

## VICIA COMO CULTIVO PUENTE Y SISTEMAS DE LABRANZA: EFECTO SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

CARLOS ANDRÉS DEAGUSTINI<sup>1</sup>; GERMÁN FRANCO DOMÍNGUEZ<sup>1\*</sup>; MARÍA DE LOS ÁNGELES AGOSTINI<sup>1</sup>; GUILLERMO ALBERTO STUDDERT<sup>1</sup> & SANTIAGO NÉSTOR TOURN<sup>1</sup>

Recibido: 09-04-17

Recibido con revisiones: 10-08-17

Aceptado: 14-08-17

### RESUMEN

En el Sudeste Bonaerense, los cultivos puente se han planteado como una alternativa para mejorar las propiedades físicas de los suelos afectados por historia de labranzas muy agresivas o de compactación bajo siembra directa (SD). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de labranza convencional con arado de rejas, siembra directa y labranzas con discos livianos sobre algunas propiedades físicas de un Argiudol típico. Se realizaron determinaciones en un ensayo de labranzas de larga duración ubicado en Balcarce. Se evaluaron los tres sistemas de labranza mencionados, la aplicación de fertilizante nitrogenado y la inclusión de vicia (*Vicia villosa* Roth) como cultivo puente previo al cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Se realizaron determinaciones de densidad aparente (DAP), estabilidad de agregados (EA), velocidad de infiltración (INF) y resistencia mecánica a la penetración (RMP) luego de la cosecha de maíz. La EA disminuyó a medida que aumentó el grado de remoción del suelo. Siembra directa tuvo mayor EA que LD y LC en los primeros 5 cm de suelo. En la profundidad de 5-20 cm, la SD tuvo mayor EA que LC pero no se diferenció de LD. La RMP fue mayor para SD en los primeros 10 cm de profundidad con respecto a LD y LC, pero de los 10 a los 20 cm de profundidad se observó un marcado aumento de la RMP bajo LD. La DAP, fue mayor bajo LC que bajo LD y SD para los primeros 5 cm del perfil, pero no se diferenció entre SL para la profundidad de 5-20 cm. La INF no fue significativamente afectada por los SL. La inclusión de CP aumentó la INF bajo todos los SL analizados y disminuyó la RMP bajo SD. Sin embargo, no afectó a las variables DAP y EA. El grado de remoción del suelo no disminuyó la DAP y no incrementó significativamente la INF. La inclusión de CP mejoró la INF.

**Palabras clave.** Sustentabilidad de sistemas agrícolas, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, resistencia mecánica a la penetración.

## VETCH AS COVER CROP/GREEN MANURE AND SOIL TILLAGE SYSTEMS: EFFECT ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES

### ABSTRACT

An alternative to pursue a soil physical property improvement is including cover/green manure crops (CP) between two cash crops in a crop sequence. The objective of this work was to evaluate the effect of using contrasting tillage systems (SL) and a CP on some soil physical properties of a Mollisol in the SEB. Soil samples and determinations were taken in a long-term SL experiment carried out in Balcarce. The factor CP was assigned to sub-sub-plots with two levels: with (Con V) and without (Sin V) vetch (V) (*Vicia villosa* Roth) preceded by corn (*Zea mays* L.) since 2008. Bulk density, EA, INF and RMP were determined after corn harvest. Aggregate stability decreased with the increase of tillage aggressiveness. No-tillage led to higher EA at the upper 5 cm with respect to LD and LC. On the other hand, at 5-20 cm, SD showed higher EA than LC but without difference with LD. Under SD, RMP in the first 10 cm of the soil layer it was higher than under LD and LC, but between 10 and 20 cm depth a sharp increase under LD was observed. Contrary to what was expected, DAP was higher under LC than under LD and SD in the upper 5 cm of soil, but there were no differences among SL at 5-20 cm depth. Infiltration rate was not significantly affected by SL. The inclusion of V as CP increased INF under all SL and decreased RMP under SD. However, the CP did not affect DAP nor EA. The soil loosening degree with tillage did not diminish DAP and did not increase INF. The V as CP improved INF.

**Key words.** Agricultural system sustainability; bulk density; aggregate stability; infiltration, mechanical penetration resistance.

1. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Unidad Integrada Balcarce

\* Autor de contacto: dominguez.german@inta.gov.ar

## INTRODUCCIÓN

El uso prolongado de sistemas de labranza (SL) muy agresivos como la utilización de arado de rejas o rastra de discos pesada con alta frecuencia e intensidad de laboreo puede provocar un deterioro de las propiedades físicas del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2005). La siembra directa surge como una alternativa para contrarrestar los efectos negativos producidos por el exceso de labranzas (Ferrerías *et al.*, 2000), actuando directamente a través de la reducción del laboreo e indirectamente a través del incremento de la MO en los primeros centímetros del perfil (Domínguez *et al.*, 2009). Sin embargo, en los últimos años los sistemas de producción agropecuaria fueron evolucionando hacia ciclos agrícolas cada vez más extensos y, en algunos casos, hacia el monocultivo de soja (*Glycine max* L.), el cual provoca un bajo aporte de residuos (Domínguez *et al.*, 2005). El manejo del aporte de residuos de cultivo debe estar orientado a mantener y/o aumentar los niveles de carbono (C) orgánico del suelo. Éste es considerado un indicador de la salud del suelo y su mantenimiento resulta fundamental para la sustentabilidad de los sistemas de producción, debido a su gran influencia sobre muchas de las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo, y a que es determinante de su capacidad para reorganizarse ante las alteraciones provocadas por el uso (Franzluebbers, 2002; Duval *et al.*, 2013).

Las labranzas provocan la ruptura de macroagregados por acción física directa y exponen las fracciones protegidas de la materia orgánica (MO). De esta manera se estimula la mineralización, provocando un importante aporte de nutrientes para los cultivos (Balesdent *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2005). La magnitud del efecto de la labranza depende de ciertos factores como el tipo de suelo (textura), las condiciones climáticas, el grado de agresividad del laboreo y la secuencia de cultivos empleada (Mahboubi *et al.*, 1993; Chagas *et al.*, 1994). Bajo SD, por un lado, la presencia de rastrojo en superficie protege los agregados del impacto de la gota de lluvia y, por otro, la menor remoción mantiene un buen estado de agregación asociado al incremento en los niveles de MO (Pikul *et al.*, 2009). Sin embargo, en el SEB, esto ha sido documentado sólo para los primeros 5 cm de suelo (Domínguez *et al.*, 2009; Roldán *et al.*, 2014).

Se han reportado aumentos significativos en la densidad aparente (DAP) del suelo bajo SD en comparación con suelos labreados (Aparicio & Costa, 2007). Dichos valores se incrementaron con el tiempo transcurrido bajo SD,

estabilizándose en algunos casos en un nivel de DAP considerado no limitante para la producción de los principales cultivos de la región pampeana (Elisondo *et al.*, 2001; Fabrizzi *et al.*, 2005). Domínguez *et al.* (2009) reportaron que el incremento de la DAP con el tiempo bajo agricultura continua fue independiente del SL, ya que no se observaron diferencias significativas entre los mismos. Otros autores sin embargo, no han hallado diferencias significativas en DAP entre SL contrastantes (Agostini *et al.*, 2010; Jabro *et al.*, 2011; Karuma *et al.*, 2014). Se considera que valores de DAP mayores que 1,4-1,5 Mg m<sup>-3</sup> comprometerían el crecimiento radical de los cultivos (Griffith *et al.*, 1977).

Diversos trabajos han reportado valores de velocidad de infiltración (INF) y conductividad hidráulica saturada (Ks) significativamente mayores para los sistemas conservacionistas con respecto a los suelos labreados en forma convencional (Strudley *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2015). Esto es posiblemente debido a que se mejoran las condiciones superficiales del suelo y se reduce la velocidad de escurrimiento (Vidal, 1997). Otros trabajos reportaron resultados opuestos, registrando una Ks menor bajo SD (Ferrerías *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2008; Agostini *et al.*, 2010).

Para suelos degradados del SEB, Fabrizzi *et al.* (2005) hallaron que, al incrementar los años bajo SD, se producía un aumento en la resistencia mecánica a la penetración (RMP) que podría comprometer el normal desarrollo radical. Esto puede deberse a que el tráfico continuo y no controlado de maquinarias de gran peso y la falta de remoción del suelo, podrían producir un aumento de la compactación (Botta *et al.*, 2004; Fabrizzi *et al.*, 2005). No obstante, Agostini *et al.* (2010) determinaron que para suelos de textura franca y altos niveles de MO (>5%) característicos del SEB, la utilización de SD aumentó significativamente la RMP respecto a otros SL, aunque con valores menores a 2 Mpa que no afectarían el normal desarrollo radical de los cultivos (Threadgill, 1982).

Una alternativa para mejorar las propiedades físicas del suelo, además del manejo de las labranzas y de las secuencias de cultivos de cosecha, es la utilización de cultivos puente (CP) (Steele *et al.*, 2012; Hubbard *et al.*, 2013). Los CP son sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son pastoreados ni cosechados y pueden ser incorporados al suelo mediante una labranza (abono verde) o dejados en superficie (cultivo de cobertura) (Ruffo & Parsons, 2004). Si el CP se trata de una leguminosa como vicia (*Vicia villosa*,

Roth., V), proporciona nitrógeno (N) al suelo el cual puede ser aprovechado por el cultivo próximo, reduciendo la necesidad de suministro a través de fertilizantes químicos (Cook *et al.*, 2010; Diez, 2017). Estos beneficios hacen que en los planteos agrícolas del SEB, su adopción sea prometedora en el corto o mediano plazo. Además, con la incorporación de CP se busca incrementar los aportes de C para mantener el C y del N del suelo (Higashi *et al.*, 2014; Mukherjee & Lal, 2015).

Asimismo, dado el crecimiento de raíces en un período de tiempo mayor que se logra con la utilización de CP podría disminuir la DAP del suelo y aumentar la porosidad total (Villamil *et al.*, 2006), para de esta forma mejorar las propiedades físicas relacionadas a la dinámica de agua en el suelo (Blanco-Canqui *et al.*, 2011; Steele *et al.*, 2012). En el SEB existen condiciones predisponentes para la ocurrencia de erosión hídrica. Los CP podrían brindar cobertura previa a la siembra de los cultivos de verano y, de esta manera, favorecer la INF y reducir los escurrimientos y la erosión.

Si bien existen numerosos trabajos que analizan el efecto de labranzas contrastantes sobre propiedades físicas de los suelos, no hay información sobre el efecto de éstas en conjunto con la utilización de CP para suelos de textura superficial franca y alto contenido de MO (>5%) como los presentes en el SEB. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de V, la aplicación de LC, SD y labranza con disco (LD), y la fertilización nitrogenada sobre la EA, la INF, la DAP y la RMP.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de suelo y se hicieron mediciones en el otoño de 2015 en un ensayo de SL de larga duración iniciado en 1997, ubicado en la Estación Experimental INTA Balcarce (37°45'13"S, 58°17'53"W; 136 m snm), sobre un suelo Argiudol Típico (Soil Survey Staff, 2014) con variabilidad en la profundidad de tosca (entre 90 y 130 cm de profundidad). La textura superficial (0-20 cm) es franca (23,1 g kg<sup>-1</sup> de Arcilla, 35,8 g kg<sup>-1</sup> y 41,1 g kg<sup>-1</sup> de arena). Con un contenido promedio de MO de 5,11 g kg<sup>-1</sup> de 0 a 20 cm de profundidad. La pendiente del terreno posee un gradiente cercano menor al 2% (no existe erosión).

El ensayo había sido iniciado en 1997 con una secuencia de cultivos de girasol (*Helianthus annuus* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y maíz (*Zea mays* L.). En el año 2008 se introdujo el cultivo de V como CP previo al cultivo de maíz como factor de tratamiento. De esta manera, desde 2008 las unidades experimentales con presencia de V tuvieron la secuencia girasol-trigo-vicia-maíz, mientras que en los testigos sin V la

secuencia fue girasol-trigo-maíz. El cultivo de V se sembró el 22 de febrero de 2008, el 19 de mayo de 2011 y el 22 de abril de 2014 utilizando una densidad de 40 kg ha<sup>-1</sup> de semilla de V. La supresión del ciclo de V se realizó con la aplicación de herbicida en los tratamientos bajo SD (3 l ha<sup>-1</sup> de glifosato formulado al 48%, más 0,3 l ha<sup>-1</sup> de dicamba formulado al 57,8%) y con las labores en los tratamientos con labranza los días 5 de septiembre de 2008, 17 de octubre de 2011 y 23 de octubre de 2014. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo de factores en parcelas sub-divididas con tres repeticiones. Las parcelas principales tuvieron asignado el factor "SL" con tres niveles: 1) LC, 2) SD, 3) LD. A las sub-parcelas se les asignó el factor "fertilización nitrogenada" (FN) con dos niveles: 1) 120 kg N ha<sup>-1</sup>, para maíz y trigo y 90 kg N ha<sup>-1</sup> para girasol (Con N), y 2) testigo sin fertilizar (Sin N). A las sub-sub-parcelas se asignó el factor "CP" con dos niveles: 1) Con V y 2) Sin V previo al cultivo de maíz.

El tratamiento de labranza se realiza para la preparación de la cama de siembra de los cultivos de cosecha presentes en la secuencia (Girasol, Trigo y Maíz), ya que la siembra de los CP se realiza bajo SD en todos los tratamientos. La labranza se realiza al momento de la interrupción del ciclo del CP o en el momento de inicio de barbecho en los tratamientos sin CP tanto para los tratamientos bajo LC como bajo LD. La LC consistió de una pasada de arado de rejas, una pasada de rastra de discos liviana y la terminación de la cama de siembra empleando un vibro-cultivador. Para la LD, se emplearon dos pasadas de rastra de discos liviana con una profundidad de labor de aproximadamente 12 cm y una pasada de vibro-cultivador. Bajo SD, se emplearon herbicidas para el control de malezas durante el barbecho y para la interrupción del ciclo del CP.

Para la determinación de la DAP se utilizó un muestreador tubular con diámetro de boca de 4,44 cm (Agostini *et al.*, 2014) tomando dos estratos de 0 a 5 cm y de 5 a 20 cm de profundidad. Para la determinación de la EA se utilizó el método de De Leenher y de Boodt (1958). Se utilizaron muestras compuestas de agregados intactos tomadas a 0 a 5 cm y 5 a 20 cm de profundidad. Una alícuota de cada muestra fue tamizada en seco a través de tres tamices (4,80, 3,36 y 2,00 mm) y luego en agua a través de una batería de seis tamices (4,80, 3,36, 2,00, 0,84, 0,50 y 0,30 mm) durante 30 min. Se determinó el diámetro medio ponderado (DMP, mm) de los agregados para cada tamizado con la siguiente fórmula.

$$DMP = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

donde **I** identifica a cada fracción de agregados, **n** es el número total de fracciones de agregados, **x<sub>i</sub>** es el diámetro promedio de la fracción **I** (mm) calculado como la media aritmética de la apertura de malla de dos tamices sucesivos, y **w<sub>i</sub>** es la proporción del peso de la fracción **I** respecto de la

muestra tamizada total. Por diferencia entre el DMP en seco y el DMP luego del tamizado en húmedo se determinó cambio de diámetro medio ponderado (CDMP).

La INF se determinó usando el método del infiltrómetro de anillo simple desarrollado por el Soil Quality Institute (USDA, 1999). El procedimiento consistió en agregar un volumen de agua conocido, equivalente a una lámina de 50 mm, en dos instancias consecutivas de 25 mm cada una (Corrida 1 y Corrida 2), tomando el tiempo requerido para infiltrar completamente cada una de ellas. De esta manera, se obtiene la INF con la humedad inicial del suelo y con el suelo saturado en los primeros centímetros luego de la primera aplicación. Se realizaron cinco determinaciones de INF por unidad experimental. A efectos de conocer el contenido de agua inicial, se extrajeron muestras de suelo a 20 cm de profundidad para su determinación por el método gravimétrico.

La RMP fue medida utilizando un penetrómetro digital FieldScout SC 900 (Spectrum Technologies Inc., Aurora, Illinois, USA), hasta los 20 cm de profundidad con intervalos de medición cada 2,5 cm. En cada unidad experimental se tomaron dos transectas (transversales a la orientación de las operaciones de laboreo y siembra) de 11 determinaciones cada una, distanciadas a 200 cm entre transectas y a 20 cm entre determinaciones, con el objetivo de captar el ancho de cada sub-sub-parcela. Las determinaciones se realizaron con el suelo a capacidad de campo para todos los tratamientos. Para el análisis estadístico, se calculó la media de los 22 puntos de medición para cada profundidad obtenidos a partir de ambas transectas.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando las rutinas del procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2009). Se utilizaron modelos acordes al diseño descrito del ensayo (parcelas sub-divididas). Se analizaron las variables DAP, EA, RMP e INF de los tratamientos planteados. El nivel de significancia utilizado fue de 0,05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Densidad Aparente

No hubo efecto significativo de ninguna de las interacciones (SL x FN x CP, SL x FN, SL x CP y FN x CP) sobre la DAP. Contrariamente a lo esperado, en los primeros 5 cm de profundidad el valor de DAP fue significativamente mayor para LC que para LD y SD (Fig 1). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre SL para la profundidad de 5-20 cm. Los valores máximos de DAP alcanzados bajo LC estuvieron por debajo de umbrales considerados críticos ( $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ ; Griffith *et al.*, 1977). Estos resultados difieren de los expuestos por diversos autores, quienes no hallaron diferencias significativas en DAP entre SL contrastantes (Domínguez *et al.*, 2009; Agostini *et al.*, 2010) y también de otros quienes reportaron mayores valores de DAP bajo SD con respecto a suelos labrados (Elissondo *et al.*, 2001; Eiza, 2005; Fabrizzi *et al.*, 2005; Aparicio & Costa, 2007; Álvarez & Steinbach, 2009). En

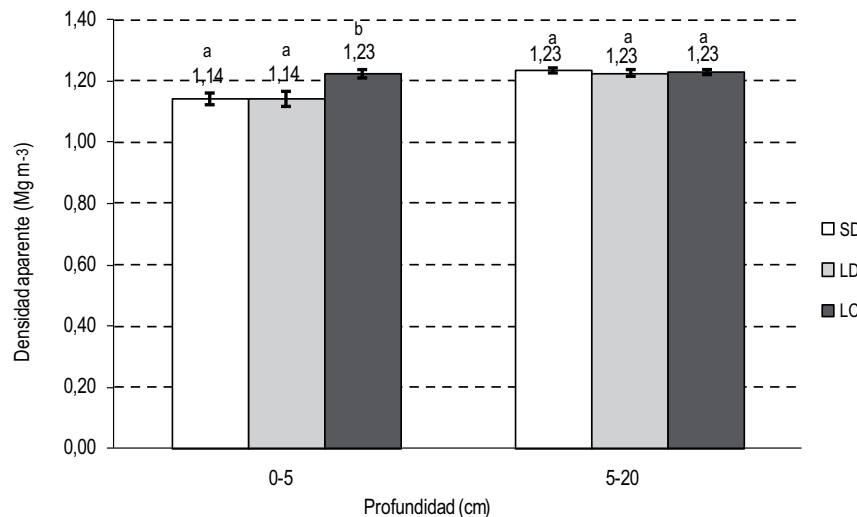


Figura 1. Densidad aparente bajo tres sistemas de labranza (SL) (SD: siembra directa, LD: labranza con disco y LC: labranza convencional) a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm). Letras diferentes representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre SL dentro de cada profundidad. Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media.

Figure 1. Soil bulk density under three tillage systems (SL) (SD: no tillage, LD: disc tillage, and LC: conventional tillage) at two depths (0-5 cm and 5-20 cm). Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) among SL within each depth. Vertical bars in each column indicate standard error of the mean.

un estudio de 7 años de duración, Franzluebbbers & Stuedemann (2014) obtuvieron en un principio mayor DAP bajo SD que bajo LC, pero a partir de 4 años de aplicados los tratamientos, los valores bajo LC fueron aumentando, haciendo que desaparecieran las diferencias entre SL.

El hecho de que las muestras analizadas provinieran de un ensayo de larga duración, en el cual cada tratamiento de SL había sido aplicado desde el año 1997, podría explicar los mayores valores de DAP bajo LC en los primeros 5 cm, debido a un efecto acumulado y no inmediato de la labranza. Es decir, si bien luego de cada operación de labranza se genera un efecto físico que aumenta la macro-porosidad, al mismo tiempo se expone a la MO a una mayor mineralización y con el tiempo se va produciendo un reacondicionamiento de las partículas del suelo con el posible consecuente aumento de la DAP (Elissondo *et al.*, 2001; Costa *et al.*, 2015). En contraparte, en la situación de mínimo disturbio bajo SD se produce una estratificación de la MO en los primeros cm del perfil (Domínguez *et al.*, 2009), que favorecería la agregación y el aumento de la porosidad y el mantenimiento de la DAP luego del aumento inicial generado por la circulación reiterada de las maquinarias (Pinheiro *et al.*, 2004; Pikul *et al.*, 2009).

Con respecto a la FN, los valores de DAP fueron significativamente menores para los tratamientos Con N (1,13 Mg m<sup>-3</sup> de 0-5 cm de profundidad y 1,22 Mg m<sup>-3</sup> para 5-20 cm de profundidad) respecto a aquéllos Sin N (1,21 Mg m<sup>-3</sup> de 0-5 cm de profundidad y 1,24 Mg m<sup>-3</sup> para 5-20 cm de profundidad). Esto podría deberse a que la fertilización con N habría ocasionado un mayor crecimiento de la biomasa de los cultivos y, en consecuencia, un mayor aporte de C al suelo a través de los residuos y por acción de sus raíces (Chantigny, 2003).

No hubo efecto del factor CP sobre los valores de DAP, tanto para los primeros 5 cm (1,17 Mg m<sup>-3</sup> ± 0,01 y 1,17 Mg m<sup>-3</sup> ± 0,01 Sin V y Con V, respectivamente) como para la profundidad de 5-20 cm (1,22 Mg m<sup>-3</sup> ± 0,01 y 1,24 Mg m<sup>-3</sup> ± 0,01 Sin V y Con V, respectivamente). Si bien se han reportado disminuciones de DAP en la capa superficial del suelo en respuesta a la utilización de CP durante una serie de años consecutivos (Lal *et al.*, 1979; Villamil *et al.*, 2006), el hecho de que en el presente ensayo, el CP no estuviera presente consecutivamente todos los años desde el 2008 sino cada tres años antecediendo al cultivo de maíz, podría explicar la ausencia de efecto del CP sobre la DAP. Si bien hubo un aumento en el aporte anual promedio de C por la introducción de CP en la secuencia (datos no mostrados), el momento y la frecuencia con la que se produce

dicho aporte no habrían permitido que se evidenciaran cambios en la DAP al momento de la toma de las muestras.

### Estabilidad de Agregados

No hubo efecto significativo de ninguna de las interacciones (SL x FN x CP, SL x FN, SL x CP y FN x CP) sobre la EA. No hubo efecto de la FN ni de CP sobre la EA en ninguna de las dos profundidades analizadas. Sí hubo efecto significativo de los SL sobre la EA tanto para a 0-5 cm como a 5-20 cm. En los primeros 5 cm de profundidad, se observó una disminución de la EA a medida que se incrementó la agresividad del SL (Fig 2). La EA para SD fue 39 y 71% mayor que para LD y LC, respectivamente. Para la profundidad de 5-20 cm no hubo diferencias significativas en la EA entre SD y LD, pero sí de estos tratamientos con respecto a LC (Fig 2).

Por otro lado, la falta de efecto de los factores CP y FN sobre el EA podría deberse a que tanto el disturbio generado por la remoción del suelo bajo LC y LD, como el cero o mínimo disturbio bajo SD habrían influido más sobre la EA y la dinámica del C (Six *et al.*, 1999) que los mayores aportes de C a través de los CP y la FN. Domínguez *et al.* (2008) trabajaron en un suelo similar al del presente ensayo, con diferentes SL y secuencias de cultivos que incluían pasturas. Estos autores observaron que la EA disminuyó más rápidamente luego de la salida de la pastura bajo LC que bajo SD y lo atribuyeron al disturbio ocasionado por la remoción del suelo, ya que es poco esperable que en pocos años de agricultura la MO disminuyera en una magnitud tal que afectara la EA.

### Velocidad de Infiltración

No hubo efecto significativo de ninguna de las interacciones (SL x FN x CP, SL x FN, SL x CP y FN x CP) ni de los niveles de FN y SL (Tabla 1) sobre la INF, tanto para la Corrida 1 como para la Corrida 2. Por otro lado, sí hubo efecto significativo de CP sobre la INF. En la Corrida 1 se observó una INF significativamente mayor (29%) para los tratamientos Con V que para los Sin V (Tabla 1). A su vez, hubo diferencias significativas en el contenido hídrico del suelo al momento de las mediciones, el cual fue mayor en los tratamientos Con V que en los Sin V (27,7 ± 0,03%v/v y 25,9 ± 0,03%v/v Con V y Sin V, respectivamente). Esto magnifica el efecto de los tratamientos Con V sobre la INF, ya que, este tratamiento mostró mayor INF aún con el suelo más húmedo. Para la Corrida 2, se mantuvo la misma tendencia, pero la diferencia entre CP (19%) no fue detectada como significativa (Tabla 1).

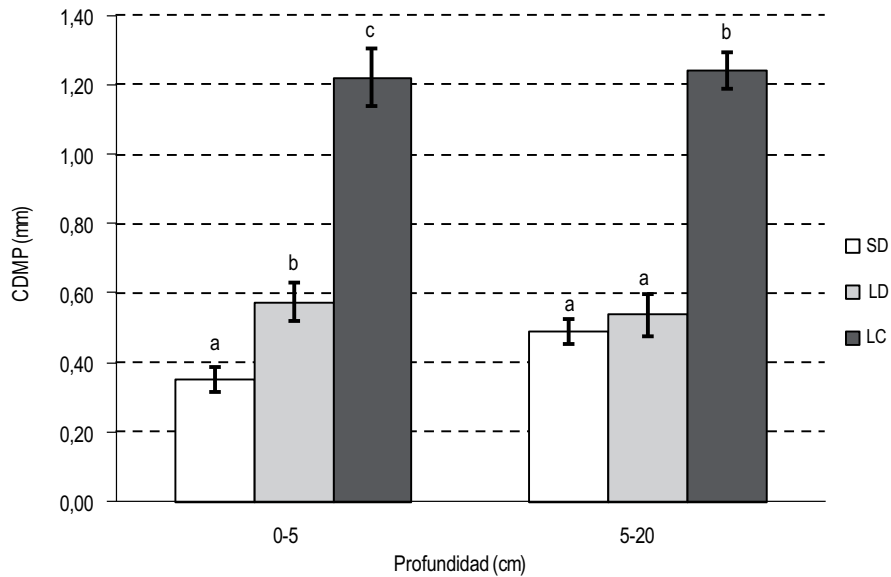


Figura 2. Estabilidad de Agregados medida como cambio de diámetro medio ponderado (CDMP) bajo tres sistemas de labranza (SL) (SD: siembra directa, LD: labranza con disco y LC: labranza convencional) a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm). Letras diferentes representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre SL para cada profundidad. Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media.

Figure 2. Aggregate stability measured as mean weight diameter change (CDMP) under three tillage systems (SL) (SD: no tillage, LD: disc tillage and LC: conventional tillage) at two depths (0-5 cm and 5-20 cm). Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) among SL within each depth. Vertical bars in each column indicate standard error of the mean.

Tabla 1. Velocidad de infiltración (INF) promedio para los factores de tratamiento: sistema de labranza (SL) (SD: siembra directa, LD: labranza con disco y LC: labranza convencional); fertilización con nitrógeno (FN) (Sin N: sin la aplicación de N y Con N: con la aplicación de nitrógeno); y cultivo puente (CP) (Con V: con vicia y Sin V: sin vicia). EE indica error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre niveles del factor.

Table 1. Mean soil infiltration rate for tillage systems (SL) (SD: no tillage, LD: disc tillage and LC: conventional tillage); nitrogen fertilization (FN) (Sin N: without N and Con N: with N); and cover crop (CP) (Con V: with vetch and Sin V: without vetch). EE indicates the standard error of the mean. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) among factor levels.

Factor	INF (mm h <sup>-1</sup> )			
	Corrida 1		Corrida 2	
SL	Media	EE	Media	EE
LC	649	87	224	28
LD	913	84	316	27
SD	677	82	245	26
FN	Media	EE	Media	EE
Sin N	660	61	227	22
Con N	584	51	224	19
CP	Media	EE	Media	EE
Con V	839 a	67	285	22
Sin V	648 b	58	239	23

La presencia de los CP habría contribuido a una mejora en la condición edáfica a través de un mayor tiempo de ocupación del suelo con raíces. Blanco-Canqui *et al.* (2011) encontraron mejoras en la INF luego de la implementación de CP durante una serie de años bajo SD, asociado a un aumento del C y del número de lombrices en los primeros centímetros del suelo.

No se observaron diferencias significativas entre SL en el valor de INF, aunque hubo una tendencia a mayor INF bajo LD con respecto a LC (Tabla 1) tanto para la Corrida 1 como para la Corrida 2, respectivamente. En este sentido, Álvarez *et al.* (2009) no encontraron diferencias en la tasa de INF entre SD y LD para suelos de textura franca, pero sí las observaron en suelos de textura franco-limosa y franco-arcillo-limosa, siendo en estos casos mucho mayor bajo LD que bajo SD. Costa *et al.* (2015), trabajando con suelos similares a los analizados en esta experiencia, observaron una marcada disminución en la porosidad estructural del suelo bajo SD pero sólo una leve disminución de la porosidad total. En tanto, Huang *et al.* (2015) observa-

ron que la SD aumentó significativamente la INF con respecto a LC en un suelo con un extenso historial de realización de este último SL y con bajos valores de INF.

### Resistencia Mecánica a la Penetración

No hubo efecto significativo de las interacciones SL x FN x CP, SL x FN, y FN x CP ni de los niveles de FN, sobre la RMP en ninguna de las profundidades analizadas. En cambio, hubo interacción significativa SL x CP sobre la RMP en todas las profundidades (Fig 3). Bajo SD, la RMP fue significativamente menor en el tratamiento Con V que en el Sin V. Bajo LC y LD, la RMP tendió a ser mayor en el tratamiento Con V que en el Sin V, siendo estas diferencias estadísticamente no significativas en la mayoría de los casos.

Estos resultados concuerdan con los de Villamil *et al.* (2006), quienes observaron una reducción en la RMP en la zona más superficial del suelo con la incorporación de CP en sistemas bajo SD, y se lo atribuyeron al aporte adicional de residuos y de MO comparado con la situación sin incorporación de CP. Latif *et al.* (1992) también encontra-

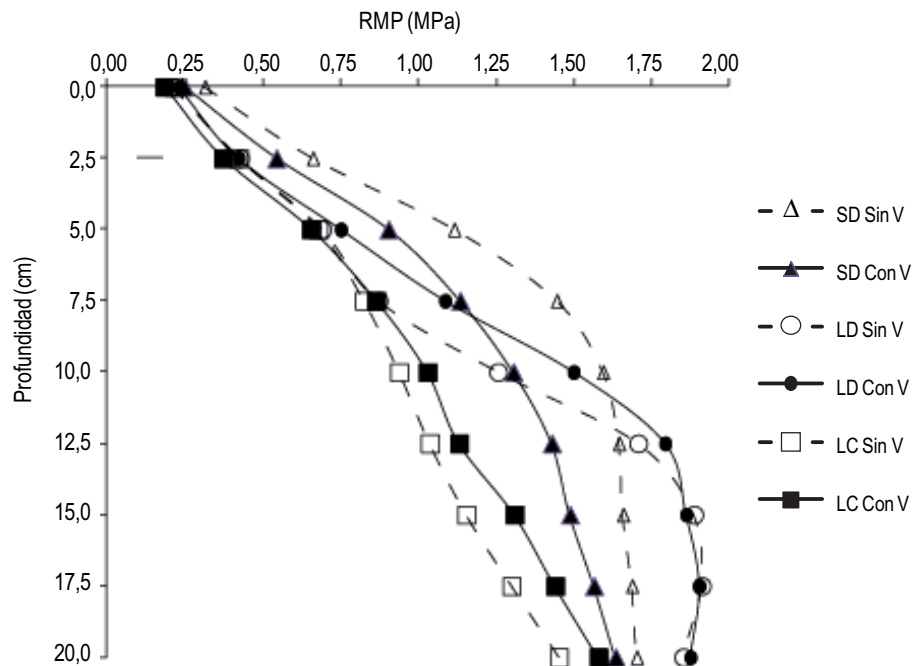


Figura 3. Resistencia mecánica a la penetración (RMP) para tres sistemas de labranza (SD: siembra directa, LD: labranza con disco y LC: labranza convencional) y dos niveles de cultivo puente (Con V: con vicia, Sin V: sin vicia) hasta los 20 cm de profundidad. Barras horizontales indican diferencias mínimas significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

Figure 3. Mechanical penetration resistance (RMP) for three tillage systems (SD: No Tillage, LD: disc tillage and LC: conventional tillage) and two cover crop/green manure treatments (Con V: with vetch and Sin V: without vetch) up to 20 cm. Horizontal bars at each depth indicate least significant difference among treatments ( $p < 0.05$ ).

ron disminuciones en la RMP con la utilización de CP en un experimento realizado sobre suelos bajo monocultivo de maíz con LC. Tourn (2013), en cambio, en un ensayo similar al de este trabajo con vicia como CP y maíz como cultivo de cosecha, registró mayor RMP al momento de la siembra del maíz en el tratamiento con CP, pero dicho efecto había desaparecido al momento de la cosecha.

### Integración

La MO es considerada uno de los principales agentes que favorecen la agregación del suelo y, por lo tanto, podría estar explicando parte de las variaciones observadas en la EA (Pinheiro *et al.*, 2004; Pikul *et al.*, 2009). A su vez, existe evidencia de que para suelos similares a los de este ensayo, tanto el disturbio (LC, LD) como el cero o mínimo disturbio (SD), afectan la EA en una magnitud que no se explicaría en su totalidad por cambios en la MO (Domínguez *et al.*, 2008). Esto sugiere que existe un efecto físico directo de la labranza sobre la EA aún sin que haya diferencias entre SL en otras propiedades.

La SD en cambio, mantiene la mayoría de los mecanismos de protección de la MO (mínimo disturbio, presencia de rastrojo en superficie que protege a los agregados del impacto de la gota de lluvia, buen estado de agregación y mayor proporción de macroagregados asociado al incremento en los niveles de MO en los primeros centímetros de suelo) (Six *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2009; Pikul *et al.*, 2009; Roldan *et al.*, 2014). La mayor EA en los primeros 5 cm bajo SD (Fig 2), probablemente se deba a diferencias en la localización del aporte de residuos y su degradación. Diversos autores han reportado una estratificación del C orgánico, con mayor concentración en la capa superficial por acumulación de residuos en contacto con el suelo (Six *et al.*, 2004; Eiza, 2005; Agostini *et al.*, 2012) y el consecuente aporte de C lábil que intervendría en la EA (Tisdall & Oades, 1982; Six *et al.*, 2004). El menor aporte de C en profundidad bajo SD se traduciría en menor contenido de fracciones orgánicas lábiles respecto a los primeros centímetros del perfil. Esta podría ser la razón de que la EA fue similar entre sistemas de labranza de 5 a 20 cm (Fig 2).

El agregado de N disminuyó la DAP en ambas profundidades. Esto podría deberse a que la fertilización nitrogenada ocasiona un mayor crecimiento de la biomasa de los cultivos (Corral *et al.*, 2014), y en consecuencia, un mayor aporte de C al suelo a través de los residuos (Chantigny, 2003), que estimularía la agregación del suelo. Sin embargo, la historia de aplicación de N no afectó al resto de

las propiedades analizadas (EA, INF y RMP), lo cual no permite arribar a una conclusión sobre su efecto.

El uso de CP tampoco evidenció efecto sobre la EA y la DAP en ambas profundidades. Esta ausencia de efectos significativos de la historia de presencia de CP en la secuencia de cultivos, posiblemente se deba al fuerte efecto que ejercen los SL sobre la EA a través del disturbio que ocasionan, disminuyendo las posibles mejoras atribuibles al mayor aporte de C por parte de los CP. Una amplia evidencia bibliográfica apoya la capacidad de los CP para mejorar las propiedades físicas. Estos cultivos influirían sobre la dinámica del agua del suelo (Villamil *et al.*, 2006; Steele *et al.*, 2012) asociado posiblemente al aumento en el C (Kaspar & Singer, 2011; McDaniel *et al.*, 2014; Moore *et al.*, 2014; Poeplau & Don, 2015) y a la presencia de raíces activas durante más tiempo (Villamil *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2008). En cuanto a los SL, sólo se observó una tendencia de mayor INF bajo LD. En una extensa revisión bibliográfica sobre el efecto de los SL sobre las propiedades hidráulicas del suelo, Strudley *et al.* (2008) llegaron a la conclusión de que la variabilidad espacial y temporal de estas variables edáficas no permite distinguir clara y contundentemente los efectos de los SL. Sin embargo, esta tendencia a mayor INF bajo LD, se podría fundamentar en el hecho de que se trata de un SL de una agresividad intermedia que crea porosidad por un efecto mecánico de la labranza y mantiene valores bajos de DAP e intermedios de CDMP con respecto a SD y LC.

La RMP fue afectada significativamente por los SL, existiendo además una interacción significativa entre SL y CP. La SD arrojó los mayores valores de RMP en los primeros 10 cm de profundidad, sin embargo, este tratamiento tuvo menores valores de DAP que bajo LC y LD (Fig 1). Martínez *et al.* (2008) sugieren que, bajo SD, no hay una disminución de la porosidad total, sino que posiblemente lo que ocurre es una ruptura y disminución de la macroporosidad y un aumento de la cantidad de poros más pequeños. En este sentido, luego de 10 años bajo SD y para suelos similares a los analizados en esta experiencia, Costa *et al.* (2015) determinaron una marcada disminución en la porosidad estructural del suelo, pero sólo una leve disminución de la porosidad total. Entre los 10 y los 20 cm de profundidad los mayores valores de RMP se registraron bajo LD, evidenciando posiblemente la presencia de un piso de disco (Fig 3). Sin embargo, esto no habría sido un impedimento para la INF de agua en el suelo, ya que LD tendió a tener mayor INF que SD y LC, tanto para la Corrida 1 como para la Corrida 2.



La incorporación de CP bajo SD disminuyó significativamente la RMP en los primeros 20 cm de profundidad (Fig 3). Esto indica el beneficio potencial de la utilización de CP para reducir la compactación del suelo en sistemas bajo SD (Abdollahi *et al.*, 2014). Sin embargo, bajo LC y LD no existe una tendencia muy clara y, contrariamente a lo esperado, en determinados sectores del perfil, se encontraron mayores valores de RMP en los tratamientos Con V (Fig 3). De todas maneras, los valores de RMP se mantuvieron por debajo del umbral reportado por la bibliografía como impedimento para el normal desarrollo de raíces de un cultivo (2,0 MPa, Threadgill, 1982).

## CONCLUSIONES

Para las condiciones edafoclimáticas bajo las que fue desarrollado este ensayo, si bien el incremento en el grado de remoción del suelo disminuyó la EA y la RMP, incrementó la DAP. A su vez, los diferentes SL no afectaron la INF del suelo. Por otro lado, la inclusión de CP aumentó la INF bajo todos los SL analizados. Finalmente, la FN produjo menores valores de DAP, no mostrando ningún efecto sobre las EA, RMP e INF.

## AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este trabajo forma parte de la Tesis de Grado (Carrera de Ingeniería Agronómica) del primer autor en la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (a través del proyecto PICT 2012-1092), la Universidad Nacional de Mar del Plata (a través de los proyectos AGR481/15 y AGR518/16) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (a través del proyecto específico PNCYO 1127032).

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdollahi, L; LJ Munkholm & A Garbout. 2014. Tillage system and cover crop effects on soil quality: II. Pore characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78(1): 271-279
- Agostini, MA; GA Studdert & GA Domínguez. 2010. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Sudeste Bonaerense. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe, Argentina. Mayo 2010. En CD.
- Agostini, MA; GA Studdert & GF Domínguez. 2012. Relación entre el cambio en el diámetro medio de agregados y el carbono orgánico y sus fracciones. Actas XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Abril 2012. En CD.
- Agostini, MA; MA Monterubbianesi; GA Studdert & GA Maurette. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo* 32(2):171-176.
- Álvarez, CR; MA Taboada; FH Gutiérrez Boem; A Bono; PL Fernández & PL Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73(4): 1242-1250.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 104(1):1-15.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96(1): 155-165
- Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53(3): 215-230.
- Blanco-Canqui, H; MM Mikha; DR Presley & MM Claassen. 2011. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75(4): 1471-1482.
- Botta, GF; D Jorajuria; RH Balbuena & D Rosatto. 2004. Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: Effects on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78(1): 53-58.
- Chagas, CI; HJ Marelli & OJ Santanatoglia. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12(1): 11-16.
- Chantigny, MH. 2003. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: A review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* 113(3): 357-380.
- Cook, JC; RS Gallagher; JP Kaye; J Lynch & B Bradley. 2010. Optimizing vetch nitrogen production and corn nitrogen accumulation under no-till management. *Agron. J.* 102(5): 1491-1499.
- Corral, RA; GA Studdert; GF Domínguez & MA Agostini. 2014. Rendimiento de maíz: efecto de cultivos de cobertura/abonos verdes en el sudeste bonaerense. Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Mayo 2014. En CD.
- Costa, JL; V Aparicio & A Cerdà. 2015. Soil physical quality changes under different management systems after 10 years in the Argentine humid pampa. *Solid Earth* 6(1): 361.
- De Leenher, I & M de Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by change in mean weight diameter. Proc. Int. Symp. on Soil Structure. Pp. 290-300. Medeligen. Van de Landbowhoge School. Ghent, Bélgica.
- Diez, SN. 2017. Cultivos Puente: efecto sobre la disponibilidad de agua y de nitrógeno para un cultivo de maíz. Tesis de Magister. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Domínguez, GF; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: García, FO & HE Echeverría (eds) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Pp. 207-229. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Domínguez, GF; A Andersen & GA Studdert. 2008. Cambios en la estabilidad de agregados en distintos sistemas de cultivo bajo siembra directa y labranza convencional. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. Mayo 2008. En CD.

- Domínguez, GF; NV Diovisalvi; GA Studdert & MG Monterubbianesi. 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.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131(1): 11-19.
- Eiza, MJ. 2005. Dinámica de la materia orgánica particulada bajo distintas rotaciones y sistemas de labranza. Tesis *Magister Scientiae*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Elissondo, E; JL Costa; E Suero; KP Fabrizzi & 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(1): 11-19
- Fabrizzi, KP; FO García; 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(1): 57-69.
- 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 southern «Pampa» of Argentina. *Soil Till. Res.* 54(1): 31-39.
- Franzluebbers, AJ. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66(2): 95-106.
- Franzluebbers, AJ & JA Stuedemann. 2014. Temporal dynamics of total and particulate organic carbon and nitrogen in cover crop grazed cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78(4): 1404-1413.
- Griffith, DR; JV Mannering & WC Moldenhauer. 1977. Conservation tillage in eastern Corn Belt. *J. Soil Water Conserv.* 32(1): 20-28.
- Higashi, T; M Yunghui; M Komatsuzaki; S Miura; T Hirata; H Araki & H Ohta. 2014. Tillage and cover crop species affect soil organic carbon in Andosol, Kanto, Japan. *Soil Till. Res.* 138(1): 64-72.
- Huang, M; T Liang; I Wang & C Zhou. 2015. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat-maize double cropping system. *Catena* 128(1): 195-202.
- Hubbard, RK; TC Strickland & S Phatak. 2013. Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the Coastal Plain of Southeastern USA. *Soil Till. Res.* 126(1): 276-283.
- Jabro, JD; ED Stevens; WM Iversen & RG Evans. 2011. Bulk density, water content, and hydraulic properties of a sandy loam soil following conventional or strip tillage. *Appl. Eng. Agric.* 27(5): 765-768.
- Karuma, A; P Mtakwa; N Amuri; CK Gachene & P Gicheru. 2014. Tillage effects on selected soil physical properties in maize-bean intercropping system in Mwala district, Kenya. *Int. Sch. Res. Notices.* 2014: 1-12.
- Kaspar, TC & JW Singer. 2011. The use of cover crops to manage soil. In: Hatfield, JL & TJ Sauer (eds) *Soil management: building a stable base for agriculture*. Pp.321-337. ASA, SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- Lal, R; GF Wilson & BN Okigbo. 1979. Changes in properties of an alfisol produced by various crop covers. *Soil Sci.* 127(6): 377-382.
- Latif, MA; GR Mehuys; AF MACKENZIE; I Alli & MA FARIS. 1992. Effects of legumes on soil physical quality in a maize crop. *Plant Soil* 140(1): 15-23.
- Mahboubi, AA; R Lal & NR Faussey. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57(2): 506-512.
- Martínez, E; JP Fuentes; P Silva; S Valle & E Acevedo. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a mediterranean environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99(2): 232-244.
- McDaniel, MD; LK Tiemann & AS Grandy. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta analysis. *Ecol. Appl.* 24(3): 560-570.
- Moore, EB; MH Wiedenhoef; TC Kaspar & CA Cambardella. 2014. Rye cover crop effects on soil quality in no-till corn silage-soybean cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78(3): 968-976.
- Mukherjee, A & R Lal. 2015. Short-term effects of cover cropping on the quality of a Typic Argiaquolls in central Ohio. *Catena* 131(1): 125-129.
- Pikul, JL; G Chilom; J Rice; A Eynard; TE Schumacher; K Nichols & M Ellsbury. 2009. Organic matter and water stability of field aggregates affected by tillage in South Dakota. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73(1): 197-206.
- Pinheiro, EFM; MG Pereira & LHC Anjos. 2004. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a red latosol from Brazil. *Soil Till. Res.* 77(1): 79-84.
- Poeplau, C & A Don. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops-a meta-analysis. *Agr. Ecosyst. Environ.* 200(1): 33-41.
- Roldán, MF; GA Studdert; C Videla; S San Martino & LI Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. *Ciencia del Suelo* 32(2): 247-257.
- Ruffo, ML & A Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 21: 13-15.
- SAS Institute. 2009. SAS onlinedoc® 9.2. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, EEUU. <http://www.sas.com> [Ultimo acceso: mayo de 2010].
- Six, J; ET Elliott & K Paustian, k. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63(5): 1350-1358.
- Six, J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241(2): 155-176.
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79(1): 7-31.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. USDA, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, EEUU. 372 p.
- Steele, MK; FJ Coale & RL Hill. 2012. Winter annual cover crop impacts on no-till soil physical properties and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76(6): 2164-2173.
- Strudley, MW; TR Green & JC Ascough. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. *Soil Till. Res.* 99(1): 4-48.

- Threadgill, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transact. ASAE* 25(4): 859-863.
- Tisdall, JM & J Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2): 141-161.
- Tourn, SN. 2013. Evaluación del efecto de *paraplow* y de cultivos de cobertura en planteos agrícolas bajo siembra directa continua. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- USDA. 1999. Soil quality test kit guide. USDA-Agriculture Research Service, Soil Conservation Service, Washington, DC, EEUU. 82 p.
- Vidal, CM. 1997. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de siembra directa y labranza reducida. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Villamil, MB; GA Bollero; RG Darmody; FW Simmons & DG Bullock. 2006. No-till corn/soybean systems including winter cover crops: effects on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70(6): 1936-1944.

