

PROPIEDADES FISICAS EN UN MOLISOL DEL SUDESTE BONAERENSE BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA

DIEGO NAHUEL FRANCO¹, MARÍA DE LOS ANGELES AGOSTINI^{1,*}, GERMAN FRANCO DOMINGUEZ¹, SANTIAGO NÉSTOR TOURN¹, GUILLERMO ALBERTO STUDDERT¹

Recibido: 17/4/2020

Recibido con revisiones: 25/6/2020

Aceptado: 13/7/2020

RESUMEN

Los sistemas de labranzas (SL) son una herramienta fundamental en la agricultura, ya que permiten manipular el suelo y lograr las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintos SL sobre la densidad aparente (DA), la resistencia mecánica a la penetración (RMP), la velocidad de infiltración (VI) y la estabilidad de agregados (EA) en un Molisol del Sudeste Bonaerense. Las determinaciones de propiedades físicas fueron realizadas en un ensayo de SL de larga duración, ubicado en el campo experimental de la Unidad Integrada Balcarce. Se evaluaron cinco SL: labranza convencional (LC), siembra directa (SD), labranza combinada (Lcom), labranza vertical (LV) y labranza con disco (LD). La DA, fue menor bajo Lcom y mayor bajo LD en el estrato 5-20 cm, pero no se diferenció entre SL para la profundidad de 0-5 cm. La VI no fue significativamente afectada por los SL. La RMP fue mayor bajo SD desde los 2,5 cm hasta los 10 cm de profundidad, siendo a partir de allí, mayor bajo LD. Los SL LC y Lcom no tuvieron diferencias estadísticamente significativas sobre la RMP, en ninguna de las profundidades analizadas. Cabe destacar que ambos SL tuvieron menores valores que SD desde los 2,5 cm hasta los 20 cm de profundidad. En el estrato 0-5 cm, LC tuvo menor EA que los restantes SL (que no se diferenciaron entre sí). En el estrato 5-20 cm, si bien la disminución en la EA con respecto al incremento en el grado de remoción no fue marcado, los SL menos agresivos como SD, Lcom y LD presentaron mayor EA en comparación con LC.

Palabras clave: Sustentabilidad de sistemas agrícolas; disturbio por laboreo; sistemas de cultivo.

SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN A MOLISOL OF THE SOUTHEASTERN BUENOS AIRES PROVINCE UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS

ABSTRACT

Tillage systems (SL) are a fundamental tool in agriculture since they allow manipulating the soil to achieve the necessary conditions for crop growth and development. The objective of this work was to evaluate the effect of different SL on bulk density (DA), mechanical penetration resistance (RMP), infiltration rate (VI) and aggregate stability (EA) of a Mollisol in the southeastern Buenos Aires province. Soil samples and determinations were taken in a long-term SL experiment carried out at Balcarce, Southeastern Buenos Aires Province. Five SL were evaluated: conventional tillage (LC), no-tillage (SD), combined tillage (Lcom), vertical tillage (LV) and disk tillage (LD). Bulk density was the lowest under Lcom and the highest under LD at 5-20 cm depth, but there were no differences between SL in the upper 5 cm. Infiltration rate was not affected by SL. Mechanical penetration resistance was higher under SD from 2.5 cm up to 10 cm depth, being higher under LD beyond that depth. Conventional tillage and Lcom did not show significant differences in RMP at any of the analyzed depths. Both LC and Lcom showed lower RMP than SD from 2.5 cm to 20 cm depth. At the 0-5 cm depth, LC presented lower EA than the other SL (which did not differ among them). Although the decrease in EA was not as marked as the increase in the degree of disturbance, less aggressive SL such as SD, Lcom and LD showed higher EA as compared to LC.

Keywords: Agricultural system sustainability; disturbance by tillage; cropping systems.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina

* Autor de contacto: magostini@mdp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de labranzas (SL) son una herramienta fundamental en la agricultura, ya que permiten manipular el suelo y lograr las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Morris *et al.*, 2010). Además, deben cumplir la premisa de preservar la productividad y la integridad del ambiente edáfico. El efecto de los SL varía con las características del suelo ([contenido de materia orgánica (MO)], textura, historia de manejo previa a su aplicación, condición de humedad al momento de la labranza) y tipo de herramienta a utilizar (grado de disturbio por laboreo), (Blanco-Canqui & Wortmann, 2020).

El/los objetivo/s a lograr con un laboreo puede/n alcanzarse a través de diferentes herramientas, que realizan la manipulación mecánica del suelo con diferente intensidad y dejan diferente grado de cobertura de rastrojos del cultivo anterior sobre la superficie (Blanco-Canqui & Wortmann, 2020). Los SL convencionales (LC) (con remoción de suelo) constituidos por laboreos primarios y secundarios han sido históricamente utilizados para la preparación de la cama de siembra de los cultivos. El arado de reja y vertedera fue uno de los implementos para labores profundas de uso más extendido en Argentina. Se caracteriza por ocasionar un alto grado de remoción del suelo ya que produce un corte, levantamiento e inversión del pan de tierra y pulverizado, generando distintos tipos de fragmentación según el estado de humedad del suelo. Las rastras de disco presentan un principio de penetración diferente al arado de reja y vertedera, el cual depende mayormente del ángulo de ataque de los cuerpos de discos y del peso por disco. Estos producen un seccionamiento del suelo consecuencia de su acción cortante, pulverización por la presión ejercida contra el suelo y volteo resultado de su forma de casquete esférico. En consecuencia, producen un buen mezclado del suelo y una menor remoción respecto a un arado de reja y vertedera (Morris *et al.*, 2010).

En los sectores del sudeste bonaerense (SEB) donde se utilizó durante muchos años LC muy agresiva (alta frecuencia e intensidad de laboreo), se produjo la aceleración de la mineralización

de la MO, la pérdida de nutrientes y el deterioro de algunas propiedades físicas de los suelos (Ferrerías *et al.*, 2000; Sainz Rozas *et al.*, 2011) y, con ello, la exposición del suelo a procesos erosivos. Así, para una combinación de clima y suelo dada, la disminución de los niveles de MO en el tiempo bajo agricultura es directamente proporcional a la agresividad del SL empleado (Studdert *et al.*, 2005).

Los SL conservacionistas han sido propuestos como alternativa para disminuir los efectos negativos de la LC agresiva. Dichos SL, incluyen todas aquellas combinaciones y secuencias de operaciones que mantienen la superficie cubierta con al menos el 30 % de rastrojos del cultivo antecesor, reduciendo así la pérdida de suelo y de agua cuando se compara con sistemas más agresivos (Morris *et al.*, 2010). Esta definición incluye SL con mínima o nula inversión, tal como el arado de cincel y la siembra directa (SD), respectivamente. Actualmente, la SD es el SL más difundido en el país, debido a ventajas tales como la protección directa de la superficie del suelo por rastrojos, el mejoramiento de la dinámica del agua en el perfil y de la condición superficial del suelo. Por lo tanto, la presencia de cobertura y la ausencia de remoción (excepto en la línea de siembra) bajo SD son condiciones a lograr en suelos del SEB susceptibles a la erosión hídrica (Studdert *et al.*, 2005).

Los diferentes métodos de labranza poseen ventajas y desventajas en un sistema de producción determinado. En el SEB, la bibliografía reporta resultados contrapuestos respecto de la aplicación de la SD. Se han informado menores caídas de la estabilidad de agregados (EA) bajo SD con respecto a LC (Domínguez *et al.*, 2008; Roldán *et al.*, 2014; Tourn *et al.*, 2019). Por otro lado, Aparicio y Costa (2007) reportaron menor EA bajo LC con respecto a SD, mientras que Ferrerías *et al.* (2000) no encontraron diferencias en EA entre SL en suelos degradados. Con respecto a SL como LV o LD, Elissondo *et al.* (2001) no reportaron diferencias entre SD y LV sobre la EA, mientras que Deagustini *et al.* (2017) informaron mayor EA bajo SD con respecto a LC y LD. Las variaciones en la EA están directamente relacionadas con el comportamiento del sistema

poroso del suelo y consecuentemente con la densidad aparente (DA), la velocidad de infiltración (VI) y la resistencia mecánica a la penetración (RMP). Varios autores han informado que, en sistemas bajo SD, aumentan los valores de DA y/o RMP y se reduce la VI, respecto a LC y LV (Elisondo *et al.*, 2001; Balbuena *et al.*, 2003; Fabrizio *et al.*, 2005; Aparicio & Costa, 2007; Álvarez *et al.*, 2009; Agostini *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2015), debido, principalmente, al aumento del peso de la maquinaria agrícola (Hamza & Anderson, 2005).

El clima del SEB es subhúmedo-húmedo, con precipitaciones que se concentran principalmente en primavera – verano (Rojas & Conde, 1985). La magnitud del efecto erosivo de las lluvias depende en gran medida del relieve, que varía desde zonas planas a pendientes pronunciadas (mayores a 5 %). Si bien, aproximadamente, el 90% de la superficie agrícola se realiza bajo SD (Rainaud, 2019), los problemas de malezas resistentes, acumulación de agroquímicos y densificación de las capas superficiales de suelo, entre otros, han llevado a que se recurra a SL con remoción de suelo (Tourn, com. personal). En situaciones de elevado gradiente de pendiente, la implementación de SL con remoción de suelo (con o sin inversión de suelo) para evitar los efectos no deseados de la SD, es limitada por la exposición del suelo a la ocurrencia de erosión hídrica. En el SEB, dependiendo de la profundidad de afectación de las propiedades físicas, una alternativa posible y recomendable, es la utilización de SL con remoción de suelo para la siembra de cultivos de invierno, momento del año (otoño) en el cual el riesgo de erosión es menor, e implementar SD para los cultivos estivales en la secuencia de cultivos. De esta manera, se podría afrontar el momento crítico de ocurrencia de precipitaciones de mayor erosividad (primavera), con una adecuada cobertura de suelo (Quiroga *et al.*, 2017), realizando un SL combinado, que aproveche los beneficios que provee cada uno de los SL (Blanco-Canqui & Wortmann, 2020). No obstante, Domínguez *et al.* (2008) han reportado caídas en la EA por efecto directo de la remoción del suelo sin haberse generado aún pérdidas en el contenido de MO. Esto podría indicar que a pesar

de las ventajas que se tienen al combinar SL con remoción y SD, la remoción producida en el momento que se realiza la labranza podría afectar las propiedades físicas de la misma manera que se podrían ver afectadas por un SL convencional racional continuo. Su efecto podría ser detectado o no, de acuerdo con el momento dentro de la historia de labranza en que se realiza su evaluación.

Los suelos agrícolas del SEB se caracterizan por presentar textura franca en el horizonte superficial, con niveles actuales de 50-60 g kg⁻¹. Si bien este contenido es menor que el de su condición prístina (Sainz Rozas *et al.*, 2011), es una característica que les confiere resiliencia ante los disturbios por las prácticas de manejo. Por ello, es necesario realizar evaluaciones con el fin de determinar de qué forma es afectado el suelo bajo diferentes SL y analizar de qué manera implementarlos y/o combinarlos para disminuir los riesgos de degradación de las propiedades físicas. Esto resulta ser un punto clave de los sistemas productivos para lograr sustentabilidad en el tiempo. Por lo antes mencionado y para las condiciones edafo-climáticas del SEB se hipotetiza que: i) a medida que se incrementa el grado de remoción provocado por las labranzas disminuye la EA; ii) los sistemas de labranza con remoción del suelo previo a la operación de siembra disminuyen la DA y la RMP y aumentan la VI con respecto a SD y iii) el incremento en la frecuencia de uso de LC no afecta de manera diferencial las propiedades físicas del suelo con respecto a SD. El objetivo fue evaluar el efecto de distintos sistemas de labranza (LC, SD, su combinación, labranza con rastra de discos liviana y labranza vertical) sobre la DA, la RMP, la VI y la EA en un suelo del SEB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se llevó a cabo sobre un ensayo de sistemas de labranza de larga duración ubicado en el campo experimental de la Unidad Integrada Balcarce (37°45'13"S, 58°17'53"W; 136 msnm), sobre un suelo Argiudol Típico (Soil Survey Staff, 2014) (serie Mar del Plata, INTA, 1979) con variabilidad en la profundidad de la tosca entre 90 y 130 cm. La pendiente del terre-

no posee un gradiente de pendiente menor que 2% (bajo riesgo de erosión) y la textura superficial del suelo es franca. El clima en esta área se clasifica como mesotérmico subhúmedo-húmedo (según la clasificación de Thornthwaite) o como húmedo templado sin estación seca (según la clasificación de Köpen) (Irigoyen, com. pers. 2006). La mediana de la precipitación anual, de evapotranspiración potencial y la temperatura media del aire (1985-2004) es de 952 mm, 894 mm y 14,1 °C, respectivamente (fuente: Estación meteorológica de la Unidad Integrada Balcarce). Antes del establecimiento del experimento, el sitio tenía una pastura sin pastoreo (1993-1996). El ensayo fue iniciado en 1997, momento desde el cual se comenzaron a aplicar distintos sistemas de labranza con una secuencia de cultivos: maíz (*Zea mays* L.) - girasol (*Helianthus annuus* L.) - trigo (*Triticum aestivum* L.).

Tratamientos y Diseño experimental

Los SL evaluados fueron cinco: 1) LC, 2) SD, 3) labranza combinada (Lcom); 4) labranza vertical (LV) y 5) labranza con disco (LD). Las unidades experimentales (UE) fueron de 40 m de largo por 10 m de ancho. La LC se realizó con una pasada de arado de rejas con una profundidad de trabajo de 20 cm, una a dos pasadas de rastra de discos liviana y se terminó la cama de siembra empleando un vibro-cultivador. En la Lcom se realizó el cultivo de trigo bajo LC y luego, los cultivos de maíz y girasol bajo SD. El tratamiento LV se realizó con dos pasadas de arado de cincel, una longitudinalmente a lo largo de la parcela y una segunda en forma oblicua (con una profundidad de trabajo de 25 cm), y una pasada de vibro-cultivador para finalizar la cama de siembra. La LD comprendió dos pasadas de rastra de discos liviana y una pasada de vibro-cultivador con una profundidad de trabajo de 12-13 cm. Todos los SL fueron realizados en condiciones óptimas de humedad. Bajo SD, se emplearon herbicidas para el control de malezas durante el barbecho. La siembra de los cultivos fue realizada con una sembradora para SD en todos los tratamientos. El diseño experimental es en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones.

Determinaciones de propiedades físicas

Se realizaron mediciones y se extrajeron muestras de suelo en otoño de 2015, sobre rastrojo de trigo. Las muestras fueron tomadas luego de nueve meses desde la última labor (agosto de 2014) y cuatro meses posteriores a la cosecha del cultivo de trigo. El tiempo transcurrido desde la última labor, permitió que el suelo se reestructurara y que los datos obtenidos correspondieran a efectos en el largo plazo de los SL aplicados y no a un efecto inmediato posterior a la labranza. Al realizarse el muestreo sobre rastrojo de trigo, Lcom provenía de haber sido laboreado para el cultivo de trigo, por lo que toma relevancia la comparación de Lcom y LC. Cabe destacar que, al momento del muestreo, los distintos SL habían sido aplicados por 18 años consecutivos.

Para la determinación de la DA se utilizó un muestreador tubular con diámetro de boca de 4,44 cm (Agostini *et al.*, 2014) tomando dos estratos de 0-5 cm y de 5-20 cm de profundidad. Para la determinación de la EA se utilizó el método de De Leenher & De Boodt (1958). Se utilizaron muestras compuestas de agregados intactos tomadas a 0-5 cm y 5-20 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 (Suero & Garay, 1978). 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_i 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_i 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 agua se determinó el cambio de DMP (a mayor CDMP menor EA).

La VI fue determinada (5 repeticiones por UE) usando el método de anillo simple desarrollado por el Soil Quality Institute (USDA, 1999). El anillo del infiltrómetro de 15 cm de diámetro fue clavado hasta los 8 cm, y la superficie expuesta dentro del anillo fue cubierta por una capa de polietileno. Se procedió a la aplicación de una lámina de agua destilada igual a 25 mm dentro del anillo, y removiendo la capa de polietileno se determinó el tiempo requerido para la infiltración de la primera corrida de lámina de agua. Esta lámina es utilizada para homogeneizar el contenido de agua del suelo. Luego, fue aplicada una segunda lámina de 25 mm de agua destilada de la misma manera que se había realizado previamente, y la VI fue tomada nuevamente. La VI en la segunda corrida de agua es la que determina la VI del suelo (USDA, 1999). 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) (ASAE, 1999), 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 UE. El contenido de agua del suelo al momento de las determinaciones fue 22,3 % g/g (algo menor que capacidad de campo (26,4% g/g según Travasso & Suero, 1994)), no existiendo diferencias entre SL. Para el análisis estadístico, se calculó la media de los 22 puntos de medición para cada profundidad obtenidos a partir de ambas transectas.

Análisis estadístico

Para cada variable se realizó un análisis de varianza. Cuando las diferencias fueron significativas ($p < 0,05$) se realizó la comparación de medias mediante el test de mínima diferencia significativa (LSD). Los análisis estadísticos se realizaron

siguiendo rutinas del paquete estadístico INFOS-TAT (Di Rienzo *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSION

Densidad aparente

No hubo diferencias significativas entre SL en el estrato 0-5 cm. Este comportamiento contradice lo informado por numerosos autores (Fabrizzi *et al.*, 2005; Sasal *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2009). Deagustini *et al.* (2017) y Zubeldía *et al.* (2018), quienes trabajaron sobre un suelo similar al de esta experiencia, informaron mayores valores de DA bajo LC en los primeros 5 cm. Dichos autores lo atribuyeron a que el SL había sido aplicado por 20 años o más y, por ello, se observaba un efecto acumulado y no inmediato de la labranza. En aquellos SL con remoción de suelo, luego de cada operación de laboreo se genera un efecto físico transitorio que aumenta la macroporosidad, al mismo tiempo que se expone a la MO a una mayor mineralización (Six *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2009), a una disminución de la EA (Six *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2008; Roldán *et al.*, 2014; Tourn *et al.*, 2019) y, con el tiempo, se va produciendo un reacomodamiento de las partículas del suelo con el consecuente aumento de la DA (Costa *et al.*, 2015).

Hubo diferencias significativas entre los SL sobre la DA sólo en el estrato 5-20 cm, donde Lcom se diferenció significativamente de LD ($1,19 \text{ Mg m}^{-3} \pm 0,02$ y $1,27 \text{ Mg m}^{-3} \pm 0,01$, respectivamente). Los menores valores de DA bajo Lcom (**Figura 1**) evidenciarían un posible efecto favorable de combinar LC con SD sobre dicha propiedad. Los mayores valores bajo LD, podrían atribuirse al uso continuo de la herramienta de laboreo a una profundidad constante de 12-13 cm, sin la alternancia de un implemento que logre mayor profundidad de trabajo (Hamza & Anderson, 2005). Cabe destacar que no hubo diferencias significativas entre LC, SD y LV ($1,23 \text{ Mg m}^{-3} \pm 0,02$). En ningún caso los valores de DA superaron el umbral crítico de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ (Griffith *et al.*, 1977).

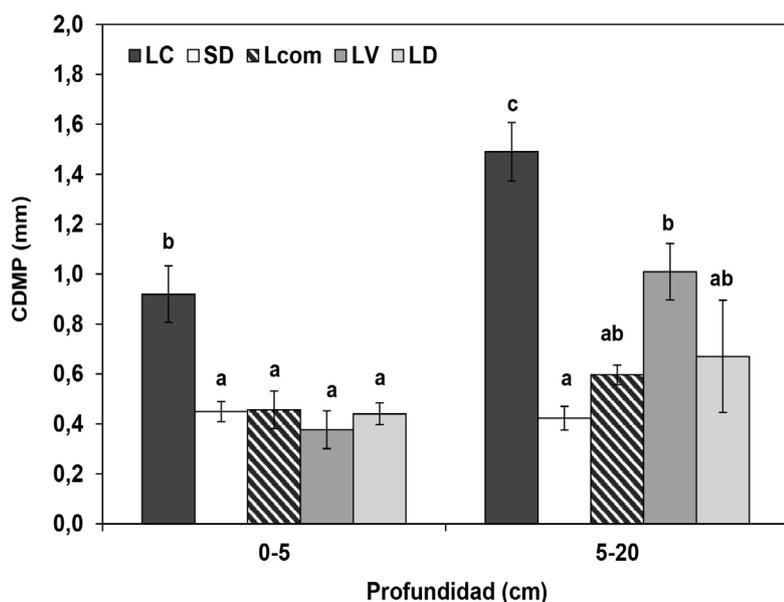


Figura 1. Densidad aparente (DA) bajo diferentes sistemas de labranza (SL) (LC: labranza convencional, SD: siembra directa, Lcom: labranza combinada (SD+LC), LV: labranza vertical, LD: labranza con disco) en 2 profundidades (0-5 cm, 5-20 cm). Letras diferentes encima de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre SL dentro de cada profundidad. Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media. ns: no significativo ($p > 0,05$).

Figure 1. Bulk density (DA) under different tillage systems (SL) (LC: conventional tillage, SD: no till, Lcom: SD+LC; LV: vertical tillage, LD: disc harrow) at two depths (0-5 cm, 5-20 cm). Different letters above each column indicate significant differences ($p < 0.05$) among SL within each depth. Vertical bars in each column indicate standard error of the mean. ns: not significant ($p > 0,05$).

Resistencia mecánica a la penetración

Hubo diferencias significativas entre SL sobre la RMP entre los 2,5 cm y los 20 cm de profundidad (**Figura 2**). De 2,5 a 10 cm de profundidad, SD presentó los mayores valores de RMP con respecto a los restantes SL evaluados, los cuales difirieron entre sí, (**Figura 2**). Estos resultados coinciden con los reportados por Fabrizio *et al.* (2005), Agostini *et al.* (2010) y Tolón-Becerra *et al.* (2011). Los mayores valores de RMP podría deberse a la escasa remoción del suelo y el tránsito de maquinarias que comprimen y transmiten su peso al suelo, produciendo principalmente compactación superficial (Balbuena *et al.*, 2003; Hamza & Anderson, 2005). Por otro lado, la mayor (LC) o menor (Lcom) frecuencia de uso de LC no afectó de manera diferencial la RMP en todo el perfil analizado y fue significativamente menor con respecto a SD. Tanto LC como LCom mantuvieron sus valores en niveles más bajos que SD, LD y LV por debajo de 10 cm (**Figura 2**).

A partir de los 12,5 cm de profundidad, LD mostró los mayores valores de RMP (**Figura 2**). La compactación inducida por este SL dentro de esta capa por la presión ejercida por la herramienta es acumulativa porque LD no produce remoción por debajo de los 12-13 cm de profundidad (Balbuena *et al.*, 2003; Hamza & Anderson, 2005). Cabe aclarar que por debajo de 12,5

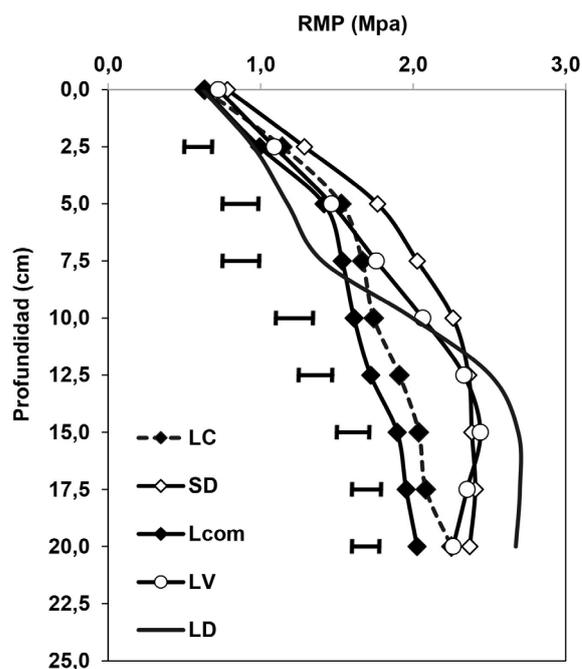


Figura 2. Resistencia mecánica a la penetración (RMP) para los distintos sistemas de labranza (SL) (LC: labranza convencional, SD: siembra directa, Lcom: labranza combinada (SD+LC), LV: labranza vertical, LD: labranza con disco) hasta los 20 cm de profundidad. Las barras horizontales indican diferencias mínimas significativas ($p < 0,05$) entre SL para cada profundidad.

Figure 2. Mechanical penetration resistance (RMP) under different tillage systems (SL) (LC: conventional tillage, SD: no till, Lcom: SD+LC; LV: vertical tillage, LD: disc harrow) up to 20 cm. Horizontal bars at each depth indicate least significant difference ($p < 0.05$) among SL within each depth.

cm de profundidad los valores de RMP de LD, SD y LV superaron el umbral crítico reportado por la bibliografía (2 MPa, Threadgill, 1982). La presencia de una capa en el perfil del suelo con RMP por encima de dicho umbral es un impedimento para el normal desarrollo y exploración de raíces y para la captación de recursos como nutrientes y agua, principalmente en cultivos estivales (Hamza & Anderson, 2005). Se realizó un análisis de regresión lineal entre los datos de DA y RMP en la profundidad 0-5 y 5-20 cm, y sólo se encontró relación estadísticamente significativa en este último rango de profundidad ($R^2 = 0.67$; $p < 0.05$). Los resultados obtenidos reafirman el incremento en ambas variables bajo LD.

Estabilidad de agregados

Hubo diferencias significativas entre SL sobre la EA medida como CDMP en las dos profundidades analizadas. En el estrato 0-5 cm, LC presentó los mayores valores de CDMP, es decir menor EA, con respecto a los demás SL, no existiendo dife-

rencias entre sí (Figura 3). En el estrato 5-20 cm, se pudo observar un incremento en la EA (menores valores de CDMP) en la medida que se redujo el grado de remoción, donde LC mostró los mayores valores de CDMP, mientras que los menores los presentó SD. En el caso de Lcom, LV y LD presentaron un comportamiento intermedio entre SD y LC (Figura 3).

El sistema de LC se caracteriza por su agresividad y grado de remoción del suelo al comprender la aplicación de diversos implementos desde la labranza primaria hasta el refinamiento para lograr una cama de siembra adecuada. Esa serie de labores producen la disrupción de los macroagregados y puede conducir a la pérdida de su estabilidad por la alteración de los ciclos naturales formación (Roldán *et al.*, 2014; Tourn *et al.*, 2019) y, además, inhibe el reciclaje de los microagregados que se espera que ocurra en el interior de aquéllos. Esto se debe a la acción física directa del laboreo y a la exposición y disminución de las fracciones de la MO que se hallaban

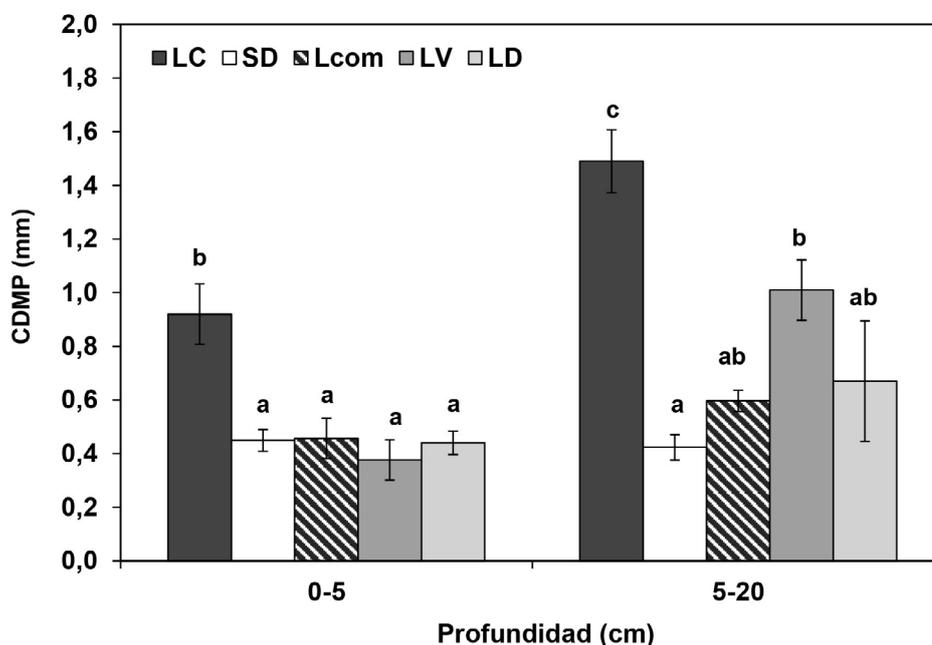


Figura 3. Cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) para los distintos sistemas de labranza (SL) (LC: labranza convencional, SD: siembra directa, Lcom: labranza combinada (SD+LC), LV: labranza vertical, LD: labranza con disco) en 2 profundidades (0-5 cm y 5-20 cm). Letras diferentes encima de cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre SL para cada profundidad. Líneas verticales indican el error estándar de la media.

Figure 3. Aggregate stability measured as mean weight diameter change (CDMP) under different tillage systems (SL) (LC: conventional tillage, SD: no till, Lcom: SD+LC; LV: vertical tillage, LD: disc harrow) at two depths (0-5 cm and 5-20 cm). Different letters above each column indicate significant differences ($p < 0.05$) among SL within each depth. Vertical bars in each column indicate standard error of the mean.

entre macroagregados y protegidas en su interior (Six *et al.*, 2004). Por otro lado, la SD mejoró la EA en coincidencia con lo reportado por varios autores para suelos similares a los de esta experiencia (Mandiola *et al.*, 2011; Roldán *et al.*, 2014; Deagustini *et al.*, 2017; Tourn *et al.*, 2019). Dicha mejora se asocia a la acumulación de MO, principalmente en los primeros centímetros del suelo (Domínguez *et al.*, 2009; Mandiola *et al.*, 2011; Tourn *et al.*, 2019), y a una mayor protección de aquélla en su interior (Tourn *et al.*, 2019). La utilización de Lcom mostró significativamente menor CDMP que LC tanto en superficie como en profundidad (**Figura 3**). Esto muestra el impacto de un uso continuado de LC por 18 años previos, en comparación con un año bajo LC cada dos años bajo SD en Lcom, es decir seis años de LC en los 18 años del ensayo. Asimismo, Lcom no se diferenció de SD, mostrando que la alternancia de LC y SD no afectaría la dinámica de los agregados lo que sugiere que tampoco habría afectado la del contenido de MO (Blanco-Canqui & Wortmann, 2020). Colombani *et al.* (2002) evaluaron la distinta agresividad de LC, labranza reducida y SD, obteniendo los mayores valores de EA en SD, siguiéndole en orden descendente, labranza reducida y, finalmente, LC. Los resultados obtenidos de CDMP bajo Lcom, LV y LD, hacen que estos SL se constituyan en alternativas para reducir el grado de remoción y la frecuencia de labranzas, siendo LV una alternativa viable en los lotes con riesgo de erosión hí-

drica dado que no invierte el pan de tierra y deja más del 30 % de cobertura luego de su aplicación (Tolón-Becerra *et al.*, 2011).

Velocidad de infiltración

No hubo efecto significativo de los SL sobre la VI (segunda corrida de agua) (**Tabla 1**). Estos resultados coinciden con los reportados por Deagustini *et al.* (2017) y Zubeldía *et al.* (2018) para el mismo sitio experimental que el del presente trabajo. Ello contradice los resultados obtenidos por Blanco-Canqui *et al.* (2017), que reportaron mayores valores de VI bajo LC y lo atribuyeron a las fracturas y espacios generados por la acción de dicho SL. A pesar de que no hubo diferencias significativas entre SL sobre la VI, se pudo observar un comportamiento hacia mayores valores de VI bajo LC y Lcom (**Tabla 1**). Ambos SL no mostraron diferencias significativas sobre la RMP (**Figura 2**), siendo los valores de dicha variable menores con respecto a SD. La alternancia de SD y LC puede generar un efecto benéfico sobre la VI en el sistema al utilizar las ventajas de uno combinadas con las del otro. Esta alternancia representada por Lcom, mostró mayor EA con respecto a LC (**Figura 3**), sin diferenciarse significativamente de SD. Por otro lado, aquellos SL conservacionistas, tales como SD y LV, tuvieron valores de VI semejantes a LD. Ello probablemente este asociado a los menores valores de CDMP (**Figura 3**), lo cual tendría un efecto positivo tanto por la menor pérdida de suelo debido a un menor

Tabla 1. Velocidad de infiltración (VI) para los distintos sistemas de labranza (LC: labranza convencional, SD: siembra directa, Lcom: labranza combinada (SD+LC), LV: labranza vertical, LD: labranza con disco). EE indica error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Table 1. Infiltration rate (VI) under different tillage systems (LC: conventional tillage, SD: no till, Lcom: SD+LC; LV: vertical tillage, LD: disc harrow). EE: indicate standard error of the mean. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

Sistema de labranza	VI (mm h ⁻¹)			
	Corrida 1		Corrida 2	
	Media	EE	Media	EE
LC	746,2 a	28,4	325,1 a	51,7
SD	546,9 a	60,6	268,1 a	25,4
Lcom	728,5 a	113,4	322,0 a	91,4
LD	571,5 a	42,4	274,3 a	59,4
LV	612,1 a	153,8	276,5 a	45,1

escurrimiento superficial, y por la mayor disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos. Según lo reportado por el Soil Quality Institute (USDA, 1999), las VI obtenidas bajo los diferentes SL son clasificadas como rápidas, por lo que no presentarían inconvenientes para la captación de agua proveniente de la precipitación o de riego.

CONCLUSIÓN

Para las condiciones en que se desarrolló esta experiencia:

No se encontraron evidencias suficientes para rechazar la primera hipótesis: A medida que se incrementa el grado de remoción provocado por las labranzas, disminuye la EA. Si bien no es marcada la disminución en la EA con respecto al incremento en el grado de remoción, los SL menos agresivos como SD, Lcom y LD presentaron menor CDMP (*i.e.* mayor EA) en comparación con LC.

La evidencia encontrada es suficiente para rechazar parcialmente la segunda hipótesis: Los sistemas de labranza con remoción del suelo previo a la operación de siembra, disminuyen la DA y la RMP y aumentan la VI con respecto a SD. No hubo un efecto diferencial de los SL sobre la VI y la DA, no siendo así sobre la RMP. En esta variable, se evidenció una menor RMP en aquellos sistemas con remoción de suelo con respecto a SD hasta los 10 cm de profundidad.

Se reunió suficiente evidencia para rechazar parcialmente la tercera hipótesis: El incremento en la frecuencia de uso de LC con respecto a SD, no afecta de manera diferencial las propiedades físicas del suelo. Hubo efecto diferencial de LC y Lcom (que incluye menor frecuencia de LC) sobre la EA, no así sobre la DA, la RMP ni la VI.

Por otro lado, los resultados de este trabajo indican que, para estos suelos, la realización de LC un año, previo al cultivo de invierno, luego de dos bajo SD, previo a los dos cultivos de verano en la secuencia, se asoció a mejoras en la salud física del suelo. Además, se espera que esta alternancia de SL mejoraría la dinámica de la provisión de nutrientes (*i.e.* nitrógeno) para el trigo (Santamaría *et al.*, 2004), con la consiguiente reducción de uso

de fertilizantes y contribuiría al control de malezas y plagas. Por otro lado, la alternancia de suelo desnudo en otoño-invierno (*i.e.* bajo LC para trigo) y suelo cubierto con residuos de cosecha (*i.e.* SD para girasol y maíz) bajo Lcom, tendría mínima incidencia sobre la erosión hídrica a que son susceptibles una elevada proporción de los suelos del SEB dadas sus características edafoclimáticas y fisiográficas, dado que la exposición sería en momentos en que la erosividad de las precipitaciones es baja (Rojas & Conde, 1985).

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 AGR595/19 y AGR614/20) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (a través del proyecto específico PNCYO 1127032).

BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, MA.; GA Studdert & GF 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 de 2010.
- Agostini, MA; MA Monterubbianesi; GA Studdert & S Maurette. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo* 32:171-176.
- ASAE, 1999. Soil cone penetrometer. *Agricultural Engineering Yearbook*. ASAE Standard: ASAE 313.3. February 1999. American Society of Agricultural Engineers. Saint Joseph. Missouri, EEUU. pp. 832-833.
- Álvarez, C; MA Taboada; F Gutiérrez Boem; A Bono; P Fernández & P Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1242-1250.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165.
- Balbuena, R; G Botta; L Draghi; H Rosatto & C Dagostino. 2003. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del

- tractor en sistemas de siembra directa. *Spanish J. Agric. Res.* 1(2):75-80.
- Blanco-Canqui, H & CS Wortmann. 2020. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. *Soil Till. Res.* 198:104534.
- Blanco-Canqui, H; BJ Wienhold; VL Jin; MR Schmer & LC Kibet. 2017. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil Till. Res.* 170:38-42.
- Colombani, EN; JL Costa; GA Studdert & E Suero. 2002. Evaluación de propiedades físicas de suelos del Sudeste Bonaerense bajo distintos manejos. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut, Argentina, abril de 2002.
- Costa, JL; V Aparicio & A Cerdá. 2015. Soil physical quality changes under different management systems after 10 years in the Argentine humid pampa. *Solid Earth* 6:361-371.
- De Leenher, L & M De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by change in mean weight diameter. *Proc. Int. Symp. on Soil Structure*. Medelingen. Van de Landbouwhoghe School. Ghent, Bélgica. pp. 290-300.
- Deagustini, CA; GF Domínguez, M. de los A Agostini; GA Studdert & SN Tourn. 2017. Vicia como cultivo puente y sistemas de labranza: efecto sobre propiedades físicas del suelo. *Ciencia del Suelo* 35:325-335.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2015. *InfoStat*. [CD ROM]: versión 2015. Córdoba, Argentina. Programa computacional.
- 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*. Pórtico de los Funes, San Luis, Argentina, mayo de 2008.
- Domínguez, GF; NV Diovisalvi; GA Studdert & MG Monterubianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102:93-100.
- Elissondo, E; JL Costa; E Suero; LP 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, physical properties and corn and water responses to minimum and no-till systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81:57-69.
- Ferreras, LA; JL Costa; FO García & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudol of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54:31-39.
- Griffith, DR; JV Mannering; HM Galloway; SD Parsons & CB Richey. 1977. Conservation tillage in the Eastern Corn Belt. *J. Soil Water Conser.* 32:20-28.
- Hamza, MAM & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82:121-145.
- INTA. 1979. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. Hoja 3757-31 Balcarce 76 pp.
- Mandiola, M; GA Studdert; GF Domínguez & CC Videla. 2011. Organic matter distribution in aggregate sizes of a mollisol under contrasting managements. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 11:41-57.
- Morris, NL; PCH Miller & RJ Froud-Williams. 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—a review. *Soil Till. Res.* 108:1-15.
- Quiroga, RA; JA Galantini & GA Studdert. 2017. La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. En: ME Vázquez (ed.) *Manejo y conservación de suelos. Con especial énfasis en situaciones argentinas*. Pp. 139-159. Asoc. Arg. Ciencia del Suelo, Buenos Aires, Argentina. 480 pp.
- Rainaud, M. 2019. Informe de evolución de Siembra Directa en Argentina. Asociación Argentina de Asociación Argentina de Productores
- de Siembra Directa (Aapresid). <https://www.aapresid.org.ar/superficie/>.
- Roldán, MF; G Studdert; CC Videla; S San Martino & LI Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. *Ciencia del Suelo* 32:247-257.
- Rojas, AEC & AA Conde. 1985. Estimación del factor "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para el centro-este de la República Argentina. *Ciencia del Suelo* 3: 85-94.
- Sasal, MC; AE Andriulo & MA Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Till. Res.* 87(1):9-18.
- Sainz Rozas, HR.; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29:29-37.
- Santamaría, SM.; GA Studdert & HE Echeverría. 2004. Sistemas de labranza y fertilización nitrogenada en trigo bajo distintas historias agrícolas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 33, pp. 55-75
- 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.* 79:7-31.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. USDA, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, EEUU 372 pp.
- Studdert, GA; GF Domínguez; MJ Eiza & CC Videla. 2005. Manejo de cambios en el suelo a través de rotaciones de cultivos y labranzas en el sudeste bonaerense: algunos resultados de ensayos de larga duración. Simposio "Impacto de la Intensificación de la agricultura sobre el recurso suelo". Colonia del Sacramento, Uruguay, octubre 2005.
- Suero E & A Garay. 1978. Estado estructural del horizonte superficial de suelos Argiudoles del S.E. bonaerense. II. Modificaciones producidas por el manejo a que han sido sometidos los suelos. Actas 8ª Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina.
- Thorntwaite, CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38:55-94.
- Threadgill, ED. 1982. Residual Tillage effects as determined by cone index. *T. ASAE* 25(4):859-863.
- Tolón Becerra, A; M Tourn; GF Botta & X Lastra-Bravo. 2011. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seeding emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. *Soil. Till. Res.* 117: 184-190.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104411>.
- Travasso, MI & EE Suero. 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Boletín Técnico nº 125. 9 pp.
- USDA. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. USDA-Agriculture Research Service, Soil Conservation Service, Washington (DC), USA. 82 p.
- Vidal CM & JL Costa. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *RIA Vol 29.* p. 211-212
- Zubeldia, T; M. de los A. Agostini; GF Domínguez; GA Studdert & SN Tourn. 2018. Evaluación de algunas propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense bajo distintos sistemas de cultivo. Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina, mayo de 2018.