

EVALUACION DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE SUELOS LUEGO DE LA INTRODUCCION DE LABRANZAS VERTICALES EN UN SUELO BAJO SIEMBRA DIRECTA

E ELISSONDO¹, JL COSTA¹, E SUERO¹, KP FABRIZZI², F GARCIA³

¹ Unidad FCA – INTA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce.

² CONICET-FCA(UNMDP), Argentina.

³ INPOFOS Cono Sur, Bs. As.

Recibido 25 de octubre de 1999, aceptado 21 de febrero de 2001

SOIL PHYSICAL PROPERTIES EVALUATION AFTER VERTICAL TILLAGE ON A NO-TILLAGE CULTIVATED SOIL

The objective of this study was to evaluate the effect of introduction of a chisel plow (LV) on a no-tillage (SD) cultivated soil, in some soil physical properties and crops yield in the southeast of the Buenos Aires. Province. The bulk density (δ_a) at 3-8 cm depth was 1.31 Mg m⁻³ in SD and 1.23 Mg m⁻³ in LV. At 13-18 cm depth the δ_a values were similar in both treatments. The relative δ_a was 91 % for SD and 84 % for LV. The aggregate stability index were 71 % and 66 % for SD and LV respectively. Besides the maximum mechanical resistance in SD, the corn yield was 6568 kg ha⁻¹ and 6977 kg ha⁻¹ under SD and LV respectively. The wheat yield was 4196 kg ha⁻¹ in SD and 4003 kg ha⁻¹ in LV. The introduction of chisel plow in soil under no-tillage do not affect soil physical properties.

Key words: No-till, Soil physical properties, Corn, Wheat.

INTRODUCCION

En el sudeste bonaerense, la agricultura se incrementó significativamente en los últimos años y según el relevamiento realizado por Echeverría y Ferrari (1993), la intensificación del uso agrícola del suelo ha provocado una disminución en el contenido de materia orgánica y P disponible. Además, el uso de labranzas convencionales en esta zona en cultivos de cosecha gruesa, sumado a la intensidad y erosividad de las lluvias durante los meses de octubre, noviembre y diciembre (Sarlangue 1994), constituyen un alto riesgo de erosión que favorece la degradación de los suelos. Ante los problemas de erosión, degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo y déficit hídricos estivales, la introducción de labranzas conservacionistas, que mantienen altos niveles de rastrojo en superficie podrían contribuir a solucionar los problemas mencionados anteriormente.

La introducción de sistemas de labranzas conservacionistas como la siembra directa (SD), producen cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos que pueden afectar la biología del suelo y el desarrollo radicular de las plantas (Doran 1980).

En todo sistema suelo-planta hay una serie de factores físicos (contenido de agua, temperatura de suelo, resistencia mecánica) que tienen incidencia directa sobre el comportamiento del cultivo. Propiedades físicas como la densidad aparente, la estabilidad de agregados, la porosidad total y la distribución del tamaño de poros modifican o determinan los parámetros mencionados, por lo cual su incidencia es indirecta (Letey 1985).

La capacidad de regeneración de la estructura porosa de los suelos es una característica importante para definir la adaptabilidad de los suelos para ser manejados con SD (Stengel *et al.* 1984) pues la falta de remoción reduce la posibilidad de formación mecánica de macroporos (Pierce *et al.* 1994). Sin embargo, Taboada *et al.* (1996) encontraron que la SD tuvo una clara influencia positiva en el suelo bajo estudio, pues eliminó la compactación subsuperficial causada por las labranzas. Voorthes y Lindstron (1984) indicaron que se requieren de tres a cuatro años para que los suelos manejados con labranzas conservacionistas continuas desarrollen una porosidad más favorable en la zona de 0 a 15 cm. En cambio, Torella *et al.* (1993) observaron

que luego de tres años de SD no se recuperaron algunas de las propiedades físicas y biológicas del suelo cuando se partió de una condición de suelo degradado.

Existe información con resultados dispares respecto al efecto de los distintos implementos de labranza sobre las propiedades del suelo. El método de labranza puede afectar o no la compactación del suelo. Numerosos autores hallaron valores superiores de densidad aparente (δ_a) en suelos bajo SD, comparado con suelos bajo labranza reducida (LR) o convencional (LC) (Vidal, Costa 1998, Ferreras *et al.* 2000), mientras que otros autores no hallaron diferencias entre estos sistemas de labranzas (Ferreras 1996, Krüger 1996) o bien, la densidad aparente fue menor bajo suelos con residuos en superficie (Pikul, Aase 1995, Sánchez, García 1998).

La resistencia mecánica (RM) o resistencia a la penetración que ofrece el suelo en la zona de las raíces es utilizada como una medida de compactación, señalando condiciones que pueden impedir el crecimiento de las raíces y por lo tanto, reducir los rendimientos de los cultivos (Oussible *et al.* 1992). Grant y Lafond (1993) no hallaron diferencias en resistencia mecánica (RM) cuando compararon sistemas de labranza conservacionista y convencional. Sin embargo, otros autores encontraron una mayor RM en los primeros centímetros del suelo bajo SD y labranza mínima que en LC (Ferreras 1996; Taboada *et al.* 1998, Vidal, Costa 1998). La densificación de la capa superficial de los suelos bajo sistemas sin remoción continua es considerada una de las limitantes para adoptar los sistemas de labranza cero en la región Pampeana (Chagas *et al.* 1994, Ferreras *et al.* 1998), pudiendo en ciertos casos, reducir el rendimiento de los cultivos (Schmidt, Belford 1994). Esta densificación de la capa superficial sólo puede ser disminuida con labranzas de tipo vertical (Fontanetto, Gambaudo 1996) aunque Pikul y Aase (1995) encontraron menores valores de resistencia mecánica en superficie bajo SD.

La estabilidad de agregados es uno de los indicadores para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo (Pillati *et al.* 1998). Las labranzas (tipo, intensidad y frecuencia) y el manejo de residuos actúan sobre la estructura del suelo

(Lal 1991). Las labranzas agresivas aceleran la descomposición de la materia orgánica y destruyen los agregados estables (Dexter 1991), provocando la disminución del carbono y nitrógeno potencialmente mineralizables (Woods, Schuman 1988). Diversos autores encontraron que el mayor contenido de carbono orgánico y la falta de remoción del suelo podrían ser los responsables de la mayor agregación en SD en comparación con LC (Chagas *et al.* 1994, Vidal, Costa 1998).

La temperatura de suelo es un factor importante en la agricultura, debido a sus efectos sobre la germinación, la emergencia de plántulas y el desarrollo de las plantas, el crecimiento de las raíces y la absorción de agua y nutrientes (Potter *et al.* 1987). La mayor cobertura bajo SD produce una menor temperatura del suelo bajo estos sistemas, lo cual puede afectar el desarrollo de los cultivos en los primeros estadios de crecimiento (Opoku *et al.* 1997, Rizzalli 1998). La presencia de heladas tardías es un problema que se observa en el sudeste bonaerense, el cual afecta principalmente a los cultivos bajo SD por la presencia de gran cantidad de rastrojo en superficie. Por lo tanto, una alternativa de manejo sería la realización de una labor con cincel para incorporar parte del rastrojo, reduciendo de esta manera el efecto de las menores temperaturas bajo SD.

Teniendo en cuenta los antecedentes analizados, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la introducción de una labranza vertical (LV) en un suelo bajo SD establecida sobre una pastura de cuatro años, indicando una excelente condición inicial, sobre algunas propiedades físicas del suelo y su influencia en el rendimiento de los cultivos.

MATERIALES Y METODOS

a) Características del ensayo y del sitio experimental

La experiencia se llevó a cabo en un ensayo establecido en un lote de producción en el partido de Tandil, Buenos Aires (37°34'S; 59°04'W), durante los ciclos agrícolas 1995/1996 y 1996/1997. El ensayo se realizó en un lote mapeado como unidad cartográfica Ta 19, formado por el complejo de suelos denominado Chapaleufú Grande. La familia correspondiente es fina, illítica, térmica, con el 70% de Argiudoles Típicos de la serie Tandil sin limitaciones de profundidad y el 30% de la serie

Tabla 1. Historia agrícola del lote.
Table 1. Agricultural history of field.

Año	Cultivo	Sistema de labranza
Hasta 1993	Pastura	
1993	Soja	SD
1994	Trigo	SD
1995	Maíz	SD - LV
1996	Trigo	SD - LV

Azul, con presencia de tosca a profundidades mayores a los 88 cm. El clima de la zona del sudeste bonaerense se define como mesotermal-húmedo-subhúmedo (Burgos, Vidal 1951), con aproximadamente el 80% de las precipitaciones que ocurren en el período primavera-estival.

Las características del suelo al inicio del ensayo (1995) según los análisis de suelo, resultaron en contenidos de materia orgánica de 91,3 Mg C ha⁻¹ (Walkey, Black 1934), pH 5,75 (relación suelo:agua 1:2,5), y de fósforo disponible (Bray, Kurtz 1945) 8 mg kg⁻¹ a 0-20 cm de profundidad. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron siembra directa (SD), y labranza vertical (LV). El lote provenía de pastura, sobre la cual se implantó soja en SD en 1993/94, y trigo en SD en 1994/95. El ensayo comenzó en 1995 con la siembra del cultivo de maíz (Tabla 1). La rotación de cultivo planteada para el ensayo fue maíz-trigo.

Las labores realizadas y el control de malezas en el cultivo de maíz y luego de la cosecha previo a la siembra del cultivo de trigo para cada labranza, se detallan en la Tabla 2. La siembra de maíz se realizó el 19 de octubre de 1995. El híbrido utilizado Dekalb 669 fue sembrado a una densidad de 80000 semillas por hectárea. Se aplicó 46 Kg

P₂O₅ ha⁻¹ como fosfato diamónico. La cosecha se efectuó el 25 de abril 1996 y el 19 de agosto se realizó la siembra del cultivo de trigo utilizando la variedad Buck Guaraní, aplicándose 37 kg P₂O₅ ha⁻¹ como fosfato diamónico.

b) Muestreos y determinaciones

Los muestreos se realizaron a la siembra de los cultivos para evaluar el efecto de las labranzas recientes en las propiedades evaluadas, y a la cosecha de los mismos, donde el efecto inicial de las labranzas no es tan marcado. La densidad aparente (δ_a) se determinó con el método del cilindro (Blake, Hartge 1986). Se extrajeron muestras de suelo sin disturbar a dos niveles de profundidad, 3-8 y 13-18 cm, utilizándose cilindros de acero inoxidable de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura. Se realizaron 4 muestreos: en el cultivo de maíz, a la siembra (19/10/95) y en madurez fisiológica (20/3/96), y en el cultivo de trigo en el estado de tres macollos (2/10/96) y en rastrojo de trigo (11/06/97).

Se determinó la (δ_a) máxima con el test Proctor utilizando el método estándar de laboratorio, variando el contenido de humedad (Felt 1965). Se extrajeron muestras de suelo hasta la profundidad de 20 cm en cada sitio de muestreo. La resistencia mecánica (RM) se determinó con un penetrómetro de cono (CN-970, SOILTEST Inc., Lake Bluff, Illinois) accionado en forma manual (Bradford 1986). Las mediciones de resistencia se realizaron en forma escalonada desde la superficie hasta los 30 cm de profundidad, con 10 repeticiones para las distintas posiciones de cada parcela, las cuales se realizaron en las mismas fechas que para densidad aparente: 19/10/95, 20/3/96, 2/10/96 y 11/06/97. La estabilidad estructural (EE) se determinó con el método de De Leenher y De Boodt (1958) en muestras sin disturbar obtenidas en cada parcela, a la

Tabla 2. Secuencia de labores y control de malezas bajo labranza vertical (LV) y siembra directa (SD), antes de la siembra del cultivo de maíz y trigo para los períodos 1995/96 y 1996.

Table 2. Sequence of tillage and weed control under chisel plow (LV) and no-tillage (SD) before corn and wheat planting for the periods 1995/96 and 1996.

Periodo	LV	SD
	Control químico (20 días antes de siembra): 2,4 D (1L ha ⁻¹) + Glifosato (2L ha ⁻¹).	Control químico (20 días antes de siembra): 2,4 D (1L ha ⁻¹) + Glifosato (2L ha ⁻¹).
1995/96	Arado de cinceles (2 pasadas) Rastra de discos (2 pasadas) Control químico a la siembra: 2,4 D (1L ha ⁻¹) + Glifosato (2L ha ⁻¹).	Control químico a la siembra: 2,4 D (1L ha ⁻¹) + Glifosato (2L ha ⁻¹).
1996	Control químico: Glifosato (2L ha ⁻¹). Rastra excéntrica (3 pasadas) Rastra doble acción (1 pasadas)	Control químico: Glifosato (2L ha ⁻¹). Control químico: Glifosato (2L ha ⁻¹)

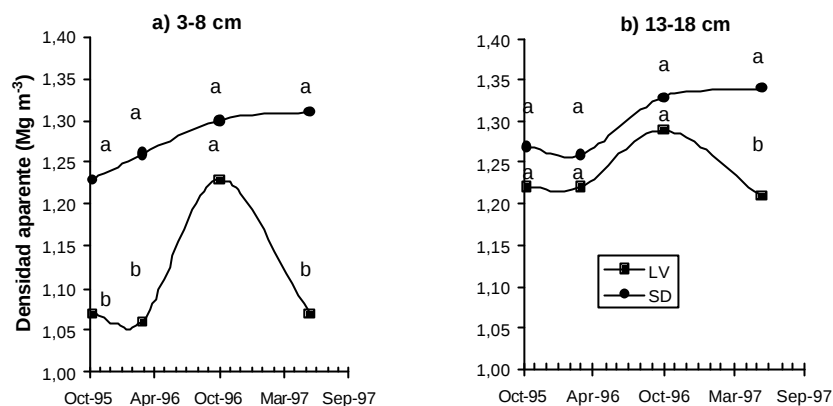


Figura 1. Densidad aparente en labranza vertical (LV) y siembra directa (SD) a las profundidades de (a) 3-8 cm y (b) 13-18 cm, para cuatro fechas de muestreo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Figure 1. Soil bulk density under chisel plow (LV) and no till (SD) for (a) 3-8 cm and (b) 13-18 cm depth, at different dates. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

profundidad de 0-20 cm en el momento de la cosecha del cultivo de maíz (25/04/96). Se calculó el índice de estabilidad como el cociente entre un valor de estabilidad de un suelo de referencia (debajo de alambrados) y el de la muestra, multiplicado por 100 (Suero, Garay 1978). La temperatura de suelo se midió con un equipo LI-COR LI-1000, durante el ciclo del cultivo de trigo, colocando las termocuplas a 3 cm de profundidad.

Los datos fueron analizados estadísticamente utilizando el Statistical Analysis Systems (SAS. Institute, Inc. 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

La δ_a fue significativamente ($P < 0.05$) mayor bajo SD en tres de los cuatro muestreos realizados a la profundidad de 3-8 cm (Figura 1a). Estos resultados coinciden con lo informado por otros autores (Grant, Lafond 1993, Chagas *et al.* 1994). Los valores de δ_a obtenidos a la profundidad de 13-18 cm (Figura 1b) no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre labranzas en los dos primeros muestreos durante el cultivo de maíz, coincidiendo con lo obtenido por Sánchez y García (1998), Vidal y Costa (1998).

A un año del primer muestreo sin remoción del suelo en SD se observa un incremento en la δ_a , principalmente a la profundidad de 3-8 cm, el cual fue mayor en LV (1,07 a 1,23 Mg m^{-3}) que en SD (1,23 a 1,30 Mg m^{-3}). La formación mecánica de macroporos, producida por la labranza, se pierde en el transcurso del cultivo al producirse un reacomodamiento

de las partículas de suelo. A 13-18 cm el incremento fue similar en ambos sistemas de labranza.

En el cuarto muestreo (11/06/97) el suelo estaba recién labrado bajo LV como parte del barbecho para la siembra del maíz. Los valores de δ_a en LV para ambas profundidades fueron similares a los primeros muestreos (Figuras 1a y b). En cambio para SD el valor de δ_a fue mayor respecto a los primeros muestreos. El valor de δ_a superficial (3-8 cm) tendió a estabilizarse en 1,31 Mg m^{-3} , luego de cuatro años bajo SD. Similares resultados fueron reportados por Voorthees y Lindstron (1984). En un lote proveniente de 15 años de agricultura y con tres años de SD, Vidal y Costa (1998) encontraron bajo SD valores de δ_a en superficie de 1,36 Mg m^{-3} , mientras que Ferreras *et al.* (2000) encontró valores de 1,52 Mg m^{-3} bajo SD en suelos con más de 25 años de historia agrícola y 3 años bajo SD. Los menores valores de δ_a encontrados en este trabajo podrían deberse a que la SD se estableció en un lote proveniente de cuatro años de pastura, con un suelo mejor estructurado que las experiencias anteriores para ambos sistemas de labranzas. Los valores máximos para LV y SD en ningún caso comprometerían el desarrollo de los cultivos de acuerdo a la bibliografía consultada (Griffith *et al.* 1977).

El test Proctor produjo valores de δ_a máxima similares en los dos sistemas de labranzas (Figura 2), siendo de 1,46 Mg m^{-3} para

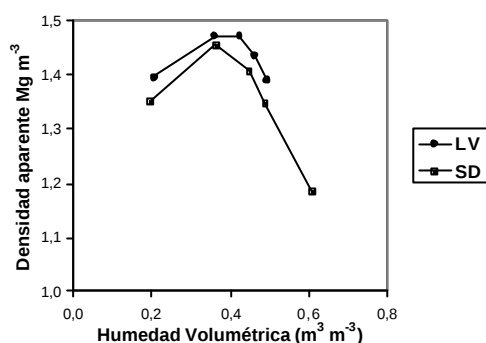


Figura 2. Densidad aparente máxima mediante test Proctor para labranza vertical (LV) y siembra directa (SD).

Figure 2. Maximun soil bulk density determined with the Proctor test for chisel plow (LV) and no till (SD) treatments.

SD y 1,47 Mg m⁻³ para LV, ambas mediciones realizadas a humedad de 0,38 kg kg⁻¹. En general, la compactación se incrementa en suelos con menor contenido de carbono orgánico (Pikul, Almaras 1986) y esto coincide con lo informado por Thomas *et al.* (1996) quienes establecieron una relación negativa entre el contenido de carbono orgánico y la compactación, medida a través de la densidad aparente máxima con el test Proctor. Los valores similares de δ_a máxima en ambos tratamientos podrían explicarse por los similares contenidos de carbono orgánico encontrados en este trabajo (91,6 Mg C ha⁻¹ en LV y 93,7 Mg C ha⁻¹ en SD a 0-20 cm de profundidad). Estos valores son más bajos que los encontrados por Ferreras *et al.* (1998), quienes informaron una densidad aparente máxima de 1,52 Mg m⁻³ para ambos sistemas de labranza, en un suelo proveniente de 30 años de agricultura continua con 3,5 % de materia orgánica.

Una medida del grado de susceptibi-

lidad a la compactación de los suelos es el Índice de compactación relativa (CR), que se calcula como el cociente entre la densidad aparente actual y la máxima. CR mayores que 90 % pueden ser limitantes para el rendimiento de los cultivos (Carter 1990). En este ensayo, en algunos casos se registraron valores cercanos al 90 % y aún mayores, sin embargo no provocaron reducción de rendimientos de los cultivos en ninguno de los sistemas de labranza. Esto coincide con lo informado por Vidal y Costa (1998), sin embargo, Ferreras *et al.* (1998), informaron una disminución del rendimiento en SD para diferencias en CR superficiales (82% para SD y 69% para labranza vertical (LV)). Taboada *et al.* (1998) encontraron que los valores de compactación relativa nunca superaron el 85%, siendo similares entre labranzas para suelos de la Serie Bragado, y significativamente mayores bajo SD a 5-10 cm de profundidad para suelos de la Serie Peyrano.

Las mediciones de humedad gravimétrica (θ_g) mostraron diferencias estadísticas significativas en los primeros cm de profundidad en el primer y cuarto muestreo (Tabla 3), por lo tanto estos valores pueden afectar los valores de RM, ya que la θ_g reduce la RM. Sin embargo, como SD siempre tuvo los mayores valores de θ_g se puede asumir que la diferencia estadística obtenida entre sistemas de labranzas en el primer y cuarto muestreo de RM es cierta.

A la siembra del cultivo de maíz, los datos de RM mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos, en todas las profundidades hasta los 20 cm (Figura 3). Los máximos valores se obtuvieron bajo SD, coincidiendo con lo informado por Grant y Lafont (1993), Chagas *et al.* (1994), Ferreras *et al.* (2000) y Fabrizzi (2000), aunque estos valores se encuentran por debajo de los

Tabla 3. Mediciones de humedad gravimétrica para las cuatro fechas de muestreo.

Table 3. Gravimetric soil moisture for each sampling date.

Labranza	Profundidad	Humedad gravimétrica			
		19/10/95	04/03/96	2/10/96	11/06/97
SD	3-8	0,31 a	0,17 a	0,28 a	0,33 a
LV	3-8	0,26 b	0,12 a	0,26 a	0,27 b
SD	13-18	0,30 a	0,17 a	0,27 a	0,30 a
LV	13-18	0,29 a	0,15 a	0,26 a	0,29 a

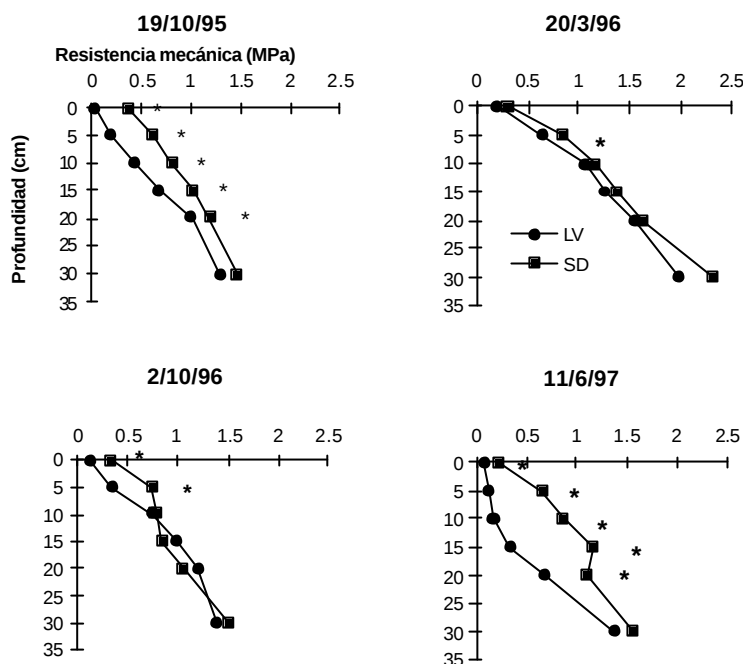


Figura 3. Resistencia mecánica para labranza vertical (LV) y siembra directa (SD) a distintas profundidades para cuatro fechas de muestreo. * Diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Figure 3. Cone resistance under chisel plow (LV) and no till (SD) in four different dates.

* Significant difference ($P < 0.05$).

valores críticos de 1,5-5,6 MPa citados en la literatura, a los cuales la actividad radical cesa, dependiendo del suelo y el cultivo (Gerard *et al.* 1982).

El aumento de RM en el segundo muestreo (20/3/95) respecto del primero (19/10/95), y la proximidad de los valores para los dos sistemas de labranza, se explicarían por los bajos contenidos de θ_g , resultados semejantes a los obtenidos por Taboada (1998). El endurecimiento de la fase sólida del suelo no produjo diferencias significativas en la δ_a entre el primer y segundo muestreo para ambos sistemas de labranza, corroborando que la RM es mejor indicadora de los cambios que suceden en el suelo que la δ_a . En el segundo muestreo (20/3/96) se registró un valor de RM de 2,3 MPa a 30 cm de profundidad en SD, valor superior al mencionado como crítico para el desarrollo radical. Sin embargo, debido a que el cultivo se encontraba en madurez fisiológica, no se produjeron diferencias en rendimiento.

Durante el ciclo del cultivo de trigo se realizó el tercer muestreo (2/10/96), observán-

dose valores significativamente ($P < 0,05$) superiores bajo SD sólo en superficie. Estos datos son similares a los encontrados por Kruger (1996) y Chagas *et al.* (1994). En profundidad no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$), coincidiendo con lo informado por Vidal (1997).

En el cuarto muestreo (11/6/97) se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos debido a la reciente remoción del suelo en el caso de LV, lo cual produjo un aflojamiento del suelo hasta los 20 centímetros de profundidad, con importante reducción en los valores de RM. Esto concuerda con lo reportado por Ferreras (1996). En ninguno de los muestreos realizados se registraron valores que de acuerdo a la bibliografía consultada, pudieran afectar el desarrollo radical y el rendimiento del cultivo de trigo.

La SD presentó valores de EE mayores que LV (71 y 66 % respectivamente). Una explicación posible a la mayor agregación en SD con respecto a LV sería el mayor contenido de carbono orgánico y la falta de remoción del suelo (Chagas *et al.* 1994). En nuestro caso,

dado que los contenidos de carbono orgánico de ambas labranzas fueron similares, las diferencias son atribuibles a la falta de remoción del suelo. Estos resultados coinciden con lo presentado por Pilatti *et al.* (1998). Los altos valores de EE obtenidos, tanto en SD como en LV, ponen de manifiesto que el uso de arados de cinceles, luego de dos años de la introducción de esta labranza sobre un suelo con una buena condición inicial, no produce cambios importantes en la estructura del suelo.

Durante las primeras etapas del cultivo de trigo, la LV tuvo mayor temperatura de suelo como consecuencia de la menor cobertura de rastrojo del suelo (20%) respecto a SD (95%), y una menor cobertura por parte del cultivo. La amplitud térmica registrada fue menor en SD coincidiendo con lo obtenido por Rizzalli (1998), Ferreras *et al.* (1999) y Fabrizzi (2000). Las temperaturas medias fueron siempre mayores en LV que en SD. Durante los primeros 15 días de octubre se observa menor diferencia entre las curvas de SD y LV. Cuando el cultivo cubrió completamente el suelo (fin de octubre-principio de noviembre), las fluctuaciones de temperatura de ambas labranzas fueron menores y las temperaturas medias en SD resultaron mayores que en LV, como consecuencia de menores temperaturas mínimas en LV. Estas menores temperaturas bajo SD en las etapas iniciales, no afectaron la acumulación de materia seca a madurez fisiológica y el rendimiento del cultivo de trigo (Tabla 4). Similares resultados fueron informados por Bergh (1997) y Fabrizzi (2000).

Las mediciones realizadas en las propiedades físicas del suelo durante el cultivo de maíz, presentaron diferencias significativas en RM y δ_a , correspondiendo los mayores valores a SD, aunque éstos no fueron tan altos como para afectar el desarrollo radical y provocar una disminución en el rendimiento. El rendimiento del cultivo de maíz no presentó diferencias significativas entre tratamientos cuando se fertilizó con nitrógeno, 6568 y 6977 kg ha⁻¹ para SD y LV respectivamente. El marcado déficit hídrico registrado en la campaña 1995/96, principalmente durante los meses de diciembre y enero, redujo sustancialmente los rendimientos potenciales del cultivo de maíz.

Durante el cultivo de trigo, los conte-

Tabla 4. Rendimiento en grano y materia seca total acumulada (MS Total) en el cultivo de trigo bajo labranza vertical (LV) y siembra directa (SD).

Table 4. Grain yield and dry matter accumulation (MS Total) of wheat crops under chisel plow (LV) and no-tillage (SD) systems.

Labranza	Rendimiento	MS Total
	kg ha ⁻¹	
LV	4166 a	12445 a
SD	4003 a	12627 a
LSD	NS	NS

Letras distintas para una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Different letters of each column indicate significant differences ($P < 0.05$).

nidos de θ_g y los valores de δ_a , no registraron diferencias entre tratamientos, en cambio, se encontraron diferencias en RM, la cual fue mayor bajo SD, aunque los valores no superaron los valores críticos como para afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Esto permitió un normal desarrollo del cultivo y, en consecuencia, no se observaron diferencias en rendimiento y acumulación de materia seca (Tabla 4), concordando con lo obtenido por Vidal y Costa (1998) y Fabrizzi (2000). La campaña 1996/97 se caracterizó por las abundantes y frecuentes precipitaciones, pero las escasas precipitaciones y las heladas ocurridas durante el período preanthesis-llenado de granos pudo haber afectado la formación de grano.

CONCLUSIONES

La introducción de la LV en un suelo con 3 años bajo SD después de una pastura, no produjo deterioro de las condiciones físicas del suelo.

La δ_a en SD presentó valores superiores a LV, siendo más marcadas las diferencias entre sistemas de labranza a 3-8 cm de profundidad. El valor de δ_a superficial en SD (3-8 cm) se estabilizó en 1,31 Mg m³ luego de 4 años bajo SD. Los valores de δ_a encontrados estuvieron por debajo de los niveles críticos que afectan el rendimiento de los cultivos.

La RM mostró mayores valores bajo SD que bajo LV, acentuándose estas diferencias cuando las labranzas se realizaron antes de las mediciones en LV.

Si bien la EE tendió a ser mayor bajo SD, no hubo diferencias significativas entre labranzas, lo cual pone de manifiesto que el uso de arado de cinceles, en un suelo bajo una buena condición inicial, no produce cambios importantes en la estructura del suelo.

Los valores de temperatura media del suelo durante el cultivo de trigo fueron menores bajo SD en los estadios tempranos del cultivo. Cuando el cultivo cubrió el suelo estas fluctuaciones de temperatura entre ambas labranzas fueron menores. Las menores temperaturas iniciales bajo SD no afectaron posteriormente el crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo.

Los rendimientos obtenidos en los cultivos de maíz y trigo, no mostraron diferencias significativas entre sistemas de labranzas. Una buena condición física del suelo al inicio de la experiencia, permitió que el suelo no tuviera limitantes para el rendimiento en ninguna de las labranzas evaluadas.

REFERENCIAS

- Bergh RG. 1997. Dinámica del nitrógeno, crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 75 p.
- Blake GR, Hartge KH. 1986. Bulk density. *En: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Agron. Monog 9. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, EEUU.* p. 363-375.
- Bradford JM. 1986. Penetrability. *En: A. Klute (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Agron. Monog 9. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, EEUU.* p. 463-478.
- Bray R, Kurtz LT. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-4.
- Burgos JJ, Vidal A. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva Clasificación de Thornthwaite. *Meteoros* 1.p 3932.
- Carter MR. 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil. Sci.* 70:425-433.
- Chagas CI, Marelli HJ, Santanatoglia OJ. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12:11-16.
- De Leenheer L, De Boodt M. 1958. Determination of aggregate stability by change in mean weight diameter. *En: Proc. Int. Symp. on Soil Structure. Medeligen. Van de Landbowhoge School. Ghent.* p. 290-300.
- Dexter AR. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil Till. Res.* 20:87-100.
- Doran JW. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am J.* 44:765-771.
- Echeverría HR, Ferrari J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* N 112. EEA INTA Balcarce. 18 p.
- Fabrizzi KP. 2000. Dinámica del nitrógeno bajo dos sistemas de labranza en un suelo no degradado. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. p. 155.
- Felt EJ. 1965. Compactibility. *En: C. A. Black (Ed). Methods of Soil Analysis. Part. 1. Agron. Monog 9. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, EEUU.* p. 400-412.
- Ferreras L. 1996. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. 75 p.
- Ferreras L, De Batistta JJ, Ausilio A, Pecorari C. 1998. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Córdoba. p. 23-24.
- Ferreras LA, Costa JL, García FO. 1999. Temperatura y contenido hídrico del suelo en superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranzas. *Ciencia del Suelo.* 17:39-45.
- 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.
- Fontanetto H, Gambaudo S. 1996. Sistemas de labranzas para el trigo. Su influencia sobre propiedades físicas y químicas del suelo. *Public. Misc. N° 74. INTA EEA Rafaela.*
- Gerard CJ, Sexton P, Shaw G. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* 74:875-879.
- Grant CA, Lafond GP. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73:223-232.
- Griffith DR, Manerring JV, Moldenhauer WC. 1977. Conservation tillage in the Earstern Corn Belt. *J. Soil Water Cons.* 32:20-28.
- Krüger HR. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cua-

- tro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo*. 14:104-106.
- Lal R. 1991. Soil structure and sustainability. *Sust. Agric.* 1 (4):67-92.
- Letey J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1:277-294.
- Opoku G, Vyn TJ, Swanton CJ. 1997. Modified no-till systems for corn following wheat on clay soils. *Agron. J.* 89: 549-556.
- Oussible M, Crooskton RK, Larson WE. 1992. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield components of wheat. *Agron. J.* 79:882-886.
- Pierce FJ, Fortin MC, Staton MJ. 1994. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1782-1787.
- Pikul JL Jr., Allmaras RR. 1986. Physical and chemical properties of a haploxeroll after fifty years of residue management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:214-219.
- Pikul JL Jr., Aase JK. 1995. Infiltration and soil properties as affected by annual cropping in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 87:656-662.
- Pilatti MA, de Orellana JA, Felli OM. 1998. Indicadores edáficos en agricultura sostenible. II) Idoneidad de variables edáficas para evaluar sostenibilidad en agroecosistemas. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Córdoba. 235 p.
- Potter KN, Horton R, Cruse RM. 1987. Soil surface roughness effects on radiation reflectance and soil heat flux. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:855-860.
- Rizzalli RH. 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce. 35 p.
- Sánchez 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. p. 267-268.
- Sarlangue HA. 1994. Conservar para producir. *Vision Rural* 12:26-33.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS user's guide. Statistic version SAS Institute, Inc Cary, NC. USA.
- Schmidt CP, Belford RK. 1994. Increasing the depth of soil disturbance increases yields of direct drilled wheat on the splay soils of Western Australia. *Austr. J. Exp. Agric.* 34:777-781.
- Stengel P, Douglas P, Guerif JT, Goss MJ, Monnier M, Cannell RQ. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Till. Res.* 4:35-53.
- Suero EE, Garay AF. 1978. Estado estructural del horizonte superficial de suelos Brunizen del sudeste bonaerense. Modificaciones producidas por el manejo a que han sido sometidos. VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. A. A. Cs. Suelo. p. 7-8.
- Taboada MA, Micucci F, Cosentino FJ. 1996. Evaluación de la siembra directa como causante de la compactación en dos suelos de la pampa ondulada. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa. Rosa, La Pampa. p.217-218.
- Taboada MA. 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa, y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. p. 361-374.
- Taboada MA, Micucci FG, Consentino DJ, 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.
- Thomas GW, Hazslerg R, Robins RL. 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactibility of soils using the Proctor test. *Soil Sci.* 161:502-508.
- Torella JL, Maggi AE, Castiglioni M, Santanatoglia OJ. 1993. Efecto de la aplicación de la siembra directa e influencia de las condiciones previas del suelo, sobre algunas propiedades físicas y biológicas en argiudoles ácuicos y vérticos. Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza. p. 319.
- Vidal CM. 1997. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de siembra directa y labranza reducida. Trabajo de graduación. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce.
- Vidal CM, Costa JL. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *RIA Vol* 29. p. 211-212.
- Voorthees WB, Lindstrom MJ. 1984. Long-term effects of tillage method on soil tillth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:152-156.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-37.
- Woods LE, Schuman GE. 1988. Cultivation and slope position effects on soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1371-1376.