

# Parámetros edáficos, crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo bajo diferentes manejos

FERRERAS Laura<sup>[1]</sup>, TORESANI Silvia<sup>[2]</sup>, PECORARI Carlos<sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup> Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario  
C.C. N° 14 (S 2125 ZAA) Zavalla, Argentina

<sup>[2]</sup> Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario  
C.C. N° 14 (S 2125 ZAA) Zavalla, Argentina

<sup>[3]</sup> Estación Experimental Agropecuaria, INTA Pergamino  
C.C. N° 31 (2700) Pergamino, Argentina

E-mail: lferrera@sede.unr.edu.ar

## Resumen

Las prácticas de manejo pueden afectar la producción de los cultivos a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, la capacidad de almacenaje de agua del suelo y la dinámica de nutrientes. La experiencia se realizó en la EEA INTA Oliveros durante el ciclo 92/93, sobre un Argiudol ácuico. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto del manejo sobre parámetros del suelo y el crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en una rotación trigo/soja (*Glycine max* (L.) Merr) realizada en forma continua durante 11 años y en una situación proveniente de una pastura antigua. Los tratamientos de labranza fueron: labranza convencional con arado de rejas (LC) y labranza vertical con cincel (LV) en la rotación trigo/soja y labranza convencional con arado de rejas en la situación proveniente de pastura (PC). En los tres tratamientos se aplicó nitrógeno en dosis de 100kg N/ha, dejando testigo sin fertilizar (100N y ON, respectivamente). Se evaluaron propiedades del suelo en superficie (0-21cm), en distintas etapas del cultivo: densidad aparente (DA); porcentaje de agregados estables al benceno, alcohol y agua; porosidad estructural (PE); carbono orgánico total (COT) y humedad volumétrica (HV). Además, se determinó DA y HV a los 21-36cm y 36-70cm de profundidad. La densidad aparente del suelo a los 0-21cm y 21-36cm de profundidad, fue significativamente mayor en LC ( $P \leq 0,05$ ) con respecto a LV y PC, en todas las fechas de muestreo. El tratamiento PC presentó en las tres fechas de muestreo un mayor porcentaje de agregados estables al benceno, alcohol, y agua; mayor PE y mayor contenido de COT ( $P \leq 0,05$ ), con respecto a los tratamientos LC y LV. Se halló una relación inversa entre DA y PE ( $r^2 = 0,70$ ). El porcentaje de agregados estables al alcohol se correlacionó positivamente con el COT ( $r^2 = 0,86$ ). El contenido de humedad en superficie fue significativamente menor ( $P \leq 0,05$ ) en LC con respecto a LV y PC, en la mayor parte del ciclo del cultivo. A partir de los 21cm de profundidad, PC presentó los valores más elevados de HV. La acumulación de materia seca en LC fue el 45,8%, 64%, 73% y 73% de lo acumulado en PC en las etapas de macollaje, encañazón, antesis y madurez fisiológica, respectivamente; mientras que LV acumuló un 76,7%, 83,4%, 85% y 95% con respecto a PC, en las mismas etapas de crecimiento. El rendimiento del cultivo en LC fue el 73% de lo obtenido en PC (para 100N y ON); mientras que para LV fue el 85,5% (parcelas 100N) y 93,1% (ON) de lo hallado en PC. La mayor compactación, la inestabilidad de la estructura, la menor acumulación de COT y humedad del suelo que presentó LC, pudieron incidir negativamente en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

### Palabras clave:

arado de rejas, arado de cincel, compactación, trigo, estructura del suelo, carbono orgánico, estabilidad estructural

# Soil properties, wheat growth and grain yield under different management.

## Summary

---

The tillage practices can affect crop production through their influence on distribution of soil organic matter, available water-holding capacity and nutrient dynamics. The experiment was conducted at the EEA INTA Oliveros, during 1992/93 in an Aquic Argiudoll. The aim of the study was to determine the effects of management practices on soil properties and wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and grain yield in a continuous wheat-soybean (*Glycine max* (L.) Merr) rotation (1.1 yr.) and a plot coming from a long-term pasture. Tillage treatments were: moldboard plowing (LC) and chisel plowing (LV) in wheat-soybean rotation, and moldboard plowing in the plot coming from pasture (PC), with two levels of nitrogen (0 and 100 kg N/ha). Soil bulk density (DA); the percentage of stable aggregates to benzene, ethanol and water; structural porosity (PE), total organic carbon (COT), and volumetric water content (HV) in the 0-21cm layer were evaluated during the growing season. Soil bulk density and HV in the 21-36cm and 36-70cm layers were measured. Soil bulk density at 0-21 cm and 21-36 cm depth was significantly higher in LC with respect to LV and PC ( $P \leq 0.05$ ). The percentage of stable aggregates to pre-treatments with benzene, ethanol and water, PE and COT were significantly higher in PC with respect to LC and LV ( $P \leq 0.05$ ). Soil bulk density was inversely related to the PE ( $r^2 = 0.70$ ). The percentage of stable aggregates to ethanol was directly correlated to COT ( $r^2 = 0.86$ ). Volumetric water content in the top layer was lower in LC than in PC and LV. While PC showed the highest values in the depths of 21-36cm and 36-70cm. Dry matter under LC was 45.8%, 64%, 73% and 73% of that obtained in PC at tillering, stem elongation, anthesis and physiological maturity, respectively. Dry matter under LV was 76.7%, 83.4%, 85% and 95% with respect to PC, in the same growth stages. Grain yield in LC was 73% of that obtained in PC for both levels of N, while grain yield in LV was 85.5% and 93.1% of that obtained in PC for 0 and 100 kg N ha<sup>-1</sup>; respectively. A negative impact on wheat growth and grain yield could have been due to a greater soil compaction, soil structure instability, lower soil organic carbon and lower soil water content under LC.

### Key words:

moldboard plow, chisel plow, soil compaction, wheat, soil structure, soil organic carbon, aggregate stability.

## Introducción

---

La calidad del suelo esta condicionada por diversos factores, entre los cuales se incluyen la actividad biológica, la capacidad de almacenaje de agua, la disponibilidad de nutrientes y la proporción de materia orgánica (Anderson *et al.*, 1997). Existe un considerable interés en determinar cómo el concepto de calidad del suelo se relaciona al uso de las tierras agrícolas en la producción sustentable, con la aceptación general que el uso sustentable requiere conservar propiedades edáficas que son importantes desde el punto de vista de la fertilidad y el laboreo del suelo (Bezdicsek *et al.*, 1996). La alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de manejo puede afectar la producción de los cultivos a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes (Salinas-García *et al.*, 1997).

En la Región Pampeana, el progreso técnico de los últimos años ha conducido a una agricultura productiva y técnicamente más segura, que en algunas situaciones va en detrimento de las propiedades físico-químicas del suelo (Hein 1990). En esta región se ha difundido el doble cultivo trigo/soja para obtener una mayor producción y realizar un máximo uso de la tierra. Para ello, se requieren numerosas labores cuando se emplean los sistemas de labranza convencionales. La secuencia de cultivos trigo/soja se considera como un sistema muy degradativo de las propiedades físicas y químicas del suelo, puesto que debido al escaso volumen de rastrojo que deja la soja en superficie, el suelo aumenta la susceptibilidad al planchado y a perder más cantidad de agua por evaporación o escurrimiento. Además, al haber dos cultivos en el año, no permite que se realice un barbecho lo suficientemente largo como para poder satisfacer los requerimientos de agua y nutrientes del trigo a

implantar (Fontanetto y Vivas, 1998).

Los procesos de degradación química y física del suelo se evidencian por la aparición de pisos de arado, incremento del encostramiento, aumento del escurrimiento, y cultivos de desarrollo heterogéneo y lento. La degradación física es la manifestación más claramente asociada a las características del manejo del suelo y su rotación, particularmente en lo que hace a la estabilidad de los agregados y densificación de la capa arable (Puricelli 1985). Esta densificación puede tener dos orígenes bien diferenciados; uno correspondiente al efecto de compactación de las herramientas y rodados sobre el suelo, y otro al fenómeno de inestabilidad de los elementos estructurales por pérdida de cohesión que conducen a la formación de una capa masiva, fundamentalmente en lotes de agricultura continuada sin rotación con praderas (Pecorari *et al.*, 1990). Propiedades físicas del suelo como agregación y porosidad, influyen sobre el crecimiento de las plantas a través de su efecto sobre la humedad, temperatura y aireación del suelo y sobre la impedancia mecánica al desarrollo radicular, incidiendo finalmente sobre el rendimiento del cultivo (Martens y Frankenberger, 1992).

El estudio de la estructura es indispensable para entender el efecto de los factores externos sobre el suelo, en particular los antrópicos. La porosidad es una característica importante de la estructura del suelo que determina las propiedades de transferencia y almacenamiento de agua y solutos, y las propiedades mecánicas. Es una propiedad dinámica que cambia con el contenido de agua y su estabilidad está relacionada con la naturaleza y cantidad de material orgánico y la actividad biológica (D'Acqui *et al.*, 1998). El sistema de porosidad puede particionarse según su

origen en porosidad textural y estructural, esta última es modificable mediante prácticas de manejo (Monnier *et al.*, 1973).

El cultivo de trigo, al igual que otros cultivos presenta fluctuaciones de los rendimientos entre años y entre sitios, dependiendo estas variaciones principalmente de la disponibilidad de agua y nutrientes. La cantidad de agua disponible para la planta es una de las variables fundamentales para la producción de materia seca o el rendimiento de los cultivos. En muchos casos, al romper capas densas como consecuencia de una labor profunda, la infiltración, el almacenaje y por lo tanto la disponibilidad de agua van a ser diferentes (Waggar *et al.*, 1992).

Diversos investigadores han evaluado las alteraciones de las propiedades físico-químicas del suelo, como resultado de diferentes sistemas de labranza o directamente de procesos degradatorios derivados de la agricultura intensiva. Una alternativa para disminuir el proceso de degradación del suelo, es implementar sistemas de rotaciones agrícola-ganaderos adecuados para cada situación. Actualmente, los sistemas mixtos no se consideran rentables puesto que se requieren importantes inversiones para instalar mejoras y para aumentar la superficie utilizada. Por lo tan-

to, sería necesario explorar alternativas que permitan incrementar significativamente el período agrícola y a la vez preservar el recurso suelo (Coscia 1989). Un sistema de agricultura permanente bien implementado se basa en adecuadas rotaciones de cultivos durante largos períodos de tiempo, a diferencia del monocultivo que ocasiona graves perjuicios al recurso suelo.

Por otra parte, la implementación de labranzas conservacionistas puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos puesto que contribuyen, en general, a mantener o incrementar el nivel de carbono orgánico del suelo (Franzluebbers *et al.*, 1999). Si bien, estas labranzas conservacionistas son importantes para reducir la degradación del suelo, en algunas situaciones pueden también conducir a un exceso de compactación (Mahboubi *et al.*, 1993).

El objetivo del presente trabajo fue: 1) determinar si existen diferencias en propiedades físicas y químicas para un Argiudol ácuico, representativo del sur de la provincia de Santa Fe, bajo diferentes situaciones de manejo; y 2) evaluar parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo en esas situaciones de manejo.

## **Materiales y métodos**

---

La experiencia se llevó cabo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros, ubicada en el Departamento Iriondo, provincia de Santa Fe (32° 33' S; 60° 3' O) durante el ciclo agrícola 1992/93. Se trabajó sobre un Argiudol ácuico serie Oliveros, fina, illítica, térmica; con horizonte superficial de textura franco limosa (19% arcilla, 77% limo, 4% arenas muy fina, fina y media).

Se dispuso de tres situaciones iniciales diferentes: una situación que se mantuvo con una pastura consociada durante 14 años, sobre la cual en 1992 se roturó la pastura y se realizó el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en forma convencional (PC). Las otras dos situaciones, tuvieron como antecesor la secuencia de cultivos trigo/soja realizada en forma continua desde 1981 bajo labranza convencional. En una mitad de la parcela se con-

tinuó realizando el cultivo de trigo en forma convencional (LC) y en la otra mitad, a partir del año '92, se realizó una labor profunda con arado de cincel (LV). Para las parcelas cuyo tratamiento fue labranza convencional (PC y LC, respectivamente) se realizaron las siguientes labores: arado de rejas (18 cm de profundidad), rastra de discos (dos pasadas a 10 cm de profundidad) y rastra de dientes. En el tratamiento bajo labranza vertical (LV) las labores fueron las que se detallan a continuación:

arado de cincel (dos pasadas al cruce a los 25 cm de profundidad), rastra de dientes, rastra de discos (10 cm de profundidad) y rastra de dientes.

El diseño estadístico fue completamente aleatorizado en parcelas divididas. La superficie destinada para cada uno de los tratamientos (PC, LC y LV) fue de aproximadamente 2400m<sup>2</sup>. La **Tabla 1** detalla una descripción de parámetros edáficos para el horizonte superficial al comienzo de la experiencia.

TABLA 1.

Parámetros de suelo para el horizonte Ap (0 - 21 cm) correspondientes al momento de la siembra del cultivo (07/92).			
Parámetro	Antecesor pastura Labranza convencional (PC)	Agricultura continua Labranza convencional (LC)	Agricultura continua Labranza vertical (LV)
Carbono orgánico (%)	2,20	1,45	1,53
Nitrógeno total (%)	0,252	0,11	0,13
P (Bray) (mg/kg)	34,6	21,70	21,20
pH (H <sub>2</sub> O) (1:2,5)	6,83	6,75	6,63
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	20,06	21,12	23,61

La siembra del cultivo de trigo se realizó el 23 de julio, utilizando la variedad Federal INTA. En macollaje se aplicó urea al voleo como fertilizante nitrogenado en dosis de 100 kgN/ha, dejando testigo sin fertilizar en cada tratamiento (100N y 0N, respectivamente). Los datos meteorológicos correspondientes al período en el cual se desarrolló el cultivo de trigo se presentan en la **Tabla 2**.

Los muestreos de suelo se realizaron en superficie (0 - 21cm) en las parcelas ON luego de la siembra (31/07) y en las etapas de macollaje (24/09) y madurez fisiológica del cultivo de trigo (10/12). Para los parámetros densidad aparente del sue-

lo y contenido de agua se muestreó además en el centro de la masa de los horizontes ByA y B21t, correspondiente a los 21-36 cm y 36-70 cm de profundidad, respectivamente.

Se realizaron las siguientes determinaciones por cada tratamiento (LC, PC y LV):

Densidad aparente (DA): Método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Se extrajeron 10 muestras sin disturbar por horizonte (Ap, ByA y B21t), empleando un cilindro de 6 cm de altura y 7 cm de diámetro.

Estabilidad estructural de los agregados: Se extrajeron 10 muestras compuestas

TABLA 2.

Temperatura media mensual (°C) y precipitaciones mensuales (mm) para el ciclo del cultivo de trigo correspondientes al año 1992.		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Julio	8,4	23,5
Agosto	12,2	19,9
Septiembre	14,3	46,4
Octubre	17,7	71,7
Noviembre	18,7	117,6
Diciembre	22,8	176,1

Fuente: Servicio de Meteorología de la EEA INTA Oliveros.

(12 submuestras) sin disturbar obtenidas con pala. Las muestras fueron desmenuzadas a mano, se secaron al aire y se tamizaron por un tamiz de 2mm de malla. Se obtuvo el porcentaje de agregados estables a los pretratamientos realizados con benceno, alcohol y agua (Hénin *et al.*, 1972).

Porosidad estructural: se calculó de acuerdo a la metodología de Monnier *et al.* (1973), para lo cual se determinó:

Densidad textural (DTEX): Se extrajeron 10 muestras de suelo sin disturbar, que fueron secadas al aire, de las cuales se reservó la fracción de agregados comprendida entre 2 y 3 mm de diámetro. Con los valores obtenidos de DA y DTEX se calculó la porosidad estructural (PE) de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$DTEX = P(DQ / (E - E_0)) \quad (1)$$

$$PE = (1 - DA / DTEX) \times 100 \quad (2)$$

donde: P = peso de la muestra seca; DQ = densidad del querosene; E = empuje de la celda con los agregados; E<sub>0</sub> = empuje de la celda vacía; PE = porosidad estructural; DA = densidad aparente.

Carbono orgánico total (COT): Método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982). Se extrajeron 10 muestras compuestas de 15 submuestras obtenidas con barreno.

Humedad volumétrica (HV): Método gravimétrico y sonda de neutrones (Gardner 1986). Se realizó un seguimiento del contenido de agua del suelo por horizonte hasta los 70 cm de profundidad en las etapas de emergencia (06/08), macollaje (24/09), encañazón (15/10), antesis (12/11) y madurez fisiológica (10/12).

Se midió la biomasa aérea en las parcelas 0N y 100 N en las etapas de macollaje, encañazón, antesis y madurez fisiológica. Se extrajeron 3 muestras compuestas por 3 surcos de un metro de longitud por tratamiento. El material se secó en estufa a 65 °C hasta peso constante. Estimación de rendimiento en grano mediante la cosecha manual de muestras obtenidas de cada parcela.

Los datos fueron analizados utilizando Statistical Analysis System (SAS Institute 1990). El análisis de variancia empleado fue a dos factores (tratamientos y fechas de muestreo) con igual número de mues-

tras (Neter *et al.*, 1985), utilizando el procedimiento General Linear Model (GLM).

La separación de medias entre tratamientos fue obtenida por el test de Duncan (Steel y Torrie, 1986).

## Resultados

Los resultados de DA mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos y entre fechas de muestreo (Tabla 3). El tratamiento LC presentó los valores más

elevados de DA en superficie (0-21 cm) y a los 21-36cm de profundidad en las diferentes fechas de muestreo. Para la profundidad de 36 a 70 cm no se observaron diferencias entre tratamientos.

TABLA 3.

Valores promedio de densidad aparente del suelo a los 0-21; 21-36 y 36-70 cm de profundidad para los tratamientos labranza convencional (LC), labranza vertical (LV) y antecesor pastura (PC) en las tres fechas de muestreo.			
Densidad aparente (Mg/m <sup>3</sup> )			
Muestras	Profundidad (cm)		
	0-21	21-36	36-70
<b>Siembra</b>			
LC	1,22 a	1,41 a	1,41 a
LV	1,05 b	1,27 b	1,38 a
PC	0,95 c	1,30 b	1,43 a
<b>Macollaje</b>			
LC	1,18 a	1,38 a	1,42 a
LV	1,11 b	1,28 b	1,40 a
PC	1,10 b	1,31 b	1,42 a
<b>Madurez</b>			
LC	1,24 a	1,39 a	1,42 a
LV	1,15 b	1,30 b	1,40 a
PC	1,13 b	1,31 b	1,40 a

Para cada fecha de muestreo, letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ).

La situación proveniente de pastura (PC) presentó en las tres fechas de muestreo mayor porcentaje de agregados estables al benceno, al alcohol y al agua ( $P \leq 0,05$ ), con respecto a las situaciones que partieron de historia agrícola prolongada (LC y LV, respectivamente) (Tabla 4). Los tratamientos LV y LC presentaron similares porcentajes de agregados estables al benceno, alcohol y agua en todas las fechas de muestreo, excepto en el muestreo realizado a la madurez donde el

porcentaje de agregados estables al agua fue mayor en LV con respecto a LC.

El análisis de los datos de PE mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los tres muestreos realizados ( $P \leq 0,05$ ), correspondiendo los valores mayores al tratamiento PC, siguiendo LV y LC (Tabla 4). La Figura 1 muestra la relación inversa entre la porosidad estructural y la densidad aparente cuando se analizaron todos los

tratamientos y fechas de muestreo.

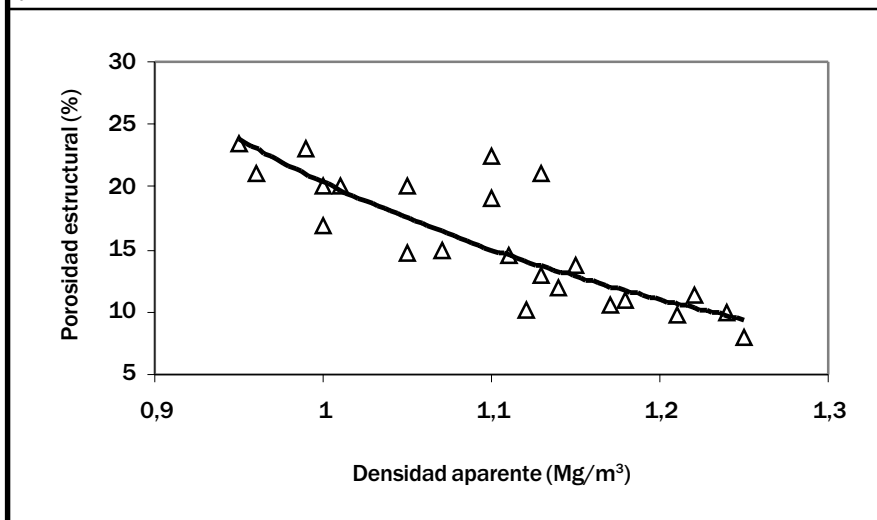
TABLA 4.

Muestreo	Parámetro				
	Agregados estables (%)			PE (%)	COT (%)
	Benceno	Alcohol	Agua		
<b>Siembra</b>					
LC	5,3 b	42,1 b	12,5 b	11,4 c	1,45 c
LV	4,8 b	45,0 b	11,2 b	14,7 b	1,53 b
PC	26,0 a	66,4 a	42,8 a	23,4 a	2,20 a
<b>Macollaje</b>					
LC	6,6 b	50,2 b	17,2 b	10,2 c	1,62 b
LV	5,8 b	49,1 b	17,4 b	14,6 b	1,69 b
PC	25,9 a	63,4 a	45,7 a	22,4 a	2,01 a
<b>Madurez</b>					
LC	3,0 b	41,0 b	8,7 c	9,9 c	1,60 b
LV	4,9 b	45,2 b	10,5 b	13,8 b	1,66 b
PC	26,2 a	64,4 a	40,0 a	21,1 a	2,24 a

Para cada fecha de muestreo, letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ).

FIGURA 1.

Relación entre porosidad estructural y densidad aparente del suelo en superficie para los tratamientos labranza convencional (LC), labranza vertical (LV) y antecesor pastura (PC) en las tres fechas de muestreo.  $y = 446,46 e^{-3,0858x}$ ,  $r^2 = 0,70$ .



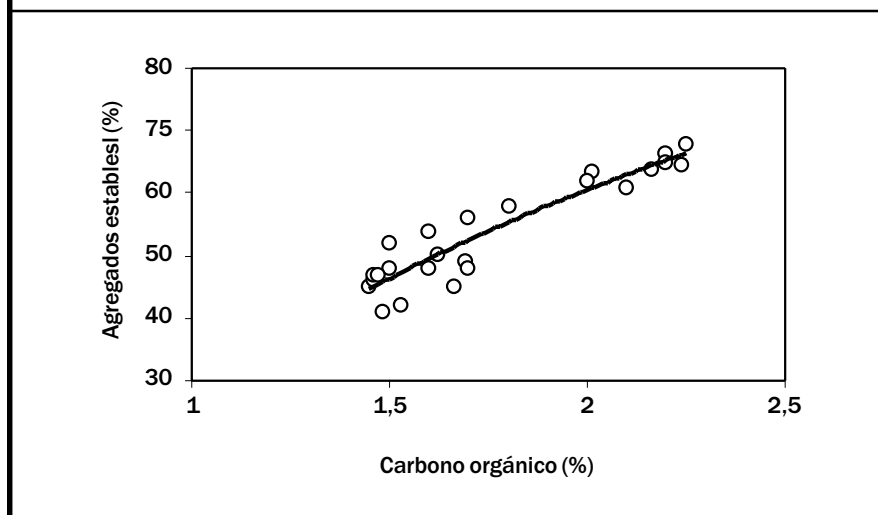


El contenido de carbono orgánico total fue significativamente mayor en PC con respecto a LC y LV ( $P \leq 0,05$ ) (Tabla 4). Entre los dos tratamientos provenientes de agricultura continua (LC y LV, respectivamente) hubo diferencias estadísticamente significativas a favor de

LV en el muestreo realizado a la siembra, siendo no significativas en los dos restantes. La Figura 2 muestra la relación directa entre el porcentaje de agregados estables al alcohol y el contenido de carbono orgánico total para los tres tratamientos considerando todas las fechas de muestreo.

FIGURA 2.

Relación entre el porcentaje de agregados estables al alcohol y el contenido de carbono orgánico total en superficie para los tratamientos labranza convencional (LC), labranza vertical (LV) y antecesor pastura (PC) en las tres fechas de muestreo.  $y = 49,459 \ln(x) + 26,287$ ,  $r^2 = 0,86$ .



La humedad volumétrica del suelo en el horizonte superficial fue significativamente menor en LC, con respecto a LV y PC, en las etapas de emergencia, macollaje, encañazón y madurez fisiológica (Tabla 5). A su vez, LV presentó mayores valores de humedad volumétrica del suelo que LC, a excepción del muestreo realizado durante la antesis, en el cual no hubo diferencias entre LV y LC.

Para las profundidades restantes (21-36 cm y 36-70 cm), PC presentó los valores más altos de humedad volumétrica desde emergencia a antesis. En la etapa de

madurez fisiológica los valores correspondientes a LV fueron significativamente mayores que PC y LC, respectivamente.

La acumulación de materia seca fue significativamente mayor en el tratamiento PC (Tabla 6). Considerando ambos niveles de nitrógeno, las mayores diferencias se observaron en los muestreos realizados en macollaje y encañazón, etapas en las cuales LC acumuló el 45,8 % y 64 % de lo acumulado en PC, mientras que los valores para LV fueron 76,7 % y 83,4 % respectivamente. En antesis y madurez fisiológica la materia seca acumulada en LC

TABLA 5.

		Agregados estables (%)		
Etapa de crecimiento	Tratamiento	Humedad volumétrica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) Profundidad (cm)		
		0-21	21-36	36-70
Emergencia	LC	0,22 b	0,21 c	0,21 b
	LV	0,25 a	0,24 b	0,26 a
	PC	0,26 a	0,26 a	0,25 a
Macollaje	LC	0,26 c	0,24 b	0,24 b
	LV	0,28 b	0,24 b	0,23 b
	PC	0,32 a	0,26 a	0,26 a
Encañazón	LC	0,12 c	0,15 c	0,19 b
	LV	0,14 b	0,17 b	0,18 b
	PC	0,18 a	0,21 a	0,24 a
Antesis	LC	0,22 b	0,15 a	0,17 b
	LV	0,22 b	0,15 a	0,17 b
	PC	0,28 a	0,16 a	0,22 a
Madurez fisiológica	LC	0,25 b	0,24 b	0,24 b
	LV	0,28 a	0,26 a	0,26 a
	PC	0,28 a	0,24 b	0,26 a

Para cada etapa de crecimiento y profundidad, letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (P<0,05).

TABLA 6.

Etapa del cultivo	Agricultura continua Labranza convencional (LC)		Agricultura continua Labranza vertical (LV)		Antecesor pastura Labranza convencional (PC)	
	0N	100N	0N	100N	0N	100N
Macollaje	1234 c	1115 c	1850 b	2087 b	2490 a	2641 a
Encañazón	2971 c	3850 b	3943 b	4842 a	5137 a	5401 a
Antesis	7520 c	8333 b	8360 b	10021 a	10613 a	10973 a
Madurez	11309 c	11630 c	14034 b	15619 a	15320 a	15870 a

Para cada fecha de muestreo, letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (P<0,05).

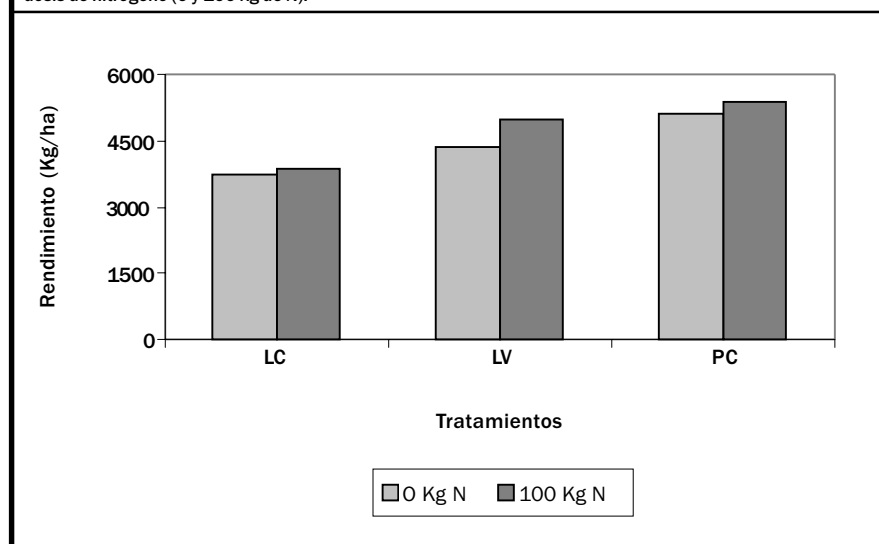
con respecto a PC fue 73 % en ambas etapas, siendo para LV el 85 % y 95 % de lo acumulado en PC, respectivamente.

Hubo diferencias en el rendimiento del cultivo entre los tratamientos de manejo, resultando una interacción significativa

entre dosis de N y tratamiento ( $P \leq 0,05$ ) (Figura 3). El rendimiento del cultivo en LC fue un 27 % menor que el obtenido en PC, tanto para las parcelas 0 N como 100 N ( $P \leq 0,05$ ). Para el tratamiento LV, el rendimiento fue el 85,5 % y el 93,1 % de lo obtenido en PC, para 0 y 100 kg de N, respectivamente.

FIGURA 3.

Rendimiento de trigo en labranza convencional (LC), labranza vertical (LV) y antecesor pastura (PC) con ambas dosis de nitrógeno (0 y 100 kg de N).



### Discusión

Los datos de DA ponen de manifiesto el efecto de la agricultura continua sobre la compactación del suelo. El tratamiento LC presentó una mayor compactación en los primeros 36 cm con respecto a LV y PC, pudiendo verse restringida la penetración de las raíces y la circulación de agua, aire y nutrientes (Martens y Frankenberger, 1992). Los tratamientos PC y LV, ofrecieron condiciones más propicias para el desarrollo vegetal, debido al efecto mejorador de la pastura sobre la estructura del suelo en el tratamiento PC. Para el caso de LV, la

labor profunda realizada permitió romper una zona compactada como consecuencia de la agricultura continua llevada a cabo durante 11 años.

Pecorari *et al.* (1990), estudiaron las propiedades físicas de los suelos pampeanos y determinaron que poseen una elevada porosidad total, sin embargo, tienden a una estructura masiva con elevada sensibilidad a la degradación por efectos del agua o las labranzas. Esto se debe a su composición mineralógica consistente en

arcilla predominantemente de tipo illítico y la fracción limo fino constituida en aproximadamente un 50 % por fitolitos, factores que determinan una elevada porosidad textural. La porosidad total de la capa superficial no fue en ningún momento del ensayo inferior al 50%. No obstante, el suelo evidenció degradación de la estructura en las parcelas provenientes de agricultura continua. Los datos de PE en el tratamiento PC reflejaron un equilibrio entre poros inter e intraagregados, mientras que los tratamientos LC y LV presentaron valores bajos de PE. Factores como la textura franco-limosa de la capa superficial del suelo, el reducido contenido de carbono orgánico y el sistema de porosidad incidieron en la estabilidad estructural por pérdida de cohesión de partículas primarias en las parcelas con agricultura continuada (Pecorari *et al.*, 1990).

La incidencia de los sistemas de cultivo sobre la agregación es un reflejo de diversos agentes físicos, químicos y biológicos. La menor estabilidad estructural está generalmente asociada a una reducción en el contenido de materia orgánica del suelo y afecta significativamente al desarrollo de las plantas, al balance de agua del suelo y a la capacidad de laboreo (Tisdall y Oades, 1982; Golchin *et al.*, 1995). La baja proporción de agregados estables al benceno, alcohol y agua que presentaron los tratamientos provenientes de agricultura continuada en comparación con el lote que provenía de pastura, destaca el efecto protector que posee la materia orgánica. La mayor proporción de carbono orgánico en el tratamiento PC, redujo la ruptura de los agregados al realizar el pretratamiento con benceno, ya que este solvente se une al carbono orgánico, impidiendo la entrada brusca del agua. Cuando se realizó el pretratamiento con alcohol se evitó el estallido de los agregados debido a que al ingresar este

solvente al interior de los agregados, permitió la salida del aire en forma suave, midiéndose la cohesión interna dada por la materia orgánica. El pretratamiento con agua midió la magnitud del estallido del agregado, dependiendo esto de la proporción de macroporos que permite la salida del aire dentro del agregado. Además de la mayor proporción de carbono orgánico, las muestras bajo PC, presentaron una mayor porosidad estructural con respecto a LC y LV, respectivamente. Esta condición permitió que se reduzca el estallido de los agregados al sumergirlos en agua, por presentar mayor cantidad de macroporos, ya que la porosidad estructural corresponde a los espacios porosos entre los agregados originados por el manejo, el clima o la actividad biológica (Monnier *et al.*, 1973). Similares resultados fueron hallados por Golchin *et al.* (1995), quienes observaron que los agregados obtenidos de lotes bajo pastura fueron lo suficientemente estables como para resistir las fuerzas disruptivas del rápido humedecimiento.

De Orellana y Pilatti (1994), trabajando en suelos franco-limosos de la provincia de Santa Fe, determinaron que los suelos vírgenes presentaban mayor porcentaje de agregados estables al alcohol y agua. A medida que disminuía el período sin laboreo, disminuía la proporción de agregados estables, estando en directa relación con la proporción de carbono orgánico del suelo.

En nuestro ensayo, la estabilidad estructural también estuvo estrechamente relacionada con la proporción de carbono orgánico del suelo. El tratamiento PC presentó en las tres fechas de muestreo valores de carbono orgánico superiores al 2%, correspondiéndose con más del 60% de agregados estables al alcohol (**Figura 2**). La mayoría de los autores coinciden en

destacar como efecto principal de la materia orgánica a la capacidad cementante en la formación de agregados, intensificando las fuerzas de cohesión entre las partículas de arcilla cuando se adsorbe en su superficie. El laboreo excesivo tiene un efecto perjudicial sobre la fracción humificada de la materia orgánica que es la responsable de la estabilización de la estructura (Golchin *et al.*, 1995; Haynes y Beare, 1997).

Está ampliamente documentado que como consecuencia de la agricultura intensiva se produce una disminución de la materia orgánica del suelo. La menor tasa de adición de carbono orgánico y la mayor oxidación provocan pérdidas sustanciales de la materia orgánica y deterioro de las propiedades físicas en suelos cultivados en comparación con suelos vírgenes o bajo pasturas (Pilatti *et al.*, 1988; Golchin *et al.*, 1995; Grant 1997). La acción del laboreo provoca el incremento en la respiración, promovida por una mayor aireación y liberación de la materia orgánica protegida físicamente en los complejos organominerales como resultado de la ruptura de los agregados (Van Veen y Kuikman, 1990). A la madurez del cultivo de trigo, los tratamientos LC y LV, presentaron respectivamente un 28,6% y 25,9% menos de carbono orgánico del suelo con respecto a la cantidad de carbono observada en PC.

La menor cantidad de agua observada en superficie en el tratamiento LC pudo deberse a una mayor pérdida por evaporación y a una reducción en la cantidad de agua ingresada por infiltración como consecuencia de la compactación detectada en superficie. La presencia de

residuos vegetales en superficie y los canales generados por lombrices, raíces y otros organismos del suelo favorecen la infiltración y la retención de agua (Dao 1993; Mahboubi *et al.*, 1993). El efecto mejorador de las propiedades del suelo bajo pastura en el tratamiento PC y la labor profunda realizada en LV permitieron una mayor capacidad de almacenaje de agua del suelo en comparación con LC.

La transferencia y almacenamiento de agua y solutos, y las propiedades mecánicas del suelo influyen sobre el crecimiento de las plantas incidiendo finalmente sobre el rendimiento del cultivo (Martens y Frankenberger, 1992). Las condiciones físicas más favorables halladas en PC y la mayor disponibilidad de agua en el perfil, permitieron una mayor acumulación de materia seca y mayor rendimiento con ambas dosis de N. Según Carran (1990), cuando una pastura antigua es roturada se produce una importante liberación de nitrógeno mineral, el cual puede encontrarse disponible en cantidades que excedan los requerimientos del cultivo. Esto puede explicar que no se presentaron notables diferencias en cuanto a la acumulación de materia seca y rendimiento del cultivo, en el caso de PC.

Para el caso de LV, este tratamiento manifestó una respuesta a la aplicación de N, en comparación con LC. La labor profunda realizada con el cincel, probablemente contribuyó a mejorar la infiltración, el almacenaje y por lo tanto la disponibilidad de agua y nutrientes, reflejado por una respuesta favorable a la aplicación del fertilizante nitrogenado con un incremento en la acumulación de materia seca y rendimiento.

## **Conclusiones**

---

**C**omo resultado de la agricultura continua se produjo el deterioro de las propiedades físico-químicas del suelo. El tratamiento LC presentó las condiciones menos favorables para el crecimiento del cultivo debido a la mayor compactación del suelo, la inestabilidad estructural y la menor proporción de carbono orgánico, condiciones que no fueron adecuadas para la transferencia de agua y solutos a la planta. Esta situación se vio atenuada en el caso de LV, debido a que se pudo romper una capa compactada y así mejorar

las condiciones físicas del suelo. La situación proveniente de pastura presentó las condiciones más propicias para el desarrollo del cultivo desde el punto de vista físico-químico del suelo.

Prácticas de manejo que contribuyen a la degradación del suelo con deterioro de las propiedades físicas del mismo, reducción del contenido de carbono orgánico y desequilibrio entre macro y microporos conducen a la pulverización de los materiales por pérdida de la estructura.

## **Bibliografía**

---

**ANDERSON, I.C., BUXTON, D.R., KARLEN, D.L. y CAMBARDELLA, C.** 1997. Cropping system effects on nitrogen removal, soil nitrogen, aggregate stability, and subsequent corn grain yield. *Agronomy Journal*, 89:881-886.

**BEZDICEK, D.F., PAPENDICK, R.I. y LAL, L.** 1996. Introduction: Importance of soil quality to health and sustainable land management. En: *Methods for Assessing Soil Quality* (Doran, J.W. y Jons, A.J. ed). ASA, Madison, WI, p.1-8.

**BLAKE, G.R., HARTGE, K.H.** 1986. Bulk density. En: *Methods of soil analysis* (A. Klute ed.), Part 1. 2nd ed. *Agronomy* 9: 363-375.

**CARRAN, R.A.** 1990. Dynamics of soil and plant nitrogen in cultivated and no-till spring wheat systems following old pasture. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 18:5-9.

**COSCIA, A.A.** 1989. La agriculturización en la región pampeana. En: *Degradación de suelos por intensificación de la agricultura*. Publicación Miscelánea N° 47. INTA EEA, Rafaela.

**D'ACQUI, L.P., DANIELE, E., FORNASIER, F., y RADAELLI, R.** 1998. Interaction between clay microstructure, decomposition of plant residues and humification. *European Journal of Soil Science*, 49: 579-587.

**DAO, H.** 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 1586-1595.

**DE ORELLANA, J.A. y PILATTI, M.A.** 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo*, 12: 75-80.

**FONTANETTO, H. y VIVAS, H.** 1998. Labranzas en el centro de Santa Fe. En: *Siembra Directa*. (Panigatti, J.L., H. Marelli, D. Buschiazzi, R.Gil, ed). Editorial Hemisferio Sur, S.A.

**FRANZLUEBBERS, A.J., LANGDALE, G.W. y SCHOMBERG, H.H.** 1999. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 349-355.

**GARDNER, W.H.** 1986. Water content. En: *Methods of soil analysis*, (A. Klute ed.). Part 1. 2nd ed. *Agronomy* 9: 493-544.

**GOLCHIN, A., CLARKE, P., OADES, J.M. y SKJEMSTAD, J.O.** 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Australian Journal of Soil Research*, 33: 975-993.

**GRANT, R.F.** 1997. Changes in soil organic matter under different tillage and rotation: Mathematical modeling in ecosys. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1159-1175.

**HAYNES R.J. y BEARE, M.H.** 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 1647-1653.

**HEIN, W.I.** 1990. Evolución de la fertilidad con el manejo del suelo. En: Labranzas y conservación de suelos. Publicación Miscelánea N° 51. INTA EEA, Rafaela.

**HÉNIN, S., GRAS, R. y MONNIER, G.** 1972. El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Mundi Prensa. Madrid.

**MAHBOUBI, A.A., LAL, R. y FAUSSEY, N.R.** 1993. Twenty-Eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 506-512.

**MARTENS, D.A y FRANKENBERGER, W.T.** 1992. Decomposition of bacterial polymers in soil and their influence on soil structure. *Biology and Fertility of Soils*, 13:65-73.

**MONNIER, G., STENGEL, P. y FIES, J.C.** 1973. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux, application a l'analyse de porosité du sol. *Annales Agronomiques*, 24: 533-545.

**NELSON, D.W. y SOMMERS, L.E.** 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: *Methods of soil analysis* (Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., ed). Part 2. 2nd Ed. *Agronomy* 9: 539-577.

**NETER, J., WASSERMAN, W., y KUTNER, M.H.** 1985. *Applied Linear Statistical Models. Regression, Analysis of Variance and Experimental Designs*. 2° Edition. Homewood, Illinois.

**PECORARI, C., GUERIF, J. y STENGEL, P.** 1990. Fitolitos en suelos pampeanos: Influencia sobre las propiedades físicas determinantes de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo*, 8: 135-141.

**PILATTI, M.A., DE ORELLANA, J.A., PRIANO, L.J., FELLI, O.M. y GRENON, D.A.** 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un Argiudol en el Sur de Santa Fe. *Ciencia del Suelo*, 6: 19-29.

**PURICELLI, C.A.** 1985. La agricultura rutinaria y la degradación del suelo en la Región Pampeana. *Revista Argentina de Producción Animal*, 2: 33-48.

**SALINAS-GARCÍA, J.R., HONS, F.M y MATOCHA, J.E.** 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 152-159.

**SAS INSTITUTE.** 1990. *SAS/STAT user's guide. Statistics version*. Vol. 2. 6th ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

**STEEL, R.G.D. y TORRIE, J.H.** 1986. *Principles and Procedures of Statistics. Multiple comparisons*. Second Edition.



**TISDALL, J.M. y OADES, J.M.** 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141-163.

**VAN VEEN, J.A. y KUIKMAN, P.J.** 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. *Biogeochemistry*, 11:213-233.

**WAGGER, M.G., VEPRASKAS, M.J. y DENTON, H.P.** 1992. Corn grain yield and nitrogen utilization in relation to subsoiling and nitrogen rate on Paleudults. *Agronomy Journal*, 84:888-892.