

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

M DÍAZ-ZORITA⁽¹⁾, M BARRACO⁽²⁾, C ALVAREZ⁽²⁾

(1) Cátedra de Cereales, Universidad Nacional de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, C1417DSE - Cdad. de Buenos Aires y Nitragin Argentina S.A., Parque Industrial Pilar, Calle 10 y 11, (1630) Pilar, Buenos Aires, Argentina. mdzorita@speedy.com.ar

(2) EEA INTA General Villegas, CC 153, (6230) General Villegas, Buenos Aires, Argentina. suelosvillegas@correo.inta.gov.ar

Recibido 20 de noviembre de 2003, aceptado 13 de abril de 2004

EFFECTS OF TWELVE YEARS OF TILLAGE PRACTICES ON AN HAPLUDOLL FROM THE NORTHWESTERN PART OF BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

Tillage practices under continuous agricultural systems modify soil properties and can affect crop productivity. Our objective was to determine long term effects of three tillage systems [moldboard plowing (AR), chisel plowing (AC) and no-tillage (SD)] on maize (*Zea mays* L.) and soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] and on soil properties of a Hapludoll from northwestern part of Buenos Aires province (Argentina). In fall 2003, soil chemical [soil organic matter (SOM), extractable phosphorus (Pe) and water pH] and physical properties (bulk density, soil penetration resistance and fragment size distribution) were determined from a tillage experiment established in 1990 under a fescue (*Festuca arundinacea* L.) sod (PF). Averaged over the studied period, none of the tillage systems significantly modified soybean or maize grain yields. After twelve years of continuous cropping, SOM in the 0 to 5 cm layer decreased 36% and 32% under AR and AC, respectively. No differences in SOM between SD and PF were observed. Soils Pe levels in the 0 to 5 cm layer were lower under SD and PF than under disruptive tillage practices. Soil pH was not affected by the different tillage systems. The mean size of the soil fragments was greater under SD than under AR or AC. Due to the positive effect of no-tillage practices on SOM conservation and soil aggregation the adoption of no-tillage practices is a recommended practice for establishing sustainable agricultural production systems in Hapludolls from the northwestern part of Buenos Aires province, Argentina.

Keywords: soybean, maize, no tillage, moldboard tillage, Pampas region, soil organic matter

INTRODUCCION

Los sistemas de producción agropecuarios tradicionales desarrollados en la región noroeste de la provincia de Buenos Aires durante gran parte del siglo XX comprendieron rotaciones de cultivos anuales de cosecha con pasturas perennes bajo pastoreo directo en proporciones prácticamente equivalentes. Sin embargo, a partir de la década del '90, las áreas asignadas a cada actividad han variado reduciéndose la superficie bajo pasturas e incrementándose las áreas agrícolas, fundamentalmente con cultivos de ciclo estival [maíz (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.) y en menor proporción girasol (*Helianthus annuus* L.)], generalizándose también la adopción de sistemas de cero labranza (García *et al.* 2000, Díaz-Zorita *et al.* 2002).

Abundantes estudios muestran que

la intensificación de las prácticas agrícolas bajo laboreo genera reducciones en los contenidos de materia orgánica (MO), en el tamaño y la estabilidad de los agregados y pérdidas en la capacidad de captación y aprovechamiento del agua (Quiroga *et al.* 1998). En estos suelos se ha descrito que la producción agrícola en sistemas en cero labranza contribuye a la conservación de los contenidos de MO, al desarrollo de sistemas estructurales estables mejorando la capacidad de captación y uso de agua para los cultivos (Dardanelli 1998). No obstante, los cambios en las propiedades de los suelos no sólo dependen del sistema de labranza instalado sino también, entre otros factores, del tipo de suelo y condiciones climáticas (Buschiazzo *et al.* 1996), de los niveles iniciales de MO (Fenster, Peterson 1979), de la secuencia y los rendimientos de los cultivos y los aportes de residuos de cosecha (Havlin *et al.* 1990).

Los niveles extractables de fósforo (Pe) también son modificados por el manejo de los suelos. Algunos estudios muestran que bajo prácticas continuas de cero labranza el Pe superficial de los suelos se incrementa, fundamentalmente por la acumulación de residuos orgánicos ricos en P y aportes por fertilización (Holanda *et al.* 1998; Lal *et al.* 1990). Otros estudios han descrito que el laboreo de los suelos induciría a aumentos en los contenidos de Pe por una potencial retención en formas orgánicas superficiales (Giuffré *et al.* 1995). Mientras tanto, también se ha observado que si bien las labranzas modifican las concentraciones de P en fracciones orgánicas y totales, con una mayor protección y acumulación de las primeras en sistemas de cero labranza, no afectarían significativamente al Pe (Selle *et al.* 1999).

La información es variada e inconsistente en lo que se refiere a los efectos de los sistemas de labranza sobre la compactación y la resistencia de los suelos. Por ejemplo, se han hallado mayores valores de densidad aparente en suelos bajo cero labranza, en comparación con sistemas con laboreo (Elisondo *et al.* 2001; Ferreras *et al.* 2000), pero también similares (Ferreras *et al.* 2000, Kruger 1996) o menores (Sanchez, García 1998). Estas diferencias se atribuyen, entre otros factores, a interacciones debidas al tipo de suelo, contenidos de MO, secuencias de cultivos y manejo del tránsito de maquinaria (Griffith *et al.* 1986, Hill 1990,). Similar es el caso de la dureza/compactación de los suelos, evaluada a partir de su resistencia a la penetración (RP), con mayoritarios estudios describiendo una mayor RP superficial de suelos bajo cero labranza que en sistemas con laboreo (Ferreras *et al.* 2000, Kruger 1996; Taboada *et al.* 1998). Los aumentos en la RP bajo cero labranza se explicarían por la consolidación de sistemas porosos estables con predominio de micro y mesoporos con aumentos en la cohesión entre unidades estructurales (Kay 1990).

En general, la inclusión de sistemas de cero labranza conduce a aumentos superficiales en propiedades edáficas (estratificación), en particular de MO, que resultarían independientes de los niveles de producción (Franzluebbbers 2003). El índice de estratificación de la MO (relación entre concentraciones en capas super-

ficiales y subsuperficiales del suelo) al vincularse estrechamente con propiedades hídricas de los suelos (ej. infiltración, retención de humedad, etc.) podría emplearse como herramienta sencilla de diagnóstico para la identificación de estrategias de manejo mejoradoras de estas propiedades.

En el noroeste de la provincia de Buenos Aires predominan suelos clasificados como Hapludoles con textura superficial franca a franco-arenosa. A partir de la información regional disponible se infiere que en los Hapludoles del noroeste de Buenos Aires, la incorporación de sistemas de cero labranza contribuiría a la conservación de los contenidos de MO con aumentos en su estratificación. La continuidad en el largo plazo de prácticas de no remoción de suelos contribuiría a mejorar el estado estructural de los suelos atenuando su resistencia a la penetración, permitiendo la prolongación de ciclos de producción agrícola anual.

Es objetivo de este estudio determinar los efectos de largo plazo de tres sistemas de manejo de un Hapludol del noroeste de Buenos Aires (Argentina) sobre la evolución de algunas de sus propiedades y sobre la productividad de cultivos de maíz y soja en rotación.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló en el Campo Experimental de la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en General Villegas (34°54'S, 63°44'W) en Drabble (Buenos Aires, Argentina), sobre un suelo Hapludol Típico. En 1990 se establecieron, a partir de una pastura de 4 años de edad con predominio de festuca (*Festuca arundinacea* L.), cultivos de soja y de maíz en rotación bajo tres sistemas de manejo de los suelos: (a) cero labranza o siembra directa de los cultivos con control químico de malezas (SD), (b) labranza con arado de rejas, discos de doble acción y cultivador de campo (AR) y (c) labranza con arado de cinceles y cultivador de campo (AC). En los tres manejos, el control de las malezas durante el cultivo fue realizado químicamente. El tratamiento con pastura de festuca (PF) se mantuvo con cortes frecuentes con desmalezadora sin remoción del forraje ni aplicaciones de agroquímicos.

La siembra de los cultivos de maíz se realizó anualmente en la primer quincena de octubre, con aplicación superficial, a partir de la campaña 1994, de 100 kg ha⁻¹ de N (urea, 46-0-0) en el estadio de v6. En todas las campañas, los cultivos de soja fueron sembrados durante la segunda quincena del mes de noviembre empleándose semilla inocula-

da pero sin el agregado de fertilizantes. Durante la experiencia no se realizaron aplicaciones de fertilizantes fosfatados en los cultivos de soja y solamente en las campañas siguientes a la 2000 los cultivos de maíz fueron fertilizados con fosfato diamónico (18-46-0) a razón de 50 kg ha⁻¹ año⁻¹.

En abril del 2003, luego de la cosecha de los cultivos, se tomaron muestras compuestas de los suelos en las profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm para la determinación de concentración de MO (Walkley Black), del Pe según el método de Bray Kurtz 1 (Bray Kurtz) y del pH en agua por potenciometría. Además se tomaron muestras intactas de los suelos por duplicado con cilindros de 60 mm de diámetro de la capa de 0 a 10 cm de profundidad. Estas muestras, luego de secas al aire hasta aproximadamente contenidos de 40 g kg⁻¹ de humedad gravimétrica fueron fragmentadas empleando el método de caída-ruptura con una energía específica equivalente 0,013 J g⁻¹. Luego del frag-

mentado, cada una de las muestras se colocaron cuidadosamente sobre una batería de tamices de 16, 8, 4, 2 y 1 mm de diámetro de abertura y fueron tamizados durante 30 segundos con una vibración de aproximadamente 50 Hz (Díaz-Zorita *et al.* 2000). El tamaño superior de los fragmentos se estimó como la máxima longitud de las muestras (i.e. 100 mm). Se empleó la fracción de masas retenidas en los tamices para calcular la distribución media de fragmentos según el cálculo del primer momento (M_1),

$$M_1 = S f M_0 100^{-1} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

donde, f = frecuencia de cada clase de tamaño y M_0 = tamaño medio en cada clase. El primer momento o tendencia central ha sido sugerido como un parámetro análogo del diámetro medio ponderado e independiente del modelo de distribución de frecuencias de clases de tamaños (Díaz-Zorita *et al.* 2001).

En las profundidades de 0 a 5, 5 a 15 y 15 a 30 cm se determinó por duplicado la densidad

Tabla 1. Concentración de materia orgánica, niveles extractables de P, pH en agua y densidad aparente según profundidad de muestreo y sistema de manejo de los suelos (AR: labranza con arado de rejas, AC: labranza con arado de cinceles, SD siembra directa y PF pastura de festuca). Letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre profundidades en cada manejo de suelos (LSD, p<0,05). Letras mayúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre sistemas de manejo de suelos en cada profundidad (LSD, p<0,05).

Table 1. Soil organic matter concentration, extractable P levels, water pH and bulk density distribution among sampling depth and soil management system (AR: moldboard tillage, AC: chisel tillage, SD: no-tillage and PF: fescue sod). Different lower case letters in each column show significant differences between soil depth within each soil management system (LSD, p<0.05). Different capital letters in each line show significant differences between soil management system within each soil depth (LSD, p<0.05).

Profundidad (cm)	AR	AC	SD	PF
----- Materia orgánica (g kg ⁻¹) -----				
0 a 5	26,1 a A	27,8 a A	35,3 a B	37,1 a B
5 a 10	25,6 a A	26,8 a AB	26,8 b AB	28,4 b B
10 a 15	25,0 a A	24,6 b A	23,0 c A	23,4 c A
15 a 20	22,3 b A	23,6 c A	21,8 c A	23,1 c A
----- P extractable (mg kg ⁻¹) -----				
0 a 5	16,2 a A	14,6 a B	15,4 a AB	18,0 a A
5 a 10	12,6 a A	10,5 b AB	11,5 ab AB	9,7 b B
10 a 15	11,9 a A	9,5 b A	8,8 b A	8,2 b A
15 a 20	11,5 a A	7,8 b A	8,5 b A	8,1 b A
----- Water pH -----				
0 a 5	6,1 a A	6,0 a A	6,0 a A	5,8 a A
5 a 10	5,9 a A	5,9 a A	6,0 a A	5,9 a A
10 a 15	6,0 a A	5,9 a A	6,0 a A	6,1 b A
15 a 20	6,0 a A	6,0 a A	6,1 a A	6,1 b A
----- Bulk density (Mg m ⁻³) -----				
0 a 5	1,22 a A	1,21 a A	1,32 a B	1,34 a B
5 a 15	1,33 b A	1,36 b B	1,37 b B	1,38 b B
15 a 30	1,45 b B	1,39 b A	1,35 b A	1,37 b A

aparente (DA) de los suelos según el método del cilindro. También se evaluó la RP con penetrómetro de impactos en capas de 0,05 m de espesor hasta los 0,40 m de profundidad en transectas con cinco puntos equidistantes a 0,30 m transversales a la línea de cultivos.. Simultáneamente se determinó el contenido gravimétrico de humedad de los suelos en cada una de las capas evaluadas.

Aualmente, desde el inicio del estudio, los rendimientos en granos los cultivos se estimaron a partir de la cosecha y trilla manual de 10 m² por parcela en estadios de madurez fisiológica, expresándose los resultados con contenidos de 140 g kg⁻¹ de humedad de los granos. El estudio se desarrolló con un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y parcelas de 800 m² (20 m de frente x 40 m de longitud). Anualmente se siembran tanto los cultivos de maíz como de soja sobre antecesor soja o maíz, respectivamente. Tanto las evaluaciones de suelos como de producción de cultivos se realizaron sobre sectores de las parcelas con predominio de Hapludoles Típicos.

Los registros climáticos (temperaturas, precipitaciones, evaporación del tanque tipo A) fueron recolectados en la estación agrometeorológica de la EEA INTA General Villegas distante 5000 m del sitio del ensayo.

En el análisis de resultados de suelos se emplearon metodologías de análisis de la varianza simple y doble considerando tratamientos divididos por profundidad de muestreo o fracción de tamizado dentro de cada sistema de manejo (factor

principal). Se evaluaron los efectos de los tratamientos de labranza sobre los rendimientos de los cultivos para cada campaña a partir del análisis de la varianza simple protegido. Para la evaluación del efecto acumulado de las labranzas sobre la producción de grano de maíz o de soja se consideraron los promedios anuales de cada tratamiento como repeticiones empleándose también un análisis de la varianza simple protegido. Los promedios de los tratamientos se compararon según el método de diferencia mínima significativa (LSD) y además se utilizaron análisis de regresión simple y múltiple. En todos los casos los análisis se realizaron con el programa Statistix ver7.0 (Analytical Software, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSION

Materia orgánica, fósforo extractable y pH

Los contenidos de MO variaron entre 21,8 y 37,1 g kg⁻¹ mostrando diferencias significativas entre profundidades de muestreo y sistemas de labranza. En general, la concentración de MO fue mayor en SD que bajo prácticas agrícolas con laboreo (Tabla 1). Las mayores diferencias entre sistemas de laboreo se observaron en la capa de 0 a 5 cm de profundidad donde se acumularon 15,9; 16,8; 23,3; o 24,8 Mg ha⁻¹ de MO para en los tratamientos de AR, AC, SD o PF, respectivamente. Los sistemas con laboreo, AR

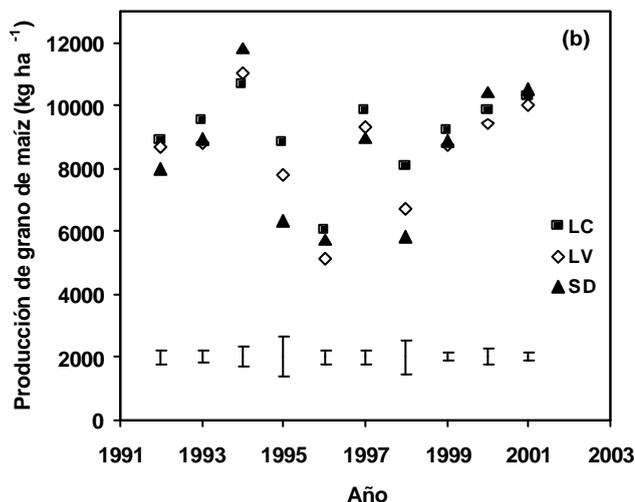


Figura 1. Evolución de los rendimientos de grano de soja (a) y de maíz (b) en un Hapludoll bajo prácticas continuas de siembra directa (SD) y labranzas con arado de rejas (AR) o arado de cincelos (AC). En cada cultivo, las barras verticales muestran el desvío estándar de las medias en cada campaña.

Figure 1. Soybean (a) and maize (b) grain yields evolution in a Hapludoll under no-tillage (SD), moldboard tillage (AR) and chisel tillage (AC) practices. In each crop, the vertical bars are the standard deviation of the mean for each production season.

y AC, redujeron en un 36 y un 32 %, respectivamente los niveles de MO con respecto al tratamiento PF. A los 6 años de iniciado el estudio, se habían observado diferencias similares en el caso de AR pero de menor magnitud en el tratamiento de AC (Díaz-Zorita 1999). En el transcurso de 12 años agrícolas desde el inicio del estudio los aportes de C estimados a partir de los rendimientos de los cultivos no difirieron significativamente entre sistemas de manejo (Fig. 1). Por lo tanto, bajo las condiciones de este estudio, la menor acumulación de materia orgánica observada en sistemas con remoción se atribuye fundamentalmente a aumentos en las condiciones de mineralización del suelo producto de aumentos en la aireación y fragmentado de residuos por el laboreo (Balesdent *et al.* 2000). Resultados similares se han descrito en diferentes ambientes de la región pampeana semiárida y subhúmeda (Buschiazzo *et al.* 1996).

La concentración de materia orgánica, independientemente del sistema de manejo previo de los suelos, mostró mayores valores en la capa de 0 a 5 cm de profundidad que en capas más profundas del horizonte A (Tabla 1). En SD o en PF el índice de estratificación (cociente entre concentraciones de materia orgánica en las capa de 0 a 5 cm con respecto a la de 15 a 20 cm de profundidad) fue mayor (1,60) que en AR y AC (1,17). Según Franzluebbbers (2003), ambientes con niveles de estratificación superiores a 2 podrían considerarse como estabilizados bajo condiciones de manejo conservacionista de los suelos.

Los contenidos de Pe variaron entre 7,8 y 18,0 mg kg⁻¹, detectándose acumulaciones superiores al 80 % de los contenidos observados en la base del horizonte A, independientemente del sistema de manejo previo de los suelos (Tabla 1). En general, el sistema de SD indujo a una menor concentración de P extractable de los suelos que el uso de sistemas con remoción, AR o AC. Durante el ensayo no se han realizado aportes significativos de P que superen al consumo de los cultivos, por lo que parte de la estratificación de este elemento es atribuible a un mayor ciclado desde capas inferiores y acumulación superficial a partir de los residuos (Lal *et al.* 1990). Las diferencias en los contenidos extraídos de P entre

sistemas de laboreo sugieren que en estos suelos la remoción modificaría la oferta de este elemento, posiblemente a partir de aportes por mineralización y tasas diferentes de ciclado a partir de la MO. Estudios en desarrollo en Molisoles de la región pampeana sugieren que la mineralización de la fracción orgánica explicaría parte de las variaciones en la respuesta de cultivos a la fertilización fosfatada en sistemas de siembra directa (Dr. F. O. García, comunicación personal).

Los cambios en el pH de los suelos por efecto de las labranzas han sido frecuentemente atribuidos a las sucesivas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, y en menor medida a cambios inducidos por el laboreo (Blevins *et al.* 1983). En algunos estudios de la Región Pampeana se ha observado que el pH desciende en sistemas de SD, como resultado de aumentos en los contenidos de MO (Buschiazzo *et al.* 1996). En este estudio la reducción en los valores de pH no se ha manifestado (Tabla 1), coincidentemente con lo hallado por Kruger (1996) para el sudoeste bonaerense. A diferencia de EEUU, la aplicación de fertilizantes N en suelos argentinos no justificaría, por sus bajas dosis, descensos significativos en pH.

Densidad aparente, resistencia a la penetración y distribución de fragmentos

La densidad aparente en la capa de 0 a 5 cm de profundidad fue significativamente menor que en el resto de las capas hasta los 30 cm de profundidad e independientemente del sistema de manejo previo de los suelos (Tabla 1). La no remoción de los suelos indujo a una mayor DA que el uso previo de labranzas con arado de rejas, no obstante la diferencia en esta variable no resultó significativa y con niveles inferiores al 3 %. Aunque la DA aumentó en profundidad, los valores alcanzados sugieren contenidos medios de porosidad cercanos al 50 %. El incremento en DA al aumentar la profundidad de muestreo se explicaría mayormente por los menores contenidos de MO presentes en las capas profundas de los suelos (Tabla 1), y por el efecto natural del peso del suelo suprayacente.

La RP varió entre 0.98 y 2.9 MPa, no existiendo diferencias entre sistemas de labranza en superficie y con incrementos en

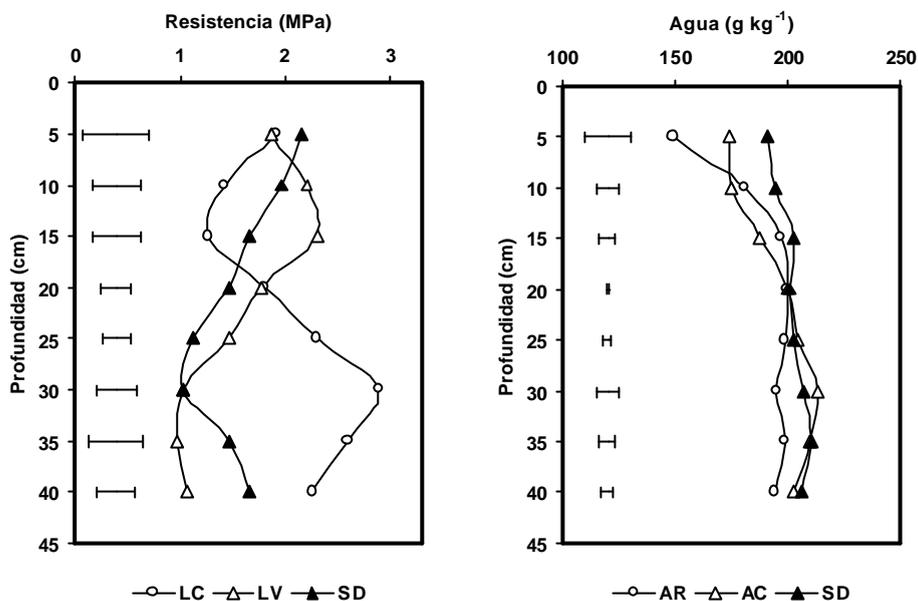


Figura 2. Resistencia a la penetración y contenido de humedad gravimétrica de un Hapludoll luego de 11 años de prácticas continuas de siembra directa (SD) y labranzas con arado de rejas (AR) o arado de cincelos (AC) en una rotación maíz-soja. Las barras horizontales muestran el desvío estándar de las medias en cada profundidad.

Figure 2. Penetration resistance and gravimetric soil water content of a Hapludoll after 11 years under no-tillage (SD), moldboard tillage (AR) and chisel tillage (AC) with a maize-soybean sequence. In each depth, the horizontal bars are the standard deviation of the mean.

profundidad para los sistemas con remoción (Fig. 2). La mayor RP en las capas subsuperficiales en AR se explicaría por el laboreo reiterado a una misma profundidad dependiente de las herramientas de labranza empleados. Estos resultados son coincidentes con observaciones en suelos de texturas más finas en Canadá y otros ambientes (Grant, Lafond, 1993). Las diferencias en RP entre SD y sistemas con laboreo están en concordancia con la porosidad de los suelos (Tabla 1) y no presentan niveles potencialmente restrictivos para el normal desarrollo de las raíces de los cultivos. Los contenidos de humedad variaron entre 149 y 213 g kg⁻¹, siendo superiores en la capa de 0 a 15 cm de profundidad en SD (Fig. 2). En cada tratamiento, las relaciones entre contenidos de humedad y RP no fueron significativas sugiriendo que las diferencias en RP descritas resultarían mayormente a partir de cambios en la porosidad y cohesión de los suelos.

Los mayores diámetros de fragmentos luego del tamizado en correspondieron a sistemas de SD o PF. Los sistemas de manejo AR o AC indujeron a la ocurrencia de

fragmentos de menor diámetro (Tabla 2). En concordancia con estos resultados, los sistemas sin remoción de suelos presentaron mayor proporción de fragmentos con tamaños medios superiores a 8 mm que en los tratamientos bajo laboreo. Estos resultados son coincidentes con abundantes estudios. En ellos se describe que el mantenimiento de sistema de cero labranza contribuye a la consolidación del estado estructural de los suelos, facilitado por la mayor acumulación de materia orgánica y condiciones para la cohesión entre partículas minerales (Six *et al.* 2000). En los sistemas con AR y AC, además de la menor concentración de compuestos orgánicos aglutinantes, los frecuentes laboreos inducen al fragmentado físico y ruptura de la estructura promoviendo al refinamiento del suelo (Perfect *et al.* 1997).

Rendimientos en grano de soja y maíz

La información disponible de producción de granos no mostró diferencias significativas entre tratamientos de labranzas tanto en la mayoría de las campañas individuales como en promedio para los 11 años

Tabla 2. Tamaño medio de fragmentos (M_1) luego de tamizado en seco y porcentaje de fragmentos > 8 mm y < 2 mm en un Hapludol bajo 4 sistemas de manejo de los suelos (AR: labranza con arado de rejas, AC: labranza con arado de cinceles, SD siembra directa y PF pastura de festuca). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre profundidades en cada manejo de suelos (LSD, $p < 0,05$).

Table 2. Mean fragment size (M_1) after dry sieving and percentage of fragments > 8 mm and < 2 mm of a Hapludoll under 4 soil management systems (AR: moldboard tillage, AC: chisel tillage, SD: no-tillage and PF: fescue sod). Different letters in each column show significant differences between soil management systems (LSD, $p < 0.05$).

Tratamiento	M_1 mm	Fragmentos	
		>8 mm	<2 mm
		----- % -----	
AR	22,6 a	51,1 b	25,3 a
AC	24,3 a	57,0 ab	22,5 a
SD	30,3 a	69,2 a	12,3 b
PF	30,8 a	69,2 a	14,9 b

del estudio ($p < 0,95$). En 2 de las campañas (1991 y 2001), se observaron diferencias entre los tratamientos que se atribuyeron a fallas en la implantación de los cultivos (datos no presentados). En promedio, los rendimientos en grano de soja para AR, AC y SD fueron de 3125 (± 1067), 3145 (± 1067) y 3003 (± 795) kg ha⁻¹. Se observó que la producción de grano de soja aumentó a razón de 241 kg ha⁻¹ año⁻¹, independientemente del sistema de manejo evaluado (Fig. 2a). Esta mejora se atribuye fundamentalmente al ajuste en las prácticas de producción implementadas (i.e. fechas de siembra, densidad de siembra, tratamiento de inoculación, control de malezas, etc.). En promedio, se registraron 553 mm de lluvias entre los meses de octubre y marzo durante el período 1990-2003 con máximos en el 2002 (786 mm) y mínimos en 1995 (376 mm). Sólo en las campañas 1993, 1997 y 2002 la oferta de lluvias superó al promedio observado en el ciclo estudiado. No se detectaron relaciones significativas entre los rendimientos y las precipitaciones o el balance hídrico aparente durante el ciclo bajo estudio.

Los rendimientos en grano de maíz variaron entre 5117 y 11822 kg ha⁻¹, siendo la información disponible insuficiente para detectar diferencias significativas entre los tratamientos de labranza en cada una de las campañas (Fig. 2b). En promedio para el período 1991-2001, la producción de granos de maíz fue de 9101 (± 1305), 8540 (± 1680) y 8731 (± 1879) kg ha⁻¹ para los sistemas de AR, AC y SD sin mostrar diferencias significativas entre

los tratamientos ($p < 0.74$). No se detectaron relaciones significativas entre los rendimientos y las precipitaciones o el balance hídrico aparente durante el ciclo bajo estudio.

Los efectos de los sistemas de labranza sobre la producción media de los cultivos de maíz y de soja son coincidentes con otras observaciones en el área bajo estudio, tanto en condiciones experimentales (Díaz-Zorita, Duarte 2002) como en lotes de producción (Díaz-Zorita *et al.* 2002).

Estos resultados sugerirían que la instalación de sistemas agrícolas ecológicamente sustentables en Hapludoles del noroeste de la provincia de Buenos Aires, requeriría de la implementación de sistemas como la SD dados sus beneficios sobre la conservación de su fertilidad y en particular de sus contenidos de MO y su estructura.

REFERENCIAS

- Analytical Software. 2000. Statistix7. User's manual. Analytical Software, Tallahassee, FL. USA. 359 pp.
- Balesdent JC, Cheng C, Balabane M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53:215-230.
- Blevins RL, Smith MS, Thomas GW, Frye WW. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 38:301-305.
- Buschiazzo DE, Panigatti JL, Babinec F. 1996. Labranza en la Región Semiárida Argentina. Consideraciones finales. En: Buschiazzo DE, Panigatti JL, Babinec F (Ed). *Labranzas en la Región Semiárida Argentina.* pp 147-156.
- Dardanelli J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según

- sistemas de labranzas. En Panigatti JL, Marelli H, Buschiazzi DE, Gil R (Ed). Siembra Directa. INTA y SAPyA, Editorial Hemisferio Sur. pp 107-115.
- Díaz-Zorita M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17: 31-36.
- Díaz-Zorita M, Duarte GA. 2002. En la pampa arenosa: labranza cero en girasol y soja. *IDIA XXI II*: 107-110
- Díaz-Zorita M, Grove JH, Perfect E. 2000. Sampling and sieving procedures for measuring soil dry aggregate size distributions. In Proceedings of the 15th International Conference of the International Soil Tillage Research Organization, "ISTRO-2000". Morrison Jr. JE (ed.), Texas Agricultural Experiment Station. Fort Worth, TX, USA.
- Díaz-Zorita M, Perfect E, Grove JH. 2001. Use of moment analysis to parameterize soil fragment size distributions, Charleston, NC, USA. *ASA-CSSA-SSSA*. En CD.
- Díaz-Zorita M, Duarte GA, Grove JH. 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.
- Elissondo E, Costa JL, Suero E, Fabrizzi KP, García FO. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelo luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19: 11-19.
- Fenster C, Peterson GA. 1979. Effects of no-tillage fallow as compared to conventional tillage in a wheat flow system. *Nebraska. Agric. Exp. St. Res. Bull.* 289.
- Ferreras LA, Costa JL, García FO, Pecorari C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampas" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54: 31-39.
- Franzluebbbers AJ. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till. Res.* 66: 197-205.
- Franzluebbbers AJ. 2003. Conservation tillage and stratification on soil properties: a summary of the special issue in *Soil and Tillage Research* (2002). *ISTRO 16th Conference, Brisbane (Australia)*. En CD.
- García FO, Ambroggio M, Trucco V. 2000. No-tillage in the Pampas of Argentina: A success story. *Better Crops Int.* 14: 24-27.
- Giuffré L, Heredia O, Arrigo N, Conti M, Storti J. 1995. Variación espacial y temporal del fósforo extractable en un ciclo de maíz sembrado bajo dos sistemas de labranza: convencional y directo. *Agron. Costarricense* 19: 57-60.
- Grant CA, Lafond GP. 1993. The effects of tillage systems and crops sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. *J. Soil Sci.* 73: 223-232.
- Griffith DR, Mannering JV, Box JE. 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. En Sprague MA, Triplett GB (Eds.), *No Tillage and Surface Tillage Agriculture. The tillage Revolution*. John Wiley & Sons, New York, 76 pp.
- Havlin J, Kissel DE, Maddux LD, Claasen MM, Long J. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Am. J.* 54: 448-452.
- Hill RL. 1990. Long term conventional and no-till effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 161-166.
- Holanda FSR, Mengel DB, Paula MB, Carvahó JG, Bertoni JC. 1998. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 29: 2383-2394
- Kay BD. 1990. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12: 1-52.
- Kruger HR 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 14: 104-106.
- Lal R., Logan TJ, Fausey NR. 1990. Long-term tillage effects on Mollic Ochraqualf ikn North-West Ohio. III. Soil nutrient profile. *Soil Till. Res.* 15: 371-382
- Perfect E, Zhai Q, Blevins RL. 1997. Soil and tillage effects on the characteristic size and shape of aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1459-1465.
- Quiroga AR, Buschiazzi DE, Peinemann N. 1998. Management discriminant properties in semi-arid soils. *Soil Sci.* 163: 591-597
- Sanchez AH, García JR. 1998. Efecto del laboreo en algunas propiedades físicas de un Haplustol típico y en el rendimiento de la soja. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Córdoba: 267-268.
- Selles F, McConkey BG, Campbell CA. 1999. Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous- and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 51: 47-59.
- Six J, Elliott ET, Paustian K. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1042-1049.
- Taboada MA, Micucci F, Cosentino FJ, Lavado RS. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49: 57-63.