Puricelli C A. 1985. La agricultura rutinaria y la degradación del suelo en la Región Pampeana (Sector: Provincias de Buenos Aires, Córdoba y La Pampa). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 4: 33-48
- Robinson C A, Cruse R M, Ghaffarzadeh M. 1996. Cropping system and nitrogen effects on Mollisol organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 264-269
- Senigaglia C, Ferrari M. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. In: *International Crop Science, Crop Sci. Soc. América (Ed.)*. pp. 27-35
- Snedecor G W, Cochran W C. 1989. *Statistical methods.* Iowa State University Press. 503 pág.
- Thomas G, Hazler G R., Blevins R L. 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the proctor test. *Soil Sci.* 161:502-508
- Tisdall J M, Oades J M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163
- Vepraskas, M J. 1994. Plant response mechanisms to soil compaction. In: *Wilkinson R E (Ed). Plant-Environment interactions.* pp.263-287