

EFFECTOS A LARGO PLAZO DE LA LABRANZA CONVENCIONAL Y LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ARGIUUDOL TÍPICO DE LA PAMPA ONDULADA ARGENTINA

Ramiro Ramírez Pisco¹; Miguel Angel Taboada² y Rodolfo Gil³

RESUMEN

Una creciente proporción de argiudoles franco limosos es manejada con siembra directa, lo cual genera incertidumbre en cuanto a la posible evolución a largo plazo de las propiedades físicas. En Pergamino, el INTA posee ensayos de labranzas donde los suelos son manejados con labranza convencional (LC) y con siembra directa (SD) continua desde hace 16 años. En estas parcelas fueron evaluadas la densidad aparente (cilindro), la resistencia (medida en laboratorio a distintos contenidos hídricos), la distribución de tamaño de poros (desorción de agua en mesa de tensión), la conductividad hidráulica saturada K_{sat} (cilindros en laboratorio), y la estabilidad de agregados. Los resultados fueron comparados con un suelo no degradado (reserva botánica). Los parámetros más sensibles fueron la conductividad hidráulica y la inestabilidad de agregados cuyos valores fueron respectivamente de $1,41 - 0,16 \text{ mm h}^{-1}$ y $2,78 \text{ mm bajo LC}$, y de $23,61 - 4,61 \text{ mm h}^{-1}$ y $1,07 \text{ mm bajo SD}$. En este tratamiento el suelo recuperó su distribución original bimodal de poros, con prevalencia de las clases $> 100 \mu\text{m}$ y $50 - 20 \mu\text{m}$.

Palabras claves: Siembra directa, regeneración estructural, suelos limosos.

¹ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840. Medellín, Colombia. <rramirez@unalmed.edu.co>

² Profesor Asociado. Universidad de Buenos Aires UBA. Facultad de Agronomía. Av. San Martín 4453 (C1417DSE) Buenos Aires, Argentina. <mtaboada@mail.agro.uba.ar>

³ Especialista en Física de Suelos. Instituto de Suelos, INTA Castelar. Los Reseros y Las Cabañas s/n 1712. Castelar, Provincia de Buenos Aires, Argentina. <rodogil@cirn.inta.gov.ar>

Recibido: Mayo 13 de 2005; aceptado: Febrero 6 de 2006.

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.59, No.1. p.3237-3256. 2006.

ABSTRACT

LONG TERM EFFECTS OF NO TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE IN A TYPIC ARGIDIOLL OF THE ARGENTINA ROLLING PAMPA

No tillage is applied to an increasing proportion of silty loam argidiolls. little is known about the possible long-term evolution of soil physical properties. In Pergamino, INTA has 16 yr field trials for comparing soil behavior under long-term conventional tillage (CT) and no tillage (NT). In these treatments soil bulk density (cores), resistance (measured in the laboratory at different water contents), pore size distribution (water desorption in the tension table), saturated hydraulic conductivity, K sat (measured in the laboratory), and aggregate instability were determined. Results were compared to a non-degraded condition (a botanic reserve). Soil K sat and aggregate instability were the most sensitive parameters, which were respectively 1,41 – 0,16 mm h⁻¹ and 1,07 mm under CT and 23,61 – 4,61 mm h⁻¹ and 1,07 mm under NT. In this treatment soil recovered its original bimodal pore size distribution, which peaked in the > 100 µm and 50 - 20 µm pore size classes.

Key words: No tillage, structural regeneration, silty loam argidiolls.

Existen numerosos antecedentes que indican que los suelos limosos desarrollan compactación superficial en los primeros años de ser pasados a sistemas de siembra directa continua (Hill y Cruse 1985, Carter 1990, Logan, Lal y Dick 1991 y Pierce, Fortin y Staton 1994).

Durante 16 años, las parcelas de ensayo de labranza en la estación experimental de Pergamino, que están cubiertas por argiudoles franco limosos han recibido el laboreo sucesivo convencional (arado de reja y vertedera) y siembra directa, con la secuencia de cultivos trigo - soya - maíz, donde los residuos de cosecha son dejados en superficie.

En dichas parcelas se han evaluado los cambios de las propiedades físicas. A los 5 años de implementada

la siembra directa, la densidad aparente se incrementó significativamente desde valores entre 1,18 Mg m⁻³ (0 a 6 cm) y 1,39 Mg m⁻³ (18 - 24 cm) hasta 1,37 a 1,45 Mg m⁻³ (Blotta, Muñoz y Garay 1992, citados por Steinbach y Alvarez 2006).

Sin embargo, muchos autores han hallado que los suelos limosos experimentan mejoras físico-estructurales luego de 4 – 5 años bajo siembra directa continua (Angers, Pesant y Vigneux 1992, Costantini, Cosentino y Segat 1996, Chan y Mead 1998, Derphs 2000, Murdock et al. 2000 y Gudelj y Masiero 2000). En el presente trabajo se planteó como objetivo comparar propiedades físicas en parcelas mantenidas bajo labranza convencional y siembra directa un largo periodo (16 años) y comparar los resultados con los obtenidos 12

años atrás por Blotta, Muñoz y Garay 1992, citados por Steinbach y Alvarez 2006.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de muestreo y tratamientos. El muestreo se realizó en las parcelas experimentales de la Estación Experimental del INTA en Pergamino ubicada a 33° y 51' de latitud sur y 60° 40' de longitud oeste. El suelo de las parcelas es un argiudol típico serie Pergamino, fue descrito por Zaffanella y Gemesio 1966, con un horizonte A de 15 a 40 cm de espesor, con textura franco arcillo limosa, consistencia friable; un horizonte B con un espesor de 50 a 80 cm de textura arcillosa a arcillo limosa, estructura prismática media, compacta, desagrega en fragmentos prismáticos muy coherentes y con consistencia muy firme (muy duro cuando está seco). El horizonte C es muy profundo, de textura franco limosa, sin estructura, y consistencia ligeramente friable. La escorrentía superficial va de media a lenta, el drenaje ligeramente imperfecto y la permeabilidad particularmente baja en el horizonte B, la aireación en este horizonte es restringida. El ensayo fue iniciado en 1980 y en él se compararon distintos sistemas de labranza usados en la región.

Se compararon situaciones mantenidas 16 años con labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), y un tercer sitio de referencia tomado en la reserva botánica (RB). Este suelo

no ha sido laboreado durante décadas por lo cual puede ser considerado como referencia de una situación no degradada. La situación mantenida con labranza convencional continuada refleja el probable deterioro sufrido por un suelo de la zona durante la mayor parte del siglo XX, cuando los sistemas de producción utilizaban arados de reja y vertedera, rastras y control mecánico de malezas. La situación mantenida 16 años con siembra directa permite evaluar el grado de recuperación de este suelo al dejar de ser laboreado y mantenido con cobertura superficial de rastrojo.

Determinaciones. Se empleó un arreglo experimental correspondiente a parcelas divididas con 2 tratamientos y 4 repeticiones con un tamaño de parcela de 7 x 45 m, y se tomó como sitio de comparación la reserva botánica.

En cada tratamiento se determinó el contenido de carbono orgánico en el horizonte superficial (Método de Walkley y Black), las determinaciones físicas comprendieron:

a) Densidad Aparente. Se tomaron muestras por triplicado con profundidades de 0 - 6 cm, 6 - 12 cm y 12 - 18 cm, con cilindros de 62 mm de longitud y 71 mm de diámetro (Blake y Hartage 1986).

b) Resistencia Mecánica. Se realizaron determinaciones en el laboratorio con un penetrómetro de cono, según

dispositivo diseñado por Rodolfo Gil (no publicado). El suelo fue transportado en cilindros de 62 mm de longitud y 71 mm de diámetro y en ellos se realizaron las mediciones de penetrometría. Las muestras fueron saturadas lentamente. A medida que el contenido de humedad disminuyó se realizó la medición de resistencia a la penetración a través del cilindro. Los resultados son el promedio de la resistencia obtenida a través de las distintas profundidades.

c) Distribución de tamaño de poros. Se tomaron muestras de 0 a 6 cm, 6 a 12 cm y de 12 a 18 cm, con cilindros de 62 mm de longitud por 71 mm de diámetro. Inicialmente los cilindros se colocaron en bandejas con agua para saturación lenta, una vez saturadas se sometieron a la tensión deseada y se inició el proceso de desorción, alcanzado el equilibrio se midió el contenido de humedad gravimétrico en porcentaje. La determinación se realizó mediante desorción de humedad en: (i) mesas de tensión para bajas presiones (10, 20, 50 y 1 m de columna de agua); (ii) en la olla a presión con plato de cerámica porosa; (iii) con la membrana de presión de Richards para tensiones mayores (Danielson y Sutherland 1986).

Dada la relación inversa entre el tamaño de los poros y la fuerza de retención de agua, con las curvas de desorción se puede inferir la distribución del tamaño de los poros (Laplace). La expresión del tamaño

de los poros se hizo en términos de "diámetro equivalente".

d) Estabilidad estructural. Se tomaron muestras por triplicado de suelo de todas las situaciones de estudio. Las muestras fueron secadas al aire y se separaron los agregados por planos de ruptura natural, pasando a través de un tamiz de 8 mm. Las muestras se depositaron sobre un juego de tamices, (Nº 5/16, 5, 6 y 10 con aberturas de malla de 8 mm, 4 mm, 3 mm y 2 mm, respectivamente) los cuales se colocaron sobre un sistema vibratorio, con tamizador marca Retsch Tipo 30, 80 watt. Luego de 5 minutos de tamizado se calculó el diámetro medio ponderado en seco (DMPs).

Las fracciones de 8 - 4 mm, 4 - 3 mm y 3 - 2 mm fueron humedecidas suavemente con un atomizador, y mantenidas en cámara húmeda por 24 horas, de manera de llevar todas las muestras a capacidad de campo, evitando así la influencia de diferentes niveles de humedad de campo (Quirk y Murray 1991). De esta forma se aseguró un humedecimiento homogéneo lento y completo, evitándose así el cambio brusco en contenido de humedad. Después los agregados fueron tamizados en húmedo durante cinco minutos, utilizando un agitador de movimientos ascendente y descendente. Los agregados que quedaron en cada tamiz fueron secados en estufa hasta obtener peso constante, para luego

calcular el diámetro medio ponderado en húmedo (DMPH).

La diferencia entre DMPs y DMPH indicó el índice de inestabilidad estructural (IBL), siguiendo el criterio establecido por De Leechner y De Boodt 1958.

e) Conductividad hidráulica. Se cuantificó en laboratorio y por triplicado, la conductividad hidráulica saturada, con carga variable (Klute 1986). Se usaron cilindros de 62 mm de longitud y 71 mm de diámetro en la toma de muestras en cada una de las parcelas a 0 - 6 cm y 6 -12 cm.

Estadística. Las diferencias entre tratamientos fueron evaluadas con análisis de varianza y las comparaciones entre medias de tratamientos se hizo a través de la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de significancia (Steel y Torrie 1985).

Comparación 1984 vs 1996. Los resultados fueron comparados con los obtenidos previamente por Blotta, Muñoz y Garay 1992, a los cuatro años de iniciado el ensayo. Para ello se tuvo como criterio tomar a la reserva botánica como el lugar donde existen valores de equilibrio en los parámetros edáficos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica. Los niveles de materia orgánica fueron significativamente distintos entre tratamien-

tos: 4 % +/- 0,1 en el suelo de la reserva botánica, 2,2 % +/- 0,1 en el de labranza convencional y 2,8 % +/- 0,1 en el de siembra directa. Si se acepta que la reserva botánica se asemeja en algún modo a una situación inicial no degradada, los resultados evidencian que las pérdidas de materia orgánica causadas por la labranza convencional fueron del orden de 50 %. Estos niveles de perdida se asemejaron a los informados en la mayor parte de la región según la cartografía del INTA (Michelena et al. 1988 y Senigagliesi y Ferrari 1993). Dieciséis años de siembra directa lograron una ligera recuperación del nivel de materia orgánica lo cual coincide con lo hallado por otros autores (Chagas, Marelli y Santanatoglia 1994, Álvarez, Santanatoglia y Gracia 1995 y Pilatti et al. 1998).

Recientemente, Barbosa et al. 1997 hallaron niveles más altos de materia orgánica en argiudoles mantenidos bajo pastura, pero los descensos de materia orgánica causados por las labranzas fueron similares. Los presentes resultados demuestran que los niveles originales de materia orgánica no fueron recuperados totalmente, ni aún luego de un largo período de siembra directa.

Densidad aparente. La densidad aparente fue significativamente más alta en labranza convencional y siembra directa en las capas 6 - 12 cm y 12 - 18 cm, que en la capa 0 - 6 cm (Figura 1). Sin embargo, los

valores hallados nunca excedieron 1,29 Mg m⁻³, muy por debajo de los niveles de densidad críticos para el crecimiento vegetal en este tipo de suelos (Gupta y Allmaras 1987). El suelo de la reserva botánica tuvo siempre densidades significativamente más bajas, mientras que por el

contrario, el suelo en labranza convencional tuvo siempre las densidades más altas. Bajo siembra directa la densidad aparente fue ligeramente inferior que en labranza convencional, siendo la diferencia significativa sólo en la capa de 0 - 6 cm.

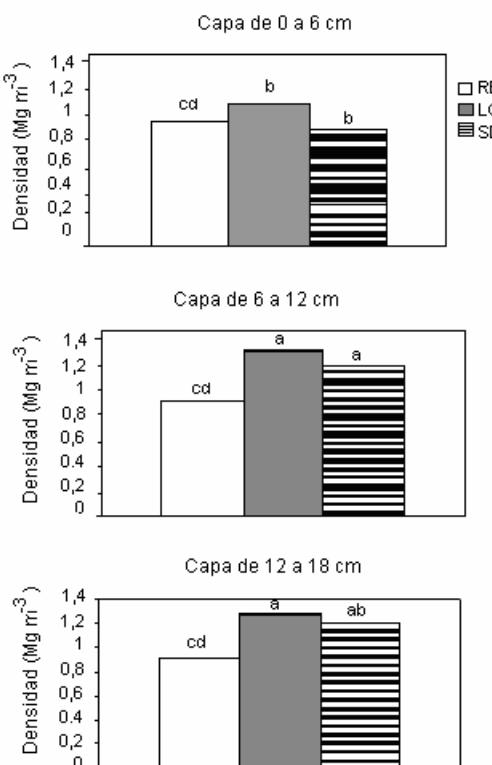


Figura 1. Cambios producidos en la densidad aparente por efecto de la labranza convencional (LC), siembra directa (SD) y suelo bajo reserva botánica (RB), en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina, en 0 - 6 cm, 6 - 12 cm y 12 - 18 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

En la Tabla 1 se presentan las relaciones entre las densidades aparentes determinados en este trabajo (1996) y los obtenidos en 1984 por Blotta, Muñoz y Garay 1992. Las relaciones de densidad aparente fueron siempre <1, ya que los valores de densidad aparente registrados en 1996 fueron siempre más bajos.

La densidad aparente fue menor en todas las situaciones en 1996, incluso en la reserva botánica, situación considerada de referencia. Por consiguiente se hizo necesario estandarizar los descensos observados, para eliminar posibles causas de error atribuibles a épocas y métodos de muestreo.

Tabla 1. Relación de densidad aparente en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina. 1996/1984.

Años Profundidad	RB			LC			SD		
	1984	1996	Relación 96/84	1984	1996	Relación 96/84	1984	1996	Relación 96/84
0 - 6 cm	1,18	0,91	0,77	1,18	1,04	0,88	1,37	0,89	0,65
6 - 12 cm	1,31	0,92	0,70	1,28	1,24	0,97	1,42	1,20	0,85
12 - 18 cm	1,32	0,91	0,76	1,34	1,28	0,96	1,45	1,21	0,83

Hammel 1989 propuso un valor de equilibrio de densidad aparente, hacia el cual tienden todos los suelos. Puede considerarse que dicho valor de equilibrio es alcanzado por el suelo de la reserva botánica.

En la Tabla 2 se presentan las relaciones entre las densidades aparentes de los suelos bajo labranza convencional y siembra directa con respecto a la reserva botánica.

En 1984 las relaciones de densidad aparente con la reserva botánica fueron esencialmente cercanas a 100 %, lo cual demuestra que casi no hubo cambios de densidad atribuibles al sistema de labranza. En 1996 en cambio las densidades aparentes de las situaciones bajo cultivo fueron

entre un 14 - 40 % mayores que en la reserva botánica (Tabla 2). Bajo siembra directa solo la capa superficial (0 - 6 cm) tuvo densidades levemente inferiores.

Estos resultados muestran que la densificación del suelo es un proceso que afectó tanto a los suelos bajo labranza convencional como siembra directa, lo cual tuvo lugar entre los 5 y los 16 años de ser comenzado el ensayo de labranzas, la siembra directa continua no mostró un comportamiento diferencial con respecto a labranza convencional.

No obstante debe recordarse que todas las densidades fueron en general más bajas en 1996 que en 1984 (Tabla 2).

Los resultados indican aumento de materia orgánica en superficie en el suelo en siembra directa. Pese a ello la densidad aparente no experimentó descensos lo cual se diferencia de lo hallado por otros autores en la región (Ferraras *et al* 1998 y Daz-Zorita y Grosso 2000) y en el exterior

(Blevins *et al.* 1983 y Murdock *et al.* 2000). En suelos similares a los aquí estudiados también se halló que la densidad aparente o bien varía poco (Taboada *et al.* 1998) o bien se incrementa ligeramente con siembra directa (Chagas, Marelli y Santanatoglia 1994).

Tabla 2. Cambios en densidad aparente en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina, sometido a labranza convencional y siembra directa en relación con reserva botánica (LC o SD/RB x 100).

Profundidad	1984		1996	
	LC/RB	SD/RB	LC/RB	SD/RB
0 a 6 cm	100,0	116,1	114,3	97,8
6 a 12 cm	97,7	108,4	134,8	130,4
12 a 18 cm	101,5	109,8	140,7	133,0

Resistencia a la penetración. Las determinaciones de resistencia a la penetración son dependientes del contenido hídrico edáfico; y dan valores más elevados cuanto más seco está el suelo (Gupta y Allmaras 1987 y Taylor y Brar 1991). En efecto, esto sucedió con las determinaciones realizadas en laboratorio entre saturación y 1,5 MPa de potencial mátrico (Figura 2). La magnitud de los aumentos en resistencia fue muy diferente entre profundidades. En la capa 0 - 6 cm la resistencia a la penetración se incrementó sólo levemente con el secado del suelo de la reserva botánica. Por el contrario, en las capas 6 - 12 cm y 12 - 18 cm el suelo bajo siembra directa tuvo resistencias significativamente más

altas en casi todo el rango de retención hídrica.

En estas mismas parcelas, Álvarez, Santanatoglia y Gracia 1995, demostraron que la capa 0 - 6 cm acumula la mayor proporción de materia orgánica del suelo. Por consiguiente fueron siempre bajos los niveles de resistencia hallados en esta capa (Gupta y Allmaras 1987 y Daz-Zorita y Grosso 2000). En las capas inferiores, se hizo evidente el aumento de resistencia del suelo bajo siembra directa. Este aumento es atribuible a la falta de remoción mecánica por un período prolongado, que facilita la ganancia de cohesión entre las partículas del suelo (Utomo y Dexter 1981, Kemper, Rosenau y Dexter 1987, Kay 1990 y Soane 1990).

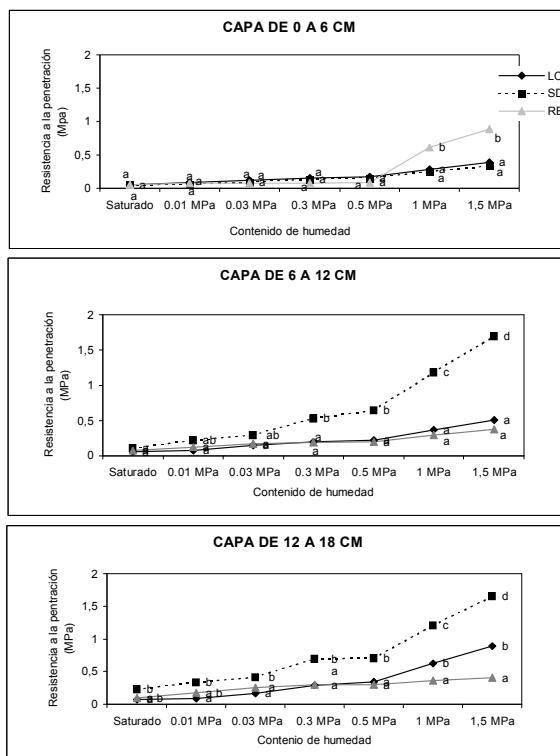


Figura 2. Cambios producidos en resistencia a la penetración con diferentes contenidos de humedad, por efecto de la labranza convencional (LC), siembra directa (SD) y suelo bajo reserva botánica (RB), en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina, en 0 - 6 cm, 6 - 12 cm y 12 - 18 cm de profundidad.. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

Este comportamiento diferente de la resistencia entre capas con diferente porcentaje de materia orgánica es coherente con las diferencias halladas en los niveles de densificación a campo. La siembra directa no siempre es favorable para el desarrollo de los cultivos, encontrando descensos en cultivos como el trigo y el maíz, en suelos limo-

sos (Senigagliesi y Ferrari 1993). Estos descensos son atribuibles a las altas resistencias a la penetración encontrados en los primeros centímetros de suelos bajo siembra directa (Senigagliesi y Ferrari 1993, Chagas, Marelli y Santanatoglia 1994 y Krüger 1996). De igual manera este aumento en resistencia puede ser una limitante que se

incrementa en épocas secas. Sin embargo, los valores máximos determinados fueron bajos en comparación con el nivel crítico (> 2 MPa) para el crecimiento vegetal (Gupta y Allmaras 1987, Taylor y Brar 1991, Derphsh 2000 y Murdock *et al.* 2000).

Distribución de tamaño de poros. La distribución de tamaño de poros surge del *continuum* del espacio poroso edá-

fico. Para el caso en estudio dicho *continuum* fue subdividido en tres clases de tamaño de poros mayores que $20 \mu\text{m}$ (Figura 3). Si bien existe discrepancia acerca del diámetro inicial de los macroporos del suelo, ningún autor considera su existencia con tamaños menores que $20 - 30 \mu\text{m}$ en razón de la falta de procesos capilares en poros de mayor tamaño (Hillel 1982 y Hamblin 1991).

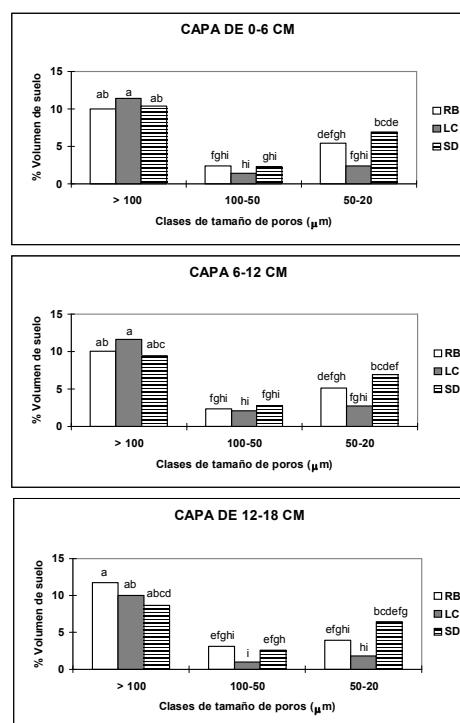


Figura 3. Cambios producidos en la distribución de tamaño de poros por efecto de la labranza convencional (LC), siembra directa (SD) y suelo bajo reserva botánica (RB), en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina en 0 - 6 cm, 6 - 12 cm y 12 - 18 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

En el argiudol analizado, los macroporos de la reserva botánica tuvieron una distribución aproximadamente bi-modal con picos en las clases > 100 μm y 50 - 20 μm (Figura 3). Bajo labranza convencional la distribución se volvió unimodal, con mayor cantidad de macroporos en la clase de mayor tamaño (> 100 μm). Es probable que estos macroporos hayan sido creados por la perturbación mecánica del laboreo, por lo cual carecen de estabilidad al agua (Gibbs y Reid 1988 y Azooz, Arshad y Franzluebbers 1996). El suelo bajo labranza convencional tuvo menor contenido de materia orgánica con respecto al de la reserva botánica. Probablemente este descenso afectó preferentemente a las fracciones más lábiles (mucílagos y polisacáridos) responsables de estabilizar por pegado a macroagregados (Gibbs y Reid 1982, Oades 1984, Dexter 1988 y Degens 1997). Al desaparecer estos agregados también disminuyeron los poros asociados en el rango de 50 - 20 μm . Particularmente, éste fue el rango de tamaño de poros que se recuperó en el suelo bajo siembra directa, volviendo así el suelo su distribución bimodal de macroporos.

La creación de bioporos estables luego de muchos años de siembra directa fue hallada por varios autores extranjeros (Ehler *et al.* 1983 y Miller y Jastrow 1990), pero no existen en la Argentina resultados de ensayos de largo plazo comparables. En un trabajo previo, Taboada *et al.* 1998, hallaron baja cantidad de macro-

poros en un argiudol de la región, lo cual fue atribuido a causas genéticas y no de manejo. La leve recuperación de macroporos observada bajo siembra directa evidencia un comportamiento distinto en el argiudol estudiado, aun-que debe destacarse que esta es la tendencia hallada en la mayor parte de los estudios a largo plazo.

Se desconocen las causas de estas diferencias entre suelos muy parecidos, aunque debería evaluarse la influencia de factores mineralógicos o biológicos (Gibbs y Reid 1988 y Quirk y Murray 1991).

En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos por Blotta, Muñoz y Garay 1992 a los cinco años de iniciado el ensayo. La comparación de estos resultados con los presentes no es simple pues Blotta, Muñoz y Garay 1992 determinaron los poros >10 μm , lo cual incluye a parte de los mesoporos (Hillel 1982 y Hamblin 1991). Estos datos de macroporosidad fueron corregidos usando la densidad aparente con el fin de llevarlos a una base volumétrica común que permita realizar comparaciones.

En 1984 hubo muchos más poros en la capa 0-6 cm que en las capas inferiores, e invariablemente siempre hubo menor porosidad en el suelo bajo siembra directa.

Ello se diferencia de lo sucedido a los 16 años, en que la macroporosidad fue

más alta en el suelo con SD que en los otros suelos. Otros autores hallaron que los suelos manejados con siembra directa sólo experimentan mejoras en su macroporosidad luego de 3 - 4 años (Elliot 1986 y Chan y

Mead 1998). Los resultados aquí mostrados indican que este período de espera aún no había concluido en este suelo en 1984, pero la mejora se hizo evidente luego de mayor número de años.

Tabla 3. Corrección de volumen de poros a los 5 años de iniciado el ensayo en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina. RB = reserva botánica; LC = labranza convencional; SD = siembra directa.

Profundidad	RB		LC		SD	
	V poros	V poros corregido	V poros	V poros corregido	V poros	V poros corregido
0 - 6 cm	27,6	15,31	25,8	14,31	21,4	10,34
6 - 12 cm	21,3	10,77	22,3	11,53	18,3	8,49
12 - 18 cm	12,3	6,17	13,7	6,93	9,9	4,48

Conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica en el suelo bajo siembra directa fue significativamente mayor con respecto al de labranza convencional (Figura 4). Estos resultados se asemejan a lo hallado por otros autores (Hamblin 1985, Gerard 1987, Sprague y Triplett 1996, Derphsh 2000 y Murdock *et al.* 2000). Las diferencias en conductividad hidráulica saturada se dieron en mayor magnitud en la capa 0 - 6 cm, donde se acumula la mayor cantidad de componentes orgánicos bajo siembra directa.

La cantidad de materia orgánica se correlaciona con la conductividad hidráulica, siendo mayor en las parcelas bajo siembra directa, esta

materia orgánica genera diferentes velocidades de humedecimiento de los agregados, conductividad hidráulica y estabilidad (Quirk y Murray 1991).

Durante las mediciones de conductividad hidráulica saturada se observó un rápido colapsamiento de agregados en los cilindros tomados del suelo bajo labranza convencional. Luego de una rápida entrada inicial de agua se produjo la detención casi absoluta del flujo a través de la muestra. Este hecho evidencia que la alta cantidad de macroporos >100 μm (Figura 2) en labranza convencional era totalmente inestable y de allí su veloz colapsamiento (Collins 1991 y Sprague y Triplett 1996).

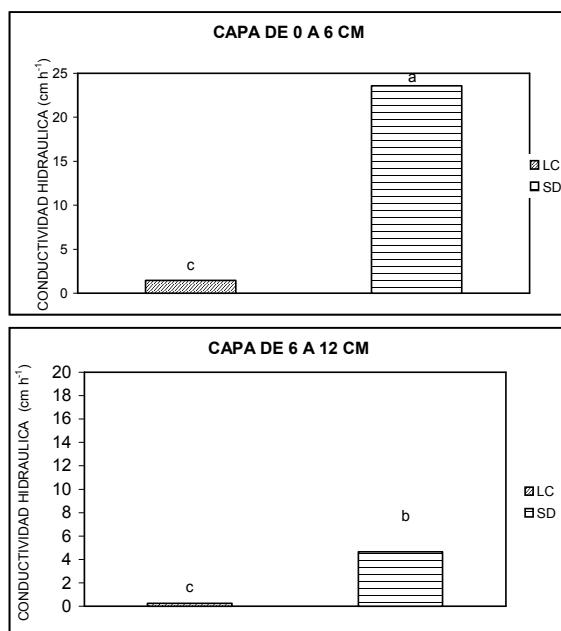


Figura 4. Cambios producidos en la conductividad hidráulica por efecto de la labranza convencional (LC) y de la siembra directa (SD), en un argiudol típico en la pampa ondulada Argentina, en 0 - 6 cm, 6 - 12 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

En la zona de Pergamino los cultivos se encuentran frecuentemente afectados por la ocurrencia de sequías estacionales que ocasionan grandes variaciones interanuales de los rendimientos. Esta área se caracteriza por una alta intensidad de lluvias en los períodos en los cuales los cultivos estivales no cubren totalmente el suelo (bajo índice de área foliar) o aún no han sido sembrados. Estos

hechos se agravan por la baja infiltración de los suelos sometidos a agricultura continua y por un drenaje lento lo que determina consecuentemente mayores pérdidas de agua por escurrimiento (Zeljkovich 1991).

Luego de cuatro años de mediciones de la evolución del agua en el perfil del suelo hasta 1,50 m de profundidad, en las mismas parcelas

experimentales del trabajo, Zeljkovich 1991, encontraron en todos los casos contenidos de humedad mayores en siembra directa que en labranza convencional. Las plantas presentaron mejores condiciones hídricas y lograron un mejor aprovechamiento del agua en siembra directa respecto al sistema convencional,

disminuciones significativas en ese rango de tamaño y en menor medida en los rangos 4 - 3 mm y 3 - 2 mm. Consecuentemente aumentó en forma altamente significativa la proporción de agregados de menor tamaño (< 1 mm), la cual incluye a los micro-agregados del suelo (< 250 μm). Fue poco afectada la clase de agregados 2 - 1 mm.

Estabilidad estructural

Distribución de tamaño de agregados en seco. El suelo de la reserva botánica tuvo una distribución de tamaño de agregados concentrada en los agregados de mayor tamaño, 8 - 4 mm (Figura 5a). La labranza convencional alteró esta distribución, especialmente a través del descenso significativo en la clase de 8 - 4 mm, y el consecuente aumento en la clase de 2 - 3 mm. Los agregados 4 - 3 mm no variaron entre tratamientos (Figura 5a). Estos resultados indican que luego de dieciséis años de siembra directa hubo muy ligero efecto en la distribución de tamaño de agregados.

Distribución de tamaño de agregados en húmedo. En el suelo de la reserva botánica la distribución de los agregados en húmedo también estuvo concentrada en los mayores tamaños (8 - 4 mm) mostrando así la alta estabilidad de este suelo (Figura 5). La labranza convencional causó

Los resultados hallados en DMP húmedo muestran que los principales cambios tuvieron lugar en los rangos de agregados de mayor y de menor tamaño, uno a consecuencia del otro, lo cual revela la existencia de jerarquías de agregados en este suelo (Tisdall y Oades 1982). Los procesos de desestabilización estructural incrementan la proporción de micro-agregados ($< 0,25$ mm), clase de tamaño incluido en el menor rango aquí estudiado (Oades 1984 y Dexter 1998).

Como resultado de la distribución de tamaño de agregados en seco y en húmedo, se produjeron cambios significativos en el índice de inestabilidad estructural (Figura 5c). El suelo reserva botánica presentó baja inestabilidad, la cual aumentó significativamente bajo labranza convencional. La siembra directa retornó el índice de inestabilidad a los valores bajos previos.

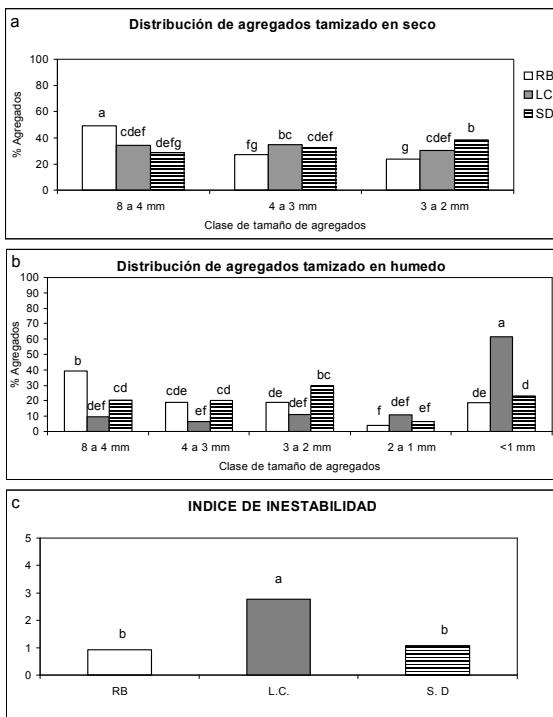


Figura 5. Cambios producidos en la estabilidad estructural por efecto de la labranza convencional (LC), siembra directa (SD) y suelo bajo reserva botánica (RB), en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo de distintos parámetros en la reserva botánica y en las bajo labranza convencional y siembra directa indican que se generaron cambios en el contenido de materia orgánica del suelo y en sus propiedades físicas, según el siguiente orden de importancia: conductividad hidráulica > estabilidad estructural > resistencia mecánica > distribución de

tamaño de poros, habiendo sido menos afectada la densidad aparente.

En labranza convencional los valores bajos de estabilidad estructural y de conductividad hidráulica ponen de manifiesto el efecto adverso de este tipo de manejo sobre la condición física del suelo.

El estudio confirma que los sistemas de siembra directa tienen la habilidad

para mejorar la estructura de los suelos

A largo plazo la siembra directa generó mayores contenidos de materia orgánica, estabilidad de agregados, conductividad hidráulica, y macroporosidad. Sin embargo, esta mejora recién se hizo evidente en condiciones de campo a los 16 años, corroborando la escasa resiliencia de estos suelos (Pecorari, Guerif y Stengel 1990 y Taboada *et al.* 1998).

Se planteó así, la necesidad de estudiar en una segunda parte los mecanismos regeneradores de la estructura de este suelo en tres distintas fases de alteración, luego de su degradación y compactación.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, R., Santanatoglia, O. J. and Gracia, R. 1995. Soil respiration and carbon inputs from crops in a wheat-soybean rotation under different tillage systems. En: Soil Use Management. Vol. 11; p. 45-50.

Angers, D.A, Pesant A. and Vigneux, J. 1992. Early cropping induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. En: Journal of Soil Science Society of America. Vol. 56; p. 115-119.

Azooz, R. H., Arshad, M. A. and Franzluebbers, A. J. 1996. Pores sizes distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in northwestern Ca-

nada. En: Journal of Soil Science Society of America. Vol. 60, no. 4; p. 1197-1201.

Barbosa, O. A., Taboada, M. A., Rodríguez. M. B. y Cosentino, D. J. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada. En: Ciencia del Suelo. Vol. 15; p. 81-86.

Blake, G. R. and Hartage, K. H.. 1986. Bulk density. p. 363-375. En: Klute, A., ed. Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.

Blevins, R. L., Thomas, M. S., Smith, W., Frye, W. and Cornelius L. P. 1983. Changes in soil properties after 10 years continues non-tillage and conventional tillage corn. En: Soil and Tillage Research. Vol. 3; p. 133-146.

Blotta, L. A., Muñoz, E. y Garay, A. F. 1992. Sistema de labranza en la rotación trigo-maíz-soja y su incidencia en la infiltración medida por el método del doble anillo. p. 1-7. En: INTA. Carpeta de producción vegetal: generalidades. (Información; no. 82). Citados por: Steinbach, Haydée, Alvarez, Roberto. Cambios en los contenidos de carbono de los suelos pampeanos por introducción de siembra directa. Disponible en Internet http://64.233.187.104/search?q=cache:RZOSRUYL0J:www.agro.uba.ar/siav/investigamos/siembra_directa_carbono_doc_2.pdf+bl&ct=clnk&cd=1.

- Carter, M. R. 1990. Relationship of strength properties to bulk density and macroporosity in cultivated loamy sand to loam soils. En: Soil and Tillage Research. Vol. 15; p. 257-268.
- Chagas, C. I., Marelli, H. J. y Santanatoglia, O. J. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. En: Ciencia del Suelo. Vol. 12; p. 11-16.
- Chan, K. Y., y Mead, J. A. 1998. Surface physical properties of a sandy soil under different tillage practices. En: Australian Journal of Soil Research. Vol. 26; p. 549-559.
- Collis, N. George. 1991. Drainage and soil structure: a review. En: Australian Journal of Soil Research. Vol. 29; p. 923-933.
- Costantini, A., Cosentino, D. and Segat, A. 1996. Influence of tillage systems on biological properties of a typic argidoll soil under continuous maize in central Argentina. En: Soil and Tillage Research. Vol. 38; p. 265-271.
- Danielson, R. E. and Sutherland, P. L. 1986. Porosity. p. 443-461. En: Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods. 2 ed. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy.
- De Leeheer, L. and De Boodt, M. L. 1958. Soil structure index and plant growth. p. 234-244. En: International Symposium on Soil Structure (1958: Ghent, Belgian). Proceedings. Ghent: The Symposium.
- Degens, B. P. 1997. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. En: Australian Journal of Soil Research. Vol. 35; p. 431-459.
- Derphsh, R. 2000. Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. Disponible en Internet: <http://fao.org/wicent/Agriculture/AGSE/2do/isco.HTM>.
- Dexter, A. R. 1988. Advances in characterization of soil structure. En: Soil and Tillage Research. Vol. 11; p. 199-235.
- Daz-Zorita, M. and Grosso, G. A. 2000. Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. En: Soil and Tillage Research. Vol. 54; p. 121-126.
- Ehlers, W., Kopke, W., Hesse, F. and Bohm, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. En: Soil and Tillage Research. Vol. 3; p. 261-275.
- Elliott, E. T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. En: Journal of Soil Science Society of America Vol. 50, no. 3; p. 627-633.

- Ferraras, L., De Batistta, J. J., Ausilio, A. y Pecorari, C. 1998. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un argisol típico. p. 23-24. En: XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (1998: Carlos Paz-Córdoba, Argentina). Actas. Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Gerard, C. J. 1987. Laboratory experiments on the effects of antecedent moisture and residue application on aggregation of different soils. En: Soil and Tillage Research. Vol. 9; p. 21-32.
- Gibbs, R. J. and Reid, J. B. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. En: Advances in Soil Science. Vol. 8; p. 123-149.
- Gudelj, O. y Masiero, B. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su densidad aparente. p. 20-30. En: XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (2000: Mar del Plata, Argentina). Actas. Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, AAC.
- Gupta, S. C. and Allmaras, R. R. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. En: Advances in Soil Science. Vol. 6; p. 65-100.
- Hamblin, A. P. 1991. Sustainable agricultural systems : what are the appropriate measures for soil structure? En: Australian Journal of Soil Research. Vol. 29; p. 709-715.
- Hamblin, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. En: Advances in Agronomy. Vol. 38; p. 95-158.
- Hammel, J. E. 1989. Long term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. En: Journal of Soil Science Society of America. Vol. 53; p. 1515-1519.
- Hill, R. L. and Cruse, R. M. 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. En: Journal of Soil Science Society of America. Vol. 49, no. 5; p. 1270-1273.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. San Diego: Academic Press. 365 p.
- Kay, B. D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. En: Advances in Soil Science. Vol. 12; p. 1-52.
- Kemper, W. E., Rosenau, R.C. and Dexter, A.R. 1987. Cohesion development in disrupted soil as affected by clay and organic matter content and temperature. En: Journal of Soil Science Society of America. Vol. 51; p. 860-867.
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. p. 635-640. En: Klute, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineral-

- logical methods. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy.
- Krüger, H. R. 1996. Compactación en haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. En: Ciencia del Suelo. Vol. 14; p. 104-106.
- Logan, T. J., Lal, R. and Dick, W. A. 1991. Tillage systems and soil properties in North America. En: Soil and Tillage Research. Vol. 20; p. 241-270.
- Michelena, R. O., Irurtia, C. B., Pittaluga, A., Vavruska, F. and De Sardi, M. E. B. 1988. Degradación de los suelos en el sector norte de la Pampa Ondulada. En: Ciencia del Suelo. Vol. 6; p. 60 -66.
- Miller, R. M. and Jastrow, J. D. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. En: Soil Biology and Biochemistry. Vol. 22; p. 579-584.
- Murdock, L.L., Herbek, J., Martin, J., James, J. and James, D. C. 2000. Yield potential and long term effects of no-tillage on wheat production. Disponible en Internet: <http://www.kysmallgrains.org/research/notillyield.html>
- Oades, J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanics and implications for management. En: Plant Soil. Vol.76; p. 319-337.
- Pecorari, C., Guerif, J. y Stengel, P. 1990. Fotolitos en los suelos pampeanos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de la evolución de la estructura. En: Ciencia del Suelo. Vol. 8; p. 135-141.
- Pierce, F. J., Fortin, M.C. and Staton, M. J. 1994. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. En: Journal of Soil Science Society of America. Vol. 58; p. 1782-1787.
- Pilatti M. A., Orellana, J. A., Priano, L. J., Felli, O. M., Grenon, D. A. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un argiudol del sur de Santa Fe. En: Ciencia del Suelo. Vol. 6; p. 19-29.
- Quirk, J. P. and Murray, R. S. 1991. Towards a model for soil structural behavior En: Australian Journal of Soil Research. Vol. 29; p. 829-867.
- Senigagliesi, C. and Ferrari, M. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. p. 27-35. En: Buxton, D. R. Shibles, R. A., Forsberg, B. L., Blad, K. H., Asay, G., Paulsen, M. y R. F. Wilson (Eds.). International Crop Science I. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Soane, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. En: Soil and Tillage Research. Vol.16; p. 179-201.
- Sprague, M. A. and Triplett, G. B. 1996. No tillage and surface-tillage

- agriculture, the tillage revolution. New York: John Wiley and Sons. 631 p.
- Steel R. G. and Torrie, J. H. 1985. Bioestadística principios y procedimiento. 2 ed. Bogotá: Mcgraw-Hill. 522 p.
- Taboada, M. A., Micucci, F. G., Cosentino, D. J. and Lavado, R. S. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. En: Soil and Tillage Research. Vol. 49; p. 57-63.
- Taylor, H. M. and Brar, G. S. 1991. Effect of soil compaction on root development. En: Soil and Tillage Research. Vol. 19; p. 111-119.
- Tisdall, J. M. and Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. En: Journal of Soil Science. Vol. 33; p. 141-163.
- Utomo, W. H. and Dexter, A. R. 1981. Agehardening of agricultural top-soils. En: Journal of Soil Science. Vol. 32; p. 335-350.
- Zaffanella, M. and Gemesio, M. 1966. Limitaciones del suelo de Pergamino para lograr altos rendimientos maiceros sugeridas por el estudio de estudios estadounidenses similares. INTA. Estación experimental de Pergamino. 121 p.
- Zeljkovich, L. T. 1991. El agua del suelo y la productividad de los cultivos en la región de Pergamino (Bs. As.). En: Carpeta de Producción Vegetal. INTA Pergamino. Información no. 71; 6 p.