

## EVALUACIÓN DE PROPIEDADES EDÁFICAS EN DISTINTOS ESTADOS DEL CULTIVO DE SOJA

HERNÁN IGNACIO TAHER<sup>1</sup>; VIRGINIA CAROLINA APARICIO<sup>2\*</sup>; JOSÉ LUÍS COSTA<sup>2</sup> & MARINO PURICELLI<sup>2</sup>

Recibido: 08-06-12

Recibido con revisiones: 05-11-12

Aceptado: 10-11-12

### RESUMEN

El creciente predominio de soja dentro de los esquemas agrícolas sin una correspondiente rotación con cereales, y sin una adecuada fertilización se ha convertido en una amenaza para los suelos, pudiendo provocar la degradación físico-química de los mismos. Además, el uso de las labranzas convencionales que remueven el suelo en los cultivos de cosecha gruesa y la intensidad de las lluvias en el sudeste bonaerense, constituyen un alto riesgo de erosión de los suelos. La introducción de las labranzas conservacionistas, podría contribuir a solucionar dichos problemas. El objetivo de este trabajo fue estudiar la evolución de las propiedades físicas y el contenido de *materia orgánica* durante el ciclo de cultivo de soja bajo *labranza vertical* y *siembra directa*, y dos historias de fertilización, 0 kg N-ha<sup>-1</sup> y 150 kg N-ha<sup>-1</sup>. La experiencia se realizó en la campaña agrícola 2009-2010, en un complejo de suelos Argjudol típico. Se tomaron muestras de suelo a la siembra, 60 días después de la siembra (dds) (en período vegetativo), 100 dds (en reproductivo) y 280 dds (en poscosecha). En las mismas se determinó el contenido de *materia orgánica*, *cambio de diámetro medio ponderado* y *densidad aparente*. En el estudio no se detectó correlación negativa entre la *materia orgánica* y la *densidad aparente*. La información obtenida de los parámetros físicos es relevante porque permitió analizar su evolución durante un ciclo del cultivo de soja en el sudeste bonaerense, brindando información antes inexistente. La información que aquí se presenta es parcial, y forma parte del seguimiento en un ensayo de larga duración. Se espera que los resultados sean confirmados a partir del análisis de nuevos ciclos en el mismo ensayo.

**Palabras clave.** Propiedades físicas del suelo; sistemas de labranzas; historia de fertilización; evolución en un ciclo.

### EVALUATION OF SOIL PROPERTIES AT DIFFERENT SOYBEAN GROWTH STAGES

#### ABSTRACT

The increasing predominance of soybeans in crop rotations, without the proper presence of cereals and under scarce or null fertilizer applications has been causing soil physical and chemical degradation. In addition, conventional tillage followed by intense rainfall events in southeastern Buenos Aires maximizes the risk of soil erosion. The adoption of conservation tillage practices in the region could help solve these problems. The aim of this study was to evaluate the evolution of physical properties and organic matter content during the soybean growing season under no- tillage and vertical tillage, under two N rates, 0 kg N ha<sup>-1</sup> and 150 kg N ha<sup>-1</sup> applied to the previous crop. The experiment was conducted from November 2009 until August 2010, in a Typical Argjudol soil complex. Soil samples were taken at planting, 60 days after planting (60 dap) (in vegetative stages), 100 dap (in reproductive stages) and 280 dap (after harvest). The following soil properties were determined: organic matter content, change of mean weight diameter and bulk density. Tillage systems and previous N fertilization rates had no effect on soybean yields. No negative correlations were found between organic matter and bulk density. The results of this study are relevant because we were able to follow the physical parameters during the soybean crop cycle in southeastern Buenos Aires, providing information that did not exist before. Results are expected to be confirmed from the soilanalyses of more crop cycles in this long-term experiment.

**Key words.** Physical soil properties, tillage systems, fertilization history.

1 Facultad de Ciencias Agrarias UNMdP;

2 EEA INTA Balcarce, CC 276, (7620) Balcarce, Argentina

\*Autor de contacto: vaparicio@balcarce.inta.gov.ar

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de soja alcanzó una producción mundial de 260,8 millones de toneladas, durante el ciclo agrícola 2009/2010. Entre los principales países productores y exportadores de grano de soja en el mundo, la Argentina ocupa el tercer lugar y es el principal exportador de aceite y harina derivados de esta oleaginosa, con 63 y 44%, respectivamente (Giancola *et al.*, 2009).

El aumento de producción del cultivo de soja en nuestro país tuvo lugar especialmente a partir de 1991 y se debe básicamente a la expansión de la superficie sembrada sobre áreas no tradicionales (Giancola *et al.*, 2009). Así se expandió en el norte del país, avanzando hacia las provincias de Santa Fe, Córdoba, Santiago del Estero, Tucumán, Chaco, Formosa, Salta y Jujuy (Ramírez & Porstmann, 2008).

En el corto plazo, la soja es un excelente antecesor para cultivos sensibles a la disponibilidad de N. No obstante, la escasa biomasa de residuos que aporta y sus características químicas, pueden llevar a una pérdida acelerada de las fracciones lábiles de la materia orgánica (MO) del suelo (Echeverría *et al.*, 1992). En el sudeste bonaerense, Studdert & Echeverría (2000) determinaron que la presencia de soja en una rotación de cultivos acentúa la caída de MO del suelo, en comparación con otros cultivos de verano.

La siembra directa (SD) es un sistema de labranza que surgió en la década de 1960 y ha ganado aceptación en Sudamérica a un ritmo más rápido que en EE.UU. Los países sudamericanos con mayor superficie bajo SD son Brasil, la Argentina y Chile (Lal *et al.*, 2007). Su mayor incorporación está relacionada con la adopción masiva de la soja transgénica y el uso del glifosato. Del total de la superficie sembrada con soja en la Argentina, el 95% corresponde a la variedad transgénica resistente al glifosato sembrada bajo SD (Pengue, 2005). La intensificación agrícola, la exclusión de las pasturas en la rotación y el predominio de la soja en la secuencia de cultivos plantea nuevos interrogantes sobre la evolución del recurso natural suelo de nuestra región.

En el sudeste bonaerense, la intensificación del uso agrícola del suelo ha provocado una disminución en el contenido de MO (Echeverría & Ferrari, 1993) y una degradación de los suelos. La degradación del suelo se acentúa cuando se combinan ciertos efectos sumamente agresivos, como las fuertes lluvias estivales y la excesiva labranza del suelo (Aparicio, *et al.*, 2002). Con la finalidad de preservar los recursos fueron incorporadas técnicas agronómicas como sistemas de labranzas conservacionistas del suelo,

con el objeto de reducir la intensidad y agresividad de los laboreos efectuados (Studdert, 1996), y mantener, luego de la siembra, una cobertura de residuos sobre el suelo superior al treinta por ciento.

La introducción de las labranzas conservacionistas, como la SD y la LV, podrían contribuir a solucionar dichos problemas debido a que mantiene niveles altos de rastrojo en superficie, produce cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos y permite el desarrollo de la biota edáfica y el desarrollo radicular de las plantas (Doran, 1980).

El sistema de labranza seleccionado incide en el sistema suelo-planta. El estudio de las propiedades físicas del suelo como la densidad aparente (DA), la estabilidad estructural de los agregados del suelo (EE), la porosidad total (PT) y la distribución del tamaño de los poros permiten entender como el contenido de agua, la temperatura del suelo y la resistencia a la penetración influyen en el análisis de rendimiento de los cultivos (Letey, 1985).

La escasa biomasa de residuos que aporta el cultivo de soja y sus características químicas como por ejemplo, una relación carbono/nitrógeno (C/N) baja del rastrojo, pueden llevar a una pérdida acelerada de las fracciones lábiles de la MO del suelo (Echeverría *et al.*, 1992).

Cuando se evalúa la utilización de fertilizantes, el objetivo es aumentar la producción de los cultivos; sin embargo, se deja de lado el efecto a largo plazo que éstos pueden tener sobre el suelo (Haynes & Naidu, 1998). La fertilización nitrogenada (FN) aumenta la producción de la biomasa de los cultivos, lo que provoca una mayor acumulación de C en los tejidos vegetales y una elevada devolución de los mismos al suelo (Fabrizzi *et al.*, 2003; Eiza *et al.*, 2005). De esta manera, el resultado del balance aporte/oxidación de C tendería a favorecer el proceso de acumulación de CO. Esta es la principal manera en que la fertilización afecta las propiedades de un suelo, sin embargo no es la única y dependerá del nutriente evaluado, su residualidad, movilidad y nivel de carencia en la zona estudiada.

El CO del suelo tiene un rol muy importante en otras propiedades edáficas. Hati *et al.* (2006) enfatizan su influencia en la retención y movimiento de agua en el suelo mientras que Aparicio & Costa (2007) reportan una correlación positiva con la conductividad hidráulica ( $r = 0,6$ ). Eiza *et al.*, 2006 encontraron una fuerte correlación positiva entre la MO y la EE del suelo.

Hasta el presente, la información generada en el sudeste bonaerense, aporta datos sobre la comparación de los parámetros físicos, químicos y bioquímicos entre los sistemas de labranzas para uno o dos ciclos agrícolas. Sin embargo, no existen antecedentes de la evolución de dichos parámetros durante el ciclo de un cultivo. Por tal motivo, en este trabajo se propusieron las siguientes hipótesis de trabajo: 1) La SD y la historia de fertilización nitrogenada aumentan la MO a la siembra y en estado reproductivo 100 días después de la siembra del cultivo de soja (dds). 2) La SD y la historia de fertilización nitrogenada disminuyen la DA y el CDMP con respecto a la LV y la historia sin fertilización nitrogenada. 3) Existe correlación negativa entre la MO y la DA. Los objetivos de la presente investigación fueron: a) Caracterizar la dinámica temporal del contenido de MO bajo dos tipos de labranzas (LV y SD) y bajo dos historias de fertilización (N0 y N150), durante el ciclo de cultivo de soja; b) Analizar el cambio de diámetro medio ponderado (CDMP) y DA en cuatro momentos del cultivo de soja bajo dos tipos de labranzas (LV y SD) y bajo dos historias de fertilización (N0 y N150).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en el establecimiento San Luis de las Sierras, en el partido de Tandil, provincia de Buenos Aires (37°34'S; 59°04'W), en un ensayo de larga duración iniciado en 1995 con la siembra del cultivo de maíz bajo SD y LV.

El ensayo se instaló en un lote formado por un complejo de suelos clasificados como Argiudol Típico con presencia de tosca a profundidades mayores a los 88 cm. El clima de la zona del sudeste bonaerense se define como mesotermal-húmedo subhúmedo (Burgos & Vidal, 1951), con aproximadamente el 80% de las precipitaciones que ocurren en el período primavero-estival.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas principales fueron siembra directa (SD) y labranza vertical (LV) y las subparcelas, dos niveles de historia de fertilización nitrogenada (0 y 150 kg N ha<sup>-1</sup>). La fertilización se realizó sobre el cultivo de maíz en la campaña 2008-2009. Los bloques fueron realizados para eliminar la variación asociada al gradiente de pendiente. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 800 m<sup>2</sup> (50 m x 16 m). El trabajo experimental se realizó en el ciclo agrícola 2009-2010 con el cultivo de soja (*Glycine Max*, var. DM 3700). La siembra de soja se realizó el 15 de noviembre de 2009 con una densidad de siembra de 425000 plantas ha<sup>-1</sup>. La cosecha se efectuó el 15 de mayo del 2010.

Durante el período del cultivo se midieron las siguientes propiedades de suelo:

i.- DA, a la siembra, 60 dds, 100 dds y 280 dds del cultivo de soja extrayendo muestras de suelo sin disturbar con el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) a las profundidades de 3-8 cm y a 13-18 cm explorando todo horizonte superficial mólico. Se tomaron tres submuestras en cada una de las subparcelas.

ii.- EE a la siembra, 60 dds, 100 dds y 280 dds del cultivo de soja extrayendo muestras de suelo. La EE se determinó mediante la utilización del método de cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) de De Leenher & De Boodt (1958). El método se basa en la estimación del grado de resistencia a la degradación que presentan los suelos sometidos a un tamizado húmedo. El muestreo de suelo se realizó con pala, de 0 a 20 cm de profundidad y se tomó una muestra de suelo de aproximadamente 1 kg en cada una de las subparcelas. Durante el muestreo se evitó sacar muestras en zonas de circulación de maquinaria agrícola. El procedimiento en el laboratorio consistió en separar los agregados mayores de 8 mm y secarlos al aire (30 °C). Una vez secas, las muestras se pasaron a través de los tamices de 4,8, 3,36 y 2 mm de diámetro y se pesaron las fracciones de suelo retenidas en cada uno de los mismos. Posteriormente se tomó una proporción de cada una de las fracciones de suelo tamizadas, constituyendo una muestra de 100 g de suelo. Se humedecieron las fracciones con probeta y se incubaron a temperatura constante (35 °C) durante 24 horas generando las condiciones necesarias para promover la agregación. Luego se tamizaron las fracciones en húmedo, agregando tres tamices a la serie anterior (0,84; 0,5 y 0,297 mm). Cada fracción se llevó a estufa a 105 °C durante 24 horas y se pesó para obtener el valor de CDMP.

iii.- MO a la siembra y a los 100 dds del cultivo de soja a tres profundidades: 0-5; 5-10 y 10-20 cm. Se seleccionaron estas profundidades para evaluar la estratificación de la MO en sistemas conservacionistas y, además, evaluar el contenido en todo el espesor del horizonte mólico. Se utilizó un muestreador cilíndrico de 2,5 cm de diámetro para extraer 10 sub-muestras por unidad experimental. Las muestras se secaron al aire (30 °C) y se procesaron en el laboratorio siguiendo el procedimiento de Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1982).

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 2003). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables consideradas. En todos los casos, el nivel de significancia utilizado fue del 5%.

La correlación de datos se realizó entre el promedio ponderado del contenido de MO a 0-5 cm y 5-10 cm y la DA a 3-8 cm, entre el contenido de MO a 10-20 cm y la DA a 13-18 cm. Se realizaron análisis de regresión simple en cada caso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización meteorológica de la campaña 2009-2010.

La cantidad y distribución de las precipitaciones en relación a la evapotranspiración potencial (ETP) dan una idea de las deficiencias de agua que podría sufrir un cultivo (Della Maggiora *et al.*, 1998). Para la campaña en estudio, las precipitaciones registradas desde octubre de 2009 a mayo de 2010 fueron menores a la media histórica, siendo de 645,3 mm y 716,5 mm, respectivamente (Fig. 1). Cabe destacar las mayores precipitaciones en la campaña 2009-

2010, durante la segunda década de diciembre y la primera de marzo superando en 47,3 mm y 112,50 mm a la media histórica (1971-2010).

En la Figura 2 se observa la ETP, que corresponde a la campaña octubre 2009 - mayo 2010, la misma fue de 846 mm superando en 48,5 mm a la registrada en el período 1971-2010 de 797,5 mm. Durante los meses de octubre, noviembre y enero los valores de ETP superaron a los históricos en 21,7 mm, 18,5 mm y 19,2 mm respectivamente. En marzo y mayo el comportamiento fue inverso, superando los registros históricos en 8 mm para ambos meses.

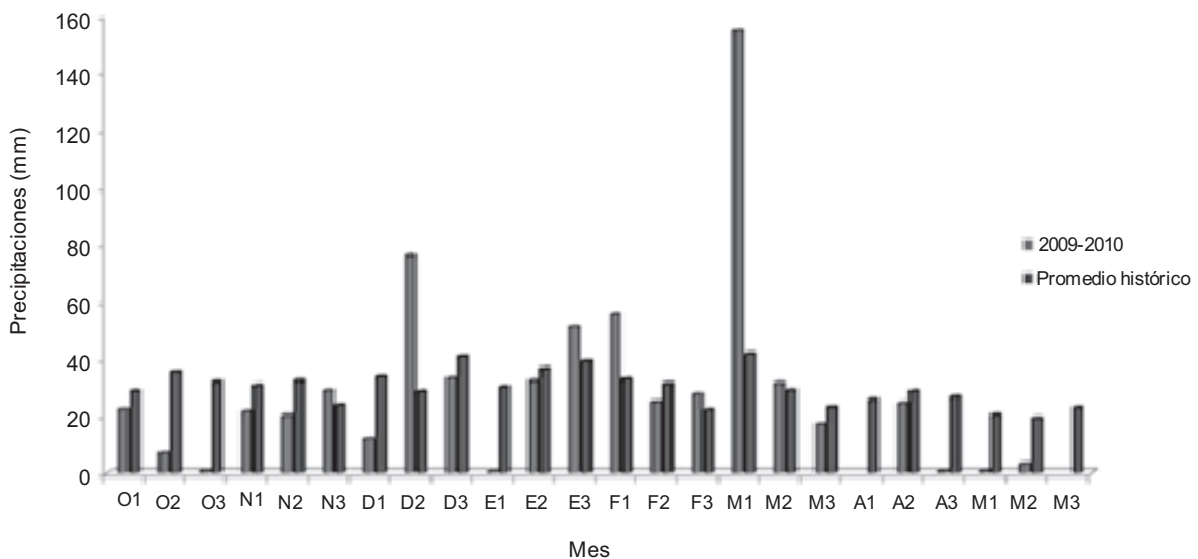


Figura 1. Precipitaciones decádicas durante el periodo octubre 2009-mayo 2010, y las precipitaciones medias decádicas históricas del periodo 1971-2010. Fuente: Servicio meteorológico INTA Balcarce.

Figure 1. Decades rainfall during the period October 2009-May 2010, and the average rainfall for the period 1971-2010 historical decádicas Source: Meteorological Service INTA Balcarce.

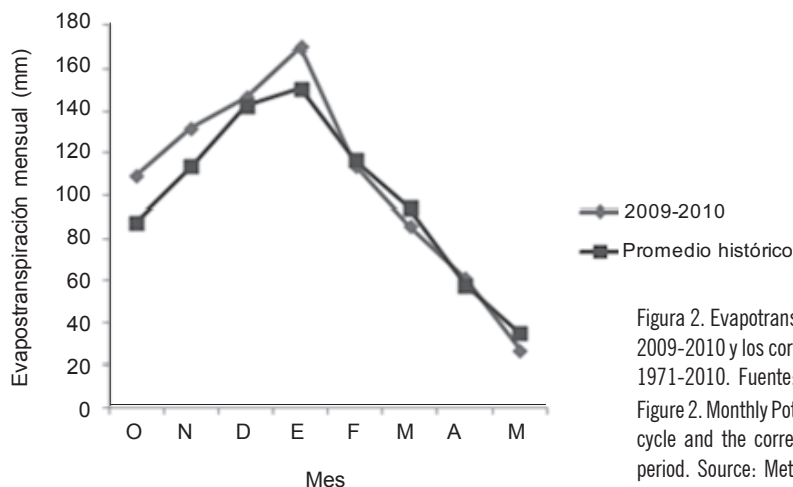


Figura 2. Evapotranspiración potencial mensual durante el ciclo del 2009-2010 y los correspondientes valores históricos para el periodo 1971-2010. Fuente: Servicio meteorológico INTA Balcarce.

Figure 2. Monthly Potential evapotranspiration during the 2009-2010 cycle and the corresponding historical values for the 1971-2010 period. Source: Meteorological Service INTA Balcarce.

### Materia orgánica

Hubo interacción significativa de tres vías entre profundidad, historia de fertilización nitrogenada y momento de muestreo ( $p = 0,0172$ ). A la siembra no se detectaron diferencias significativas según historia de fertilización. A los 100 dds se registró un mayor contenido de MO en el tratamiento 150N con un valor de 6,14%, 1,1% mayor que el tratamiento testigo a 0-5 cm de profundidad (Tabla 1). Debido a que el contenido de carbono orgánico depende del balance entre el aporte de residuos al suelo y la magnitud de la mineralización de estos (Allmaras *et al.*, 2000; Studdert & Echeverría, 2000), el mayor contenido de MO en los primeros 5 cm con fertilización nitrogenada, probablemente se deba a un mayor aporte de residuos en la superficie del suelo por parte de los cultivos de la rotación que recibieron fertilización. Resultados similares fueron reportados Studdert & Echeverría (2000).

En el análisis por momento de muestreo tanto a la siembra como 100 dds se evidenciaron efectos significativos por profundidad (Tabla 2). Se confirma de éste modo, una estratificación del contenido de MO en superficie, en ambos momentos de muestreo para sistemas de labranzas conservacionistas (LV y SD).

No se detectaron diferencias significativas según sistemas de labranzas (Tabla 2).

### Densidad aparente

En el análisis estadístico de la DA realizado por profundidad, se observó interacción significativa entre sistemas de labranza y estadio fenológico ( $p < 0,0001$ ) a la profundidad de 3-8 cm (Tabla 3). Los mayores valores de DA en las dos primeras fechas de muestreo, fueron a favor de SD (Tabla 4). Datos similares fueron reportados en varios

Tabla 1. Análisis de Varianza de MO en cada uno de las profundidades estudiadas, según momento de muestreo e historia de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas  $P (< 0, 05)$ .

Table 1. OM Analysis of Variance for each depth studied for both tillage systems, sampling moment and N fertilization rates applied to the previous crop. Different letters indicate significant differences  $P (< 0.05)$ .

Profundidad	Tratamiento	Momento	
		Siembra	100 dds
0-5 cm	0 N	5,65 a	5,04 a
	150 N	5,65 a	6,14 b
	P	0,99	0,02
5-10 cm	0 N	4,35 a	4,98 a
	150 N	4,81 a	4,70 a
	P	0,09	0,35
10-20 cm	0 N	3,24 a	3,98 a
	150 N	3,46 a	3,08 b
	P	0,58	0,03

Tabla 2. Análisis de varianza de MO (%) en cada uno de los momentos de muestreo, según sistemas de labranzas, profundidad de muestreo e historia de fertilización. Para cada momento de muestreo, letras distintas indican diferencias significativas  $P (< 0,05)$ .

Table 2. O.M Analysis of variance at each sampling moment for two tillage systems, three sampling depths and 2 previous crop N fertilization rates. For each sampling moment, different letters indicate significant differences  $P (< 0.05)$ .

Factor	Tratamiento	Momento	
		Siembra	100 dds
Labranza	LV	4,42 a	4,71 a
	SD	4,59 a	4,60 a
	P	0,4099	0,7289
Profundidad	0-5 cm	5,65 a	5,58 a
	5-10 cm	4,57 b	4,93 a
	10-20 cm	3,30 c	3,47 b
	P	< .0001	< .0001
Historia de fertilización	0 N	4,424 a	4,65 a
	150 N	4,60 a	4,66 b
	P	0,1405	0,962

trabajos realizados en la Argentina (Aparicio & Costa, 2007; Fabrizzi *et al.*, 2005; Ferreras *et al.*, 2000).

La evolución de la DA en los momentos de muestreo del cultivo de soja varió según sistema de labranza debido a que, la formación mecánica de macroporos, producida por LV, se pierde en el transcurso del cultivo al producirse un reacondicionamiento de las partículas de suelo (Elissondo *et al.*, 2001).

Bajo SD, la DA tendió a estabilizarse en 1,24 Mg m<sup>-3</sup> a finales del ciclo de cultivo de soja. Resultados similares fueron reportados por Elissondo *et al.*, (2001), en el mismo ensayo de larga duración. Los valores máximos de DA bajo LV y SD en ningún caso habrían comprometido el desarrollo de los cultivos de acuerdo a la bibliografía consultada (Griffith *et al.*, 1977).

No hubo diferencias significativas según historia de fertilización (Tabla 3). Resultados similares fueron reportados por Colombani (2004) quienes reportaron que, luego de 6 años de aplicación de 120 kg N ha<sup>-1</sup> a cada cultivo de una rotación en SD, no hallaron diferencias en la DA respecto del tratamiento sin fertilizar.

En el análisis estadístico de la DA realizado a la profundidad de 13-18 cm no se detectaron interacciones estadísticamente significativas (Tabla 3).

Al analizar la evolución de la DA según sistemas de labranzas, se observaron diferencias estadísticamente significativas por profundidad únicamente para la primera fecha a favor de SD (Tabla 4). Las diferencias halladas en la primer fecha pueden deberse al aumento de tamaño de poros provocado por el laboreo (Aparicio & Costa, 2000).

No hubo efecto estadísticamente significativo por sistema de labranza, sin embargo la tendencia general en éste trabajo fueron mayores valores de DA bajo SD. Este resultado es similar al reportado por varios autores argentinos (Ferreras *et al.*, 2000; Aparicio & Costa, 2007; Fabrizzi *et al.*, 2005).

La DA fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en dos de los cuatro muestreos realizados a la profundidad de 13-18 cm (Tabla 4). El aumento de la DA con la profundidad ha sido reportado por varios autores, siendo este fenómeno atribuido en el caso de LV, a la formación de una capa densificada por efecto de la labranza y/o el tránsito de los

Tabla 3. Análisis de Varianza de DA a las profundidades de 3 a 8 cm y de 13 a 18 cm. Valores P ( $< 0,05$ ) indican efectos significativos.  
Table 3. Analysis of Variance of bulk density (DA) to the depth of 3-8 cm and 13-18 cm. P values ( $< 0,05$ ) indicate significant effects.

Factor	DA 3-8 cm	DA 13-18 cm
Labranza	0,061	0,17
Fertilización	0,706	0,42
Interacción Labranza*Fertilización	0,121	0,23
Estadio fenológico	0,256	0,92
Interacción Labranza*Estadio Fenológico	$< 0,001$	0,14
Fertilización*Estadio Fenológico	0,848	0,86
Interacción Labranza*Fertilización*Estadio Fenológico	0,645	0,35

Tabla 4. DA en los momentos de muestreo estudiados, según sistemas de labranzas y profundidad. Análisis por medio de mediciones repetidas según momentos de muestreo. Valores P ( $< 0,05$ ) indican diferencias significativas.

Table 4. Bulk density in the studied sample moments for different tillage systems and depth. Sampling moments were considered repeated measurements. P values ( $< 0,05$ ) indicate significant differences.

Tratamiento	Siembra	Vegetativo	Reproductivo	Poscosecha
Labranza vertical	1,12	1,1	1,18	1,21
Siembra directa	1,28	1,32	1,24	1,24
P	0,006	0,2378	0,1053	0,479
3-8 cm	1,16	1,2	1,19	1,21
13-18	1,25	1,23	1,23	1,24
P	$< 0,0001$	0,1368	0,0095	0,1186

implementos agrícolas (Larney & Kladvko, 1989; Hill, 1990; Mahboubi *et al.*, 1993) y bajo SD, al tránsito de la maquinaria agrícola (Pidgeon & Soane, 1977). Resultados similares fueron registrados en un ensayo de larga duración en un campo de productores, donde se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en DA por profundidad de muestreo ( $p = 0,0022$ ). Dicho muestreo se realizó siempre sobre rastrojo de trigo en una secuencia Trigo-Maíz-Girasol (Aparicio & Costa, comunicación personal).

Para un suelo en particular, los cambios en la DA se asocian negativamente en forma estrecha con las variaciones en el contenido de CO debido a que favorece una buena estructuración de los agregados del suelo y por ende contribuye a generar un mayor espacio poroso (Álvarez *et al.*, 2006). Sin embargo en nuestro estudio los niveles de correlación entre la MO y la DA no fueron significativos, registrando valores de correlación  $r = 0,036$  a la profundidad de 3 a 8 cm (Fig. 3a) y  $r = 0,204$  a la profundidad de 13 a 18 cm (Fig. 3b).

#### Cambio de diámetro medio ponderado

En el análisis estadístico de CDMP realizado no se hallaron interacciones estadísticamente significativas entre profundidad, sistemas de labranza e historias de fertilización. Hubo efecto significativo ( $p = 0,0011$ ) por tiempo evidenciándose un menor CDMP al inicio del ciclo del cultivo (Tabla 5).

Analizando los valores CDMP de los agregados detectamos un aumento hacia finales de ciclo que podría ser parte de una tendencia cíclica a lo largo del año. Resultados similares fueron reportados por Silenzi *et al.*, 1987, 1988.

Se supone que el menor CDMP registrado a la siembra estaría relacionada con una actividad más intensa de los microorganismos rizoféricos y un incremento de sus productos metabólicos (Malik *et al.*, 1965; Emmond *et al.*, 1971) que actuarían temporariamente como cementante de partículas minerales (Monnier, 1965).

Los mayores valores de CDMP detectados a los 280 dds estarían explicados por la disminución de la cubierta vegetal que actúa como reguladora de los agentes desagregantes (gotas de lluvia, vientos) y de la temperatura (Silenzy *et al.*, 1987).

Se hipotetizó que la inclusión de cultivos bajo SD disminuyen el CDMP en la capa superficial del suelo debido a un mayor contenido de MO (Eiza *et al.*, 2006). Sin embargo en el estudio no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en CDMP entre sistemas de labranza, ni historias de fertilización. Sólo se detectaron diferencias significativas entre momentos de muestreo (Tabla 5).

En otros trabajos realizados en la Argentina, se menciona un mayor CDMP en LC comparado con SD (Aparicio & Costa, 2007) mientras que Ferreras *et al.* (2000) reportaron ausencia de diferencias entre SD y LC en suelos degradados.

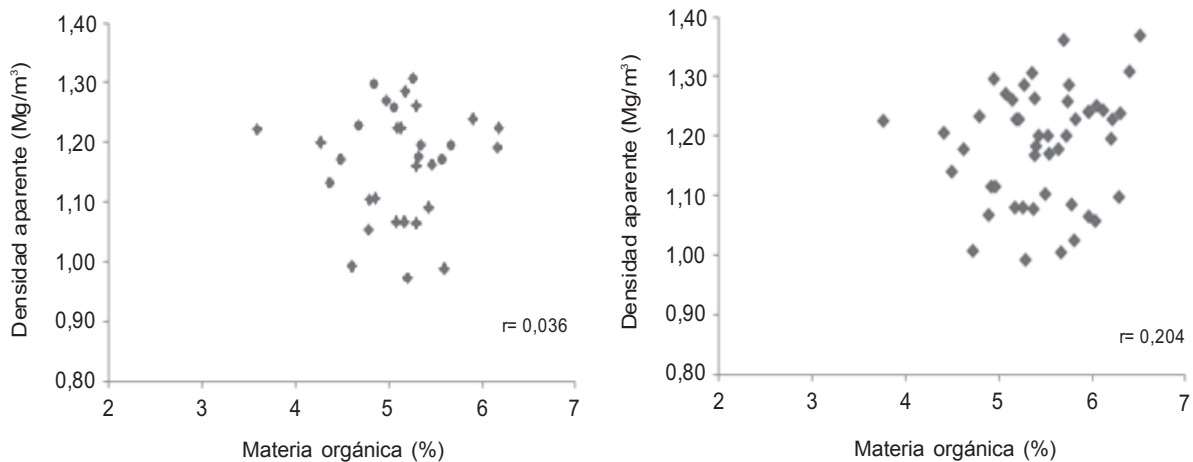


Figura 3. Relación entre DA y MO a 3-8 cm (a) y a 13-18 cm de profundidad (b).

Figure 3. Relationship between bulk density and and OM at the 3-8 (a) and 13-18 cm- depths (b).

Tabla 5. CDMP (Cambio en el diámetro medio ponderado) a 0-20 cm, según época de muestreo, sistemas de labranzas y historia de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas P (<0,05).

Table 5. CDWA (change diameter weighted average) at 0-20 cm, depending on the time of sampling, tillage systems and fertilization history. Different letters indicate significant differences P (<0.05).

Factor	Tratamiento	CDMP	P
Labranza	Labranza vertical	1,05 a	0,6839
	Siembra directa	1,03 a	
Estadio fenológico	Siembra	0,84 a	0,0011
	60 dds	1,07 b	
	100 dds	1,10 b	
	280 dds	1,15 b	
H. de fertilización	0 kg NO <sup>-3</sup>	1,06 a	0,4744
	150 kg NO <sup>-3</sup>	1,02 a	

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el trabajo permiten rechazar la primera hipótesis planteada. A la siembra no se detectaron diferencias significativas según historia de fertilización mientras que a los 100 dds hubo mayor contenido de MO en el tratamiento 150 N a 0-5 cm de profundidad, probablemente debido a un mayor aporte de residuos. No se detectaron diferencias significativas según sistemas de labranzas.

También hay evidencias suficientes para rechazar la segunda hipótesis. Se detectaron mayores valores de DA bajo SD en los dos primeros momentos de muestreo, no evidenciándose diferencias a los 100 y 280 dds. No se detectaron diferencias significativas según historia de fertilización. En el análisis de CDMP no se observaron diferencias entre sistemas de labranza, ni historias de fertilización.

Con respecto a la tercera hipótesis, hubo evidencias suficientes para rechazarla. No se detectó correlación negativa entre la MO y la DA.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal de INTA Balcarce por su colaboración en la realización de las tareas, y al INTA y la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) por su ayuda económica durante la realización de la tesis.

## BIBLIOGRAFÍA

Allmaras, RR; HH Schomber; CL Douglas & TH Dao. 2000. Soil organic carbon. Sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands. *J. Soil Water Cons.* 55: 365-373.

Álvarez, CR; A Bono; MA Taboada; F Gutiérrez Boem; PL Fernández & P Prystupa 2006. Distintos manejos del suelo en la pampa ondulada. Fracciones orgánicas y propiedades físicas. *En: 20° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta, Argentina.

Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Tillage Res.* 96: 155-165.

Aparicio, V; JL Costa; H Echeverría & O Caviglia. 2002. Evaluación de propiedades edáficas y crecimiento del maíz bajo diferentes sistemas de labranza en 4 sitios del sudeste bonaerense. *RIA* 31(3): 55-71.

Aparicio, VC & JL Costa. 2000. Efecto de labranzas en las propiedades hidráulicas de suelos del sudeste bonaerense usando infiltrómetros de tensión. *En: 17 ° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Argentina.

Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. *In: A Klute (ed). Methods of Soil Analysis, Part I.* Pp. 363-375.

Burgos, JJ & A Vidal. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva Clasificación de Thornthwaite. *Revista Meteoros* 1: 3-32.

Colombani, EN. 2004. Evaluación de propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense bajo distintos manejos. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.

Della Maggiora, AI; L Echarte; EE Suero & AI Irigoyen. 1998. Deficiencia de agua en los cultivos de maíz, girasol, soja y trigo en la localidad de Balcarce. *En: 10 ° Congreso Brasileiro de Meteorología y 8° Congreso de la Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología*. Brasilia, Brasil.

De Leenher, L & M De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *In: On international symposium of Soil Structure.* 24: 290-300.

Doran, JW. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am J.* 44: 765-771.

Echeverría HR & J Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *EEA INTA Balcarce. Boletín Técnico N 112.* 18 p.



- Echeverría HE; CA Navarro & F Andrade. 1992. Nitrogen nutrition of wheat in relation to different previous crops. *J. Agr. Sci.* 118: 157-163.
- Eiza, MJ. 2005. Dinámica de la materia orgánica particulada bajo distintas rotaciones y sistemas de labranza. Tesis de Magister Scientiae en Producción Vegetal. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Eiza, J; G Studdert; N Fioriti & G Dominguez. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. *En: 20° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta-Jujuy, Argentina.
- Elissondo, E; JL Costa; E Suero; KP Fabrizio & F García. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo Siembra Directa. *Ciencia del suelo* 19: 11-19.
- Emmond, GS. 1971. Effect of rotations, tillage treatments and fertilizer on aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 51: 235-242.
- Fabrizzi, KP; FO Garcia; JL Costa & LI Picone. 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: 57-69.
- Fabrizzi, KP; A Moron & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Ferreras, LA; JL Costa; FO García & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern «Pampas» of Argentina. *Soil Till. Res.* 54: 31-39.
- Giancola, SI; ML Salvador; M Covacevich & G Iturrioz. 2009. Análisis de la cadena de soja en la Argentina. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Griffith, DR; JV Manerring & WC Moldenhauer. 1977. Conservation tillage in the Earstern Corn Belt. *J. Soil Water Cons.* 32: 20-28.
- Hati, KM; A Swarup; D Singh; AK Misra & PK Ghosh. Long-term continuous cropping, fertilization, and manuring effects on physical properties and organic carbon content of a sandy loam soil. *Aust. J. Agr. Res.* 44(5): 487-495.
- Haynes, RJ & R Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical condition. *Nut. Cyc. Agroecosys.* 51: 123-137.
- Hill, RL. 1990. Long-term conventional and no-tillage effects on selected physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 161-166.
- Lal, R; DC Reicosky & JD Hanson. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Till. Res.* 93: 1-12.
- Larney, FJ & EJ Kladvko. 1989. Soil strength properties under four tillage systems at three long-term study sites in Indiana. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1539-1545.
- Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1: 277-294.
- Mahboubi, AA; R Lal & NR Faussey. 1993. Twenty-eight years of tillage on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am.* 57: 506-512.
- Malik, MN; DS Stevenson & GC Russel, 1965. Water-stable aggregation in relation to various cropping rotations and soil constituent. *Can. J. Soil Sci.* 45: 189-197.
- Monnier, G. 1965. Action des matieres organiques sur la stabilite structural des sols. Tesis. Institut de la Recherche Agronomique. Paris. France.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, *American Society of Agronomy* 9(2): 539-579.
- Pengue, WA. 2005. Transgenic crops in Argentina: the ecological and social debt. *Bull. Sci. Technol. Soc.* 25: 314-322.
- Pidgeon, JD & BD Soane. 1977. Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley mono-culture system. *J. Agric. Sci.* 88: 431-442.
- Ramírez, L & JC Porstmann. 2008. Evolución de la frontera agrícola. Campañas 80/81- 06/07. Revista Agromensajes.
- SAS Institute 2003. SAS procedures guide for personal computers, version 6. SAS Institute. Cary, United States.
- Silenzi, JC; AM Moreno & JC. Lucero. 1987. Variaciones temporales de la estabilidad estructural de un suelo no disturbado. *Ciencia del Suelo* 5: 1-7.
- Silenzi, JC; MA Echeverria; MA Commegna & T Grossi. 1988. Contenido de gomas microbianas en un suelo no disturbado y su relación con la estabilidad estructural. *Ciencia del Suelo* 6(2): 103-107.
- Studdert, GA. (1996). Manejo de rastrojo en superficie. *En: Actas 14° Jornada de Actualización Profesional de Cosecha Gruesa*. Mar del Plata, Buenos Aires. pp: 1-7.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am.* 64: 1496-1503.