

Impacto de diferentes prácticas de manejo sobre algunas propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense

Impact of different management practices on some physical properties of soils in the southeast of Buenos Aires province

^{*}
María de los Ángeles Agostini
magostini@mdp.edu.ar

Germán Franco Domínguez

Guillermo Alberto Studdert

Santiago Néstor Tourn

** Autor de contacto*

¹ Grupo Manejo Sustentable del Suelo (FCA, UNMdP)
Facultad de Ciencias Agrarias UNMdP, Unidad Integrada Balcarce, C.C. 276, (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

ÍNDICE CAPÍTULO 16

■ RESUMEN	497
■ ABSTRACT	498
■ INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	499
■ DESCRIPCIÓN DEL SUDESTE BONAERENSE	501
■ DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS	502
■ COMPACTACIÓN EN SISTEMAS AGRÍCOLAS	503
Información de experiencias que permiten su caracterización	503
■ EFECTO DE LAS LABRANZAS E INCLUSIÓN DE PASTURAS EN LA ROTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EDÁFICAS	504
Estabilidad de agregados	504
Infiltración	506
Densidad aparente	507
Resistencia mecánica a la penetración	508
■ CONCLUSIONES	509
■ AGRADECIMIENTOS	510
■ BIBLIOGRAFÍA	510

■ RESUMEN

La tendencia de un sistema de producción hacia la degradación o hacia la sostenibilidad depende de las decisiones de manejo y está directamente ligada a lo que suceda en el suelo. Los suelos del Sudeste Bonaerense (SEB) se caracterizan por su alto contenido de MO y textura superficial franca, lo que le conferiría alta resistencia y posiblemente alta resiliencia a los cambios por el uso. El objetivo de este capítulo es establecer la magnitud del efecto de dos sistemas de labranza (siembra directa; SD y labranza convencional, LC) y el impacto de la inclusión de pasturas en la rotación sobre las propiedades físicas de suelos del SEB. Se pudo observar que bajo SD los valores de densidad aparente (DA) y de resistencia mecánica a la penetración (RM), se incrementaron con respecto a LC, pero en ningún caso superaron los umbrales críticos establecidos en la bibliografía. Por otro lado, bajo SD se encontró una mayor estabilidad de agregados (EA), aunque la conductividad hidráulica saturada (k_s) no presentó diferencias entre sistemas de labranza. Los valores de k_s en ambos sistemas de labranza no indicaban problemas para el movimiento del agua en el perfil. La inclusión de pasturas en la rotación provocó una mayor EA y se observó una tendencia a menores valores de DA. En el caso de la RM los efectos no fueron claros. Por ello, se puede afirmar que la inclusión de pasturas en la rotación asociada a un uso racional de las labranzas, permitiría manejar las propiedades físicas por debajo de umbrales críticos. No obstante, es necesaria la evaluación de propiedades físicas en sistemas de producción reales con diferentes texturas e historias de manejo que permitieran ampliar la plataforma de conocimiento respecto de la salud edáfica de los suelos del SEB.

Palabras clave | sistema de labranza,
rotación,
agricultura continua.

■ ABSTRACT

The tendency of a production system towards degradation or sustainability depends on management decisions and is directly linked to what happens in the soil. Soils from the southeastern area of Buenos Aires province (SEB) are characterized by high organic matter (MO) content and loamy surface texture, which would give them high resistance and possibly high resilience to changes through use. The aim of this chapter is to determine the effect of tillage systems (no-till; SD and conventional tillage; LC) and the inclusion of pastures in crop rotation on the soil physical properties in the SEB. Bulk density (BD) and penetration resistance (RM) increased under NT, compared to CT, but they did not reach a critical threshold for root growth. On the other hand, aggregate stability (EA) was higher under SD, although saturated hydraulic conductivity (k_s) was not affected by tillage systems. Under both tillage systems, k_s values indicated that water movement in the soil profile was not affected. The inclusion of pastures in crop-rotation increased EA and there was a trend towards lower DA values. Tillage system effect was not clear on RM. Hence, the inclusion of pastures in crop rotation along with rationally tilling would maintain the soil properties within acceptable limits. However, it is necessary to evaluate physical properties in real production systems with different soil textures and management histories that allow us to expand our knowledge on health of SEB soils.

Keywords | tillage system,
crop-rotation,
continuous cropping.

■ INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El suelo es un recurso no renovable, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. Su capacidad de proveer de bienes y servicios ecosistémicos es fundamental para el bienestar de la sociedad. Su pérdida potencial es un elemento importante de la vulnerabilidad ambiental (Mertz *et al.*, 2007) y el conocimiento de cómo se produce y de su magnitud, es clave para evaluar las alternativas de uso del suelo.


El estado del suelo es muy dinámico, y sus cambios responden al balance entre los efectos positivos y los efectos negativos que puedan producir las distintas prácticas agronómicas. La tendencia de un sistema de producción hacia la degradación o hacia la sostenibilidad depende de las decisiones de manejo y está directamente ligada a lo que suceda en el suelo (Studdert *et al.*, 2005). Un sistema de producción que pretenda ser sostenible debe contemplar las acciones necesarias para que el suelo pueda mantener y/o mejorar su condición y, con ello, la capacidad de permitir el desarrollo de los cultivos.

Unos de los procesos de degradación física de los suelos más importantes es la compactación. En sistemas bajo producción agrícola, la compactación es resultado del efecto repetido y acumulativo de fuerzas externas que actúan sobre él, tales como las labranzas continuas, las presiones generadas por el tráfico y el peso de vehículos e implementos agrícolas (Botta & Dagostino, 2001; Hamza & Anderson, 2005). La distribución de la compactación en el perfil será función de la textura, la carga aplicada, la presión ejercida por el rodado, el estado de humedad y la intensidad de tráfico recibida. Existe consenso respecto a que la presión en la zona de contacto rueda/suelo influye en la compactación superficial (Botta *et al.*, 2006). Sin embargo, la compactación subsuperficial, está directamente influenciada por el peso sobre el eje, independientemente del área de contacto rueda/suelo (Tolón Becerra *et al.*, 2009). La compactación afecta de forma negativa el funcionamiento del suelo, particularmente en lo que se refiere al almacenamiento, suministro y circulación de agua, el intercambio gaseoso y la provisión de nutrientes. Esto se manifiesta a través del aumento de la densidad aparente (DA) y de la alteración de la geometría y distribución de poros del suelo, lo que aumenta su resistencia mecánica a la penetración (RM) y disminuye la infiltración de agua (Hamza & Anderson, 2005). Por otro lado, tales modificaciones en las propiedades físicas del suelo pueden tener impacto a escala regional debido al efecto negativo sobre el balance hídrico, incrementándose las pérdidas de agua por escurrimiento y, en consecuencia, disminuyendo la recarga potencial de acuíferos o trasladando las zonas de recarga a posiciones relativamente más bajas del paisaje (Sasal, 2012).

A comienzos de la década del 70` en el Sudeste Bonaerense (SEB) se había empezado a vislumbrar un cambio en la estrategia de producción, pasando de sistemas de producción mixtos a sistemas predominantemente agrícolas, relegando la ganadería a las áreas marginales o de menor aptitud. Dicho proceso de “agriculturización” se realizó a través del uso prolongado de sistemas de labranza muy agresivos (labranza con arado de rejas o rastras de discos pesadas, LC). Además, con ciclos agrícolas cada vez más extensos y, en algunos casos, hacia el monocultivo de especies con bajo aporte de rastrojo como la soja (*Glicine max* L) (Studdert *et al.*, 1997; Studdert & Echeverría, 2000; Domínguez *et al.*, 2008). El laboreo incrementa la oxigenación del ambiente edáfico, el contacto de los restos con el suelo y la exposición de las fracciones de la materia orgánica (MO) protegida dentro de los agregados, promoviendo así la descomposición de los restos vegetales y la mineralización de la MO (Six *et al.*, 2000; Weil & Magdoff, 2004) y de los nutrientes asociados. El uso de LC en alta frecuencia e intensidad condujo

a un marcado deterioro de las propiedades físicas del suelo a través de la disminución de los niveles de MO con respecto a la situación prístina (Sainz Rozas *et al.*, 2011), a la pérdida de nutrientes y de la estabilidad estructural del suelo (Akinci *et al.*, 2004). Como consecuencia se verificaron procesos degradativos tales como la formación de costras y de capas compactadas, mayores tasas de escurrimiento y de pérdida de suelo por erosión hídrica y la menor capacidad de almacenamiento hídrico.

A partir de la década del 90' comienza la inclusión de sistemas de labranza conservacionistas, principalmente la siembra directa (SD). Dicho sistema es propuesto como una alternativa a los sistemas de cultivo convencionales debido a que busca mantener y conservar importantes niveles de cobertura en superficie aportada por los rastrojos de los cultivos, contribuir a controlar la erosión, incrementar el contenido de MO y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Thomas, 1995). Los rastrojos en superficie son considerados uno de los mayores beneficios de la SD sobre la conservación del suelo, ya que evitan el golpe directo de la gota de lluvia, disminuyen el escurrimiento, favorecen la infiltración y la conservación de la humedad, logrando de esta manera hacer un uso más eficiente del agua, recurso que en cultivos de secano es generalmente el factor limitante en la producción (Blevins & Frye, 1993). La reducción de la intensidad de laboreo favorece el mantenimiento o a la acumulación de MO en el suelo especialmente en su capa superficial por una reducción en las tasas de mineralización de la MO (Domínguez *et al.*, 2009), lo cual conduciría a una mejora en la condición superficial del suelo. La cobertura y la ausencia de remoción son condiciones a lograr en suelos agrícolas del SEB, debido a que poseen condiciones fisiográficas y climáticas predisponentes para la ocurrencia de erosión hídrica, particularmente durante los cultivos de verano (Studdert *et al.*, 2005). No obstante, es probable que los suelos bajo SD continua por más de dos años se encuentren en un estado de precompactación y, por lo tanto, tengan una suficiente capacidad portante como para soportar el tránsito normal sin aumentar su estado de compactación. Sin embargo, durante las operaciones que se realizan con equipos muy pesados, con altas presiones de inflado y/o con el suelo con alto contenido de agua, pueden provocar un aumento de la compactación de los suelos, generando condiciones edáficas desfavorables para el establecimiento y crecimiento de los cultivos (Botta & Dagostino, 2001).

Existen distintas estrategias para manejar la compactación en suelos agrícolas basadas en su prevención o en su remediación **Figura 1** . Tanto para prevenir como para remediar procesos de compactación es fundamental mantener una alta actividad biológica y alto contenido de MO en el suelo, de manera que se le confiera resistencia y se permita la resiliencia para hacer frente a las prácticas de manejo. El tiempo en que el suelo está bajo agricultura provoca una disminución de la MO que es directamente proporcional a la agresividad y al modo de uso de la labranza (Studdert & Echeverría, 2000) e inversamente a la cantidad de residuos devueltos (Domínguez *et al.*, 2009), con tasas diferentes según el tipo de suelo y el clima. Estrategias alternativas para secuestrar carbono en el suelo serían, entre otras, reducir la intensidad de laboreo (p.e. SD), mejorar e intensificar las combinaciones de cultivos, y/o convertir a pasturas (Studdert *et al.*, 2010). A través de la inclusión de pasturas, existe mayor producción de biomasa aérea y de raíces y una distribución homogénea de éstas dentro del suelo, estimulando la actividad biológica edáfica (Studdert *et al.*, 1997). Ello se traduce en mejoras en los niveles de COS y con ello en la salud física del suelo (Colombani, 2004; Eiza *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2008; Agostini *et al.*, 2014), siendo ambos aspectos muy importantes teniendo en cuenta las características edafoclimáticas y fisiográficas del SEB.

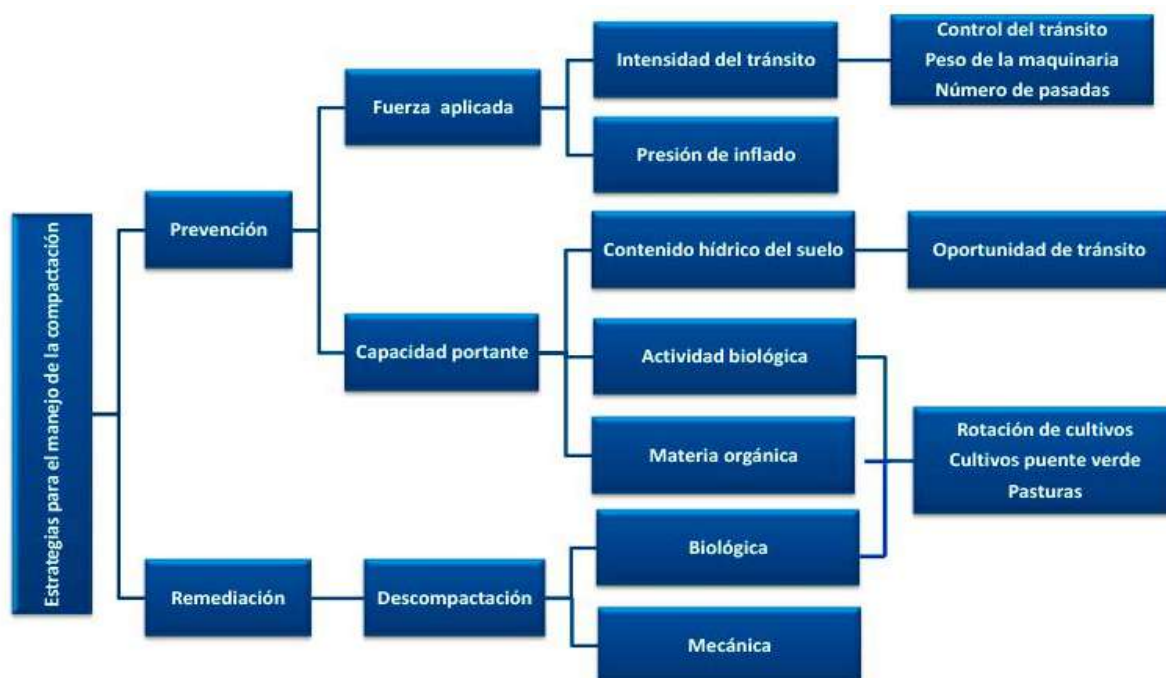


Figura 1: Estrategias de prevención y remediación de la compactación de suelos.
Adaptado de Álvarez & Fernández (2005).

Figure 1: Strategies for prevention and remediation of soil compaction.
Adapted by Álvarez & Fernandez (2005).

En la actualidad, los sistemas de producción en el SEB son principalmente agrícolas y en su mayoría bajo SD. Si bien existe información puntual sobre el impacto de los sistemas de labranza y/o secuencias de cultivo sobre la calidad edáfica de los suelos, no se ha planteado un análisis de las propiedades edáficas a nivel del SEB. El objetivo de este capítulo es establecer la magnitud del efecto de dos sistemas de labranza (SD y LC) y el impacto de la inclusión de pasturas en la rotación sobre las propiedades físicas edáficas. Dicho análisis es fundamental para determinar el efecto a largo plazo de las prácticas de manejo sobre el funcionamiento del sistema de producción.

■ DESCRIPCIÓN DEL SUDESTE BONAERENSE

El SEB comprende una zona que abarca los partidos de Tandil, Balcarce, Gral. Pueyrredón, Gral. Alvarado, Lobería y Necochea. De acuerdo con las características edafoclimáticas dicha región se subdivide en tres zonas: Zona 1) Área continental de los partidos de Lobería y Necochea; Zona 2) Área costera de los partidos de Necochea y Lobería y Zona 3) Área comprendida por los partidos de Gral. Pueyrredón, Gral. Alvarado, Balcarce y Tandil. En el presente capítulo, se recopilaron trabajos de la Zona 3 y de ahora en más cuando se hace referencia a “SEB” se hará referencia a la mencionada Zona. La misma posee una superficie de 1.206.162 ha, comprendiendo las sierras del sistema de Tandilla, las ondulaciones interserranas y pedemontanas. Presenta afloramientos rocosos y pedemontes formados por sedimentos loésicos colinados, con pendientes atenuadas a medida que se alejan de las sierras. Presenta un régimen hídrico subhúmedo/húmedo con una precipitación media anual del orden de los 960 mm. La temperatura media anual es de 13.3°C y el período medio libre de heladas abarca desde mediados de octubre a mediados de mayo (INTA, 2014).

■ DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS


Los suelos con aptitud agrícola del área de estudio son Molisoles con textura superficial franca, elevados contenidos de MO y debido a las condiciones fisiográficas y edafoclimáticas con alta predisposición a la erosión hídrica. No obstante, las características agroecológicas del área permiten una amplia diversidad de situaciones productivas y combinaciones de prácticas de manejo. Las restricciones más importantes que presentan estos suelos están dadas por las limitaciones de profundidad por la presencia de tosca o roca y por las pendientes pronunciadas ya mencionadas las cuales los exponen a procesos de erosión hídrica (INTA, 2014). En la **Tabla 1** , se presentan el tipo de suelo, serie y textura de los suelos estudiados en los trabajos seleccionados para la elaboración de este capítulo.

Tabla 1: Caracterización de los ensayos seleccionados para cada propiedad física (Cambio en el diámetro medio ponderado, densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración y conductividad hidráulica saturada): Referencia, localidad, tipo de suelo, serie, textura (del horizonte superficial), profundidad de muestreo (Prof.) y rotación de cultivos.

Table 1: Characterization of experimental sites for each soil physical property (Change in aggregate mean weight diameter, bulk density, penetration resistance and saturated hydraulic conductivity): Reference, location, type of soil, soil series, surface texture, depth of sampling (Prof.) and crop rotation.

Referencia	Localidad	Tipo de Suelo	Serie	Textura	Prof.	Rotación*
Cambio en el diámetro medio ponderado (mm)						
Ferreras <i>et al.</i> , 2000	Balcarce	Argiudol petrocálcico	Balcarce	Franco	3-20	T/S
Eiza <i>et al.</i> , 2006	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/pastura
Colombani, 2004	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Domínguez <i>et al.</i> , 2008	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Álvarez <i>et al.</i> , 2012	Gral. Pueyrredón	Argiudol típico		Franco limoso	0-20	Pastura
Agostini <i>et al.</i> , 2010a	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/G/T
Agostini <i>et al.</i> , 2010b	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Wyngaard <i>et al.</i> , 2010	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata		0-20	M/S/T
Costa <i>et al.</i> , 2015	Balcarce/Tandil/ Miramar/ Napaleofu	Argiudol típico Argiudol petrocálcico	Mar del Plata Tandil Tandil Azul		3-18	T/M/G
Deagustini, 2017	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Zubeldia, 2017 (inédito)	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Franco, 2017 (inédito)	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Conductividad hidráulica saturada (mm h⁻¹)						
Aparicio & Costa, 2000	Balcarce/ Tandil/ Miramar	Argiudol típico	Tandil		3-18	
Ferreras <i>et al.</i> , 2000	Balcarce	Argiudol típico	Balcarce	Franco	3-20	T/S
Colombani, 2004	Balcarce	Argiudol petrocálcico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Aparicio & Costa, 2007	Paraje San José	Argiudol típico		Franco arcillo-arenoso	3-18	
Agostini <i>et al.</i> , 2010a	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/G/T
Agostini <i>et al.</i> , 2014	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/ Pastura

Referencia	Localidad	Tipo de Suelo	Serie	Textura	Prof.	Rotación*
------------	-----------	---------------	-------	---------	-------	-----------

Densidad aparente (Mg m^{-3})

Aparicio & Costa, 2000	Balcarce/ Tandil/ Miramar	Argiudol típico	Tandil		3-18	
Ferreras <i>et al.</i> , 2000	Balcarce	Argiudol petrocálcico	Balcarce	Franco	3-20	T/S
Eiza <i>et al.</i> , 2006	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Colombani, 2004	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Aparicio & Costa, 2007	Paraje San José	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco arcilloso	3-18	
Domínguez <i>et al.</i> , 2008	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Agostini <i>et al.</i> , 2010a	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Agostini <i>et al.</i> , 2010b	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Domínguez <i>et al.</i> , 2009	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Wyngaard et al, 2010	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata			M/S/T
Costa <i>et al.</i> , 2015	Balcarce/ Tandil/ Miramar/ Napaleofu	Argiudol típico	Mar del Plata Tandil Tandil Azul	Franco arcilloso	3-18	T/M/G
Deagustini, 2017	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/G/T
Zubeldia, 2017 (inérito)	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Franco, 2017 (inérito)	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/G/T



Resistencia mecánica a la penetración (Mpa)

Aparicio & Costa, 2000	Balcarce/ Tandil/Miramar	Argiudol típico	Tandil		3-18	
Ferreras <i>et al.</i> , 2000	Balcarce	Argiudol petrocálcico	Balcarce	Franco	3-20	T/S
Santamaria, 2003	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Colombani, 2004	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Aparicio & Costa, 2007	Paraje San José	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco arcilloso	3-18	
Agostini <i>et al.</i> , 2010 ^a	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T
Agostini <i>et al.</i> , 2010b	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Agostini <i>et al.</i> , 2014	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Deagustini, 2017	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/G/T
Zubeldia, 2017 (inérito)	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/S/T/Pastura
Franco, 2017 (inérito)	Balcarce	Argiudol típico	Mar del Plata	Franco	0-20	M/G/T

* T: Trigo, M: Maíz: G: Girasol, S: Soja

■ COMPACTACIÓN EN SISTEMAS AGRÍCOLAS

Información de experiencias que permiten su caracterización

En los últimos 30 años, diferentes grupos de investigación del SEB han estudiado y evaluado el efecto de diferentes prácticas de manejo (sistemas de labranza y/ o secuencias de cultivos) sobre propiedades físicas edáficas. Se recopilaron trabajos con resultados de ensayos realizados en los partidos de Tandil, Balcarce (Balcarce y Napaleofú), General Pueyrredón y Gral. Alvarado (Miramar, Paraje San José) **Figura 2** , **Tabla 1** *. Se seleccionaron aquellos trabajos que reportaran información de DA, RM, estabilidad de agregados (EA; en términos de cambio en el diámetro medio ponderado; CDMp)

y conductividad hidráulica saturada (k_s). La información es reportada para el estrato 0-20 cm. Para la selección de la información se tuvo en cuenta: que los trabajos fueran generados por grupos de investigación pertenecientes a instituciones públicas; que los resultados provinieran de ensayos con diseño estadístico y repeticiones de tratamientos y que los sistemas de labranza comparados fueran LC y SD a igualdad del resto de las posibles prácticas de manejo aplicadas.

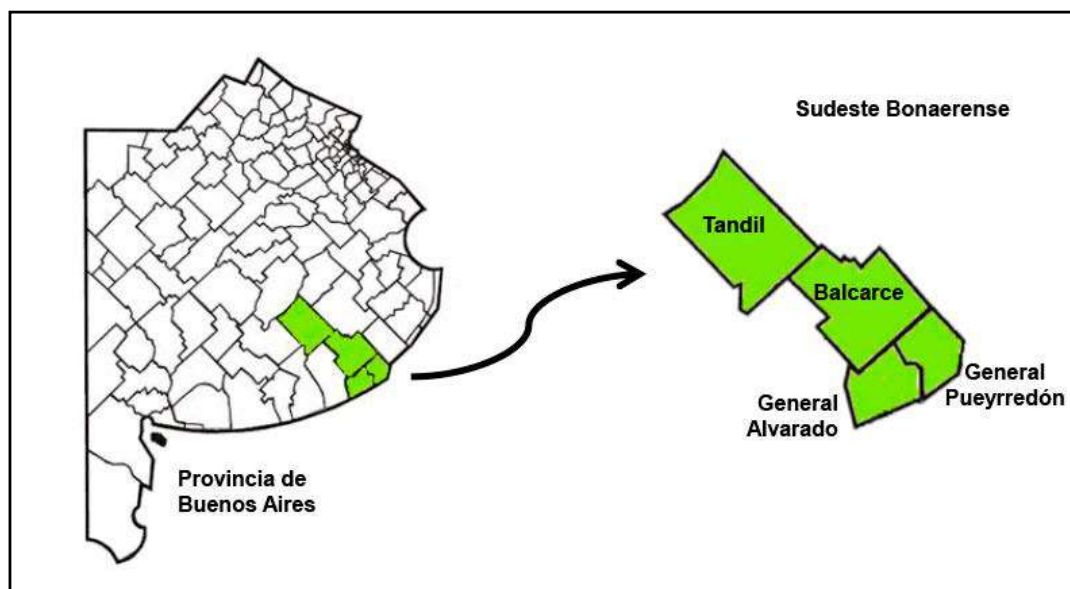


Figura 2: Ubicación del Sudeste Bonaerense, Argentina

Figure 2: Location of southeastern region of Buenos Aires Province, Argentine

Para cada una de las propiedades físicas edáficas se establecieron comparaciones entre los sistemas de labranza (SD y LC). Para ello se utilizó el test de comparación de pares de datos ($p < 0,05$) mediante el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013). Para evaluar el impacto de la adopción de la SD respecto a LC se establecieron relaciones por regresión lineal para cada una de las propiedades físicas edáficas entre ambos sistemas de labranza. Se estableció a la SD como variable dependiente y la LC como variable independiente. Las regresiones obtenidas se compararon con la línea 1:1. De esta forma cuando los datos quedaron ubicados más cerca de la línea 1:1 significó leve impacto del sistema de labranza, y cuanto más alejados mayor el efecto del sistema de labranza. En el caso, de la evaluación del efecto de la inclusión de pasturas en la rotación, se establecieron regresiones lineales entre las propiedades físicas evaluadas en función de los años bajo pastura.

■ EFECTO DE LAS LABRANZAS E INCLUSIÓN DE PASTURAS EN LA ROTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EDÁFICAS

Estabilidad de agregados

La estructura del suelo es una de las propiedades que más afectan la producción agrícola, ya que determina, junto con la textura, la forma en la que se mueve el agua y el aire en el suelo, y el crecimiento de las raíces. La EA es la habilidad del suelo para resistir la ruptura de agregados y puede reflejar su estado de degradación o recuperación. Las prácticas de manejo conservacionista generalmente mejoran la

agregación del suelo y su estabilidad. Así las labranzas y distintos aportes de residuos alteran los flujos de C al incidir sobre los mecanismos de formación, destrucción y reciclaje de macro- y microagregados en el suelo y de esta manera afectan la EA (Six *et al.*, 2002). La inclusión de la SD en los ensayos analizados (Tabla 1) implicó un aumento significativo de la EA (disminución del CDMP) bajo SD con respecto a LC **Figura 3** ©. Los valores promedio de CDMP fueron de 0,98 mm y de 1,30 mm para SD y LC, respectivamente. Los valores máximos y mínimos de CDMP para SD y LC fueron de 2,7 mm-0,43 mm y 3,10 mm-0,71 mm, respectivamente.

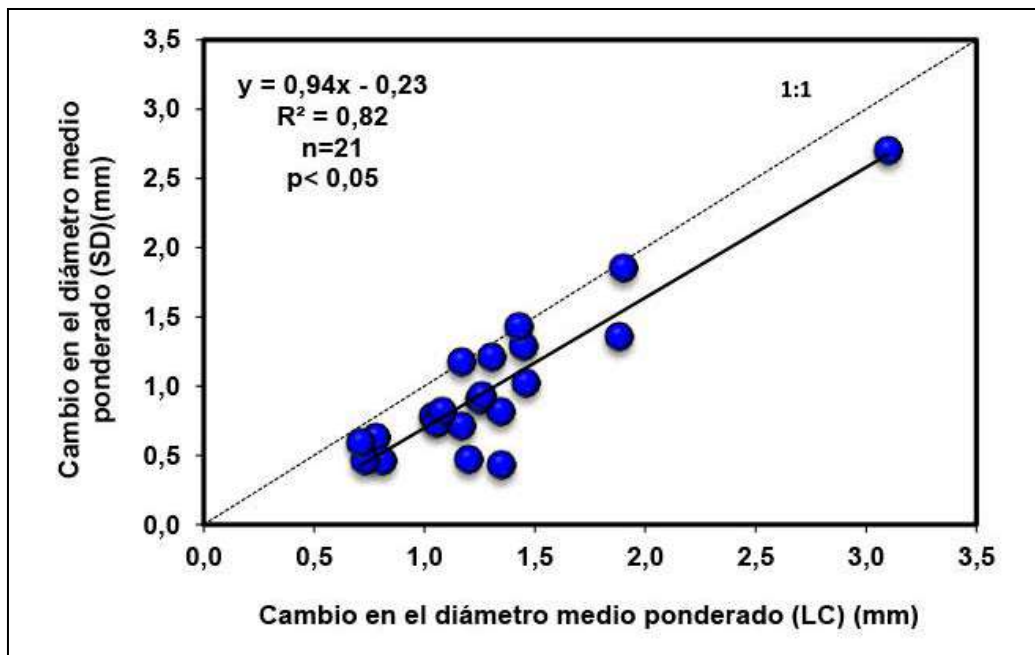


Figura 3: Relación entre cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

Figure 3: Relationship between change in aggregate mean weight diameter (CDMP) under no-till (SD) and conventional tillage (LC).

Si bien la utilización de SD puede contribuir a lograr una estructura física del suelo deseable, en situaciones donde se parte de una condición de suelo degradado, el impacto de dicho sistema no sería el esperado, al menos en el corto plazo. En este sentido, Ferreras *et al.* (2000), en una experiencia desarrollada en Balcarce, reportaron que la implementación de dos años de SD sobre un lote con una mala condición estructural inicial, con problemas de compactación, no alcanzó para mejorar la condición física del suelo. Por otro lado, Domínguez *et al.* (2008) informaron que luego de doce años desde la conversión del tratamiento bajo agricultura continua bajo LC a SD, no produjeron una recuperación de la EA ya que la SD conservó valores de EA similares a la situación con 30 años de agricultura bajo LC. Dicha situación no presentaba signos de degradación a pesar de su larga historia agrícola.

A partir del análisis de la información disponible, se pudo observar un aumento de la EA (disminución del CDMP) en la medida que se incrementaba los años bajo pastura **Figura 4** ©. Estudios llevados a cabo en Balcarce por Domínguez *et al.* (2008) indicaron que la inclusión de pasturas en rotaciones mixtas permitió recomponer los valores de EA reducidos durante el ciclo agrícola. Cuando se consideraron los sistemas de labranza durante el período agrícola (SD y LC), la SD provocó una menor tasa de caída de la EA respecto a LC. Por otro lado, Agostini *et al.* (2014), reportaron para los suelos de Balcarce que con la realización de

rotaciones que contemplen 3 años de pastura y 9 años de agricultura independientemente del sistema de labranza empleado, permitiría que el suelo mantuviera una EA similar a la de la situación de máxima intensificación (pastura continua). Los períodos bajo pastura significan mayor volumen y continuidad de producción de biomasa aérea y radical y mayor exploración del suelo por las raíces, estimulando la actividad biológica edáfica, produciendo, de esta manera, una recomposición de la condición física del suelo.

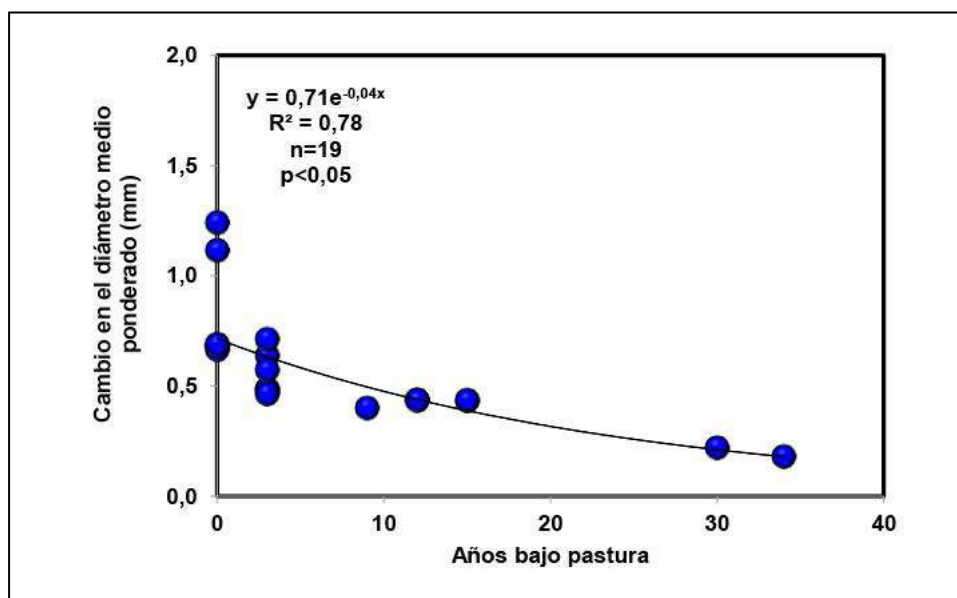


Figura 4: Cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) en función de los años bajo pastura.

Figure 4: Change in aggregate mean weight diameter (CDMP) as a function of years under pasture.


Infiltración

La modificación de la estructura a través del manejo de los suelos provoca, además, cambios en el número y en la geometría de los poros. Esta modificación en el espacio poroso repercute sobre la habilidad del suelo para transmitir agua a través de su perfil, la que puede ser caracterizada a través de la conductividad hidráulica bajo saturación (k_s) (Wu *et al.*, 1999). Bajo SD sería esperable una mayor infiltración asociado a una mayor formación y preservación de bioporos debidas a la actividad de la fauna edáfica y la actividad de las raíces (Hubert *et al.*, 2007). Por otro lado, Costa *et al.* (2015) reportaron que cuando el flujo de agua se desarrolla a través de los macroporos, no se producen diferencias entre sistemas de labranza. Sin embargo, cuando el flujo de agua se produce a través de mesoporos, la k_s disminuye. A partir del análisis de la información disponible, no se encontraron diferencias entre sistemas de labranza sobre la k_s , aunque se observó una tendencia a mayores valores bajo LC con respecto a SD. En promedio la k_s bajo SD fue de 37,9 mm h⁻¹ mientras que bajo LC fue de 52,5 mm h⁻¹. Los valores máximos y mínimos fueron de 133,8-0,3 mm h⁻¹ y de 138,0-0,8 mm h⁻¹ para SD y LC, respectivamente. La ausencia de diferencias podría estar relacionada a la alta variabilidad en los datos y al bajo número de datos disponible (n=8). Si bien la SD tuvo los menores valores de k_s , éstos se correspondieron con una tasa de infiltración en condiciones de saturación que no representarían problemas para el movimiento del agua en el perfil.

Con respecto a la inclusión de pasturas en la rotación, en Balcarce, Agostini *et al.* (2010b) y Zubeldia (comunicación personal) reportaron una mayor k_s en aquellas situaciones con mayor proporción de

pasturas en la rotación, independientemente del sistema de labranza. No obstante, bajo SD observaron una tendencia a mayor k_s . Por otro lado, Colombani (2004) no obtuvo diferencias entre situaciones bajo agricultura continua con respecto a aquellas con rotación con pasturas. No obstante, observó una menor k_s cuando la rotación incluía pasturas, posiblemente debido a la gran masa de raíces formadas que ocupan gran parte del espacio poroso del suelo, particularmente los macroporos.

Densidad aparente

La DA es uno de los parámetros físicos utilizados para caracterizar la condición física del suelo (Aparicio & Costa, 2007). Aumentos en la DA se asocian a ambientes edáficos más pobres para el crecimiento de las raíces, debido a la reducción de la aireación y al aumento de la resistencia a la penetración, y a la generación de cambios no deseados en las funciones hidrológicas, tales como la infiltración y la percolación (Hamza & Anderson, 2005). Dicho deterioro en las propiedades depende de la magnitud en el incremento de la DA. En los ensayos analizados, se detectó un incremento significativo de la DA en aquellas situaciones bajo SD ($1,28 \text{ Mg m}^{-3}$) con respecto a aquellas bajo LC ($1,24 \text{ Mg m}^{-3}$). Los valores máximos y mínimos de DA fueron de $1,44$ - $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$ y de $1,46$ - $1,13 \text{ Mg m}^{-3}$ para SD y LC, respectivamente. En la **Figura 5** , se observa que la DA bajo SD se incrementó en aquellas situaciones donde los valores de DA bajo LC estaban por debajo de $1,34 \text{ Mg m}^{-3}$. Por encima de dicho valor, la adopción de la SD no tuvo efecto sobre la DA. En general, se observó una tendencia de los suelos con baja DA a sufrir compactación al adoptarse la SD. Cabe destacar que los valores máximos reportados en la bibliografía recopilada para este trabajo fueron de alrededor de $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$. Dicha situación corresponde a un suelo altamente degradado en el cual la inclusión de la SD no provocó un cambio en la DA (Ferrerías *et al.*, 2000).

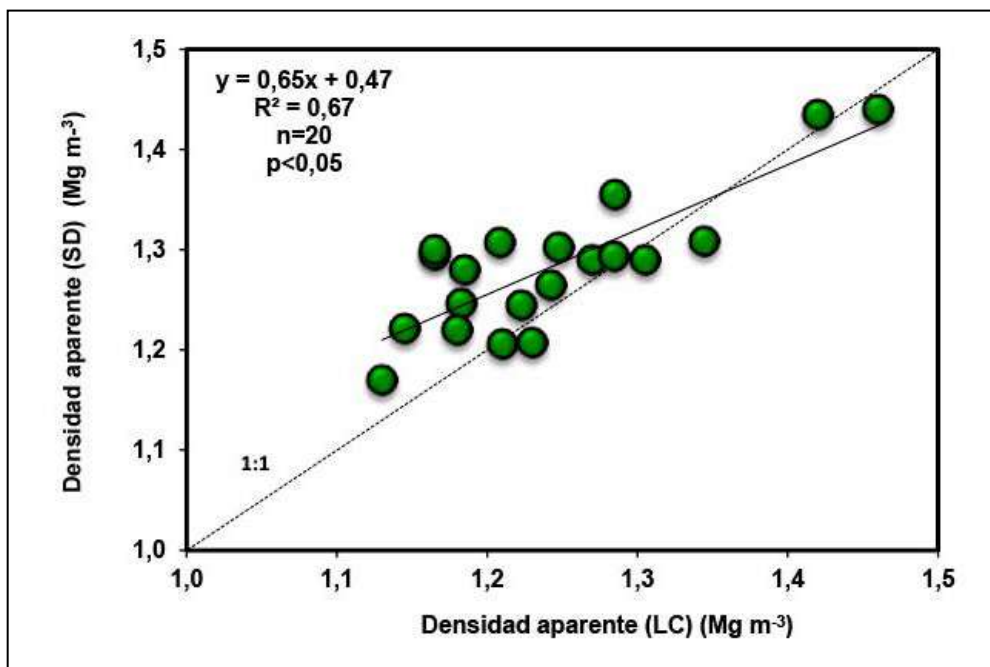



Figura 5: Relación entre la densidad aparente (DA) bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

Figure 5: Relationship between Bulk density (DA) under no-till (SD) and conventional tillage (LC).

Por otro lado, estudios llevados a cabo en Balcarce, por Deagustini (2017), Zubeldia (2017, comunicación personal) y Franco (2017, comunicación personal) reportaron un incremento de la DA bajo LC

en los primeros 5 cm de suelo con respecto a SD en ensayos de larga duración. Estos autores lo atribuyeron 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 por el cual se aumenta la macroporosidad, al mismo tiempo se expone a la MO a una mayor mineralización y con el tiempo se va produciendo un reacomodamiento de las partículas del suelo con el posible consecuente aumento de la DA (Costa *et al.*, 2015).

En el caso de la inclusión de pasturas en la rotación, se pudo observar una tendencia a menores valores de DA en la medida que se incrementó el tiempo bajo pastura **Figura 6** , aunque el coeficiente de determinación fue bajo. Para suelos de Balcarce, Agostini *et al.* (2014) reportaron que con la realización de rotaciones contemplando 3 años de pastura y 9 años de agricultura independientemente del sistema de labranza empleado, permitiría que el suelo mantuviera valores de DA similares a los de la situación de máxima intensificación (pastura continua).

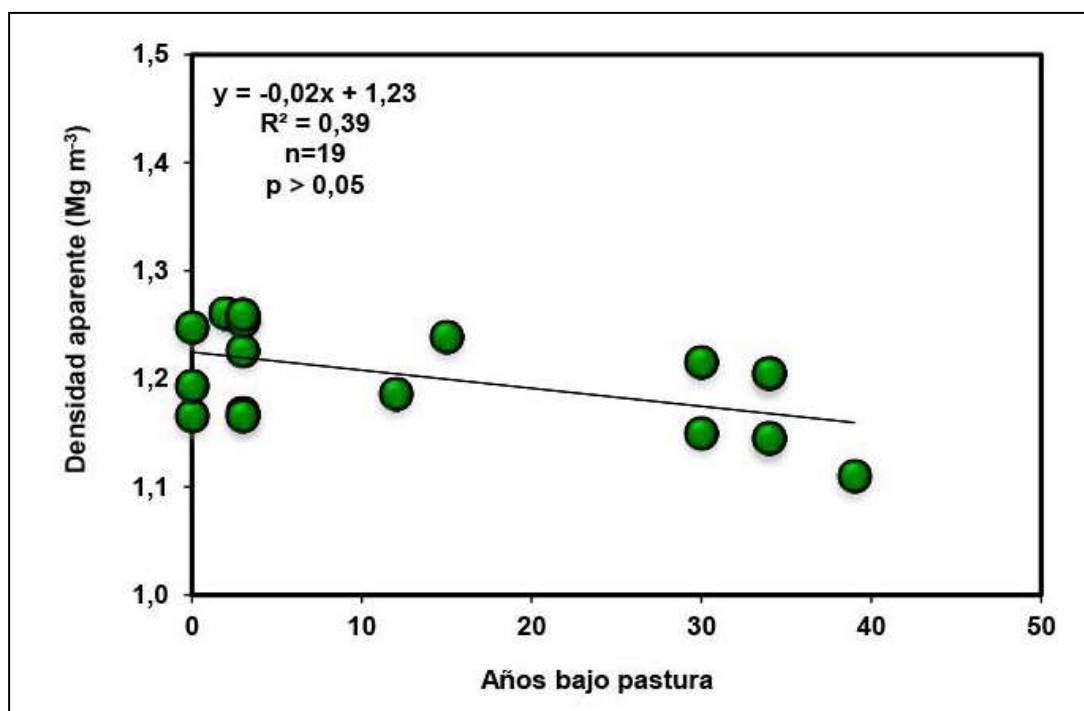



Figura 6: Densidad aparente (DA) en función de los años bajo pastura.

Figure 6: Bulk density (DA) as a function of years under pasture.

Resistencia mecánica a la penetración

Otra de las variables edáficas indicadora de compactación es la RM. Si bien la RM se considera más sensible que la DA para diferenciar el efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas edáficas, los resultados hallados son contradictorios. El penetrómetro realiza una trayectoria lineal a través del suelo lo que puede llegar a sobreestimar los resultados, debido a que no representa fielmente el comportamiento de la raíz en el suelo. Por un lado las raíces se desarrollan a través del sistema poroso mientras que el penetrómetro se desliza rompiendo agregados siendo de esta manera sobreestimada la dificultad de crecimiento de las raíces. Por otro lado, en situaciones donde se realizan mediciones con sistemas radiculares muy densos, el propio sistema le confiere resistencia al paso de cono del penetrómetro. En los trabajos analizados, la SD incrementó significativamente la RM con respecto a LC **Figura 7** .

Los valores promedio de RM fueron de 1,38 Mpa y 1,09 Mpa, para SD y LC, respectivamente. Si bien bajo SD, se produjo mayor densificación, muy pocas situaciones presentaron valores de RM mayores que los 2 MPa reportados por la bibliografía como valor umbral para el desarrollo radical de los cultivos (Threadgill, 1982). Cabe destacar, que si bien se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad entre sistemas de labranza ($29,7 \pm 6,0$ %v/v y $28,3 \pm 5,4$ %v/v, para SD y LC, respectivamente), la magnitud de la diferencia fue pequeña y con valores cercanos a capacidad de campo. Por otro lado, no se encontró relación significativa entre la RM y la humedad gravimétrica para cada sistema de labranza. Por ello, se considera que las diferencias en el contenido de humedad no afectaron los valores de RM, sino el sistema de labranza empleado.

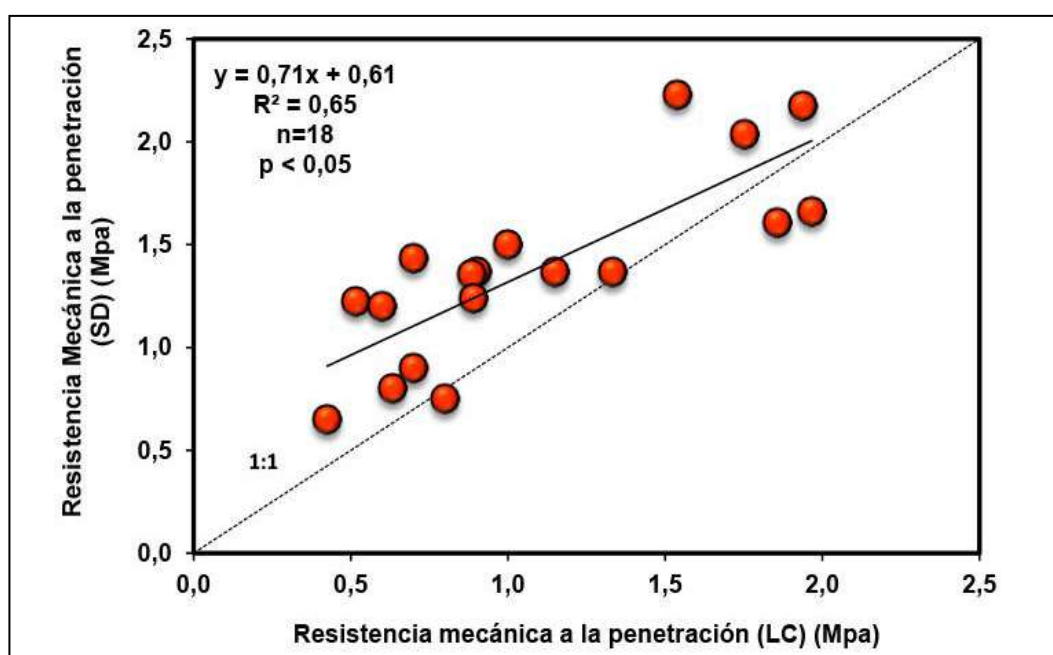


Figura 7: Relación entre la resistencia mecánica a la penetración (RM) bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

Figure 7: Relationship between Penetration resistance (RM) under no till (SD) and conventional tillage (LC).

A partir de la información disponible, no se encontró una clara tendencia del comportamiento de la RM en función de los años de pastura. Estudios llevados a cabo en Balcarce, han mostrado resultados contrapuestos al incluir pasturas en la rotación. Por un lado, Colombani (2004), Agostini *et al.* (2014) y Zubeldia (comunicación personal) reportaron un incremento de la RM en aquellas situaciones con rotación de pasturas. Ello fue atribuido a un efecto del entramado de raíces sobre el cono del penetrómetro durante la medición, más que un incremento en la dureza del suelo. Por otro lado, Santamaría (2003) informó menores valores de RMP para rotaciones con pasturas en comparación con agricultura continua respectivamente para SD y LC.

■ CONCLUSIONES

Los suelos del SEB se caracterizan por altos contenido de MO y textura superficial franca, lo que le conferiría alta resistencia y posiblemente alta resiliencia a los cambios por el uso. La cobertura y la ausencia de remoción son condiciones a lograr en suelos agrícolas del SEB, debido a que poseen con-

diciones fisiográficas y edafoclimáticas predisponentes para la ocurrencia de erosión hídrica, particularmente durante los cultivos de verano. Por ello, la mayor parte de la agricultura se realiza bajo el sistema de SD. A partir de la información analizada en este capítulo, se pudo observar que bajo SD los valores de DA y de RM, se incrementaron con respecto a LC, pero en ningún caso superaron los umbrales críticos establecidos en la bibliografía. Por otro lado, bajo este sistema de labranza se encontró una mayor EA (en términos de menor CDMP), aunque la k_s no fue afectada. Los valores de k_s en ambos sistemas de labranza no indicaban problemas para el movimiento del agua en el perfil. Cuando fue evaluada la inclusión de pasturas en la rotación, se pudo detectar un efecto beneficioso sobre la DA y la EA. En el caso de la RM los efectos no son tan claros. A partir de los resultados presentados en este capítulo, se puede afirmar que la inclusión de pasturas en la rotación asociada a un uso racional de las labranzas, permitiría manejar las propiedades físicas por debajo de umbrales críticos.

Sin embargo, la información recopilada en el presente capítulo representa en parte lo que ocurre en sistemas de producción reales del SEB, en los cuales ocurren situaciones tales como secuencias de cultivos sin la inclusión de pasturas, largos períodos de uso agrícola con monocultivos de especies con bajo aporte de residuos (p.e soja y girasol), sistemas de labranzas muy agresivos (sistemas de producción de papa), o tránsito del suelo en condiciones de alta humedad. En estas condiciones, de las cuales no hay reportes bibliográficos, se puede esperar que aunque se traten de suelos de alto contenido de MO y de textura franca, puedan darse procesos de degradación importantes tales como la compactación. Por ello, se considera necesaria la evaluación de las propiedades edáficas en sistemas de producción reales con diferentes texturas e historias de manejo que permitieran ampliar la plataforma de conocimiento sobre la presencia o no de compactación en suelos del SEB. Esta información más la recopilada de ensayos experimentales es fundamental para entender el efecto a largo plazo de las prácticas de manejo sobre el funcionamiento del sistema de producción y para hacer recomendaciones de manejo.

■ AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos de proyectos de investigación de la Universidad Nacional de Mar del Plata (AGR 481/15 y AGR 518/16), de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 2012-1092) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (PNCYO 1127032).

■ BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, MA; GA Studdert & GF Dominguez. 2010a. 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". 31 de mayo a 4 de junio de 2010, Rosario, Santa Fe. En CD.
- Agostini, MA; GA Studdert & GF Domínguez. 2010b. Cambios en algunas propiedades físicas de un suelo del Sudeste Bonaerense asociados a distintos sistemas de cultivo. Actas "XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo". 31 de mayo a 4 de junio de 2010, Rosario, Santa Fe. En CD
- Agostini, MA; GF Domínguez; GA Studdert & SN Tourn. 2014. Intensificación del uso del suelo en el sudeste bonaerense: impacto sobre algunas variables edáficas. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". 5 al 9 de mayo de 2014. Bahía Blanca, Buenos Aires. En CD.
- Akinci, I; E Cakir; M Topakci; M Canakci & O Imam. 2004. The effect of subsoiling on soil resistance and cotton yield. *Soil Till. Res.* 77:203-210.

- Álvarez, C & PL Fernandez, A. 2005. La Compactación de los Suelos bajo Agricultura. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/compactacion-suelos-bajo-agricultura-t32371.htm>. Fecha de último acceso: Marzo de 2017.
- Álvarez, MF; ML Osterrieth & JL del Rio. 2012. Changes on aggregates morphology and roughness induced by different uses of Typical Argiudolls, Buenos Aires province, Argentina. *Soil Till. Res.* 119:38-49.
- Aparicio, V & JL Costa. 2000. Efecto de labranzas en las propiedades hidráulicas de suelos del sudeste bonaerense usando infiltrometros de tensión. Actas "XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo". 11 al 14 de abril de 2000. Mar del Plata, Buenos Aires. En CD.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165
- Blevins, RL & WW Frye. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51:33-78.
- Botta, G & C Dagostino. 2001. Compactación del suelo producida por el tráfico agrícola en Forrajes y Granos Agribusiness Journal Serie de Producción Agrícola. Tomo 2. 90 pp.
- Botta, GF; D Jorajuria; HG Rosatto & C Ferrero. 2006. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.* 86:9-14.
- Colombani, E. 2004. Evaluación de propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense bajo distintos manejos. Tesis de graduación. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 50 pp.
- 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*, 6:361–371.
- Deagustini, C. 2017. Vicia como cultivo puente y sistemas de labranza: efecto sobre propiedades físicas del suelo. Tesis de graduación. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 39 pp.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- 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". 13 a 16 de mayo. Potrero de los Funes, San Luis. 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.* 102:93-100.
- Efficiency of environmental resources. *Americas J. Plant Sci. Biotech.* 3:1-8.
- Eiza, MJ; GA Studdert; N Fioriti & GF Dominguez. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. Actas "XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo". 19 al 22 de septiembre. Salta-Jujuy. En CD
- Ferreras, LA; JL Costa; FO García & C Pecorari. 2000. Effect of no-till on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54:31-39.
- Hamza, MA. & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82:121-145.
- Hubert, FV; P Hallaire; L Sardini; L Caner & D Heddadj. 2007. Pore morphology changes under tillage and no tillage practices. *Geoderma* 142:226-236.
- INTA. 2014. Zonas Agroecológicas III y IV del área de influencia EEA Balcarce. <http://inta.gob.ar/documentos/zonas-agroecologicas-iii-y-iv-del-area-de-influencia-eea-balcarce>. Fecha último acceso: mayo de 2017.
- Mertz, O; H Ravnborg; G Löve; I Nielsen & C Konijnendijk. 2007. Ecosystem services and biodiversity in developing countries. *Biodivers Conserv* 16:2729-2737
- Sainz Rozas, H.; H Echeverría & H Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Informaciones Agronómicas*. 2: 1-5.

- Santamaria, SM. 2003. Sistemas de labranza y fertilización nitrogenada en trigo (*Triticum aestivum*) bajo distintas historias agrícolas. Tesis de graduación. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 54 pp.
- Sasal, MC. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 197 pp.
- Six, J.; ET Elliott & K Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2099-2103.
- Six, J.; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241:155-176.
- Studdert, GA. & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, GA; HE Echeverría & EM Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1466-1472.
- 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. Actas Simposio "Impacto de la Intensificación de la agricultura sobre el recurso suelo". Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo- Sociedad Argentina de la Ciencia del Suelo. Colonia del Sacramento, Uruguay. 6 y 7 de octubre, 2005. En CD.
- Studdert, GA; GF Dominguez; MA Agostini & MG Monterubbianesi. 2010. Cropping systems to manage Southeastern Pampas' Mollisol health. I. Organic C and mineralizable N. In Liu, X.; Song, C.; Cruse, R.M.; Huffman, T. (Eds.) "New Advances in Research and Management of World Mollisols, Pp. 199-200. Proc. Int. Sym. on Soil Quality and Manag. of World Mollisols", Harbin, Heilongjiang, R.P. China.
- Thomas, GW. 1995. Análisis de la sustentabilidad del sistema de siembra directa en comparación con la labranza convencional. En: Puignau, JP.; H Causarano & J Schvartzman. (eds). Diálogo XLIV. Avances en siembra directa. Pp. 15-45. IICA. Montevideo, Uruguay.
- Tolon Becerra, A; GF Botta; X Lastra Bravo; M Tourn; F Bellora Melcon; J Vazquez; D Rivero; P Linares & G Nardon. 2009. Soil compaction distribution under tractor traffic in almond (*Prunus amygdalus* L.) orchard in Almería España. *Soil Till Res.* 107:49-56.
- Threadgill, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transact. ASAE*, 25:859-863.
- Weil, RR & F Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. En: Magdoff, F & RR Weil (eds.), Soil organic matter in sustainable agriculture. Pp. 67-102. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA,
- Wu L; L Pan; J Mitchell & B Sanden. 1999. Measuring saturated hydraulic conductivity using a generalized solution for single-ring infiltrometers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:780-792.
- Wyngaard, N; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & GA Divito. 2010. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. *Soil Till. Res.* 119:22-30.