

Boletín Técnico N° 4

Indicadores de calidad física de suelos

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Centro Regional Buenos Aires Norte
Estación Experimental Agropecuaria General Villegas

Enero 2005
República Argentina

INDICE

Efecto de los sistemas de labranzas sobre las propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos.....	5
Alvarez, C.; Barraco, M.	
Introducción.....	5
Materia orgánica.....	5
Materia orgánica y su influencia sobre las propiedades físicas de suelo.....	8
Siembra directa y propiedades físicas.....	10
Rendimientos en grano de soja y maíz.....	14
Bibliografía.....	14
Aspectos del manejo del agua en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana.....	19
Quiroga, A.; Lejarraga, B.; Fernández, R.; Funaro, D.	
Ecuación 1:.....	19
Ecuación 2:.....	23
1) Pasturas.....	24
2) Barbecho a la salida de pasturas.....	25
Ecuación 3:.....	26
Bibliografía consultada.....	26
Efecto del pisoteo por animales en planteos de siembra directa	27
Krüger, H.; Venanzi, S.; Sa Pereira, E.	
Introducción.....	27
Metodología.....	27
Principales resultados.....	28
Conclusiones	29
Referencias.....	29
Evaluación del estado estructural de suelos con agricultura continua en siembra directa.....	31
De Battista, J.; Pecorari, C.; Albrecht, R.	
Descripción del método.....	31
Casos estudiados.....	32
Caso 1.....	32
Caso 2.....	33
Caso 3.....	34
Caso 4.....	35
Caso 5.....	35
Caso 6.....	36
Caso 7.....	37
Caso 8.....	37
Caso 9.....	38
Cuadro de síntesis.....	38
Comentarios generales.....	39
Bibliografía.....	39

EFFECTO DE LOS SISTEMAS DE LABRANZAS SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS Y RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Ing. Agr. Cristian Álvarez, Ing. Agr. Mirian Barraco

Introducción.

La mayoría de los suelos del noroeste de Buenos Aires y Este de La Pampa son clasificados como Hapludoles o Haplustoles (según el régimen hídrico), los cuales se caracterizan por su textura arenosa a franco arenosa, bien drenados, con bajos a medios contenidos de materia orgánica (MO) y con moderada capacidad de almacenaje de agua. Según el mayor o menor contenido de arena estos suelos se denominan Énticos o Típicos, respectivamente. Presentan capacidad de uso II y III, siendo el contenido de materia orgánica de la capa superficial (0-20 cm) la propiedad edáfica que mejor describe las variaciones en la producción de los cultivos en la región (Díaz Zorita *et al.*, 1999). Los niveles de materia orgánica en la capa superior de estos suelos varía según los contenidos de limos + arcillas, como así también de la intensidad de manejo de estos suelos (Buschiazzo *et al.*, 1991).

Los sistemas de producción agropecuarios tradicionales desarrollados en la región durante gran parte del siglo XX comprendieron rotaciones de cultivos anuales de cosecha con pasturas perennes bajo pastoreo directo en proporciones prácticamente equivalentes (Hall *et al.*, 1992). 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.*)].

Diversos autores han estudiado el efecto de los sistemas de labranza sobre los parámetros físicos y químicos de suelo: MO (Rosell y Andriulo, 1989), densidad aparente (DA) y resistencia mecánica (RP) (Ross, Hughes, 1985) estabilidad estructu-

ral (EE) (Pilatti *et al.*, 1988, Rivero *et al.*, 1984) balance de agua (Power *et al.*, 1986). 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 (Buzchiazzo *et al.*, 1998), 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).

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) constituye un componente clave en el suelo al afectar sus propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo además un prerrequisito para la obtención de cultivos con niveles de producción elevados y estables (Allison, 1965). Reeves (1997) al analizar el rol que cumple la MO en la funcionalidad de los suelos señala que el carbono orgánico (CO) es el atributo mayormente estudiado en ensayos de larga duración como indicador de la calidad de los suelos y de sustentabilidad de los mismos.

Numerosos estudios nacionales e internacionales se refieren a los efectos de las labranzas, rotaciones y el manejo de los rastrojos en relación con cambios en los contenidos de MO y propiedades físicas y químicas relacionadas a la misma.

Los sistemas tradicionales de agricultura continua (mediante prácticas de laboreo de los suelos) han provocado una gran disminución en los contenidos de MO en toda la región pampeana. Michelena *et al.*, (1989) en estudios desarrollados en el norte de la Pcia. de la Buenos Aires, mostraron que los niveles de MO disminuyeron progresivamente con el uso agrícola, pasando de un 3.2% en suelos con rotación agrícola-ganadera, al 2.7%

en suelos sometidos a agricultura continua por períodos de más de 20 años. Parte de ese carbono se perdió por procesos erosivos y parte por emisión a la atmósfera en forma de dióxido de carbono. Estas emisiones que son naturales durante la etapa de mineralización de la MO del suelo y necesaria para la fertilidad del mismo, se incrementan durante la realización de las labranzas ya que estimulan los procesos de oxidación. Estudios desarrollados en Argiudoles de la Pampa ondulada por los mismos autores muestran una relación muy estrecha entre el grado de erosión de los suelos y la caída de MO de los mismos. Dicha relación establece descensos de 0.1% de MO por cada centímetro de suelo perdido (aproximadamente 120 kg MO/cm de suelo).

Es abundante la literatura que muestra que los sistemas de Sembrado Directo (SD) al no remover el suelo y al mantener inalterable el ordenamiento natural de los componentes sólidos del mismo generan una acumulación de MO en los primeros centímetros de perfil, como consecuencia de la concentración en superficie de la totalidad de los residuos provenientes de los rastrojos de los cultivos (Unger 1991, Díaz-Zorita 1999, Crespo *et al.*, 2001). Este espesor enriquecido en MO oscila entre los 3 a más de 10 cm, dependiendo de las condiciones climáticas, tipo de suelo, cultivos considerados y tiempo transcurrido. A modo de ejemplo Casas *et al.*, (2001) encontraron contenidos de MO en SD muy superiores a los de agricultura convencional en los primeros 5 cm superficiales, pero continuaron siendo superiores aún a los 15 cm de profundidad. Estas diferencias se acentuaron con los años de SD superando a la convencional en más de 1% de MO (valor promedio para la profundidad de 0-15 cm) en los lotes con 9 años de directa.

No obstante, Potter *et al.*, (1997) señalan que las diferencias en la concentración de CO entre sistemas de labranza están generalmente limitadas a los primeros 7 cm del suelo. Por debajo de 7 cm

diferencias entre sistemas de labranza frecuentemente no son observadas (Tabla 1) o los contenidos de MO resultan menores bajo SD (Wander *et al.*, 1998).

Tabla 1: Contenidos de materia orgánica del suelo en siembra directa, respecto de labranza convencional. (Quiroga, 1998)

casos	0-5 cm	5-20 cm	Cont. absoluto	Aspec. Físicos*
a	Mayor	Mayor	Mayor	Mejoran
b	Mayor	Igual	Mayor	Mejoran
c	Mayor	Menor	Igual	Mejoran
d	Igual	Igual	Igual	Desmejoran

* Significativa interacción con textura (principalmente limos y arenas muy finas).

En los cuatro módulos de labranza conducidos en la provincia de La Pampa se ha comprobado mayor contenido de MO en los suelos bajo SD respecto de Siembra Convencional (SC), principalmente en la capa superficial (0-6cm): en Macachín (35,1%), Dorila 1 (38,9%), Dorila 2 (20,7%) y Anguil (43,1%) (Figura 1). Estrecha relación se observa entre los contenidos de MO y fracciones granulométricas de los suelos bajo SD, coincidiendo con los resultados obtenidos por Campbell *et al.*, (1996) respecto a la relación positiva entre contenidos de arcilla y MO en suelos de Canadá bajo SD.

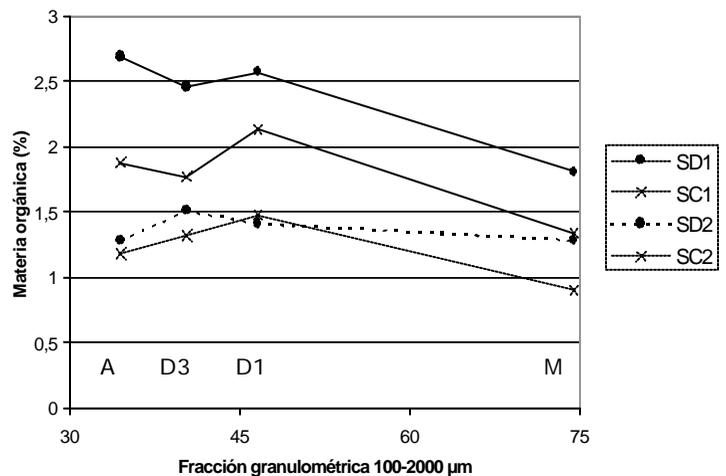


Figura 1: Contenidos de materia orgánica en la fracción granulométrica de 100-2000 µm de suelos de distintas texturas bajo siembra directa (SD) y siembra convencional (SC). Macachin (M), Dorila 1 (D1), Dorila 3 (D3), Anguil (A).

Lal (1997) luego de 16 años de monocultura de maíz determinó contenidos de MO 26,4% mayores de 0-5 cm en suelos bajo SD respecto de SC. Wander *et al.*, (1998) registraron bajo SD 25% y 4% más de MO de 0-5 y 5-17,5 cm, respectivamente. Dao (1998), luego de 11 años menciona incrementos de MO de 65% y 7% para las profundidades de 0-5 y 10-20 cm, respectivamente. Díaz-Zorita (1999) luego de 6 años de acumular efectos registró 18,9% más de MO bajo SD que en SC en un Hapludol del Oeste de Buenos Aires.

Díaz-Zorita *et al.*, (2004) luego de 12 años de observaciones comparando diferentes sistemas de labranza con rotación maíz/soja en un Hapludol Típico concluyeron que la SD contribuyó a la conservación de los contenidos totales de MO, atribuido fundamentalmente a la reducción en la mineralización producida por la no remoción de los suelos. Los sistemas con laboreo con arado de reja (AR) y arado de cincel (AC), redujeron en un 36 y un 32 %, respectivamente los niveles de MO con respecto a una situación de pastura de festuca sin alterar por 15 años (PF) (Figura 2). 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 Ton ha⁻¹ de MO para los tratamientos de AR, AC, SD o PF, respectivamente. (Tabla 2). Los aportes de C estimados a partir de los rendimientos de los cultivos no difirieron significativamente entre sistemas de manejo de los suelos (Figuras 9a y 9b). Por lo tanto, bajo las condiciones de este estudio, la menor acumulación de MO 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. De acuerdo a estos resultados se concluye que la SD, contribuiría a la conservación de las condiciones iniciales de fertilidad de los suelos. Resultados similares se han descrito en diferentes ambientes de la región pampeana semiárida y subhúmeda (Buschiazzo *et al.*, 1996).

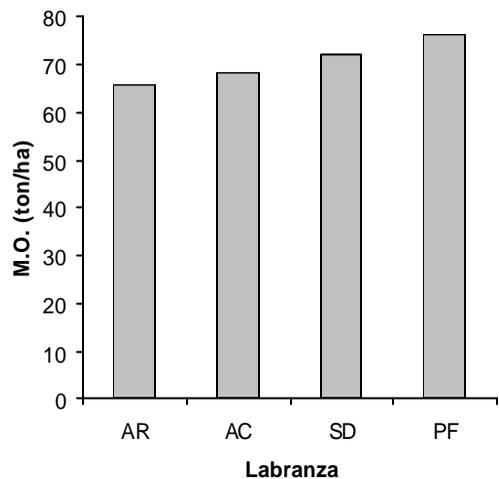


Figura 2. Contenidos de Materia Orgánica (MO) en los primeros 20 cm de suelo según sistemas de labranza en el noroeste de Buenos Aires. (AR: labranza con arado de rejas, AC: labranza con arado de cincelos, SD siembra directa y PF pastura de festuca).

Tabla 2: Concentración de materia orgánica (%) según profundidad de muestreo y sistema de manejo de los suelos (AR: labranza con arado de rejas, AC: labranza con arado de cincelos, 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).

Prof. (cm)	AR	AC.	SD	PF
0 a 5	2,61 a A	2,78 a A	3,53 a B	3,71 a B
5 a 10	2,56 a A	2,68 a AB	2,68 b AB	2,84 b B
10 a 15	2,50 a A	2,46 b A	2,30 c A	2,34 c A
15 a 20	2,23 b A	2,36 c A	2,18 c A	2,31 c A

Así mismo la SD no solo produce modificaciones cuantitativas en el pool de MO sino también cualitativas debido a un incremento en las fracciones lábiles o jóvenes (Cambarella, Elliot 1993; Janzen *et al.*, 1998). Esta fracción compuesta principalmente por residuos de cultivos y productos intermedios de los procesos de humificación resulta ser un indicador más sensible que el CO y el N total para interpretar modificaciones en la calidad del suelo (Kapkiyai *et al.*, 1999).

En Argiudoles Típicos se observó un incremento en las fracciones gruesas de la MO ligada a una mayor actividad biológica y fertilidad del suelo, especialmente en los primeros 5 cm del perfil (Casas, 2003).

De manera similar, en la región semiárida de Canadá se ha comprobado que los suelos destinados a trigo que pasan de SC a SD pueden secuestrar de 56 tn de C/ha por incremento en los contenidos de MO y residuos superficiales (Curtin *et al.*, 1998). El C presente en los residuos superficiales representó una fracción significativa del C total en los suelos bajo SD. Pidello *et al.*, (1995) determinaron en Argiudoles típicos de Santa Fe 8,7% más de C oxidable en los primeros 15 cm de suelos bajo SD respecto de SC. Larney *et al.*, (1997) observaron luego de 8 años de SD de trigo incrementos de CO de 2 Mg/ha⁻¹ y de 15 a 27% de N y C en la fracción liviana y mineralizable.

Los residuos en superficie junto con la no remoción conducen a una menor oxidación de la MO (mayor albedo, menor temperatura y menor tasa de difusión de oxígeno) y por lo tanto una reducción en la tasa de descomposición. Si bien estos fenómenos se producen principalmente en un delgado espesor de la superficie, el efecto sobre el balance y la dinámica de agua, calor y gases tiene una incidencia decisiva para los cultivos, por tratarse justamente de las interfaces suelo-atmósfera que gobierna las entradas y salidas de los componentes del sistema.

La cantidad de rastrojos, su composición y resistencia a procesos de mineralización varía entre cultivos y pueden interaccionar de forma compleja según diferentes secuencias de cultivos y el manejo que se haga de los mismos (por ejemplo pastoreos). En general, cultivos con relaciones C: N alta como maíz y trigo permitirían un mayor enriquecimiento de MO de los suelos. Estudios desarrollados en Daireaux (Bs. As) muestran contenidos totales de MO en la profundidad de 0 a 15 cm superiores en rotaciones con mayor frecuencia de maíz y trigo, comparadas con

otras secuencias con mayor proporción de girasol y soja (Díaz Zorita; Grove, 2001).

Resultados similares fueron hallados por Fontanetto y Vivas (2003) a través de un modelo de simulación para cuatro rotaciones diferentes. Estos autores concluyeron que al cabo de 12 años de secuencia de cultivos el balance de C fue de 2544, 1735, 1139 y -1692 kgC ha⁻¹ para Trigo/Soja-Maíz, Trigo/Soja, Trigo/Soja-Maíz-Soja y monocultivo de Soja, respectivamente. Para que el balance de C sea neutro con el monocultivo de soja se debería obtener un rendimiento anual de 3827 kg ha⁻¹.

Materia orgánica y su influencia sobre las propiedades físicas de suelo

La evaluación de propiedades edáficas que resultan más sensibles a los efectos del manejo permiten, respecto de otras propiedades, anticipar el sentido de los cambios ocurridos en los suelos (degradación, conservación, recuperación). La magnitud y oportunidad de estos cambios resulta frecuentemente dependiente de la condición inicial de los suelos, de los efectos de distintos sistemas de labranza y secuencia de cultivos sobre los contenidos de materia orgánica y propiedades físicas de los suelos más estrechamente relacionadas con la productividad de los cultivos (Quiroga *et al.*, 1998).

La mayoría de los estudios muestran una influencia significativa de la siembra directa (SD) sobre los contenidos de MO y de ésta sobre propiedades físicas de los suelos: densidad aparente (DA), densidad aparente máxima (Damax), susceptibilidad a la compactación (C), distribución de tamaño de agregados, estabilidad estructural (EE), RP, retención de agua, etc.

Sin embargo la condición inicial de los suelos que se incorporan a SD pueden anular los efectos positivos de este sistema sobre los contenidos de MO y propiedades físicas asociadas. Ferrari (1997) indica que la condición física del suelo al momento de entrar en el sistema de SD es uno de los

factores más importantes a considerar en el área de influencia del INTA Pergamino. Las posibilidades de producir efectos físicos favorables en el suelo estaría estrechamente relacionada a la condición de degradación inicial. Varsa *et al.*, (1997) trabajando en un Hapludalf, franco limoso, comprobaron que la compactación subsuperficial limitó el desarrollo de las raíces y que en estas condiciones el incremento de la profundidad de la labranza tuvo un mayor efecto sobre la producción de maíz que la incorporación de la siembra directa. La presencia de capas subsuperficiales que limitan la penetración y distribución de raíces limitaron en mayor grado los rendimientos de maíz bajo labranzas reducida que en labranza convencional (Materechera y Mloza-Banda, 1997).

Resultados similares obtenidos en el área de influencia del INTA Anguil (Quiroga *et al.*, 1989) dieron lugar a experiencias con implementos de labranza vertical profunda en suelos con presencia de compactaciones subsuperficiales, como paso previo a la introducción de la siembra directa.

En el área de influencia del INTA Gral. Villegas también se han detectado importantes relaciones entre algunas propiedades de los suelos y la productividad de cultivos de cosecha y pasturas. En el sector Este y Centro-Este del área se ha comprobado relación entre el comportamiento de trigo y el espesor de suelo por encima del horizonte endurecido de Hapludoles thapto árgicos (Diaz-Zorita, 1997). En estos suelos la producción de soja resultó menor en SD que en sistemas con remoción.

Por lo expuesto resulta prioritario, en el estudio de las relaciones suelo-labranza, reconocer las propiedades edáficas más sensibles a los efectos del manejo para las condiciones de cada región. En suelos de la región semiárida pampeana, los contenidos de MO joven (MOj), susceptibilidad a la compactación y estabilidad estructural en húmedo fueron las

principales propiedades discriminantes seleccionadas (Quiroga, 1994). Se comprobó además que los suelos bajo rotación de pasturas perennes-cultivos anuales presentaron significativamente mejores condiciones iniciales para establecer SD que suelos provenientes de agricultura continua.

La inclusión de la SD en suelos de sistemas mixtos bajo rotación puede ser una alternativa a considerar como forma de conservar el N del suelo y mejorar su eficiencia de uso. La mayor oferta de N en labranza convencional puede no sincronizar con la demanda del cultivo siguiente dando lugar a una menor eficiencia de uso del N (Sawchik, 1998).

Es limitada la información disponible relacionada con los contenidos totales y distribución del CO del suelo en sistemas de producción de secano de regiones semiáridas (Potter *et al.*, 1997). No es posible estimar un nivel de equilibrio regional de la MO debido a la alta dependencia de la textura del suelo y sistemas de manejo (Hendrix *et al.*, 1998). La influencia de la labranza sobre la MO es difícil de predecir. Sobre la base de tres sitios de trabajo en las praderas de Canadá, Campbell *et al.*, (1996a), comprueban una relación positiva entre contenidos de arcilla e incrementos en la MO asociados a la adopción de la SD.

Asociado con este aumento en la MO se comprueba mayor estabilidad estructural y menor susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.*, 1996; Thomas *et al.*, 1996; Ball *et al.*, 1996). En el área de influencia del INTA Bordenave se registró, luego de 6 años de SD, aumento del 5% del CO total respecto de la condición inicial y efectos positivos sobre la estabilidad estructural (Krüger y Ripoll, 1997). El incremento en los contenidos de MO ha tenido principalmente lugar a partir de la MOj, obtenida por tamizado en húmedo desde la fracción granulométrica de 100-2000 μm . La Figura 3 muestra este comportamiento en el módulo de Dorila (Quiroga *et al.*, 1996).

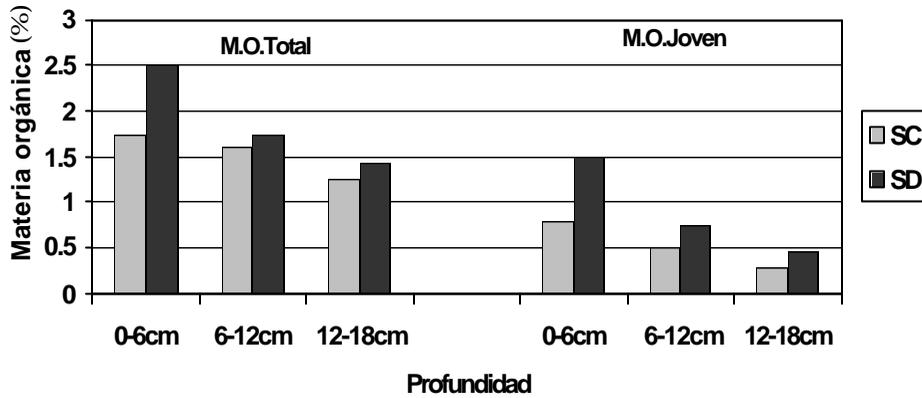


Figura 3: Distribución de la materia orgánica total y joven (100-2000 μm) en el perfil de un suelo bajo siembra directa y convencional. Módulo Dorila.

Siembra directa y propiedades físicas.

En SD frecuentemente es mayor la densidad aparente y resistencia a la penetración y menor la macroporosidad y conductividad hidráulica en la zona de labranza (0-10 cm), registrándose un comportamiento inverso en la capa subsuperficial (Figura 4), (Quiroga y Monsalvo, 1989b; Chang y Lindwall, 1992; Quiroga *et al.*, 1998). Sin embargo la infiltración del agua es normalmente igual o mayor y menores los escurrimientos en los suelos bajo SD (Lal, 1979; Lal y Vandoren, 1990; Maurya, 1986).

En el ensayo de labranzas de larga duración de EEA Gral. Villegas la densidad aparente en la capa de 0 a 5 cm de pro-

fundidad 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 (Figura 5). 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 Teórica 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 2).

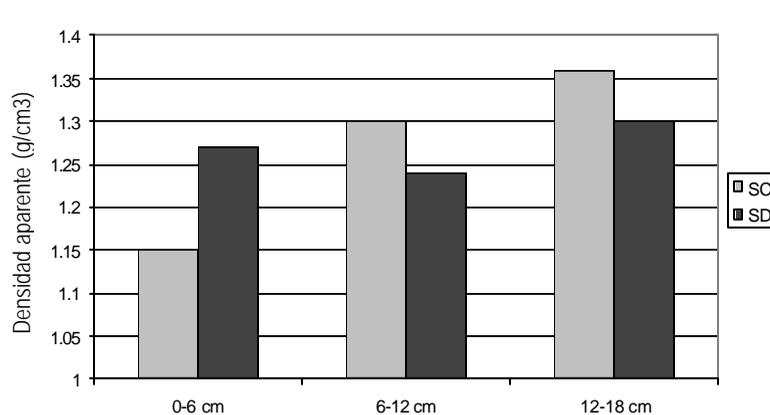


Figura 4: Valores de densidad aparente en siembra directa y siembra convencional para 3 profundidades en un Haplustol Entico.

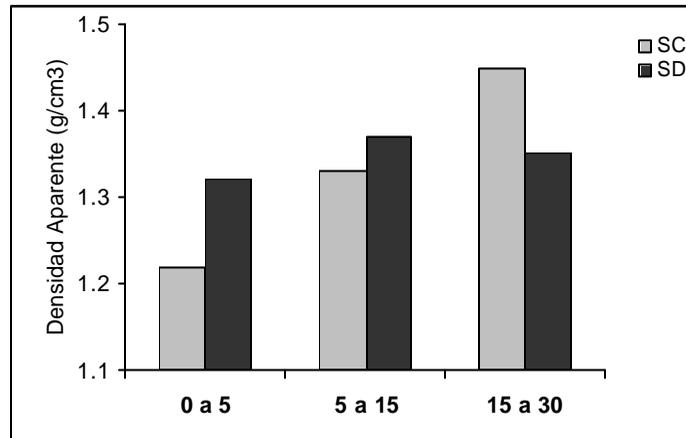


Figura 5: Valores de densidad aparente en siembra directa y siembra convencional para 3 profundidades en un Hapludol Típico.

La RP varió entre 0.98 y 2.9 Mpa, no existiendo diferencias entre sistemas de labranza en superficie y con incrementos en profundidad para los sistemas con remoción (Figura 6). 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 empleadas. 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 po-

rosidad de los suelos y no presentan niveles potencialmente restrictivos para el normal desarrollo de las raíces de los cultivos. Los contenidos de humedad variaron entre 15 y 21 % (1% = 10 g/kg), siendo superiores en la capa de 0 a 15 cm de profundidad en SD (Figura 6). 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.

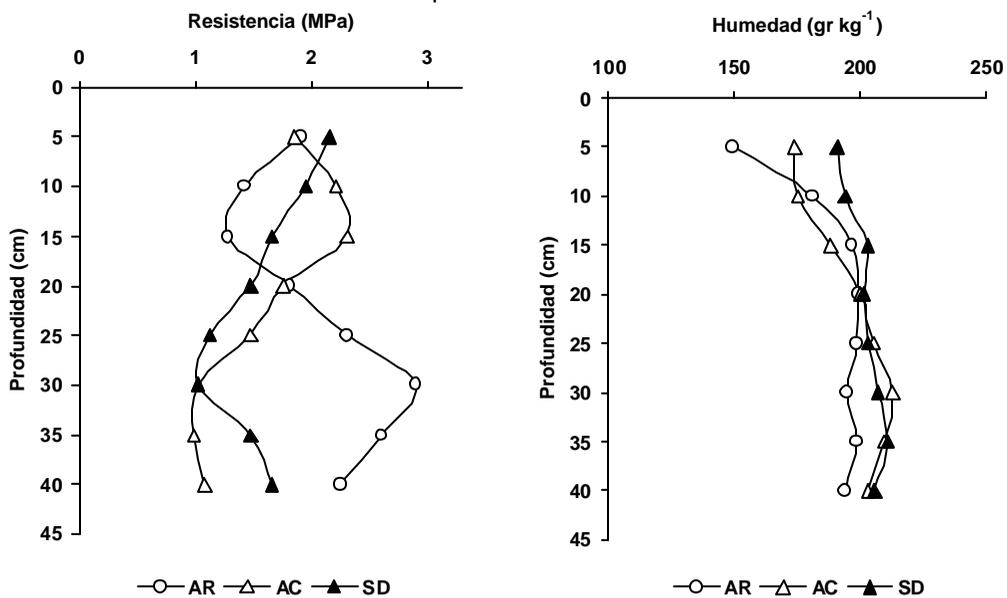


Figura 6: Resistencia a la penetración y contenido de humedad bajo diferentes sistemas de labranzas en un Hapludol Típico.

La mayor infiltración en SD estaría dada por una mayor estabilidad de la estructura que da lugar a macroporos más estables y con mayor interconexión entre sí (Lal y Vandoren, 1990). SD puede registrar inicialmente menor tasa de infiltración que SC, guardando relación con la menor porosidad de la capa superior. Sin embargo, la infiltración acumulada al cabo de cierto tiempo resultó superior en SD poniendo en evidencia una mayor estabilidad estructural que se reflejó en los valores de la pendiente "m" de Kostiakov (SD= 0,61 y SC= 0,32) (Quiroga y Monsalvo, 1989b). Fontanetto y Keller (1998) evaluaron la evolución de propiedades físicas y químicas del suelo en relación a la situación inicial para tres secuencias de cultivos forrajeros, en el área de influencia del INTA Rafaela. Luego de 6 años la densidad aparente y resistencia a la penetración no variaron significativamente, mientras que la infiltración del agua registró incremen-

tos respecto de la situación inicial. Edwards *et al.*, (1992) determinaron que la DA bajo SD disminuyó significativamente respecto de SC como resultado de la acumulación de MO.

La tendencia de los suelos bajo SD fue a incrementar la estabilidad estructural y disminuir la proporción de agregados menores a 2 mm (Figura 7). Luego de 10 años de acumular efectos de labranzas sobre un Haplustol éntico, la proporción de agregados menores a 0,84 mm fue significativamente menor bajo SD (23%) que en SC (36,9%) (Quiroga *et al.*, 1996). Similares resultados son indicados por Mahboubi y Lal (1998) al evaluar luego de 18 años muestras de suelo de 15 cm en Alfisoles bajo SD, SC y LV, comprobando significativas diferencias en la agregación, con valores de 41,4%, 25,8% y 26,9%, respectivamente. Yan y Wander (1998) obtienen resultados similares luego de 9 años de SD y SC en un Argialboll franco limoso.

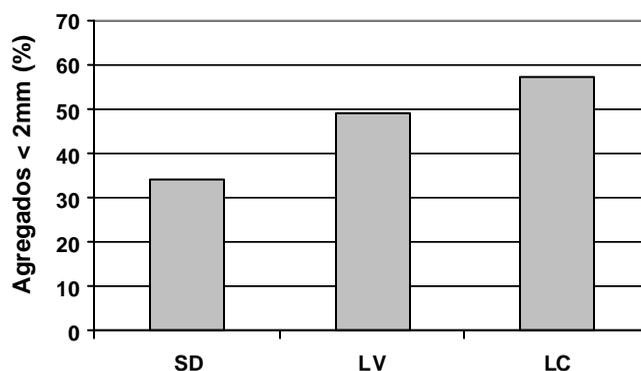


Figura 7: agregados menores a 2 mm en un suelo Haplustol éntico bajo tres sistemas de labranza (siembra directa, vertical y convencional).

En Hapludoles Típicos los mayores diámetros de fragmentos correspondieron a sistemas de SD o PF. Los sistemas de manejo AR o AC indujeron a la ocurrencia de fragmentos de menor diámetro (Figura 8). 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 los que 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 labo-

reos inducen al fragmentado físico y ruptura de la estructura promoviendo al refinamiento del suelo (Perfect *et al.*, 1997).

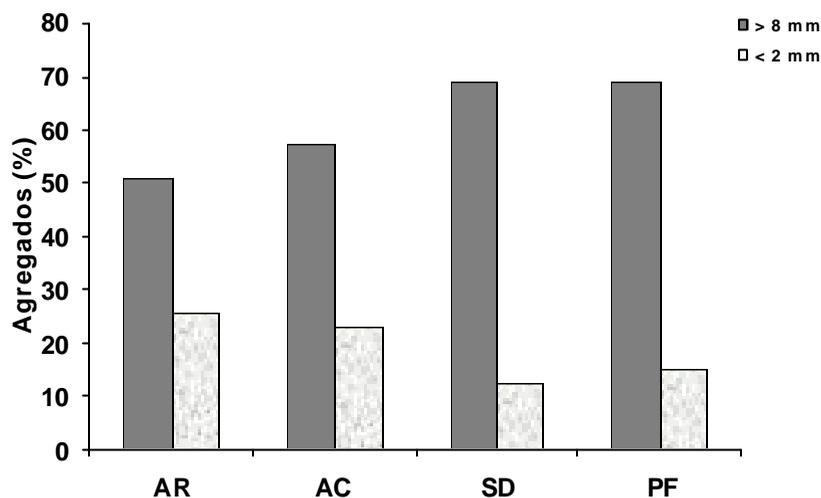


Figura 8 : agregados menores a 2 mm y mayores a 8 mm en un suelo Hapludol Típico bajo cuatro sistemas de manejo de suelo: siembra directa (SD), vertical (AC), convencional (AR) y pastura de festuca (PF).

En oportunidades se ha comprobado que una mayor estabilidad estructural puede dar lugar a incrementos en la resistencia a la penetración; que el aumento de la cantidad de agregados puede disminuir inicialmente la estabilidad estructural; que los efectos de los residuos vegetales sobre la estabilidad estructural del suelo resultan dependientes de los aportes de la secuencia de cultivos (cantidad y calidad); que una mayor disponibilidad de agua en SD da lugar a una menor resistencia a la penetración subsuperficial (a la siembra) y también superficial (durante el cultivo, y a cosecha) respecto de SC.

Quiroga *et al.*, (1999), comprobaron un importante efecto de la textura y del manejo al comparar las curvas proctor en (SD y LC) en dos sitios diferentes. Kruger (1996) evaluó la compactación mediante test Proctor en Haplustoles del sudoeste bonaerense bajo cuatro sistemas de labranza. SD en un suelo arenoso franco caracterizado por su alta compactabilidad mostró menor DA que SC, siendo menor la probabilidad de alcanzar niveles críticos de DA en SD. Contenidos de MO más elevados en la capa superficial explicarían la menor DA y mejor condición estructural de los suelos bajo SD.

Stengel *et al.*, (1984) obtienen una ecuación de regresión que muestra el incremento necesario en los contenidos de MO para disminuir en 0,1 la DA. Quiroga *et al.*, (1999) indican que un incremento de aproximadamente $5g\ kg^{-1}$ en el contenido de MO produce una disminución de 0,06 en la DAMax. La estrecha relación entre MO y DA (Thomas *et al.*, 1996; Ball *et al.*, 1996), MO y susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.*, 1998 y 1999) y la alta sensibilidad de la DAMax a pequeños cambios en los contenidos de MO (Davidson *et al.*, 1967) le confieren un importante valor discriminante a los parámetros obtenidos de curvas Proctor en suelos de la región semiárida pampeana.

Por lo expuesto es necesario considerar el carácter dinámico del estado estructural del suelo, limitando las conclusiones de experiencias de corta duración (SD de transición), basadas en observaciones puntuales en el tiempo o que solo consideran parcialmente aspectos físicos del suelo o el estudio de propiedades edáficas pocos sensibles a la influencia del manejo que se pretende evaluar. Por ejemplo, la estabilidad estructural en seco es principalmente determinada por los contenidos de arcilla y consecuentemente

es poco sensible a distintos manejos en condiciones de la región semiárida pampeana (Quiroga, 1994).

Rendimientos en grano de soja y maíz

En el ensayo de larga duración de EEA Gral. Villegas la producción de granos no mostró diferencias significativas entre sistemas de labranzas tanto en la mayoría de las campañas individuales como en promedio para los 11 años del estudio ($p < 0,95$). En promedio, los rendimientos en grano de soja para AR, AC y SD fueron de $3125 (\pm 1067)$, $3145 (\pm 1067)$ y $3003 (\pm 795)$ kg ha^{-1} . Se observó que la producción de grano de soja aumentó a razón de $241 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, independientemente del sistema de manejo evaluado (Figura 9a). 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.). No se detectaron relaciones significativas entre los rendimientos y las precipita-

ciones 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 (Figura 9b). En promedio para el período 1991-2001, la producción de granos de maíz fue de $9101 (\pm 1305)$, $8540 (\pm 1680)$ y $8731 (\pm 1879)$ 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 observaciones en el área bajo estudio tanto en condiciones experimentales (Díaz-Zorita Duarte, 2002) como en lotes de producción (Díaz-Zorita *et al.*, 2002).

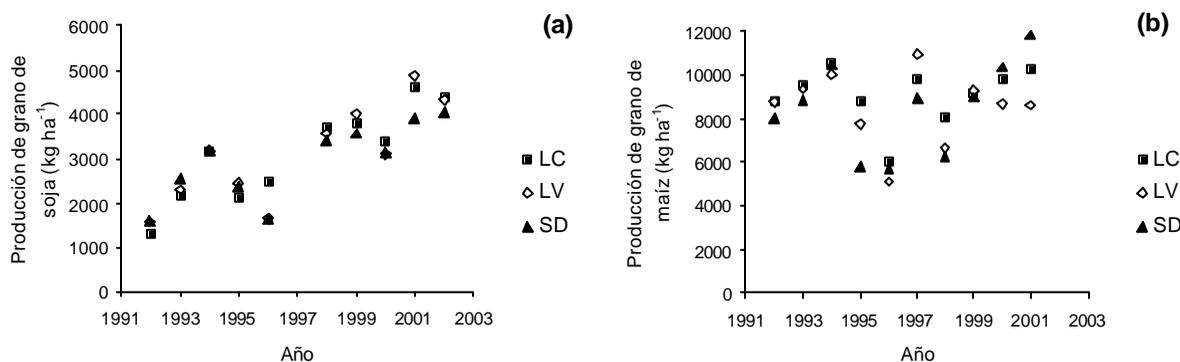


Figura 9: Evolución de los rendimientos de grano de soja (a) y de maíz (b) en un Hapludol bajo prácticas continuas de siembra directa (SD) y labranzas con arado de rejas (AR) o arado de cinceles (AC).

Bibliografía

Allison, L.E. 1965. Organic carbon. In methods of Soil Analysis. Pp 1367-1378. C.A. Black (De) Monograph N° 9. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Azooz R., M. Arshad. 1998. Effect of tillage and residue management on barley and canola growth and water use efficiency. Can. J. of Soil Sci.

Ball B., M. Cheshire, E. Robertson, E. Hunter. 1996. Carbohydrate composition

in relation to structural stability, compactability and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil Till Res* 39(3-4):143-160.

Buschiazzo DE, Panigatti JL, Unger PW. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* 49: 105-116.

Buschiazzo DE, Panigatti JL. 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.

Buschiazzo DE, Quiroga AR, Stahr K. Patterns of organic matter distribution in soils of the semiarid Argentinean Pampas. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 154 437-441.

Cambarella C, Elliot E. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1071-1076.

Campbell C., B. Mc Conkey, R. Zentner, F. Selles, D. Curtin. 1996. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured typical Haploboroll in southwestern Saskatchewan. *Soil Till Res.* 37(1):3-14.

Campbell C., B. Mc Conkey, R. Zentner, F. Selles, D. Curtin. 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76:395-401.

Casas R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo 1. Buenos Aires.

Casas R. 2003. El aumento de materia orgánica en los suelos argentinos: el aporte de la siembra directa. *Actas XI Congreso*

Nacional de AAPRESID. Tomo I. Pp 155-167.

Chang C., C. Lindwall. 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil Till Res* 22:383-389.

Crespo L, Picone LI, Andreoli YE, García FO. 2001. Poblaciones microbianas y el contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19 (1). Pp 30-38.

Curtin D., F. Selles, H. Wang, B. McConkey, C. Campbell. 1998. Carbon dioxide fluxes and carbon storage in conventional and no-till soil in semiarid Saskatchewan, Canada. 16 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Montpellier, Francia.

Dao T. 1998. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a Aleustoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 250-256

Davidson J., F. Gray, D. Pinson. 1967. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. J.* 59:375-378.

Díaz Zorita M. 1996. Labranzas en la región semiárida y subhúmeda bonaerense. En Buschiazzo DE, JL Panigatti y FJ Babinec (Ed). *Labranzas en la región semiárida Argentina*. INTA y SAPyA, Santa Rosa, (Argentina). Pp 39-48.

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., Barraco M., Alvarez M. 2004. Efectos de doce años de labranza en un hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22: (1) 11-18.

- 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.
- Díaz-Zorita M. 1997. Labranzas y rotaciones en la región noroeste bonaerense. Cambios en los suelos y en la productividad de los cultivos. En *Labranzas y Rotaciones, Curso actual. prof., INTA Gral Villegas*.
- 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. Rotaciones de cultivos en siembra directa y las propiedades de suelos en la pampa arenosa. *Siembra Directa II*. Panigatti JL, Buzchiazzo D y Marelli H (editores). 377 pp.
- Edwards J., C. Wood, D. Thurlow, M. Ruf. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of Hapludult soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1577-1582.
- 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.
- Ferrari M. 1997. Los sistemas de labranza en el área de influencia de la EEA-INTA Pergamino. Efectos sobre los rendimientos agrícolas y las propiedades de los suelos. En *Labranzas y Rotaciones, Curso act. Prof., INTA Gral Villegas*.
- Fontanetto H, Vivas H. 2003. Consumo y manejo de nutrientes de las rotaciones de cultivos. *Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo II. Pp 329-332*.
- Fontanetto H., O. Keller. 1998. Evolución de propiedades físicas y químicas del suelo con diferentes secuencias de pasturas y cultivos en siembra directa. En *Viabilización de la Siembra Directa en Sistemas Mixtos de producción*. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay.
- 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.
- Hall AJ, Rebella CM, Ghera CM, Culot JP. 1992. Field-crop systems of the pampas. En: Pearson CJ (Ed.) *Field Crop Ecosystems*. Elsevier Ed., The Netherlands, 413-450.
- 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.
- Hendrix P., A. Franzluebbers, D. McCracken. 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. *Soil Till. Res.* 47:245-251.
- Janzen H., C. Campbell, R. Izaurralde, B. Ellert, N. Juma, W. McGill, R. Zentner. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 47:181-195.
- Kapkiyai J. Karanja N, Qureshi P, Smithson P. Wooner P. 1999. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenian nitisol under long-term fertilizer and organic input management. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 1773-1782.
- Kruger H. 1996. Compactación en Haplusoles del sudoeste Bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 14:104-106.
- Kruger H., M. Ripoll. 1997. Rotaciones y labranzas en Bordenave. Efectos sobre el suelo y la producción de cultivos. En *Labranzas y Rotaciones, Curso actual. prof., INTA Gral Villegas*.

- Lal R. 1979. Influence of tillage methods and residue mulches on soil structure and infiltration rate. In *Modification of Soil Structure*, W. Emerson ed.
- Lal R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western
- Lal R., D. Vandoren. 1990. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration of two soils in Ohio. *Soil Till. Res.* 16:71-74.
- Larney F., E. Bremer, H. Janzen, A. Johnston, C. Lindwall. 1997. Changes in total, mineralizable and light fraction soil organic matter with cropping and tillage intensities in semiarid southern Alberta, Canada. *Soil Till. Res.* 42:229-240.
- Mahboubi A., R. Lal. 1998. Long-term tillage effects on changes in structural properties of two soils in central Ohio. *Soil Till. Res.* 45:107-118.
- Materechera S., H. Mloza-Banda. 1997. Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi. *Soil Till. Res.* 41:13-24.
- Maurya P. 1986. Effect of tillage and residue management....*Soil Till. Res.* 8:161-170.
- Michelena, RO., Irurtia CB., Vavruska F., Mon R., Pitaluga A. 1989. Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. INTA. Proyecto de Agricultura Conservacionista. Publicación Técnica N°6. Estación Experimental Agropecuaria INTA_Pergamino.
- 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.
- Pidello A., E. Perotti, G. Chapo, L. Menendez. 1995. Materia orgánica, actividad microbiana y potencial redox en dos Argiudoles Típicos bajo labranza convencional y siembra directa. *Ciencia del Suelo* 13:6-10.
- Pilatti MA., de Orellana J A., Priano LJ., Felli OM., Grenon DA. 1988. Incidencia de manejo tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas en un Argüidlo en el Sur de Santa Fé. *Ciencia del Suelo* 6: 19-29.
- Potter K., O. Jones, H. Torbert, P. Unger. 1997. Crop rotation and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid Southern Great Plains. *Soil Science* 162(2):140-147.
- Power JF, Wilhem WW, Doran JW.1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soybean production. *Soil Tillage Res.* 8:101-111.
- Quiroga A, Ormeño O, Peinemann N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. *Siembra Directa*. Panigatti JL, Marelli H, Buzchiazzo D, Gil R (editores). 333 pp.
- Quiroga A. 1994. Influencia del manejo sobre propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenidos de materia orgánica. Tesis MSc, UNSur, Bahía Blanca.
- Quiroga A., D. Buschiazzo, M. Monsalvo. 1989a. Compactación de suelos en la región semiárida pampeana central. *EEA INTA Anguil, Carp. Técn.*, 68-74pp.
- Quiroga A., D. Buschiazzo, N. Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil Till. Res.*52:21-28.
- Quiroga A., M. Monsalvo, D. Buschiazzo, E. Adema. 1996. Labranzas en la región semiárida pampeana central. En *Labranzas*

en la Región Semiárida Argentina, Buschiazzo D., J. Panigatti y F. Babinec (Ed.). INTA Centro Reg. La Pampa-San Luis (126pp).

Quiroga A., M. Monsalvo. 1989b. Influencia de la siembra directa sobre algunas propiedades físicas de un suelo Haplustol éntico. EEA INTA Anguil, Carp.Téc., 52-56.

Quiroga A., O. Ormeño. 1988b. Impacto de la siembra directa en la economía del agua de los cultivos. Cuad. Act. CREA 59:30-37.

Quiroga AR, Buschiazzo DE, Peinemann N. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. Soil Sci. 163: 591-597

Reeves D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil Till. Res. 43:131-167.

Ross CW, Hughes KA. 1985. Maize/oats forage rotation under three cultivation system. 1978-1983. II Soil properties. New Zel. J. Agric. Res. 28: 209-219.

Rossell RA, Andriulo A. 1989. Distribución de carbono y nitrógeno orgánicos, formas de fósforo y pH de un suelo bajo tres manejos. Agrochimica 33:194-202.

Sawchik J. 1998. Rol del nitrógeno en la rotación cultivos-pasturas. En Viabilización de la siembra directa en sistemas mixtos de producción. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay.

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.

Stengel P., J. Douglas, J. Gerif, M. Goss, G.Monnier, R. Cannell. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. Soil Till. Res.4:35-53.

Thomas G., G. Haszler, R. Blevins. 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the proctor test. Soil Science 161 (8):502-508.

Ullé A, Santanatoglia O. 1988. Efectos físicos y contenido hídrico de 4 sistemas de labranzas en un suelo de la serie Ramallo. Actas XII Congreso AACs. Pág. 222-223.

Unger PW. 1991. Organic matter, nutrient, and pH distribution in no- and conventional tillage semiarid soils. Agron. J. 83: 186-191.

Varsa E., S. Chong, J. Abolaji, D. Farquhar, F. Olsen. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. Soil Till. Res. 43:219-228.

Wander M., M. Bidart, S. Aref. 1998. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1704-1711.

Yang X., M. Wander. 1998. Temporal changes in dry aggregate size and stability: tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois. Soil Till. Res. 49:173-183.

ASPECTOS DEL MANEJO DEL AGUA EN SISTEMAS MIXTOS DE LAS REGIONES SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA PAMPEANA.

A. Quiroga¹, B. Lejarraga², R. Fernández²⁻³, D. Funaro²⁻³
¹Ing. Agr., INTA EEA Anguil. ²Pasante de INTA Anguil. ³Becario del Interamerican Institute for Global Change Research

Los sistemas mixtos de producción se encuentran ampliamente difundidos en las regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana (RSSP), comprendiendo las planicies con tosca y medianosa de La Pampa, Sur de Córdoba, Este de San Luis y Oeste de Buenos Aires.

Particularmente en esta área el manejo del agua es un factor trascendente a tener en cuenta por constituir el principal limitante de la producción condicionando en no pocos casos la viabilidad de los planteos productivos. Aspectos como la captación, capacidad y eficiencia de almacenaje y la eficiencia de uso del agua deben ser especialmente considerados al planificar el sistema de producción, la secuencia de cultivos y la estrategia de manejo de un cultivo en particular. Para interpretar la importancia de estos aspectos normalmente poco considerados, durante el presente trabajo serán consideradas tres ecuaciones:

Ecuación 1:

Capacidad almacenar agua útil (mm) = profundidad x (C.C - PMP) x DA= 50 a 200 mm
 Profundidad= espesor de suelo explorado por las raíces.

CC= humedad de capacidad de campo

PMP= humedad de punto de marchites permanente

DA= densidad aparente

Esta ecuación muestra que la capacidad de almacenar agua (CRA) de los suelos varía en la región entre 50 y 200 mm. Así la viabilidad de un sistema de producción (cría, invernada, tambo, agricultura de verano) puede estar fuertemente condicionada por el recurso suelo antes que por el sistema de labranza, fertilización, genética, etc.

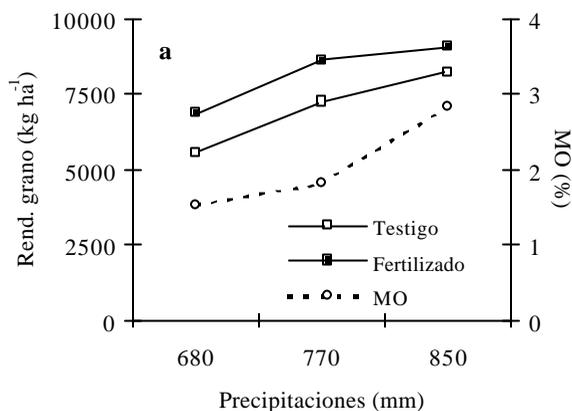


Figura 1: Relación entre precipitaciones, contenidos de materia orgánica y rendimientos de maíz sin fertilizar y fertilizado con N.

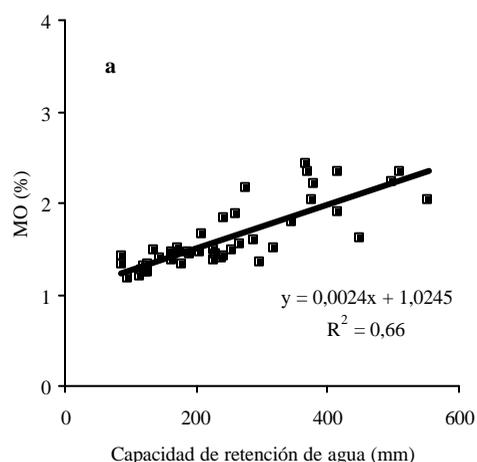


Figura 2: Efecto de la capacidad de retención de agua sobre los contenidos de materia orgánica, en Haplustoles Enticos de la RSP.

Esta variación en la CRA (textura y espesor de suelo) conjuntamente con variaciones en la precipitación condicionan el régimen hídrico de los suelos incidiendo significativamente sobre la productividad de los cultivos y el balance de C de los suelos (Figura 1 y 2, Tabla 1).

Tabla 1: Efecto de la capacidad de retención de agua sobre los contenidos de materia orgánica y producción de centeno en Haplustoles Enticos de la RSP.

	Capacidad de Retención de Agua (CRA)		
	Baja	Media	Alta
Prof. (cm)	76 (n 11)	123 (n 16)	187 (n 18)
CRA (mm)	115	204	368
MO (%)	1,31 a	1,47 b	1,94 c
MS (kg ha ⁻¹)	1652 a	1969 ab	2562 b
Rend.(kg ha ⁻¹)	588 a	757 ab	1049 c
N en grano (kg ha ⁻¹)	15,8 a	19,4 b	25,2 c

Por lo expuesto puede inferirse que en suelos que poseen la misma CRA y planteo productivo, diferencias en las precipitaciones darán lugar a diferencias en el balance de C. Por otra parte, a igual precipitación y planteo productivo, suelos con diferente CRA condicionarán el balance de C.

Estas diferencias en la CRA no solo están condicionadas por la profundidad del suelo, también varían significativamente por las diferencias que tienen lugar en la granulometría de los suelos de la RSP. (Figura 3).

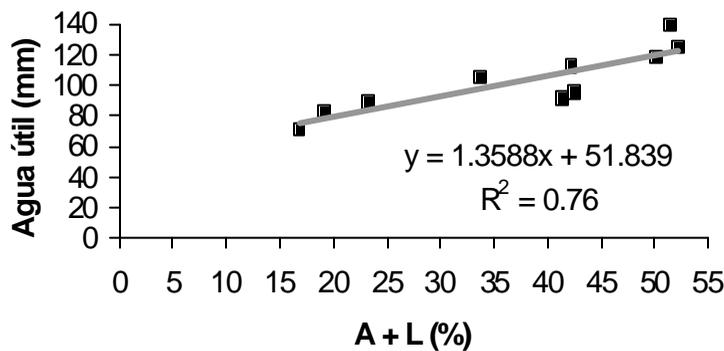


Figura 3: Variación en la capacidad de almacenaje de agua útil de los suelos (mm/100cm) en función del contenido de arcilla + limo (%).

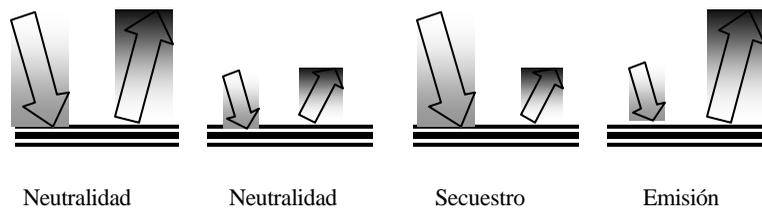


Figura 4: Ejemplos de balances de C en suelos de la región semiárida pampeana

En la Figura 4 se muestran posibles balances de carbono, los cuales muestran suelos que mantienen un equilibrio aparente en el tiempo (Neutralidad), suelos donde aumenta el contenido de C (Secuestro) y por último suelos con pérdida de C (Emisión). Existe preocupación en toda la región, dado que el proceso de

agriculturización con cultivos anuales que realizan un menor aporte de rastrojos, y la utilización de estos por la ganadería muestran que la situación más frecuente es la denominada de "Emisión" de Carbono, asociado a esto se comprueba degradación física de los suelos.

Cambios en los contenidos de materia orgánica atribuibles al manejo afectarían los niveles y rango de variación de algunas propiedades físicas de los suelos.

Los suelos bajo agricultura convencional han experimentado aumentos en la densidad aparente y susceptibilidad a la compactación, a la vez que disminuciones

de la estabilidad estructural en húmedo, la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica (Quiroga, 1994).

En la Figura 5 se presentan los valores de infiltración acumulada en suelos de diferentes texturas (arenoso-franco y franco) sometidos a tres manejos contrastantes.

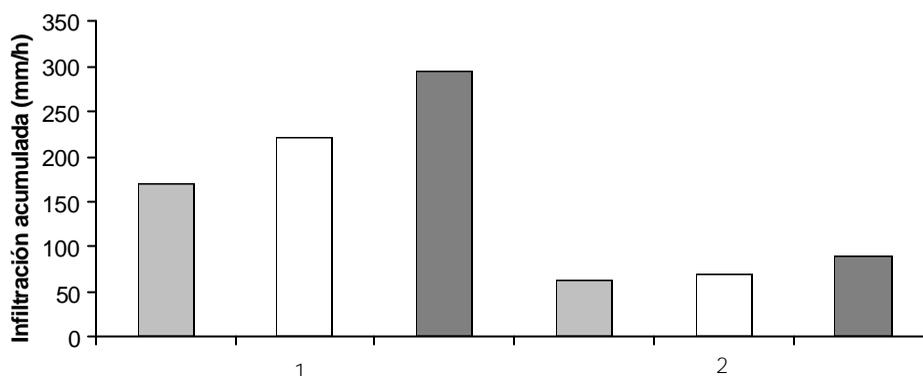
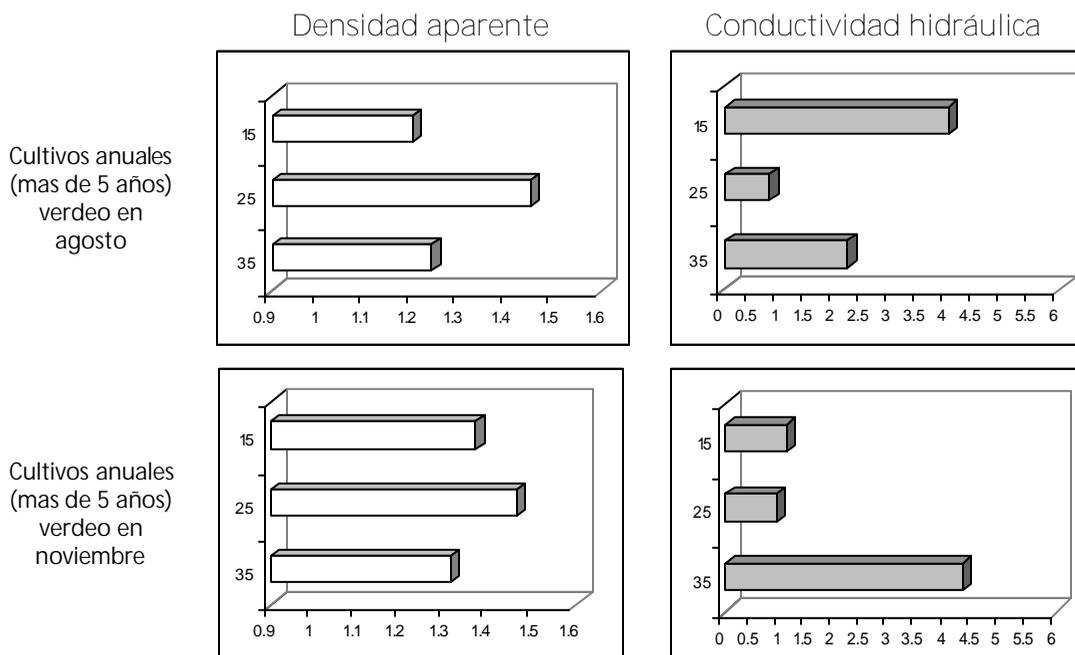


Figura 5. Infiltración en suelos sometidos a manejos contrastantes (■ agrícola, □ rotación, y ■ virgen) y agrupados en dos niveles texturales: 1) suelos arenoso franco y 2) suelos francos.

Por su parte en la Figura 6 se muestran los cambios en la densidad aparente (DA) y conductividad hidráulica (K) de

perfiles de suelos sometidos a distintos manejos.



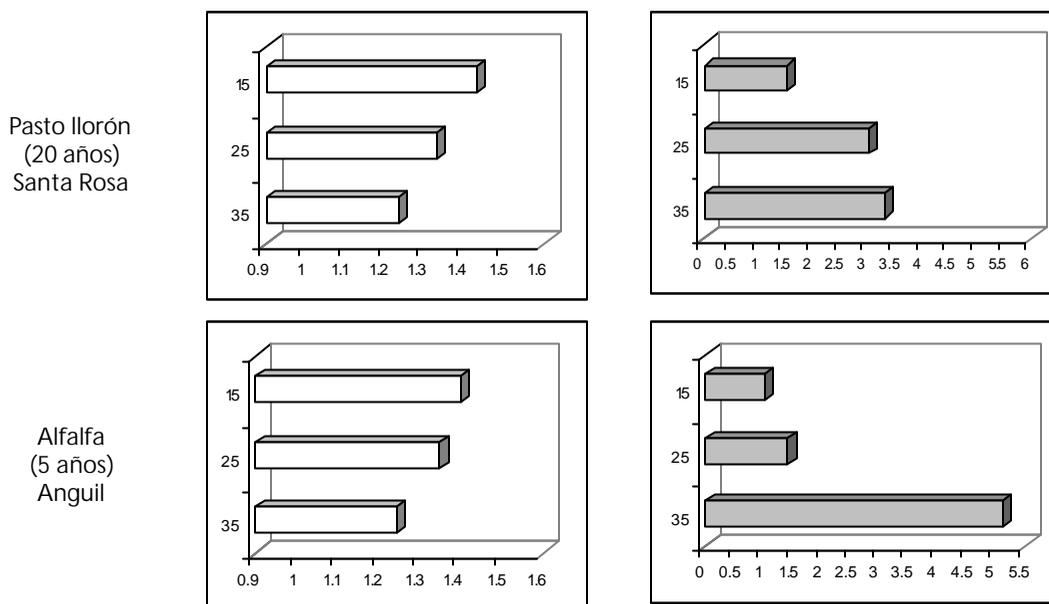


Figura 6: Densidad aparente y conductividad hidráulica en perfiles de suelos sometidos a distintos manejo.

En los suelos de la RSP se comprueba presencia de compactaciones superficiales (efecto del pisoteo) y subsuperficiales (efecto de labranzas) que restringen el crecimiento de las raíces y el ingreso y movimiento del agua a través del perfil.

La densificación produce la disminución de macroporos provocando incrementos en la densidad aparente, reduciéndose de esta manera la conductividad hidráulica. (Figura 6).

Con respecto al manejo, en suelos bajo agricultura convencional continua se presentan densificaciones subsuperficiales que presentan, comparativamente al resto del perfil, fuerte reducción de la conductividad hidráulica, macroporos muy finos (MMF) e incremento en la densidad aparente, reduciéndose el movimiento del agua.

En cambio bajo gramíneas perennes (pasto llorón), las compactaciones se registran en la capas superficiales por efecto del pisoteo. En estos sistemas existe un incremento de la conductividad hidráulica en profundidad, lo que podría explicarse por la influencia positiva que las raíces y raicillas vivas y muertas del pasto

llorón poseen sobre la porosidad y la agregación.

Bajo pasturas monofíticas de alfalfa, es posible encontrar capas compactadas desde la superficie (pisos de las labranzas + efecto del pisoteo) que pueden limitar el crecimiento de las raíces.

Estos cambios físicos en el suelo afectarían significativamente la tasa de mineralización y contenidos de materia orgánica (Schimel *et al.*, 1985). En mayor grado la tasa de mineralización del nitrógeno (Hassink, 1995), condicionando significativamente la productividad de los cultivos.

Se ha observado además que la densificación en los suelos más degradados tiende a lograrse a contenidos hídricos menores que en suelos de similar granulometría y con mayor contenido de materia orgánica. De confirmarse estos resultados preliminares las variaciones en los umbrales hídricos de cambio de estado pueden ser atribuidas a menores contenidos de materia orgánica. Estos cambios físicos tienen un marcado efecto sobre aspectos biológicos y necesariamente deben ser considerados al seleccionar este tipo de indicadores.

Luego de considerar la viabilidad de un sistema de producción para una determinada condición de sitio (suelo y clima), es conveniente analizar la secuencia de cultivos a utilizar.

La ecuación 2 resulta de fundamental importancia al momento de definir la estrategia de un cultivo en particular, y normalmente se utiliza 15-30 días antes de la siembra.

Ecuación 2:

$$\text{Agua útil a la siembra} = \text{Prof. X} \\ (\text{humedad siembra} - \text{PMP}) \times \text{DA} = 0200 \text{ mm}$$

La secuencia de los cultivos (determinante de la longitud de barbechos) y la cobertura (sistema de labranza) inciden de manera significativa sobre la captación y almacenaje del agua en el suelo dependiendo, como se expresó anteriormente, del régimen hídrico del suelo. En la Figura 7 se muestra como la eficiencia del barbecho para almacenar agua resultó dependiente de la CRA.

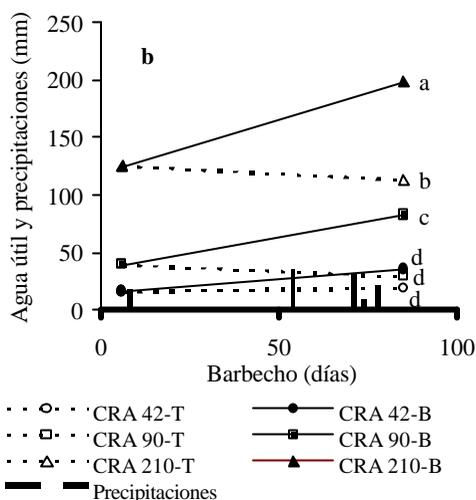


Figura 7: Efecto de la capacidad de retención de agua del suelo sobre el agua útil almacenada durante el barbecho. B= barbecho, T= sin barbecho. Letras distintas indican diferencias al 5%.

Desde el punto de vista práctico puede plantearse que dos potreros linderos, con la misma CRA, precipitación y sistema de labranza pueden dar lugar a rendimientos contrastantes como consecuencia de diferencias en la secuencia de cultivos y/o manejo del antecesor.

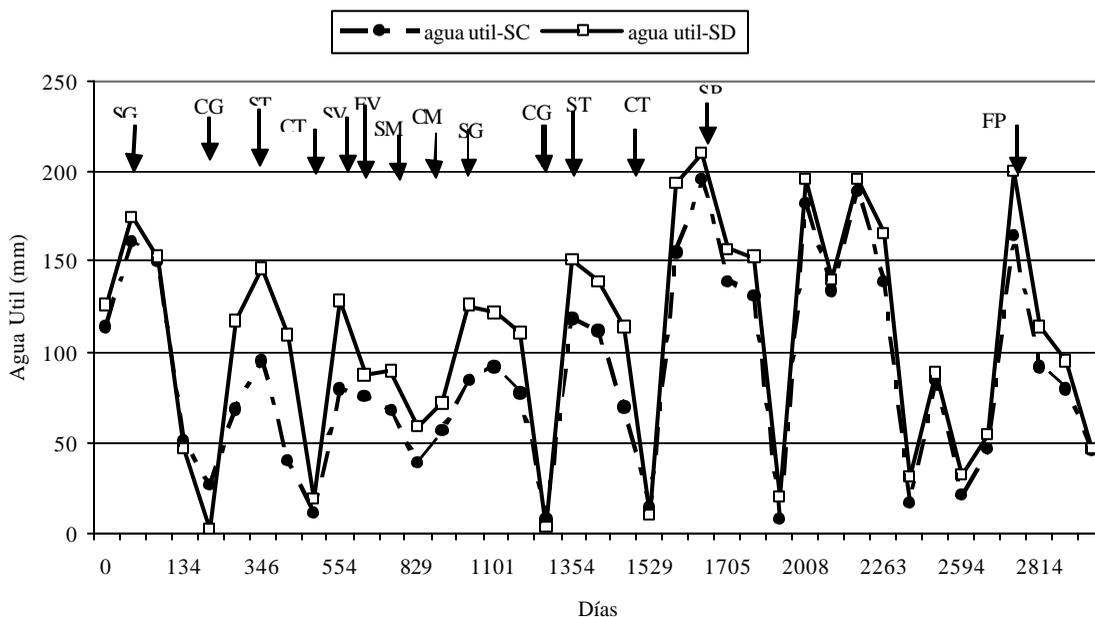


Figura 8: Efecto de la secuencia de cultivos y sistema de labranza sobre el contenido de agua útil (mm/140cm). SG, ST, SV, SM, SP : siembra de girasol, trigo, verdeo, maíz y pastura. CG, CT, CM: cosecha girasol, trigo y maíz. FV, FP: fin verdeo y pastura.

De la Figura 8 se desprende que este suelo posee una capacidad de almacenar 200 mm de agua. Bajo SD normalmente fue mayor el contenido de agua a la siembra de los cultivos. A la cosecha, independientemente de la labranza, el contenido de agua útil resultó menor de 30 mm. Considerando los contenidos de agua útil a la cosecha de los posibles antecesores de verdeos de invierno, girasol (10 mm), trigo (130 mm) y pastura (50 mm), se comprueba el significativo efecto antecesor. De manera similar se comprueba que si la siembra de pastura se realiza sobre girasol (10 mm) la disponibilidad de agua es menor que cuando se realizó sobre trigo (210 mm). El proceso de agriculturización ha implicado que muchos productores no realicen barbecho estival (antecesor trigo), predominando antecesores como girasol, maíz e incluso soja, dando lugar a bajos contenidos de agua a la siembra de verdeos y pasturas.

A continuación se analizan con mayor detalle estos aspectos, por considerarlos condicionantes de la productividad y eficiencia de uso de agua y nutrientes en la etapa ganadera.

1) Pasturas

Parte de los sistemas ganaderos de cría y recría de la RSP se localizan sobre Haplustoles de las Unidades cartográficas de Mesetas y Valles y de Mesetas Relictos de relieve plano, con precipitaciones que oscilan entre 450 y 700 mm.

Como estrategia para revertir el proceso de degradación, en la región mencionada, se consideró que la introducción de la siembra directa, el barbecho químico, el control de malezas y la fertilización tendrían un efecto positivo sobre la captación, almacenaje y eficiencia de uso del agua, posibilitando la recuperación de parte del carbono perdido.

La Figura 9 muestra la evolución del agua útil en un perfil con pastura de pasto ovillo y alfalfa. La baja capacidad de los suelos para almacenar agua al ser limita-

dos por la presencia de tosca y los altos requerimientos de la pastura determinan que con frecuencia el perfil alcance valores de humedad de punto de marchitez. A consecuencia de ello y como un mecanismo de defensa se producen defoliaciones recurrentes dando lugar a una baja disponibilidad de forraje.

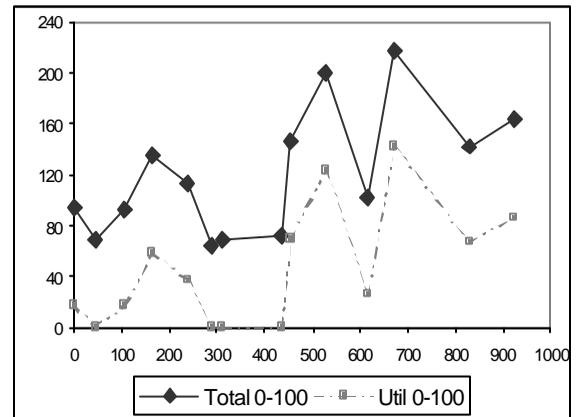


Figura 9: Variación del contenido de agua total y útil de suelo (mm/100 cm) bajo pastura.

Si bien uno de los aspectos buscados en las pasturas polifíticas es el aporte de N de las leguminosas, se comprueba visualmente la fuerte competencia por el agua en estos ambientes semiáridos. A fin de optimizar la productividad de la gramínea y evaluar su comportamiento respecto al uso del agua se establecieron pasturas de pasto ovillo puro, con algunas variantes respecto al manejo de la fertilidad nitrogenada (fertilización de primavera y otoño e intersiembra de vicia).

La Figura 10 muestra la evolución del agua útil en ambos perfiles de suelo, bajo pastura polifítica y de pasto ovillo. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos a lo largo de la experiencia, agrupando los mismos en 4 categorías de disponibilidad de agua: O (>75% agua útil), B (50-75%), L (25-50), ML (< 25%). Si bien en ambas pasturas la disponibilidad de agua resultó menor durante el verano, se comprobó una mayor restricción en el perfil bajo pastura polifítica.

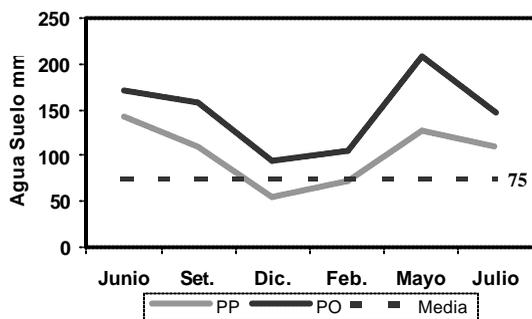


Figura 10: Variación del agua disponible en el perfil del suelo (mm/80 cm) bajo pastura polifítica y pasto ovillo. 75 mm representa el punto de marchitez permanente.

Los resultados, si bien preliminares, son muy interesantes respecto a las diferencias en la disponibilidad del agua entre pasturas, especialmente durante el verano y otoño. Asociado a una mayor disponibilidad de agua se comprueba que el período de producción del pasto ovillo se prolonga con la posibilidad de reducir la superficie destinada a verdeo de invierno. Además la mayor disponibilidad de agua genera mejores condiciones para la fertilización nitrogenada. Al respecto se realizaron ensayos de fertilización en primavera y fin del verano/otoño, evaluando la producción de materia seca y contenido de proteína. La Tabla 3 muestra la importante respuesta de pasto ovillo a la fertilización nitrogenada, principalmente en aplicaciones realizadas durante la primavera que afectaron tanto la producción de materia seca como el contenido de proteína.

Tabla 2: Disponibilidad de agua en perfiles de suelo bajo pastura.

Período	Polifítica	Ovillo
2000 - I	O	O
- P	B	O
- V	ML/L	LB
2001- O	B/O	O/O
- I	B	B
- P	B/O	O/O
- V	ML	L
2002 - O	ML	ML
- I	L	B/L

Tabla 3: Materia seca (kg/ha) y proteína (%) de pasto ovillo.

Fertilización	Fecha corte	M. seca (Kg/ha)		Proteína (%)	
		Testi-go	Fertili-zado	Testi-go	Fertili-zado
Abril /00	Junio	338	1200	--	--
Sept/00	Nov.	1436	3920	9,7	11,1
Feb/01	Mayo	1949	2357	9,5	11,5
Sept/01	Nov	1194	2655	9,46	12,1
	Febrero	1478	3236	8	7,9
Feb/02	Abril	1008	1932	8,2	9,5

2) Barbecho a la salida de pasturas.

El barbecho incide significativamente sobre los contenidos de nitratos y, dependiendo de la cobertura del suelo, sobre el contenido de agua disponible.

El corto período de los barbechos condicionado por la secuencia de cultivos, frecuentemente limita la recarga del perfil y consecuentemente el uso consuntivo (Quiroga *et al.*, 2004).

La Figura 11 muestra los efectos de tres longitudes de barbecho sobre los contenidos de agua, nitrógeno, y producción de materia seca de avena establecida sobre pastura de alfalfa.

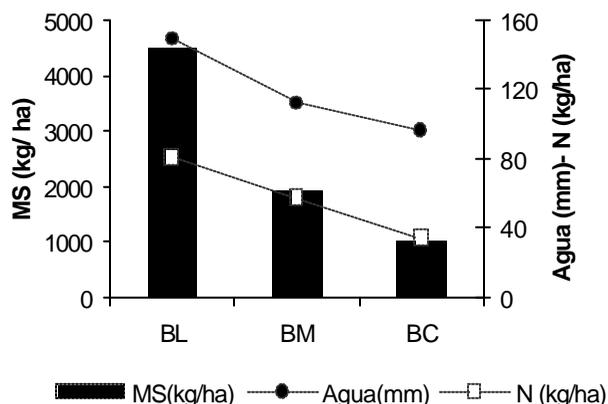


Figura 11: Contenido de N-nitratos (0-60 cm), agua del suelo (0-140 cm) y producción de materia seca (MS) en tres longitudes de barbecho: BL: barbecho largo (70 días); BM: barbecho medio (40 días); BC: barbecho corto (10 días).

El barbecho corto presentó significativamente menor contenido de agua y N, limitando severamente la producción del

verdeo que alcanzó tan solo un 25% de la materia seca producida en el barbecho largo. Estos resultados muestran lo que normalmente sucede en uno de los puntos más críticos de la secuencia de cultivos: salida de pasturas a verdeos de invierno.

Si el régimen de precipitaciones y la CRA de los suelos no condicionan de manera importante el consumo de agua por parte de los cultivos (planteado en la ecuación 1), si la secuencia de cultivos, sistema de labranza y manejo de residuos, posibilita la recarga del perfil (ecuación 2), finalmente será necesario evaluar la estrategia de la nutrición de los cultivos, principalmente cuando se realicen aplicaciones postergadas o fraccionadas. Al respecto resulta de utilidad la ecuación 3.

Ecuación 3:

Agua útil = Prof. X (humedad a macollaje – PMP) x DA = 0-200 mm

La ecuación 3 permite calcular el contenido de agua que puede tener el suelo al momento de decidir una fertilización nitrogenada. Por ejemplo en verdeos de invierno con contenidos inferiores a 80

mm en los primeros 140 cm del perfil del suelo no es aconsejable la fertilización nitrogenada.

Bibliografía consultada.

Hassin K. J., L. Bouwman, K. Zwart, J. Bloem, L. Brussard. 1995. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57 : 105-128.

Quiroga A., 1994. Influencia del manejo sobre propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenidos de materia orgánica. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca.

Quiroga A., D. Funaro, R. Fernández. 2004. Factores edáficos y de manejo condicionantes de la eficiencia del barbecho en la región semiárida y subhúmeda pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Schimel D., M. Stillwell, R. Woodmansee. 1985. Biochemistry of C, N, and P in soil catena of the short grass steppe. *Ecology* 66 :276-282

EFFECTO DEL PISOTEO POR ANIMALES EN PLANTEOS DE SIEMBRA DIRECTA

Hugo R. Krüger, Santiago Venanzi y Eduardo de Sa Pereira
Carta Acuerdo INTA, EEA Bordenave– Grupo CREA Cnel. Suárez

Introducción

La adaptación de la siembra directa a sistemas agrícolas nacionales puede considerarse, al presente, fuera de toda duda. Aunque se plantean e investigan aspectos puntuales de esta tecnología, y probablemente surjan nuevos problemas en el futuro, el sistema ha mostrado importantes ventajas respecto de labranzas convencionales en la mayor parte de los casos estudiados. Esto explica la gran difusión que ha tenido en la Región Pampeana Argentina.

No ocurre lo mismo en sistemas mixtos, donde algunas cuestiones fundamentales no han sido aún totalmente aclaradas. Entre estas dudas el efecto del pisoteo por los animales, y su evolución en el mediano y largo plazo, sigue siendo el tema central (Moran *et al.*, 2000).

El pastoreo directo representa una complicación adicional al natural asentamiento de la superficie del suelo bajo SD. La permanencia de los animales en condiciones de elevada humedad del suelo puede producir alteraciones en su estructura. Cuando esta compactación supera determinados niveles se producen efectos negativos sobre el crecimiento de los cultivos. A menos que el suelo posea una natural resiliencia, es de esperar que la compactación resulte acumulativa, atentando en este caso contra la viabilidad del sistema mixto en SD. La determinación de la tendencia de propiedades del suelo, relacionadas con la compactación, y el establecimiento de niveles críticos para esas propiedades son importantes objetivos de investigación en el tema. Se presenta a continuación el estado de avance de experiencias realizadas en el sudoeste de la

provincia de Bs. As. con el fin de evaluar las posibles complicaciones derivadas del pastoreo en SD.

Metodología

Desde 1999 se realizan experiencias en un campo de producción cercano a la localidad de Pigué (Bs.As.), y en parcelas experimentales de la EEA Bordenave. Los suelos han sido clasificados como Hapludol típico y Haplustol éntico, respectivamente. En la capa superficial de estos suelos se determinaron contenidos de carbono orgánico total de 25.5 y 17.4 g kg⁻¹ y valores de arcilla + limo de 48 y 56% respectivamente. En el Hapludol típico, totalmente bajo SD, se estudiaron dos secuencias de cultivos a partir de una pastura de alfalfa y gramíneas: una secuencia Agrícola sin pastoreo (maíz cosecha, trigo, girasol, trigo, girasol, trigo), y una secuencia Mixta con pastoreo (maíz cosecha con pastoreo de rastrojos, trigo, avena forrajera, girasol, trigo, avena forrajera, girasol, trigo). En el Haplustol éntico se estudiaron tratamientos de SD y labranza superficial, con una única secuencia de cultivos que incluyó: trigo sobre rastrojos de mijo, avena forrajera, trigo, avena forrajera, soja, trigo). En este caso se consideraron subparcelas con pastoreo directo y subparcelas sin pastoreo (corte de forraje). Las principales determinaciones, que se realizan a la siembra de cada cultivo, incluyen: resistencia a la penetración (RST), con penetrómetro de anillo Soiltest CN-970, Lake Bluff, Illinois (hasta las profundidades de 2,5, 5,0, 7,5, 10,0 y 15,0 cm); y densidad aparente (DA), con cilindros de 275 cm³ (en capas de 5 cm de 0 a 20 cm de profundidad).

Principales resultados

La densidad aparente (D.A.) tiene una importante relación con la porosidad total del suelo y por lo tanto con la posibilidad de los cultivos de desarrollar sus raíces. Los efectos del pastoreo, determinados mediante este parámetro, llegaron hasta los 10 cm superficiales en el Hapludol típico y hasta los 15 cm en el Haplustol éntico (Figura 1a y b), con valores máximos de 1.32 y 1.36 Mg m⁻³ respectivamente.

En base a estos resultados, en el Hapludol típico se investigó la tendencia, en el tiempo, de la D.A. de las capas superficiales. Posiblemente la remoción producida en la capa superficial por la sembradora de granos finos compense parte del efecto del pastoreo en la secuencia mixta. Esto determinó una amplia variabilidad temporal en los valores de D.A. en la capa 0-5 cm. Por este motivo se utilizó la capa más profunda (5-10 cm), como referencia para evaluar los cambios a mediano plazo. La D.A. de los tratamientos pastoreados, en esta capa, resultó ascendente durante los primeros 30 meses alcanzando valores entre 1,30 y 1,32 Mg m⁻³. En determinaciones posteriores, hasta los 50 meses, se observó una disminución hasta niveles de 1.22 Mg m⁻³ (datos no presentados).

La disminución de la porosidad total del suelo por efecto del pastoreo directo fue determinada principalmente por la deformación de los poros mayores de 9 μ (macroporos). Los cambios en los distintos tamaños de poros detectados durante el ciclo de producción de avena forrajera, en parcelas experimentales de la EEA Bordenave durante la campaña 2002 (Arranz *et al.*, 2004), no fueron de gran magnitud. Sin embargo se observó un leve incremento del porcentaje de meso y microporos a expensas de los macroporos. Si bien esto puede, en principio, aumentar ligeramente la capacidad de retención de

agua del suelo, podría tener implicancias negativas sobre la infiltración.

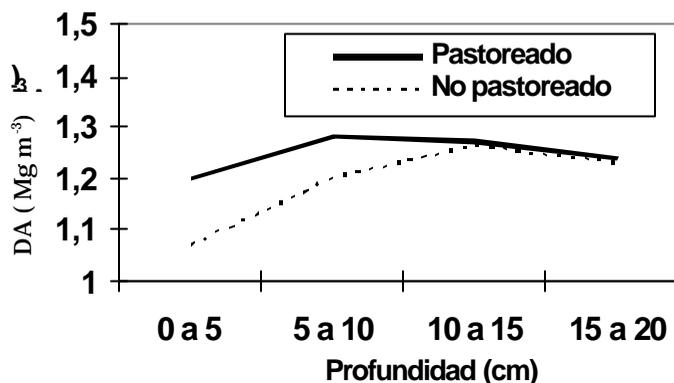


Figura 1a - Variación de la densidad aparente con la profundidad luego del pastoreo de avena en un Hapludol típico.

Se ha investigado, mediante ensayos en macetas, la disminución del crecimiento temprano de los cultivos de trigo y avena por efecto de la DA (Venanzi *et al.*, 2002; Venanzi y Krüger, 2004). Ligeros incrementos de la DA produjeron reducción en la biomasa radical de ambos cultivos. El efecto sobre la biomasa aérea fue menos evidente en trigo que en avena. Los valores de DA que producen disminuciones de biomasa cercanas al 50% de los testigos, en los suelos estudiados, estarían por encima de 1.6 y de 1.5 Mg m⁻³ para trigo y avena, respectivamente.

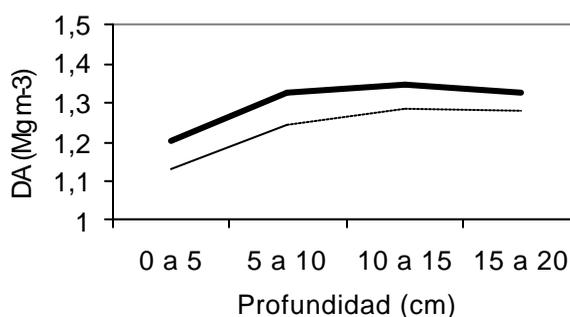


Figura 1b - Variación de la densidad aparente con la profundidad luego del pastoreo de avena en un Haplustol éntico.

La resistencia a la penetración (RST) se relaciona inversamente con la humedad del suelo y afecta tanto la penetración de la sembradora, como la emergencia de las plántulas y el desarrollo de las raíces del cultivo. Cuando se utiliza la RST como criterio de medición, el efecto del pastoreo se presenta hasta los 10 cm (Fig.2).

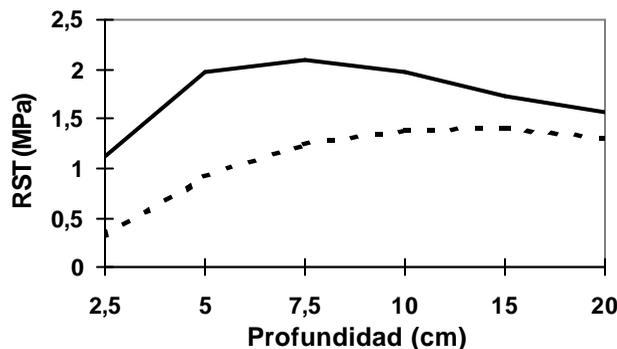


Figura 2 - Resistencia a la penetración (RST) en función de la profundidad a la siembra de girasol 2002 en el Hapludol típico

La influencia del contenido de agua sobre la RST determina que los principales efectos negativos del pastoreo deban esperarse cuando imperan condiciones de baja humedad en el suelo. En este caso se confunden los efectos de la falta de agua con los de una alta RST. Con un contenido de agua reducido y variable en los primeros centímetros del suelo (situación frecuente en la siembra de cultivos de verano), valores de RST eventualmente elevados pueden incrementarse, ocasionando la penetración irregular de las cuchillas de la sembradora, un incorrecto sellado del surco, o impidiendo el establecimiento de las radículas del cultivo. Esto puede resultar en una emergencia incompleta e irregular.

Entre 1999 y 2002 no se observaron problemas de implantación por este factor. En la siembra del girasol 2002 se determinó una menor población en el antecesor avena forrajera respecto del antecesor barbecho químico el Hapludol típico. Esto se atribuyó a la combinación del bajo

contenido de agua en las capas superficiales y alta RST. Una situación similar se observó, en la misma campaña, durante la emergencia de la soja, en el Haplustol éntico. En este sitio debió demorarse la siembra del trigo, en 2003, por problemas de penetración de la sembradora en parcelas de SD con y sin pastoreo, en condiciones de sequía.

Los inconvenientes observados se atribuyen al efecto de la RST y no a la DA, ya que luego de precipitaciones ligeras que humedecieron las capas superficiales los cultivos desarrollaron normalmente.

Los resultados parciales obtenidos sugieren la necesidad de mejorar el trabajo de la sembradora en condiciones de alta resistencia a la penetración superficial, ya sea incorporando accesorios especiales para roturar la línea de siembra hasta los 10-15 cm, o mediante la utilización de equipos más pesados. En el mismo sentido la conservación de la humedad del suelo en esta capa, en base a niveles de cobertura relativamente elevados, de distribución homogénea, y un mínimo período de barbecho previo a la siembra, podrían facilitar la implantación.

Conclusiones

Bajo pastoreo las capas superficiales del suelo acusan mayor compactación que en secuencias agrícolas. Tanto la DA como la RST muestran que los efectos se concentran en los 10-15cm superficiales. Esta mayor compactación no ha limitado, hasta el momento, el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Se han observado, en cambio, potenciales problemas en la implantación de los mismos bajo condiciones de baja humedad en la superficie del suelo pastoreado.

Referencias

Arranz C., Galantini J., Iglesias J., Krüger H. y S. Venanzi. 2004. Sistemas de labranza: efecto del pastoreo animal sobre

la distribución del tamaño de poros. En AACS (Ed.): Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos (en CD).

Morán M., J. Costa; P. Calviño y J. Rodríguez. 2000. Influencia del pastoreo de verdeos sobre algunas propiedades físicas del suelo y del cultivo de soja en un sistema de siembra directa. En: AACS (ed.). Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires.

Venanzi S, A. Vallati y H. Kruger. 2002. Crecimiento temprano del trigo en función de la densidad aparente del suelo. En: AACS(ed.).Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto. Madryn, Chubut.

Venanzi, S. y H. R. Krüger. 2004. Crecimiento del cultivo de avena en función de la densidad aparente del suelo. Actas IV Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal. Bahía Blanca (en CD).

EVALUACION DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE SUELOS CON AGRICULTURA CONTINUA EN SIEMBRA DIRECTA.

Ing. Agr. Juan José De Battista¹; Ing. Agr. Carlos Pecorari²; Ing. Agr. Ricardo Albrecht²
¹EEA INTA Concepción del Uruguay. ²EEA INTA Rafaela

Este trabajo surge como respuesta al diagnóstico participativo efectuado en el departamento San Jerónimo, en la Pcia. de Santa Fe (EEA Rafaela, 31 de agosto de 1995; Informe de circulación interna, 18 pp). Dicho diagnóstico tenía como objetivos: iniciar con productores y técnicos de la zona, un proceso de discusión sobre los principales factores limitantes técnicos-productivos que afectan a sus sistemas agrícolas.

Se concluyó en forma unánime que el problema de degradación físico-química de los suelos y su relación con la economía del agua edáfica y factores asociados es de máxima prioridad e importancia.

Consecuentemente, la hipótesis de trabajo planteada fue la de descartar los sistemas de labranzas convencionales y realizar una evaluación del estado estructural de los suelos bajo agricultura continuada en los casos donde se utilizó la siembra directa, teniendo como premisa que se trata de un sistema de cultivos conservacionista. Se aclarara que dichos sistemas de siembra directa son continuos y con tránsito no controlado.

La evaluación del estado estructural se realizó mediante el método del perfil cultural, que consiste en la descripción morfológica de la estructura a distintos niveles de organización. Esta descripción se basa en una zonificación de la variabilidad del estado estructural, ponderando en cada zona el estado interno de los terrones que la conforman, mediante su porosidad visible, la forma en que se agrupan y asociándolos al mismo tiempo, con el sistema de porosidad estructural y textural (Gautraunneau et Manichon, 1987; De Battista, Andiulo y Pecorari, 1993; Pecorari *et al.*, 1989).

Se describieron los perfiles culturales de ocho lotes seleccionados por la AER Gálvez el 16 de agosto de 1996. Las trincheras fueron de 4 m de longitud por un metro de ancho y 60 cm de profundidad. La descripción se realizó sobre una longitud de 3 m en algunos casos y 1,5 m en otros.

Los resultados expresan en la mayoría de los casos, la abundancia relativa de cada estado estructural en el horizonte A1 y en todo el volumen de suelo trabajado en aquellos casos de experiencias con herramientas de desfonde tipo paratill.

Descripción del método

La capa superior de los suelos cultivados, sufre esfuerzos mecánicos variados ejercidos por las maquinarias y agentes naturales. Sus efectos son contradictorios (fragmentación y compactación) y heterogéneamente distribuidos.

Las ruedas de las maquinarias afectan sólo parte del volumen del perfil creando una gran variabilidad espacial del estado físico. Esta variabilidad del estado estructural no es, esencialmente de naturaleza aleatoria por lo que es posible realizar una partición de dicho volumen, sobre la base de las causas de variación conocidas a priori.

Partición vertical y lateral del perfil: Sobre la pared vertical del perfil se distinguen además de los horizontes pedológicos, los horizontes o capas antrópicas en el Ap. Las variaciones bruscas del estado estructural y las huellas de las herramientas utilizadas (alisados) son los síntomas que regulan esta partición.

Cada horizonte es susceptible de presentar en su seno, cierta variabilidad de origen conocido. Se definen así tres tipos

de posiciones laterales: L1 zona afectada por las ruedas de las maquinarias cuyas huellas son visibles en la superficie del suelo; L2 zona por donde han circulado las maquinarias utilizadas entre la arada y la última labor y L3, zona indemne de las acciones anteriores.

Criterios de descripción: El principal criterio de evaluación del estado del perfil es la descripción del estado estructural, resultante de las acciones culturales en interacción con el clima, componente esencial del estado del medio para el funcionamiento de las raíces y semillas. Otros criterios tenidos en cuenta son: estado hídrico, síntomas de hidromorfismo, localización y aspecto de los residuos vegetales, aspecto y distribución de las raíces y actividad de la fauna.

Los constituyentes de la estructura son los "terrones" formados por las acciones de fragmentación y compactación de las herramientas. Se distinguen fundamentalmente dos niveles de organización estructural.

Primer nivel o estado interno de los terrones: Se evalúa luego de la fragmentación manual en terrones de 1 a 2 cm de diámetro, observando su cohesión y sus caras de ruptura.

Se distinguen tres estados: El estado "I" corresponde a una cara rugosa y a una porosidad visible importante. Este estado parece relacionado en forma bastante directa, a los procesos naturales de estructuración.

El estado "D" presenta una cohesión más elevada y las caras de ruptura son lisas, de aspecto continuo y de forma concoidea, sin porosidad visible. Corresponde a la compactación de los agregados preexistentes por medio de una acción mecánica severa, siendo el valor de la densidad aparente de dichos terrones, semejante a la densidad textural del material considerado.

El estado "G" es un intermedio entre los dos anteriores presentando poca porosidad y rompe en caras irregulares.

Segundo nivel o disposición de los terrones: Se distinguen las siguientes modalidades: cuando varios terrones de dimensiones comparables coexisten en un volumen dado, se llama estado fragmentario, distinguiendo los estados "F" (terrones individualizados) y "SF" (terrones adheridos).

Si una unidad morfológica está compuesta de un solo elemento de gran dimensión, es un estado masivo "M". Entre estos casos extremos existe un estado "SD" en que los terrones son difícilmente discernibles, sin poder hablar de un estado continuo.

Los compartimentos resultantes de la doble partición (horizontal y vertical) constituyen el cuadro de la descripción. Para realizarla se procede a la descripción de los dos primeros niveles de organización, marcando sus límites y prosiguiendo así con toda la cara de observación del perfil. Para evaluar la importancia relativa de cada una de estas unidades, se procede a realizar una cartografía y se expresan los resultados como porcentaje de la superficie total del perfil.

Casos estudiados.

Caso 1.

San Martín de las Escobas: Sres. Mateo y Víctor Banchio.

Lote Sur

Suelo: Consociación Los Cardos. Capacidad de uso II. IP: 90.

Años desde la última pradera: más de 10 años.

Número de cultivos: 16 = 1,77 cultivos/año.

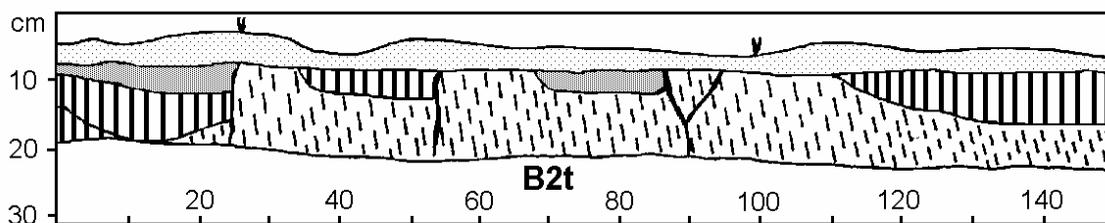
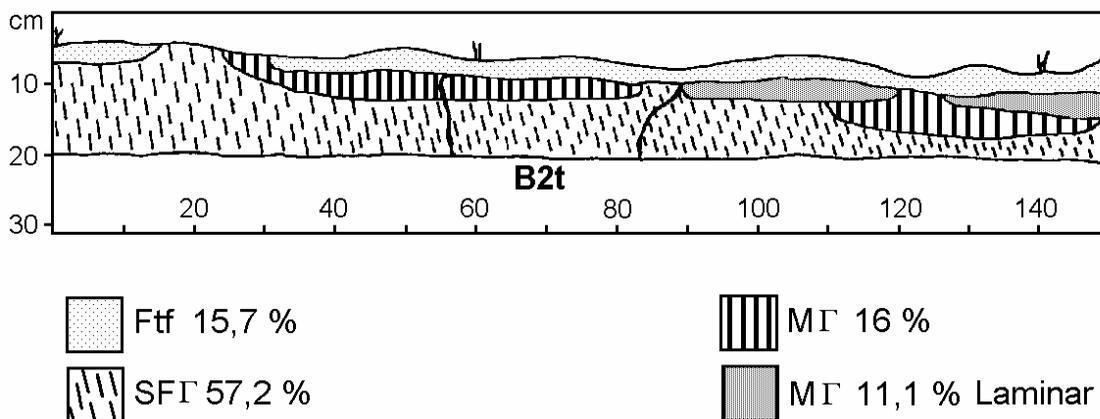
Número de cultivos en siembra directa: 5

Cultivo observado: rastrojo de soja, buena cobertura.

En los tres metros de perfil evaluados no se encontraron síntomas de compactación severa. La mayor parte del perfil presenta una buena porosidad intra e interagregados (**SFG** = 57,2%). Todo el perfil presenta una capa superficial de 3 cm aproximadamente de tierra fina (**Ftf**) mezclada con los residuos de cosecha, por debajo de ésta aparece en forma discontinua y de escaso espesor una capa de estructura laminar (**MD lam** = 11,1%).

También en forma localizada y sin mucha importancia aparecen zonas en las que ha desaparecido la porosidad entre agregados (**MG**=16 %), producto seguramente del pasaje de ruedas en condiciones no muy húmedas.

Este lote presenta un estado físico apto para seguir en siembra directa sin limitaciones para los cultivos.



Caso 2.

San Martín de las Escobas. Sres. Mateo y Víctor Banchio - Lote Norte

Suelo: Consociación Los Cardos. Capacidad de Uso II. IP: 90

Años desde la última pradera: 10 años.

Número de cultivos: 17 = 1,7 cultivos/año.

Número de cultivos en siembra directa: 7

Cultivo observado: trigo en estado de macollaje.

La mayor parte del perfil presenta una pobre porosidad entre agregados, es decir éstos se encuentran muy soldados

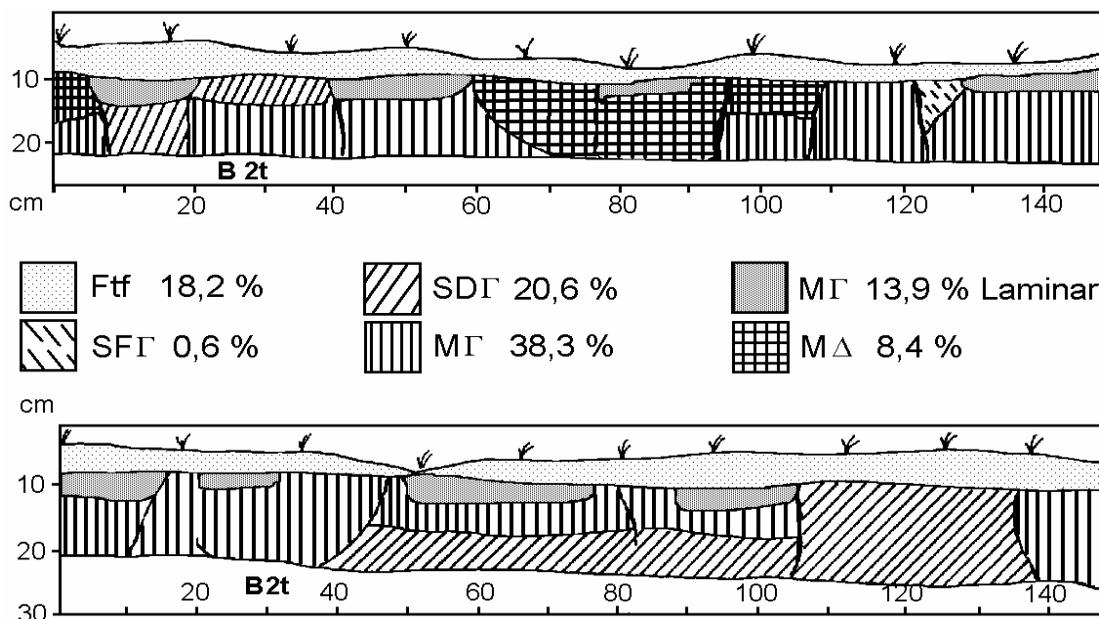
entre sí (estados **MG** 38,3 % y **SDG** pero aún conservan cierta porosidad estructural, producto de sucesivas acciones de compactación, pero en condiciones de humedad relativamente baja. No obstante aparece en forma localizada debajo de una huella una zona severamente compactada, sin porosidad estructural (**MD** 8,4%). Su extensión no es importante respecto a la superficie total del perfil, pero este estado es la manifestación de una compactación severa producida por el tránsito en condiciones húmedas. Se deberán tomar precauciones para no ampliar el volumen de suelo compactado, lo que

traerá consecuencias serias para los cultivos, principalmente en años secos.

Superficialmente se observa la característica capa de 3 - 4 cm de tierra fina con residuos de cosecha (**Ftf** 18,2%) y por debajo de ésta, en forma discontinua, aparecen zonas de escaso espesor con estructura laminar (**MD lam.** 13,9%), que en caso de generalizarse, provocarán una disminución notable de la tasa de infiltra-

ción y de la tasa de difusión de oxígeno, lo que repercutirá negativamente sobre el funcionamiento de los cultivos.

Este lote se encuentra en un estado menos favorable que el Lote Sur por lo que se deberán tomar precauciones en cuanto a las condiciones de humedad en que se transita, para no provocar una seria degradación



Caso 3.

Colonia Belgrano. Sres. Marcelo y Roberto Bressi

Lote 1

Suelo: Humboldt 2. Capacidad de uso IIW. IP: 64

Años desde la última pradera: 4 años.

Número de cultivos: 7 = 1,75 cultivos/año.

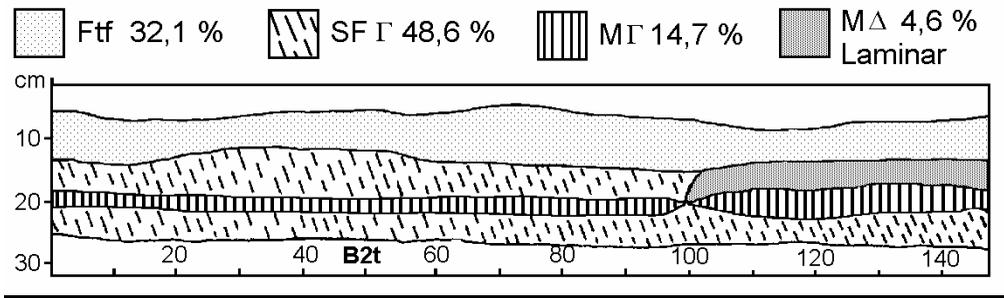
Número de cultivos en siembra directa: 7

Cultivo observado: trigo en estado de macollaje.

El perfil observado presenta una alta porosidad inter e intra-agregados en todo el horizonte A. En superficie, la capa de tierra fina y restos vegetales presenta

un espesor de 5 - 8 cm (estado **Ftf** 32,1%), el horizonte subsuperficial está formado por agregados con alta porosidad interna y una disposición suelta entre ellos (estado **SFG** 48,6%). No se encontraron zonas compactadas importantes, sólo la capa de estructura laminar en un sector del perfil (**MD lam.** 4,6%) y una delgada capa de 1 ó 2 cm de espesor con reducida porosidad entre agregados (estado **MG** 14,7%), posiblemente remanente de un antiguo piso de arado o disco.

Este lote presenta un estado estructural muy favorable para continuar en siembra directa, principalmente por la abundancia de poros de origen biológico en el estado **SFG** del horizonte A.



Caso 4.

Colonia Belgrano. Sres. Marcelo y Roberto Bressi

Lote 2

Suelo: Humboldt 2. Capacidad de uso liw. IP: 64

Años desde la última pradera: 7 años.

Número de cultivos: 13 = 1.85 cultivos/años

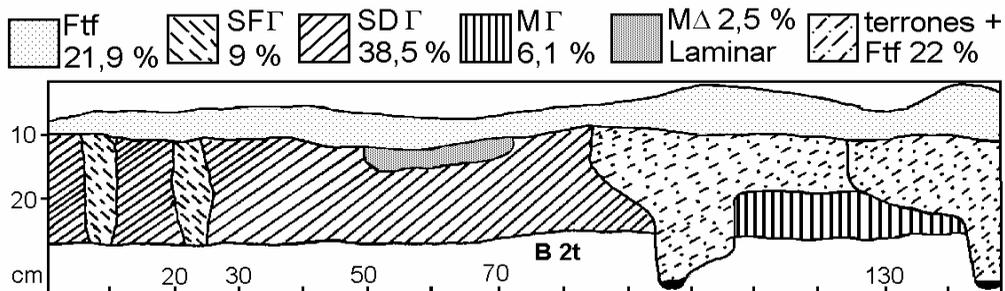
Número de cultivos en siembra directa: 5

Cultivo observado: rastrojo de soja. Prueba del paratill.

En el sector del perfil no afectado por el trabajo del paratill se encuentra una capa superficial de tierra fina y residuos de cosecha de 3 -4 cm de espesor (**Ftf** 21,9%) por debajo de la cual todo el resto del horizonte A presenta agregados soldados entre sí, difíciles de separar lo que indica una porosidad inter-agregados media

(**SDG** 38,5%) con abundantes poros biológicos. El trabajo del paratill, pasando a unos 28 - 30 cm de profundidad respecto al nivel del suelo sin laborear provoca la fragmentación del estado **SDG** en tierra fina y terrones de estado interno **G** de 4 - 6 cm. el efecto del paratill es uniforme en toda la superficie tratada hasta unos 15 - 17 cm de profundidad. Por debajo de este nivel, el efecto de fragmentación de cada timón se reduce a un ancho de 10 - 12 cm, quedando una zona sin trabajar.

Esta herramienta puede ser muy útil para realizar un aflojamiento y quebrado de horizontes compactos subsuperficiales, pero se reservaría su uso a situaciones con más evidencias de compactación que la presente. Por otra parte, debe cuidarse de no disturbar el horizonte B2 que presenta un buen grado de desarrollo de la estructura prismática típica que no presenta limitaciones para la penetración radicular.



Caso 5.

Loma Alta. Sr. Daniel Mamy

Sector Sur

Suelo: Loma Alta. Capacidad de uso: lie. IP/3.

Años desde la última pradera: 9 años.

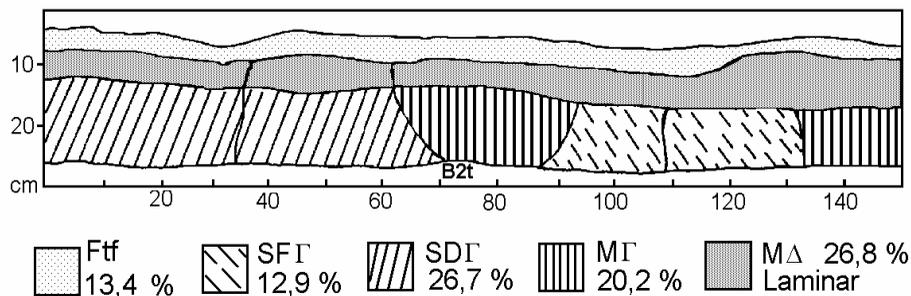
Número de cultivos: 15 = 1,66 cultivos/año

Número de cultivos en siembra directa: 7

Cultivo observado: rastrojo de soja.

En el perfil observado, la capa superficial de tierra fina y restos vegetales tienen un espesor de 3 cm (**Ftf** 13,4%) y por debajo de ésta aparece en forma continua la capa de estructura laminar de 4 - 6 cm (**MD lam** 26,8%). Por debajo, el perfil presenta zona con agregados relativamente sueltos (**SF?** 12,9%) y otra con poca porosidad interagregados (**SDG** 26,7% y

M G 20,2%). La disposición espacial de las zonas **M G** permite suponer que son consecuencia del tránsito en condiciones poco favorables. El horizonte B1 subyacente presenta una buena porosidad, en parte de origen biológico por lo que se puede esperar una evolución positiva de estas masivas por acción de la mesofauna.

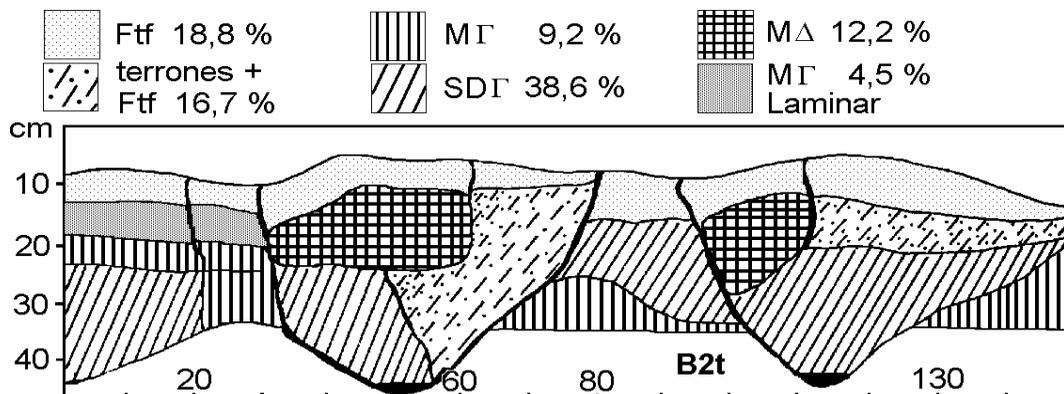


La principal limitante de este perfil es la capa de estructura laminar que afecta el intercambio de fluidos del perfil con el exterior. Los efectos negativos de este tipo de estructura podrían ser disminuidos por la aparición de poros verticales de origen biológico, que no fueron observados en esta oportunidad, o por la acción de alguna herramienta que provocara su fractura perdiendo lo mínimo de cobertura.

Parte de la trinchera en este lote cubría el pasaje de dos cuerpos de una herramienta para descompactar subsuperficialmente. El efecto de ésta fue quebrar la capa **MD** laminar, quedando terrones decimétricos de aspectos **MD** y fragmentar parcialmente el estado **SDG** en tierra fina y terrones de estado **G** de 3 -5 cm. La profundidad de pasada estuvo alrededor de los 40 cm interesado en la cabeza del horizonte B2. Cuando se utiliza este tipo de herramienta habría que cuidar de no sobrepasar el límite inferior del horizonte B1, en este caso, 3 a 5 cm menos profundo.

Caso 6.

Loma Alta. Sr. Daniel Mamy
Sector Sur: Efecto de paratill o sub-solador.



Caso 7.

Loma Alta. Sr. Daniel Mamy

Sector Norte: siembra directa discontinua

Suelo: Loma Alta. Capacidad de uso lie. IP 73

Años desde la última pradera: 9 años.

Número de cultivos: 15 = 1,66 cultivos/año

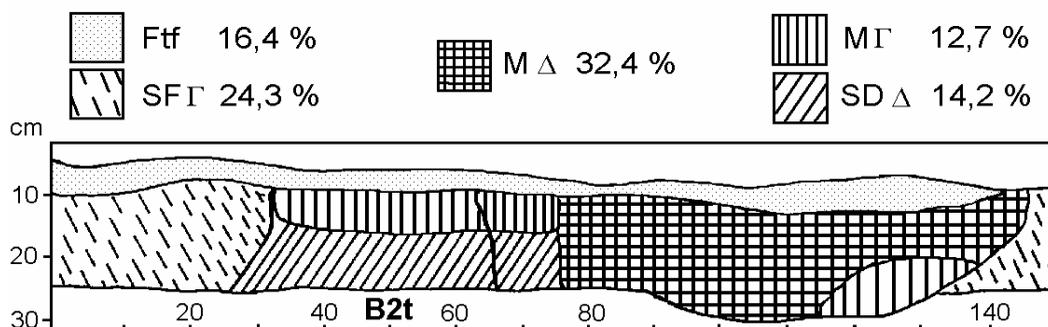
Número de cultivos en siembra directa: 5

Cultivo observado: rastrojo de soja

El perfil de este lote muestra una delgada capa superficial de 2 - 3 cm de tierra fina y restos vegetales (**Ftf** 16,4%) y por debajo, zonas masivas. Una de ellas producto de una severa compactación por

ruedas de cosechadora y carros (**MD** 32,4%) en la que desapareció la porosidad estructural en todo el volumen del horizonte A en una longitud de 65 cm y otra menor en que la compactación fue menos severa (**MG** 12,7%). El resto del perfil no presenta problemas de compactación (**SFG** 24,3% y **SDG** 14,2%).

El estado estructural de este lote presenta una elevada proporción de estado **MD**, lo que puede afectar seriamente el rendimiento de los cultivos, lo que requiere la recuperación de cierta porosidad estructural en estas zonas por actividad biológica o laboreo y un cuidadoso manejo en el futuro, en cuanto a la humedad con que se transita.



Caso 8.

Gálvez. Sres. Otto, Ricardo y Gustavo Colussi

Suelo: Consociación Clason. Capacidad de uso: Y-2. IP: 86

Años desde la última pradera: 45 años.

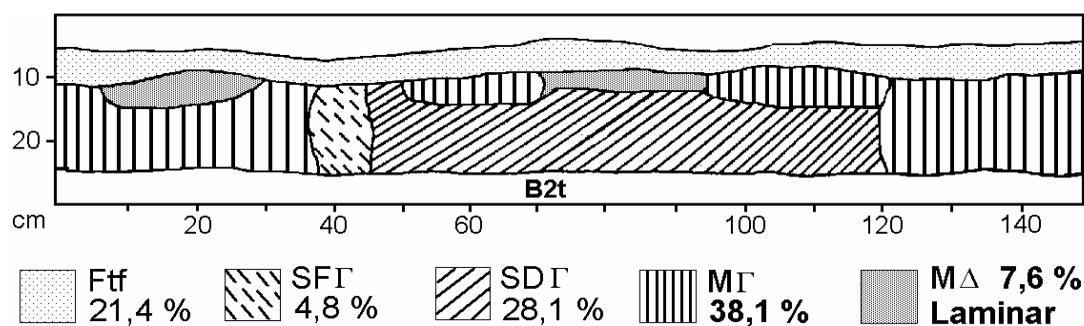
Número de cultivos: 18 en los últimos 18 años = 1 cultivo/año.

Número de cultivos en siembra directa: 2

Cultivo observado: trigo en macollaje.

Este perfil fue realizado en forma paralela a la siembra del trigo. La capa

superficial de tierra fina y abundante rastrojo de sorgo es de un espesor de 5 cm (**Ftf** 21,4%). Por debajo, el perfil aparece con agregados fuertemente soldados entre sí, pero con buena porosidad visible al interior de los mismos (estados **SDG** 28,1% y **M G** 38,1%). Debajo de las líneas de sorgo se observa una mayor agregación (estado **SFG** 4,8%) y es escasa y discontinua la capa de estructura laminar (**MD laminar** 7,6%). Este lote presenta un estado estructural favorable para continuar en siembra directa.



Caso 9.

Gálvez. Familia Burini

Suelo: Consociación Clason. Capacidad de uso: Y 2. IP: 86

Años desde la última pradera: 7 años.

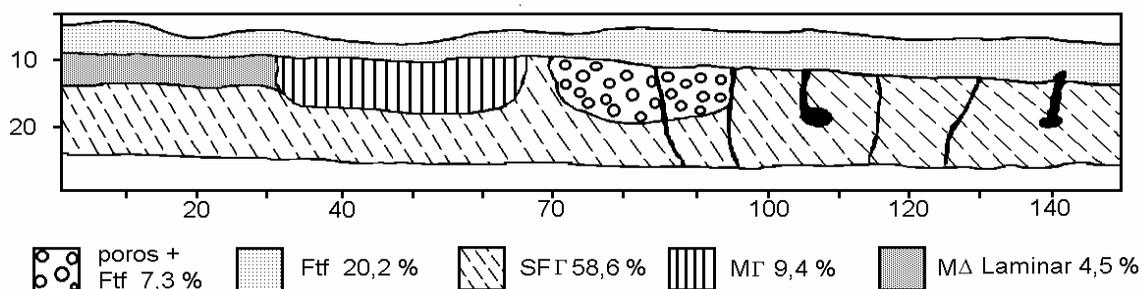
Número de cultivos: 12 = 1.7 cultivos/año

Número de cultivos en siembra directa: 9

Cultivo observado: rastrojo de soja.

Este lote presenta una alta porosidad estructural en todo el horizonte A, la capa superficial de tierra fina y rastrojo de soja tiene un espesor de 5 - 7 cm (Ftf

20,2%), por debajo, el estado dominante es (SF G 58,6%) y una zona con gran porosidad estructural por acción de lombrices (Ftf + poros = 7,3%). Las únicas manifestaciones de reducción de la macroporosidad están localizadas bajo una huella de cosechadora (MG 9,4% y MD laminar 4,5%). Este lote presenta un excelente estado estructural puesto de manifiesto por los rendimientos de los cultivos anteriores. Continuar en siembra directa tomando precauciones sobre el estado de humedad del perfil en el momento de las intervenciones para conservar el estado actual.



Cuadro de síntesis

Se resumen en el siguiente cuadro todos los casos estudiados.

Casos	Estructura favorable en %				Estructura desfavorable en %				
	terrones	Ftf	SFG	SDGD	Total	MG	MD	Laminar	Total
1	--	15,7	57,2	--	72,9	16	--	11,1	27,1
2	--	18,2	0,6	20,6	39,4	38,3	8,4	13,9	60,6
3	--	32,1	48,6	--	80,7	14,7	--	4,6	19,3
4	22	21,9	9	38,5	91,4	6,1	--	2,5	8,6
5	--	13,4	12,9	26,7	53	20,2	--	26,8	47
6	16,7	18,8	--	38,6	74,1	9,2	12,2	4,5	25,9
7	--	16,4	24,3	14,2	54,9	12,7	32,4	--	45,1
8	--	21,4	4,8	28,1	54,3	38,1	--	7,6	45,7
9	--	27,5	58,6	--	86,1	9,4	--	4,5	13,9

Comentarios generales

Es posible realizar una agricultura continuada en la región empleando sistemas de cultivos (labranzas y rotaciones) adecuados.

Los resultados del diagnóstico del estado estructural del suelo, en base al método del perfil cultural, pueden ser aplicados a otros sistemas agrícolas regionales.

Las diferencias de estructura de suelos bajo un mismo sistema de cultivos depende principalmente del estado inicial del suelo. Se debería comenzar con un buen estado estructural o en caso contrario, eliminar a priori todas las limitantes superficiales y subsuperficiales.

Se observa una gran heterogeneidad de los estados estructurales, consecuencias de inoportunas y defectuosas labranzas anteriores y cosechas en condiciones desfavorables de humedad del suelo.

La mayor parte de los perfiles observados presentaron un estado estructural favorable para continuar con el sistema de siembra directa, con un alta proporción de estados **SFG** y **SDG** y relativamente poca abundancia de síntomas de compactaciones severas (estado **MD**). A excepción de los lotes norte de Loma Alta (Sr, Mamy) con más del 30% del horizonte A con un estado **M D** (pisadas de neumáticos) y también el lote sur presenta una capa continua de estructura laminar de 4 - 5 cm.

El estado de estructura laminar es muy frecuente en los lotes con siembra directa continua observados y debe ser evaluada periódicamente, pues cuando abarca todo el largo del perfil, afecta la velocidad de infiltración del agua y principalmente la tasa de difusión de oxígeno, lo que afecta el crecimiento de las raíces y la actividad de la mesofauna, elemento esencial para el mantenimiento de la red de macroporos.

En cuanto a la prueba de distintas herramientas para provocar una descompactación de horizontes subsuperficiales, debe avanzarse más en su evaluación y desarrollo, principalmente en cuanto a a humedad del suelo con que se pasan y la profundidad. Respecto a este punto con- vendría evitar interesar el horizonte B2 que en su estado natural no presenta limitaciones para la penetración radical dada su estructura prismática.

Bibliografía

De Battista, J.J.; Andriulo, A. y Pecorari, C. 1993. El perfil cultural: Un método para la evaluación de sistemas de cultivos. Ciencia del Suelo. Volumen 10 - 11; 89 - 93.

Gautronneau, Y. y Manichon, H. 1987. Guide méthodologique du profil cultural. CEREF-GEARA. 71 pp.

Pecorari C.; Andriulo A.; y González J. 1989. Soil degradation under two tillage systems in the humid region of argentinian pampa. Workshop on Soil Physics. Trieste. Italia.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento por su colaboración en el trabajo al Ing. Agr. Daniel Méndez y al señor Claudio Pringles por la diagramación del boletín.