

Efecto de sistemas de labranza contrastantes sobre algunas propiedades de un molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos

Effect of contrasting tillage systems on some properties of a molisol of Tres Arroyos under different previous uses

Marina Lucrecia Manso ¹
Horacio José Forján ¹

Guillermo Alberto Studdert ²
Silvina San Martino ²

Originales: Recepción: 25/10/2010 - Aceptación: 30/12/2011

RESUMEN

El proceso de "agriculturización" se define como el uso creciente y continuo de tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diez años de agricultura continua bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) con diferente historia previa, sobre propiedades físicas y bioquímicas en la capa arable de un Paleudol Petrocálcico. En un ensayo de larga duración y en una situación no disturbada (parque) se evaluaron densidad aparente (DAP), resistencia a la penetración (RP), estabilidad estructural (EE) y carbono orgánico total, particulado (COP) y, asociado a la fracción mineral (COA). La DAP no difirió entre labranzas ni entre historias, ni tampoco entre los tratamientos y el parque. La RP fue mayor bajo SD respecto de LC. La SD presentó mayor EE en comparación con LC y en el parque esta fue mayor respecto de los tratamientos. El contenido de COP fue superior en la condición no disturbada y no hubo diferencias debidas a historia previa o a labranzas. Luego de diez años de implementada la SD, no se observaron mejoras significativas respecto de LC. La agricultura continua, independientemente del sistema de labranza empleado, originó compactación y pérdida de EE.

ABSTRACT

The "agriculturization" process is defined as the increasing and continuous land use for cropping instead of livestock production or mixed production. The objective of this work was to evaluate the effect of ten years of continuous cropping with no-tillage (SD) and conventional tillage (LC) after different previous uses, on physical and biochemical soil properties of a Petrocalcic Paleudoll. Soil bulk density (DAP), penetration resistance (RP), structural stability (EE) and total, particulate (COP) and associated to the mineral fraction carbon (COA), were evaluated in a long term experiment and in an undisturbed condition (Park). Bulk density did not differ among treatments and between them and the Park. Penetration resistance was higher under SD than under LC. EE was higher under SD than under LC whereas the Park showed the highest EE. The undisturbed condition showed the highest COP content; however, there were no differences among treatments. After ten years of cropping under SD no significant improvement was observed in the evaluated soil properties respect to LC. Regardless of the tillage system employed, continuous cropping has led to soil compaction and EE loss.

-
- 1 Estación Experimental Agropecuaria Integrada Barrow (INTA-MAA). Ruta 3 km 487. (7500) Tres Arroyos. Buenos Aires. Argentina. mlmanso@correo.inta.gov.ar
 - 2 Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Unidad Integrada Balcarce (FCA-EEAB).

Palabras clave

siembra directa • labranza convencional
• calidad del suelo

Keywords

no-tillage • conventional tillage • soil
quality

INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana de Argentina, la agricultura continua asociada al uso de sistemas de labranza agresivos y la tendencia cada vez mayor hacia el monocultivo de soja, han provocado el deterioro de la calidad edáfica (8). Larson y Pierce (27) propusieron el desarrollo de un conjunto mínimo de datos o indicadores para determinar la calidad/salud del suelo y permitir estimar otros parámetros cuando no se dispone de mediciones.

Entre los atributos más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo se han citado: contenido de materia orgánica (MO), agregación, densidad aparente (DAP), infiltración, disponibilidad de nutrientes y capacidad de retención de agua (4, 14). La compactación del suelo es cuantificada generalmente a través de la medición de la resistencia a la penetración (RP) o de la DAP (2). En tanto, la estabilidad estructural (EE) es una estimación indirecta de la capacidad de almacenar agua y aire en la zona de exploración de las raíces (32).

El fraccionamiento de la MO permite distinguir *pools* específicos de carbono (C) que responden al manejo. Según las diferentes características físicas y bioquímicas y sus tasas de mineralización, se pueden distinguir la MO particulada (MOP) y la MO asociada a los minerales (MOA).

La MOP (MO en la fracción del suelo mayor que 53 μm) consiste en residuos de plantas y animales parcialmente descompuestos con un rápido reciclado, es más sensible a los cambios en el manejo y posee gran importancia en la provisión de nutrientes.

La MOA (MO en la fracción del suelo menor que 53 μm) está compuesta por productos de descomposición más procesados en íntima asociación con las partículas de suelo, tiene un lento reciclado y es importante en el secuestro de C (29).

Las labranzas modifican propiedades físicas, como la estructura, la DAP, la distribución de poros, la dinámica del agua y la RP (8, 25). Las labranzas agresivas, tal como la labranza convencional (LC), producen ruptura de macroagregados por acción física directa y estimulan el potencial oxidativo de las poblaciones microbianas, lo que origina la pérdida de MO al exponer las fracciones protegidas dentro de éstos a la acción de los microorganismos (40). Por otro lado, las labranzas conservacionistas (p. e. siembra directa (SD)) se caracterizan por la presencia de rastrojo en superficie y la reducción al mínimo indispensable de las operaciones de laboreo. La ausencia de remoción permite contar con un sistema poroso más estable y con un mayor número de bioporos, lo que se traduce en mayor conductividad hidráulica y mayor retención de agua (23).

Por otra parte, es ampliamente citado el incremento de la DAP y de la RP en suelos bajo SD con respecto a suelos laboreados (17, 41). A su vez, el empleo de SD origina la estratificación de la MO con mayores contenidos en los primeros centímetros superficiales (13, 17) y se asocia a menores disponibilidades de nutrientes, principalmente nitrógeno (N) (20).

Así como las labranzas, la rotación de cultivos es una práctica que afecta las propiedades del suelo y el comportamiento de los cultivos que se desarrollan en él. Los efectos de las rotaciones se relacionan con la posibilidad de incluir cultivos con diferentes requerimientos hídricos y nutricionales, y con distintos sistemas radicales que influyen sobre la agregación del suelo. La elección de los cultivos en la secuencia permite manejar el momento, la cantidad, la calidad, la forma de retorno de C al suelo y los factores que influyen sobre su transformación (35, 37).

Al igual que en el resto de la Argentina, en el centro sur bonaerense, el incremento de la producción agrícola en los últimos veinticinco años ha sido constante y sostenido (19). Este incremento en la superficie agrícola con mayor intensidad de uso de los suelos fue acompañado por una creciente adopción de la SD. No obstante, no se cuenta con información acerca del impacto en el mediano-largo plazo de la agricultura continuada con distintos sistemas de labranza sobre las propiedades de estos suelos.

Se plantearon como hipótesis que el suelo bajo SD continua presenta mejores condiciones físicas y bioquímicas en la capa arable que bajo LC, y que las diferencias en las propiedades edáficas registradas al comparar ambos sistemas de labranza serán más marcadas cuando los sistemas se hayan aplicado a suelos con un uso agrícola más prolongado.

Objetivo

- Evaluar el efecto de diez años de agricultura continua bajo SD y LC, habiendo partido de condiciones de manejo previo diferentes, sobre algunas propiedades físicas y bioquímicas en la capa arable del suelo, y compararlas con una condición sin disturbar para evaluar el estado de calidad actual de los suelos laboreados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y diseño experimental

El trabajo se llevó a cabo en 2007 en un ensayo de larga duración en la Estación Experimental Agropecuaria Integrada Barrow (EEAI Barrow), Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires (38°19'25" S; 60°14'33" W) iniciado en 1997 con una secuencia girasol (*Helianthus annuus* L.) - trigo (*Triticum aestivum* L.) - maíz (*Zea mays* L.) - girasol - trigo, sobre un suelo Serie Tres Arroyos (Paleudol Petrocálcico, fino, illítico, térmico, moderadamente somero).

En la tabla 1 se muestran los datos de DAP, RP, EE y C orgánico total (COT) al inicio del ensayo.

Tabla 1. Densidad aparente (DAP), resistencia a la penetración (RP), estabilidad estructural medida como cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP) y contenido de carbono orgánico total (COT) al inicio del ensayo (1997) para dos historias de manejo (agricultura (Agric.) y pastura (Past.)) a distintas profundidades (Prof.).

Table 1. Bulk density (DAP), penetration resistance (RP), aggregate stability measured as mean weight diameter change (CDMP), and total soil organic carbon content (COT) at the beginning of the experiment (1997) for two previous managements (cropping (Agric.) and pasture (Past.)) at different depths (Prof.).

Prof.	DAP ¹		Prof.	RMP ²		Prof.	CDMP ³		Prof.	COT ⁴	
	Agric.	Past.		Agric.	Past.		Agric.	Past.		Agric.	Past.
cm	----- Mg m ⁻³ -----		cm	----- Mpa -----		cm	----- mm -----		cm	----- g 100 g ⁻¹ -----	
3-8	1,26	1,23	0-5	0,27	0,20						
			5-10	0,35	0,29						
						0-20	1,43	1,16	0-20	2,47	2,64
13-18	1,22	1,29	10-15	0,40	0,51						
			15-20	0,92	0,92						

¹ Método del cilindro (6).

² Penetrómetro de cono (cono de 30° y 323 mm² de base, ASAE Standard S313 (3)) con elemento sensible de anillo deformable (Soiltest, EEUU).

³ Domínguez *et al.* (13).

⁴ Por el método de Walkley y Black (combustión húmeda) (36).

¹ Cylinder method (6).

² Soil cone penetrometer (cone of 30° and 323 mm² base, ASAE Standard S313 (3)) with deformable ring-sensitive element (Soiltest, EEUU).

³ Domínguez *et al.* (13).

⁴ Method of Walkley and Black (wet combustion) (36).

El diseño experimental fue en bloques divididos (24) con tres repeticiones. Se consideraron dos niveles del factor historia previa: 1) pastura durante cuatro años (desde 1993 a 1996) y 2) agricultura continua durante doce años (1985-1996), y dos niveles del factor sistema de labranza implementados a partir de 1997: 1) SD y 2) LC (arado de reja y vertedera los primeros dos años de ensayo, posteriormente y hasta la actualidad, rastra de discos, cuya profundidad de laboreo es de aproximadamente 20 cm).

El parque de la EEAI Barrow por su condición sin disturbar (no está sometido al tráfico de maquinarias o vehículos, ni a prácticas de manejo, como por ejemplo, riego), se consideró como referencia para evaluar el estado de calidad actual de los suelos laboreados.

Determinaciones

Se efectuaron en julio sobre rastrojo de trigo en las unidades experimentales y en el parque de la EEAI Barrow. Se evaluaron: la DAP (seis muestras en cada UE) a dos profundidades: 3-8 y 13-18 cm, con el método del cilindro (6); la RP (promedio de dieciocho determinaciones por UE) hasta los 20 cm con intervalos de 2,5 cm con un penetrómetro de cono (30°) con registro electrónico (FieldScout SC-900); la EE a razón de una muestra (tres submuestras) por UE, a las profundidades de 0-10 y de 10-20 cm empleando el método de "Cambio en el Diámetro Medio Ponderado" (11) y, el carbono orgánico (CO) a las profundidades de 0-5 y 5-20 cm (una muestra compuesta por UE).

Para determinar la cantidad de CO particulado (COP) y de CO asociado a la fracción mineral (COA) se realizó el fraccionamiento físico de las muestras por tamizado en húmedo (9). La concentración de C en cada fracción se determinó por combustión húmeda, con mantenimiento de la temperatura de reacción (120°C durante 90 minutos) (30).

Los datos fueron analizados por profundidad de muestreo empleando el procedimiento Mixed del sistema SAS (34). La comparación de los datos de DAP, RP, EE y las fracciones de C observados en el parque (situación sin disturbar) con los obtenidos para los cuatro tratamientos del ensayo se realizó considerándolos como un estudio observacional y utilizando contrastes de interés (24).

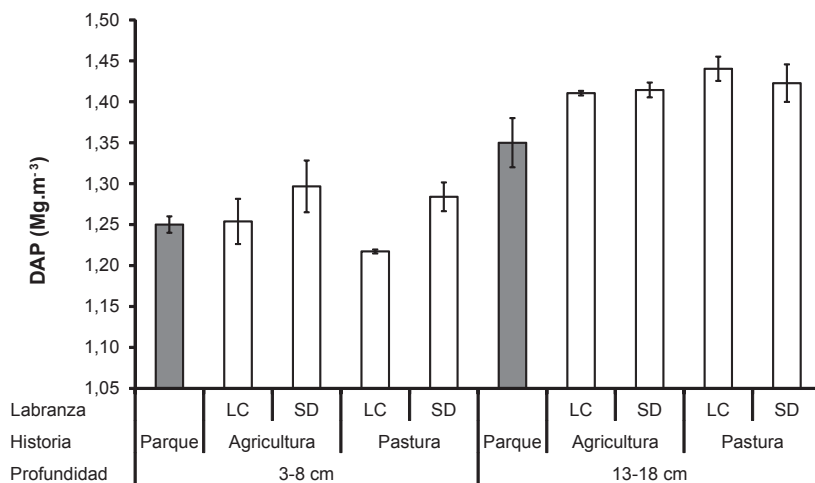
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente

No se registraron interacción ni efectos significativos ($P > 0,05$) de historia previa y del sistema de labranza sobre DAP a ninguna de las profundidades analizadas (figura 1, pág. 90). La falta de efectos significativos del sistema de labranza en este trabajo concuerda con lo reportado por Ferreras *et al.* (18) y Domínguez *et al.* (13).

No obstante, para un amplio rango de tipos de suelo, otros autores (17, 26, 42) informaron mayor densificación en la capa más superficial del suelo bajo SD que bajo LC. Por otra parte, también se ha citado menor DAP bajo SD en comparación con LC (28), atribuida a la mayor actividad biológica generada en el sistema conservacionista que se asocia a un incremento en el número de bioporos (21), especialmente por acción de las lombrices.

De acuerdo con Botta *et al.* (7), estos resultados contrastantes entre experiencias estarían relacionados con el peso de la maquinaria empleada, el ancho y presión de inflado de los neumáticos, el número de pasadas de maquinaria, así como también con el contenido de agua en el suelo cuando se lo laboreo o se circula sobre él con las maquinarias.



Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de las medias.

Vertical bars in each column represent the standard error of the means.

Figura 1. Densidad aparente (DAP) a dos profundidades de muestreo para la situación sin disturbar (Parque) y para dos historias de manejo (Agricultura y Pastura), bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).

Figure 1. Bulk density (DAP) at two sampling depths for an undisturbed situation (Parque) and two previous managements (Agricultura and Pastura), under conventional tillage (LC) and no tillage (SD).

Por otra parte, en 2007 se observó un incremento de la DAP de 13-18 cm con respecto a los valores registrados al inicio del ensayo (1,22 y 1,41 Mg m⁻³ con historia agrícola en 1997 y 2007 (promedio de las dos labranzas), respectivamente, y 1,29 y 1,43 Mg m⁻³ con historia de pastura al inicio del ensayo y en 2007 (promedio de las dos labranzas), respectivamente (tabla 1 -pág. 88-; figura 1).

No obstante, la DAP de 3-8 cm de profundidad no varió marcadamente luego de diez años de agricultura bajo LC (1,26 y 1,23 Mg m⁻³ con historia agrícola en 1997 y 2007, respectivamente, y 1,23 y 1,22 Mg m⁻³ con historia de pastura al inicio del ensayo y en 2007, respectivamente), y se incrementó levemente bajo SD (1,30 y 1,28 Mg m⁻³, con historia agrícola y de pastura, respectivamente).

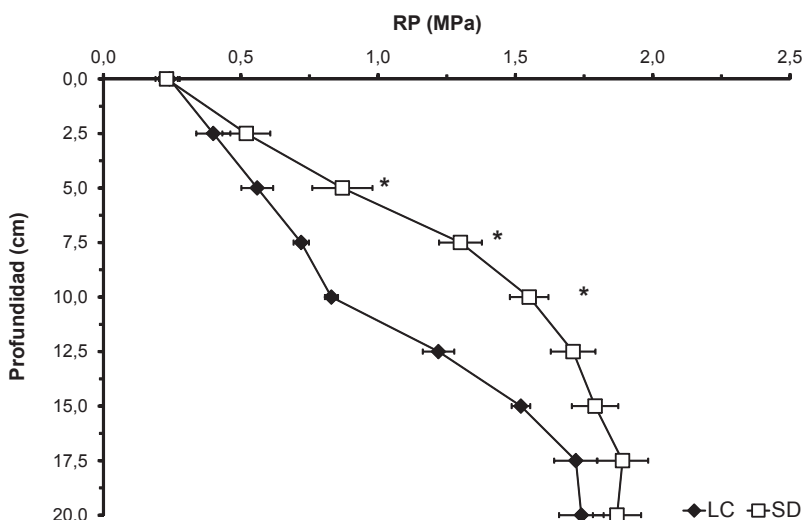
Estos resultados difieren de lo informado por Dardanelli y Gil (10), quienes luego de diez años de SD, observaron valores de DAP menores comparados con LC. Dichos autores lo atribuyeron a la posible recomposición de las propiedades físicas del suelo debido a la ausencia de remoción y al aumento de la actividad biológica.

Tampoco se detectaron diferencias significativas ($P > 0,05$) al efectuar contrastes entre la condición sin disturbar y cada una de las combinaciones historia previa x sistema de labranza, a ninguna de las profundidades evaluadas (figura 1).

A diferencia de lo que ocurre en situaciones como la del parque en cuanto a un continuo crecimiento y muerte de las raíces de la vegetación, asociado con el incremento en la biomasa microbiana y a una constante producción de sustancias ligantes de las partículas de suelo (40), el uso agrícola podría reducir la agregación y la porosidad (33), lo que se traduciría en una mayor DAP.

Resistencia a la penetración

El análisis estadístico de RP por profundidad de muestreo no detectó interacción entre historia previa y sistema de labranza, ni efectos significativos de la historia previa ($P > 0,05$). Sólo se encontraron efectos del sistema de labranza empleado ($P < 0,05$) desde los 5 cm hasta los 10 cm. Las mayores resistencias se hallaron bajo SD respecto a LC (figura 2), lo que podría ser consecuencia de la reconsolidación del suelo debido a la ausencia de remoción bajo aquel sistema de labranza (39).



Los asteriscos indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre sistemas de labranza en cada profundidad. Las barras representan el error estándar de las medias.

The asterisks indicate significant difference ($P < 0.05$) between tillage systems for each depth. Horizontal bars represent the standard error of the means.

Figura 2. Resistencia a la penetración (RP) hasta los 20 cm de profundidad bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

Figure 2. Penetration resistance (RP) up to 20 cm depth under no tillage (SD) and conventional tillage (LC).

Es de destacar que los valores de RP determinados para ambas historias de manejo fueron superiores a los registrados al inicio del ensayo (tabla 2, pág. 92). En promedio de las historias previas y de todo el perfil analizado, bajo SD la RP se incrementó en aproximadamente un 200% durante los diez años de duración del ensayo, mientras que bajo LC, dicho incremento fue aproximadamente del 100%.

El aumento de RP en profundidad a través de los años coincide con lo hallado para DAP de 13-18 cm, lo que evidenciaría un incremento de la compactación al aumentar el número de años bajo agricultura, asociado con efectos acumulados del tránsito de maquinarias y con las operaciones de laboreo a la misma profundidad (7). Por otra parte, la ausencia de remoción bajo SD sería la causa de la mayor compactación presente a menor profundidad respecto de los tratamientos con labranza.

Tabla 2. Resistencia a la penetración (RP) al inicio del ensayo (1997, tabla 1 -pág. 88-) para dos historias de manejo (Agricultura y Pastura) y luego de diez años de agricultura (2007) para cada historia de manejo y bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).

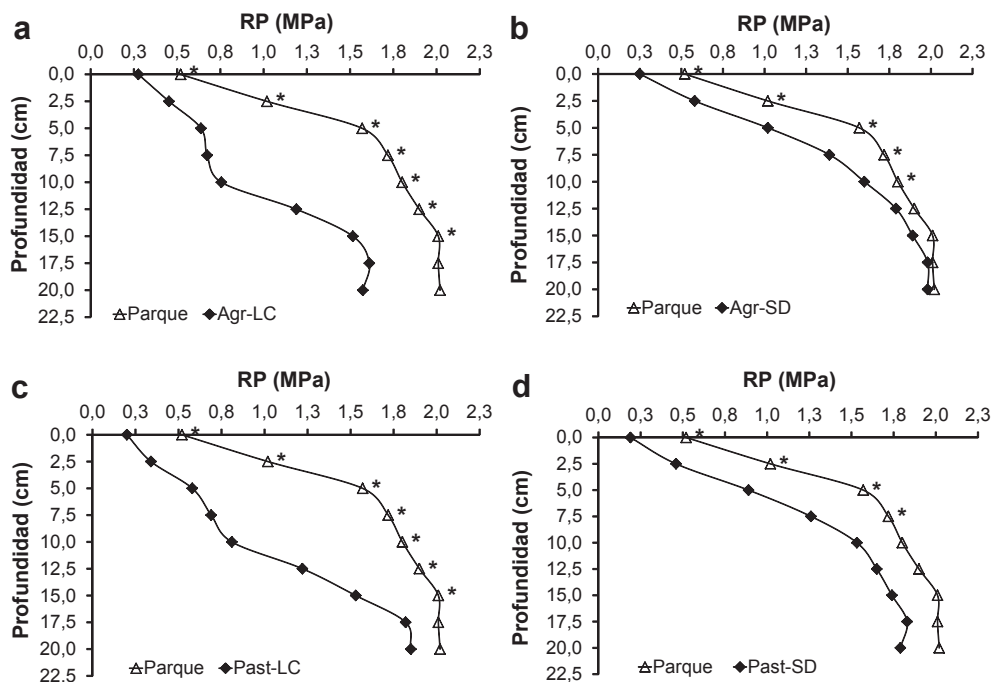
Table 2. Penetration resistance (RP) at the beginning of the experiment (1997, table 1 -page 88-) for two previous managements (Agricultura and Pastura) and after ten years under cropping (2007) for each previous management and under conventional tillage (LC) and no tillage (SD).

Prof.	RP					
	Agricultura			Pastura		
	1997	2007		1997	2007	
		LC	SD		LC	SD
cm	----- MPa -----					
0-5	0,27	0,47	0,63	0,20	0,39	0,54
5-10	0,35	0,75	1,31	0,29	0,69	1,21
10-15	0,40	1,17	1,74	0,51	1,17	1,63
15-20	0,92	1,54	1,93	0,92	1,69	1,77

Hasta los 15 cm de profundidad, la condición sin disturbar presentó mayor RP ($P < 0,05$) que los tratamientos bajo LC con ambas historias de manejo (figura 3, pág. 93). En tanto, SD presentó menor RP ($P < 0,05$) que la condición sin disturbar hasta los primeros 7,5 cm y hasta los 10 cm de profundidad, con historia de pastura y agricultura, respectivamente.

La similitud en los valores de RP entre la condición no disturbada y la SD, estaría asociada a la falta de remoción del suelo por un tiempo prolongado en ambas condiciones (39).

Cabe mencionar que al momento de la determinación de RP no se registraron diferencias ($P > 0,05$) en el contenido de agua del suelo hasta los 20 cm de profundidad entre las condiciones evaluadas (0,24 y 0,23 g g⁻¹ con historia agrícola bajo LC y SD, respectivamente; 0,22 y 0,23 g g⁻¹ con historia de pastura en LC y SD, respectivamente, y 0,21 g g⁻¹ en la condición sin disturbar), por lo que podría considerarse que los resultados obtenidos no estuvieron influenciados por este parámetro.



Los asteriscos indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el parque y cada uno de los tratamientos para cada profundidad.

The asterisks indicate significant difference ($P < 0.05$) between "Parque" and each one of the treatments for each depth.

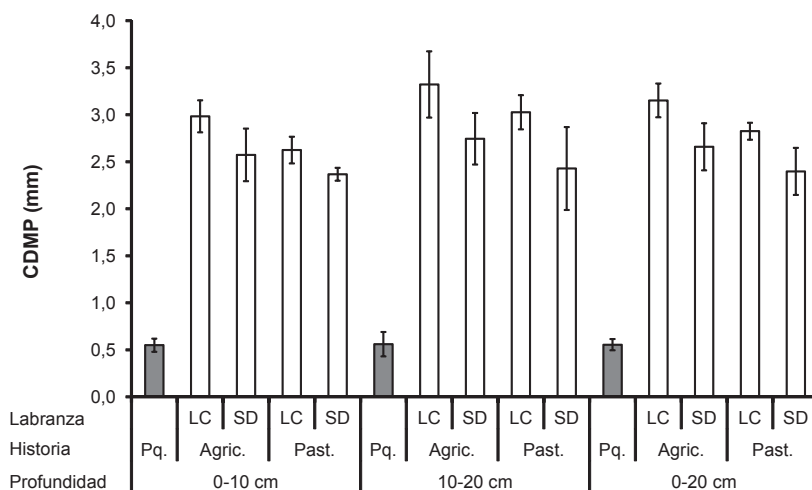
Figura 3. Resistencia a la penetración (RP) hasta los 20 cm de profundidad en la situación no disturbada (Parque) en comparación con **a)** labranza convencional con historia agrícola (Agr-LC), **b)** siembra directa con historia agrícola (Agr-SD), **c)** labranza convencional con historia de pastura (Past-LC) y **d)** siembra directa con historia de pastura (Past-SD).

Figure 3. Penetration resistance (RP) up to 20 cm depth for the undisturbed situation (Parque) as compared to conventional tillage after cropping (Agr-LC, **a**), no tillage after cropping (Agr-SD, **b**), conventional tillage after pasture (Past-LC, **c**), and no tillage after pasture (Past-SD, **d**).

Estabilidad estructural

En los primeros 10 cm no se detectaron interacción ni efectos significativos ($P > 0,05$) del sistema de labranza ni de la historia previa sobre el CDMP (figura 4, pág. 92). En los estratos de 10-20 cm y de 0-20 cm sólo se registró efecto principal del sistema de labranza ($P < 0,05$). En ambos casos SD presentó menor CDMP (2,59 y 2,53 mm para 10-20 cm y 0-20 cm, respectivamente) en relación con LC (3,17 y 2,99 mm para 10-20 cm y 0-20 cm, respectivamente). Esto puede ser atribuido al hecho de que bajo SD se mantiene el suelo cubierto por residuos que protegen a los agregados del impacto de las gotas de lluvia.

Por otro lado, a pesar de que los contenidos de MO en superficie no difirieron entre sistemas de labranza, el reducido disturbio bajo SD se asocia a mayor estabilidad de los agregados (15). Si bien la MO es considerada uno de los principales agentes que favorecen la agregación del suelo (38), Eiza *et al.* (15) mostraron que a iguales contenidos de MO, la EE era mayor en las situaciones con escaso disturbio (SD y Pastura). La acción física de la LC sobre los agregados reduce la EE e inhibe la relación de ésta con el contenido de MO, mientras que bajo SD ocurre lo contrario (15).



Las barras verticales indican el error estándar de la media.

Vertical bars indicate the standard error of the mean.

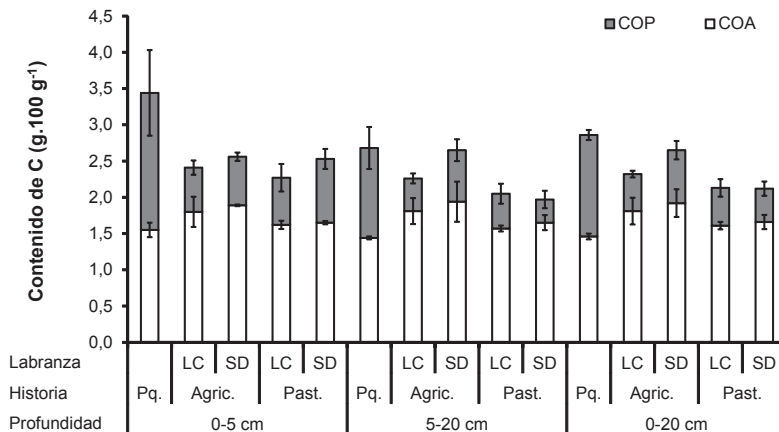
Figura 4. Cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP) en la condición sin disturbar (Pq.) y bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), proveniente de historia de Agricultura (Agric.) y Pastura (Past.).

Figure 4. Mean weight diameter change (CDMP) for the undisturbed condition (Pq.) and under conventional tillage (LC) and no tillage (SD), after Cropping (Agric.) and Pasture (Past.) previous managements.

La EE en el parque fue mayor ($P < 0,05$) en comparación con los cuatro tratamientos, en las diferentes profundidades evaluadas. Este resultado estaría asociado a la ausencia de remoción del suelo por labores mecánicas, a la acción física de la elevada densidad de raíces de las gramíneas presentes en el parque y a la liberación de mucilagos por parte de la actividad biológica rizosférica que favorecen la estabilización de agregados (31). Estas condiciones no se producen con igual intensidad en los sistemas bajo cultivo, aun con SD. Bajo este sistema de labranza podría mantenerse mayor EE respecto de situaciones con laboreo en los primeros años de agricultura luego de una pastura de gramíneas. No obstante, la prolongación de los períodos bajo cultivo podría llevar a disminuciones importantes de la EE (12).

Carbono orgánico

No se detectaron interacción ni efectos significativos de historia previa ni del sistema de labranza ($P > 0,05$) para ninguna de las fracciones de carbono (COA, COP, COT) a ninguna de las profundidades de muestreo (figura 5).



Las barras indican el error estándar de la media.

Vertical bars indicate the standard error of the mean.

Figura 5. Contenido de carbono orgánico particulado (COP), asociado a la fracción mineral (COA) y total (COP+COA) en la situación no disturbada (Pq.) e historias de Pastura (Past.) y Agricultura (Agric.) bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).

Figure 5. Particulate (COP), mineral associated (COA), and total (COP+COA) organic carbon content for the undisturbed situation (Pq.) and Pasture (Past.) and Cropping (Agric.) previous managements under conventional tillage (LC) and no tillage (SD).

Algunos autores atribuyen la falta de diferencias en el contenido de C entre un suelo laboreado y uno bajo SD, a ingresos de C y condiciones iniciales semejantes (1, 13).

A través de los diez años comprendidos por este trabajo, el aporte de residuos fue similar en los cuatro tratamientos (1,8; 1,7; 1,8 y 1,7 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para historia agrícola bajo LC y SD e historia de pastura bajo LC y SD, respectivamente), lo que podría estar explicando la falta de diferencias estadísticas en los contenidos de las fracciones de C entre tratamientos.

No obstante, en 2007 se observó una reducción en promedio del 20% en el contenido de COT en los primeros 20 cm de profundidad en los tratamientos con historia de pastura respecto de los valores iniciales (1997, tabla 1 -pág. 8-).

Domínguez *et al.* (13) informaron que para suelos de textura franca y elevados contenidos de MO, aportes de C de residuos (aéreos y de raíces más

rizodeposiciones) menores que $6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, produjeron caídas de la MO del suelo tanto bajo LC como bajo SD.

Se puede asumir que los tratamientos provenientes de historia de pastura presentaban en 1997 una mayor proporción de COP, tal como se observó en 2007 para el parque (figura 5, pág. 95); por lo tanto, se podría esperar que los menores aportes de C asociados con el uso agrícola produjeran caídas más marcadas del COT por reducciones abruptas del COP.

Por otro lado, en los tratamientos con historia agrícola, en promedio, se observó una leve caída (6,1%) bajo LC y un ligero incremento (7,3%) bajo SD (tabla 1 -pág. 88-; figura 5 -pág. 95-).

En el estrato de 0-5 cm, no se detectaron diferencias ($P > 0,05$) en el contenido de COT entre la condición sin disturbar y la SD con historia agrícola, en tanto, para el resto de los tratamientos se observó una menor concentración ($P < 0,05$) que en el parque (figura 5, pág. 95).

En la capa de 5-20 cm, el contenido de COT en la condición sin disturbar fue mayor ($P < 0,05$) en comparación con LC y SD con historia de pastura, y no difirió ($P > 0,05$) de ambos sistemas de labranza con historia agrícola.

En el estrato de 0-20 cm, el COT fue mayor ($P < 0,05$) en la condición no disturbada respecto de los tratamientos. Por otro lado, el contenido de COA en el parque difirió ($P < 0,05$) únicamente del tratamiento bajo SD con historia agrícola en las profundidades 5-20 cm y 0-20 cm (figura 5, pág. 95). Este resultado coincide con lo esperado, ya que el COA es una fracción de baja labilidad, por lo que no deberían existir grandes diferencias entre prácticas de manejo (9, 13).

Las diferencias más notorias entre los tratamientos y el parque se registraron en los niveles de COP. En los diferentes estratos considerados, su contenido fue superior ($P < 0,05$) en la condición no disturbada. El mayor contenido de la fracción lábil en el parque (en promedio de 0-5 y 5-20 cm, el COP representó alrededor del 50% del COT) estaría dado por la ausencia de remoción del suelo, lo que origina una tasa de mineralización más lenta (5), por el mayor y más continuo aporte de biomasa aérea y radical (40) y por la distribución de precursores de MO que dejan las raíces de las gramíneas que crecen en él.

Este resultado muestra la mayor sensibilidad del COP para distinguir distintas situaciones de manejo (16, 22) respecto del COT. Por otra parte, la fracción particulada es considerada como la que más contribuye al mantenimiento de la EE (15, 36). Por lo tanto, el mayor contenido de COP podría haber sido la causa principal de que la condición sin disturbar presentara mayor EE (figura 4, pág. 92) que los suelos bajo agricultura.

CONCLUSIONES

Los sistemas de labranza empleados no provocaron un efecto diferencial en el suelo según la historia de manejo y ésta tampoco resultó en efectos de importancia sobre el ambiente edáfico luego de diez años de producción de cultivos. Por otro lado, el uso continuo de SD durante ese período en el suelo evaluado, no generó un mejor ambiente edáfico respecto del provocado por la LC. Sin embargo, la ausencia de remoción y el pasaje de maquinarias originaron mayor dureza bajo SD.

El CDMP y el COP fueron las variables que presentaron mayor sensibilidad para reflejar diferencias entre los suelos bajo uso agrícola y la condición sin disturbar, indicando un cierto grado de degradación de estos suelos por efecto de la agricultura. La RP también mostró ser sensible a los cambios producidos por distintas estrategias de manejo a lo largo del tiempo.

La agricultura continua, independientemente del sistema de labranza, ha originado compactación del suelo, principalmente por debajo de los 10 cm de profundidad, reducción de la EE y reducción del CO cuando se partió de una condición de mayor contenido inicial. Las tendencias observadas en la evolución del ambiente edáfico bajo SD en comparación con LC a través de los años, hacen necesario continuar con las evaluaciones en este ensayo de larga duración con el objetivo de confirmar o refutar los resultados obtenidos hasta el momento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, R.; Russo, M. E.; Prystupa, P.; Scheiner, J. D.; Blotta, L. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in Argentine Rolling Pampa. *Agron. J.* 90(2): 138-143.
2. Amato, M.; Ritchie, J. T. 2002. Spatial distribution of roots and water uptake of maize (*Zea mays* L.) as affected by soil structure. *Crop Sci.* 42(3): 773-780.
3. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 2002. S313.3. Soil cone penetrometer. ASAE Standards, 49th Ed. St. Joseph, Michigan, USA.
4. Arshad, M. A.; Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agri., Ecosyst. Environ.* 88(2): 153-160.
5. Bayer, C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, J.; Pavinato, A.; Dieckow, J. 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-tillage. *Soil Till. Res.* 86(2): 237-245.
6. Blake, G. R.; Hartge, K. H. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical properties.* Agron. Monog. 9, 2nd ed. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA. p. 363-375.
7. Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.; Rosatto, H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78(1): 53-78.
8. Buschiazzo, D. E.; Panigatti, J.L.; Unger, P. W. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till Res.* 49(1-2): 105-116.
9. Cambardella, C. A.; Elliott, E. T. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56(3): 777-783.
10. Dardanelli, J. L.; Gil, R. 1997. Eficiencia del uso del agua en el sistema de producción. En: Seminario de siembra directa. INTA. Buenos Aires, octubre 1997. p. 43-46.
11. De Leenher, L.; De Boodt, M. 1958. Determination of aggregate stability by change in mean weight diameter. *Proc. Int. Symp. on Soil Structure.* Medelingen. Van de Landbouwhoghe School. Ghent, Bélgica. p. 290-300.

12. Domínguez, G. F.; Andersen, A.; Studdert, G. A. 2008. Cambios en la estabilidad de agregados en distintos sistemas de cultivo bajo siembra directa y labranza convencional. *Actas 21° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, mayo de 2008*. En CD.
13. Domínguez, G. F.; Diovisalvi, N. V.; Studdert, G.A.; Monterubbianesi, M. G. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on Mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102(1): 93-100.
14. Doran, J. W.; Sarrantonio, M.; Liebig, M. A. 1996. Soil health and sustainability. *Adv. Agron.* 56:1-54.
15. Eiza, M. J.; Studdert, G. A.; Fioriti, N.; Domínguez, G. F. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. *Actas 20° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, septiembre de 2006*. En CD.
16. Fabrizzi, K. P.; Morón, A.; García, F. O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fraction in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(6): 1831-1841.
17. Fabrizzi, K. P.; García, F. O.; Costa, J. L.; Picone, L. I. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81(1): 57-69.
18. Ferreras, L.; Costa, J. L.; García, F. O.; Pecorari, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic paleudoll of the Southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54(1-2): 31-39.
19. Forján, H. J. 2005. Expansión agrícola en la región: una señal de alerta. *INTA Publicaciones Regionales. Agrobarrow.* 32: 12-13.
20. Fox, R. H.; Bandel, V. A. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. In: Sprague; M. A. & Triplett, G. B. (eds.). *No-tillage and surface-tillage agriculture. The tillage revolution*. John Wiley and Sons, New York, USA. p. 117-148
21. Francis, G. S.; Knight, T. L. 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. *Soil Till. Res.* 26(1): 193-210.
22. Franzluebbers, A. J.; Langdale, G. W.; Schomberg, H. H. 1999. Soil carbon, nitrogen and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63(2): 349-355.
23. Gil, R.; Garay, A. 2001. La SD y el funcionamiento sustentable del suelo. En: Panigatti, J. L.; Buschiazzo, D. & Marelli, H. (eds.). *Siembra Directa II*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 5-15.
24. Kuehl, R. O. 2001. *Diseño de Experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. 2ª Ed. Thomson International. México. 680 p.
25. Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. *USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph N° 21*. 78 p.
26. Lampurlanés, J.; Cantero-Martínez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95(3): 526-536.
27. Larson, W. E.; Pierce, F. J. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W. (ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America Special Publication N° 35. SSSA and ASA, Madison, Wisconsin, USA. p. 37-51-
28. Lei, J.; Wu, F.; Wang, J.; Guo, J. 2008. Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield. *Nongye Gongcheng Xuebao. T. Chinese Soc. Agri. Eng.* 24(10): 40-45.
29. Murage, E. W.; Voroney, P. R.; Kay, B. D.; Deen, B.; Beyaert, R. P. 2007. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(4): 1363-1370.
30. Nelson, D. W.; Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A. L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Agron. Monogr. 9. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. p. 539-579.
31. Perfect, E.; Kay, B. D.; Van Loon, W. P. K.; Sheard, R. W.; Pojasok, T. 1990. Rates of change in soil structural stability under forages and corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54 (1): 179-186.
32. Reynolds, W. D.; Bowman, B. T.; Drury, C. F.; Tana, C. S.; Lu, X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110(1-2): 131-146.
33. Robinson, C. A.; Cruse, R. M.; Kohler, K. A. 1994. Soil management. In: Hatfield, J. L.; Karlen, D. L. (eds.). *Sustainable agriculture systems*. Lewis Publ., Boca Raton, Florida, USA. p. 109-134.
34. SAS Institute Inc. 2004. *SAS OnlineDoc 9.1.3*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
35. Six, J.; Conant, R. T.; Paul, E. A.; Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241(2): 155-176.
36. Stevenson, F. J.; Cole, M. A. 1999. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. 427 p.

37. Studdert, G. A.; Echeverría, H. E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(4): 1496-1503.
38. Taboada, M. A. 2008. Influencia de la textura y la estructura de los suelos sobre la fertilidad física. En: Taboada, M. A. & Álvarez, C. R. (eds.). *Fertilidad física de los suelos*. 2^{da} ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. p. 9-30.
39. Taboada, M. A.; Micucci, F. G.; Alvarez, C. R. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. En: Taboada, M. A.; Alvarez, C. R. (eds.). *Fertilidad física de los suelos*. 2^{da} ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. p. 94-153.
40. Tisdall, J. M.; Oades, J. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2): 141-161.
41. Wander, M. M.; Bollero, G. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63(4): 961-971.
42. Yoo, G.; Nissen, T. M.; Wander, M. M. 2006. Use of physical properties to predict to effects of tillage practices on organic matter dynamics in three Illinois soils. *J. Environ. Qual.* 35(4): 1576-1583.