

## SECUENCIAS DE CULTIVOS CON PREDOMINIO DE SOJA: EFECTO SOBRE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICA DEL SUELO

JUAN PABLO MARTÍNEZ<sup>1</sup>, CECILIA CRESPO<sup>1-2</sup>, MATIAS TOMÁS CUERVO<sup>1</sup>,  
HERNÁN RENÉ SAINZ ROZAS<sup>1-2</sup>, HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA<sup>1</sup>, FERNANDO MARTÍNEZ<sup>3</sup>,  
GRACIELA CORDONE<sup>3</sup>, PABLO ANDRÉS BARBIERI<sup>1-2-\*</sup>

Recibido: 13/4/2020

Recibido con revisiones: 17/7/2020

Aceptado: 25/10/2020

### RESUMEN

El aumento en la frecuencia del cultivo de soja y de su monocultivo puede provocar disminuciones en la materia orgánica del suelo (MO) y afectar sus propiedades físicas. Sin embargo, prácticas de manejo como la fertilización, la rotación con cultivos de mayor volumen de residuos y el aumento en el índice de intensificación de secuencias (ISI), podrían revertir esta situación. El objetivo de este trabajo, fue evaluar la inclusión de diferentes prácticas de manejo de secuencias de cultivos con predominio del cultivo de soja sobre propiedades físicas del suelo en dos sitios de la Región Pampeana (Arequito y Balcarce). En ambos sitios, se determinó la densidad aparente (Dap) y la estabilidad de los agregados (EA). Además, en Balcarce, la resistencia mecánica a la penetración (RMP) y la tasa de infiltración (TI). Las determinaciones se realizaron luego de 4 años de implementación de los siguientes tratamientos: soja sin fertilización; soja con fósforo (P) y azufre (S); cultivo de cobertura (CC) / soja con P y S; CC con nitrógeno (N) / soja con P y S; rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S: maíz - trigo/soja 2° - CC/soja. En ambos sitios, la Dap (0-5 y 5-10 cm) y la EA (0-10 cm), no difirieron significativamente entre las alternativas de manejo. Por otra parte, para el sitio Balcarce la RMP (0 a 20 cm) y la TI no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados de esta experiencia indican que, en secuencias con predominio de soja, la fertilización con P y S, la inclusión de CC y una rotación con alto ISI, luego de 4 años de desarrollo, no afectaron en forma significativa los indicadores de calidad física de suelo.

**Palabras clave:** Cultivos cobertura; densidad aparente; estabilidad de agregados; resistencia mecánica a la penetración; infiltración.

## SOYBEAN-DOMINATED CROP SEQUENCES: EFFECT ON PHYSICAL SOIL QUALITY INDICATORS

### ABSTRACT

The increased in frequency of soybean monoculture can lead to decreases in soil organic matter and affect soil physical properties. However, management practices such as fertilization, crop rotation with high biomass production and increases intensification sequence index (ISI) could partially offset agriculture negative effects. The aim of this work was to evaluate the effect of inclusion of different crops sequence management with soybean predominance on soil physical properties. The experiments were carried out at two sites of Pampas Region (Arequito and Balcarce): In both sites, different alternatives management effects on bulk density (Dap) and aggregate stability (EA) previous to soybean sown were evaluated. Additionally, mechanical resistance to penetration (RMP) and infiltration rate (TI) were evaluated only in Balcarce. The determinations were performed after 4 years of implementation of following treatments: soybean without fertilization (Sj); soybean with phosphorus (P) and sulfur (S) (Sj<sub>P</sub>); cover crop (CC) / soybean with P and S (CC/Sj<sub>P</sub>); CC with nitrogen (N) / soybean with P and S (CC<sub>N</sub>/Sj<sub>P</sub>); high ISI rotation fertilized with N, P and S: wheat/soybean 2° - CC / soybean (Rotation). In both sites, Dap (0-5 and 5-10 cm soil depth) and AE values (0-10 cm soil depth) was not significantly different between crops sequence management practices. On the other hand, RMP (0 to 20 cm soil depth) and TI were not significantly different between treatments at Balcarce site. The results our experiment indicate that after 4 years of sequences with soybean predominance, P and S fertilization, CC inclusion, and rotation with high ISI, did not significantly affected soil physical quality indexes.

**Key words:** Cover crops; bulk density; aggregate stability; mechanical penetration resistance; infiltration.

1 Unidad Integrada Balcarce. Argentina

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina

\* Autor de contacto: barbieri.pablo@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

La superficie sembrada con soja se ha incrementado en los últimos años, abarcando en la actualidad cerca del 50% de la superficie total cultivada, mientras que la destinada a cultivos invernales ha descendido a alrededor del 20% (Bolsa de cereales, 2019). El cultivo de soja, si bien es capaz de mantener rendimientos relativamente elevados en condiciones de baja fertilidad, presenta una elevada extracción de nutrientes, que no son repuestos comúnmente por fertilización. El aumento de la frecuencia del cultivo de soja en la rotación, debido a la escasa biomasa de residuos que aporta y la baja relación C/N de los mismos, puede llevar a una pérdida de la materia orgánica (MO) del suelo (Studdert & Echeverría, 2000). La MO es considerada uno de los principales componentes del suelo ya que afecta directa o indirectamente muchos de los parámetros que definen su calidad, alterando la productividad del suelo y, por lo tanto, la sustentabilidad del sistema de producción (Martínez, 2002).

Teniendo en cuenta la disminución en los niveles de MO en los suelos de la región pampeana, debido a la intensificación agrícola (Sainz Rosas *et al.*, 2011), es necesaria la identificación de sistemas de manejo que permitan un adecuado aporte de carbono (C) y nutrientes en secuencias basadas en el cultivo de soja. Una forma de aumentar la producción de biomasa y, en consecuencia, la entrada de C al sistema, sería la intensificación sustentable del sistema de producción, mediante el aumento del número de cultivos por año (Caviglia & Andrade, 2010). De esta manera, se aumenta la captación de los recursos disponibles como el agua y la radiación, lo que se asocia con una mayor productividad por unidad de superficie y, por lo tanto, un aumento en el aporte de residuos al suelo (Caviglia *et al.*, 2004). En tal sentido, el índice de intensificación de las secuencias de cultivos (ISI) indica la cantidad de cultivos por año en una secuencia, y se relaciona positivamente con la eficiencia en el uso de los recursos (Caviglia & Andrade, 2010). En este contexto, la rotación con cultivos de mayor aporte de residuos y mayor relación C/N, el empleo de cultivos de cobertura (CC), sumado a una adecuada fertilización con fósforo (P), azu-

fre (S) y nitrógeno (N), aumenta la cantidad de C devuelto al suelo permitiendo mejorar su calidad (Martínez *et al.*, 2020).

La utilización de CC, es también considerada una alternativa para mejorar la calidad física del suelo (Steele *et al.*, 2012; Hubbard *et al.*, 2013). Para la evaluación de esta propiedad, se utilizan indicadores de calidad física del suelo, los cuales deben ser capaces de permitir identificar alteraciones producidas por diferentes manejos. Estos indicadores tienen una alta relación con el contenido de MO, el sistema de labranza y la secuencia de cultivos (Aparicio & Costa, 2007; Agostini *et al.*, 2012; Blanco-Canqui *et al.*, 2013). La densidad aparente (Dap) es un indicador físico de calidad de suelo relacionado con la compactación del mismo, y también está asociado con el contenido de carbono orgánico (CO) (Álvarez *et al.*, 2009). Esto es debido a que el CO tiene un efecto positivo sobre la formación y dinámica de los agregados del suelo (Six *et al.*, 2004) y, por ende, contribuye a generar un mayor y estable espacio poroso. La mayor porosidad del suelo como consecuencia de una mejor estructuración y una menor compactación contribuiría a hacer un uso más eficiente del recurso agua. Además, un suelo con menor grado o nula compactación, presenta una menor resistencia mecánica a la penetración (RMP) generando condiciones más apropiadas para el desarrollo radical (Taboada *et al.*, 2010; Calonego & Resolem, 2010).

La estabilidad de los agregados (EA) se refiere a la capacidad del suelo para mantener la arquitectura de la fase sólida y la organización del espacio poroso cuando es expuesto a diferentes tipos de estrés (Kay, 1990). Uno de los efectos más frecuentes del deterioro de calidad física es la formación de capas compactadas. Esto, en algunas situaciones, se manifiesta en un aumento de la Dap, y a su vez, al alterar la geometría y la distribución de los poros puede conducir a aumentos en la resistencia mecánica a la penetración RMP y disminuciones en la tasa de infiltración (TI) (Hamza & Anderson, 2005). La escasa cobertura del suelo por residuos sumado a la baja estabilidad estructural puede generar además encostramiento superficial como consecuencia del impacto de las gotas de lluvia, lo cual puede disminuir drásticamente la TI (Taboada *et al.*, 2010).

Esto tendría como consecuencia un aumento en el escurrimiento del agua de las precipitaciones y una menor cantidad de agua ingresada al suelo (menor precipitación efectiva).

En los suelos limosos del Norte de la Región Pampeana bajo el sistema de siembra directa (SD)SD, se ha reportado la formación de una estructura laminar de los agregados en los primeros 10 cm del suelo, la cual restringe el ingreso de agua (Sasal *et al.*, 2006; Alvarez *et al.*, 2009, Sasal, 2012). Sin embargo, el aumento del ISI de las secuencias disminuye la proporción de estructura laminar en el suelo y esto fue asociado a la mayor cantidad de tiempo en que hay raíces activas, las cuales tienen una alta capacidad de reestructuración (Sasal, 2012). En Argiudoles del Sudeste Bonaerense, Tourn *et al.* (2014) reportaron que la inclusión de CC como antecesores de maíz no tuvo efecto en el corto plazo sobre la Dap y la RMP Sin embargo, en su estudio los CC registraron una baja producción de biomasa lo cual podría haber condicionado dicho efecto. Por otro lado, en Argiudoles de la Pampa Ondulada, caracterizados por un menor contenido de CO inicial, Restovich *et al.* (2011) reportaron que secuencias que incluyeron CC provocaron aumentos en el CO y mejoras en la porosidad del suelo en el corto plazo (1 y 2 años), aunque no registraron cambios consistentes en la EA.

Martínez *et al.*, 2020. informaron que la inclusión de CC o la rotación de cultivos de alto ISI mejoraron el balance de C en suelos bajo secuencias de cultivo con predominio de soja. Sin embargo, se desconoce el impacto que estas prácticas de manejo pueden tener sobre las propiedades físicas del suelo. En tal sentido el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto sobre la EA, la Dap, la RMP y la TI del suelo, de diferentes alternativas de manejo de secuencias de cultivos con predominio de soja bajo SD, establecidas sobre Argiudoles con prolongada historia agrícola del sur de Santa Fe (Arequito) y sudeste de Buenos Aires (Balcarce).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó sobre dos ensayos de larga duración uno iniciado en 2007 en Arequito, Caseros, Santa

Fe sobre un Argiudol típico con menos de 2 % de pendiente de textura superficial franco-limosa (Are) y otro iniciado en 2006 en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Balcarce, Buenos Aires, sobre un Argiudol Típico con menos de 2 % de pendiente y textura superficial franca (Bce). El sitio Are correspondió a una zona con prolongada historia agrícola (más de 50 años de agricultura continua inicialmente bajo labranza convencional (LC) y en los últimos 20 años bajo SD, predominando los cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.) y soja desde inicios de la década del 70 hasta mediados de la década del 80, momento en el cual la soja paso a ser el cultivo predominante (Martínez, F., com. pers., 2014). El sitio Bce presentaba más de 25 años de agricultura continua bajo LC, siendo los cultivos de trigo y soja los más utilizados y en menor proporción el maíz (*Zea mays* L.) (Barbieri, P., com. pers., 2011). Los suelos donde se establecieron los ensayos en ambos sitios, presentaban signos de degradación física, como los valores relativamente elevados de densidad aparente en los primeros 10 cm del perfil (**Tabla 1**) y la presencia de encostramiento superficial, lo que puede estar asociado al relativamente bajo contenido de CO respecto a los valores originales de cada región (Sainz Rosas *et al.*, 2011) (**Tabla 1**).

Para cada sitio, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones que incluyeron los siguientes tratamientos: soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sj<sub>F</sub>); CC / soja con P y S (CC/Sj<sub>F</sub>); CC fertilizado con N / soja con P y S (CC<sub>F</sub>/Sj<sub>F</sub>); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot) que incluye los cultivos de maíz (Mz); doble cultivo trigo (Tr) / soja de segunda (Tr/Sj 2°) y CC fertilizado con N / soja con P y S CC<sub>F</sub>/Sj<sub>F</sub>. Cada componente de la secuencia Rot, estuvo presente cada año en diferentes fases del tratamiento. Los cultivos se sembraron bajo el sistema de SD y se utilizaron variedades de alto potencial de rendimiento, ampliamente difundidos en cada región, con fechas de siembra y densidades acordes a la variedad y las condiciones de la zona para que los cultivos manifestaran su potencial. Los CC utilizados fueron triticale (x *Triticosecale Wittmack*) y avena

**Tabla 1.** Carbono orgánico total (COT), pH, fósforo disponible (P-Bray) y densidad aparente (Dap) del suelo (0-20 cm), al inicio de los ensayos en 2007 y 2006 para Arequito (Are) y Balcarce (Bce), respectivamente. Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

**Table 1.** Total organic carbon (COT), pH, available phosphorus (P-Bray) and soil bulk density (Dap) at the beginning of experiment in 2007 and 2006 in Arequito (Are) and Balcarce (Bce), respectively. Values between parentheses indicate standard error of the mean.

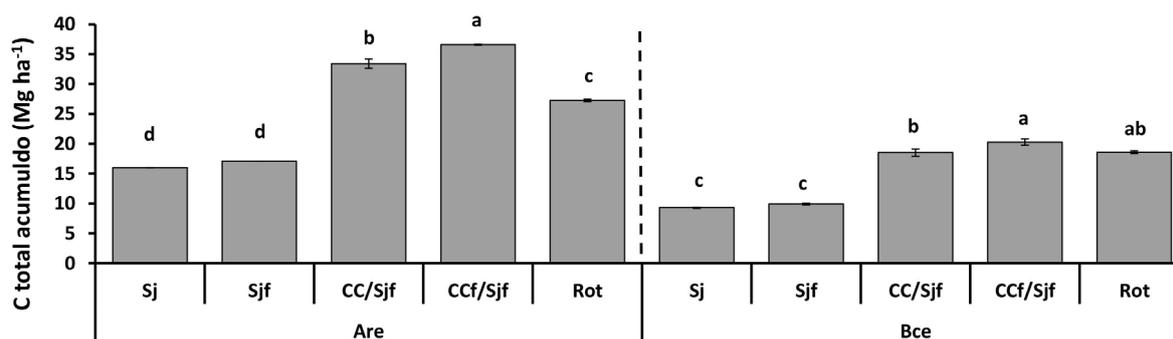
	COT (g kg <sup>-1</sup> )	pH (1:25)	P-Bray (mg kg <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )
Are	15,2 (0,7)	5,8 (0,1)	12,2 (2,2)	1,33 (0,01)
Bce	26,7 (0,9)	5,4 (0,1)	14,0 (0,7)	1,27 (0,02)

(*Avena sativa L.*) en Are y Bce, respectivamente, y su secado se realizó en los estados de encañazón avanzado a preemergencia floral Z34-Z41 (Zadoks *et al.*, 1974) mediante una aplicación de 3-4 L ha<sup>-1</sup> de glifosato (48% i.a.). Las fertilizaciones con P y S se realizaron teniendo en cuenta la extracción de dichos nutrientes por los cultivos de las secuencias (Ciampitti & García, 2009). Las dosis de N para los cultivos de trigo y maíz fueron las óptimas para que los cultivos expresaran su potencial acorde a cada región. El cultivo de soja se inoculó previo a la siembra con inoculante comercial a base de bacterias de la especie *Bradyrhizobium japonicum*. Las plagas, malezas y enfermedades en los cultivos de cosecha se controlaron con métodos químicos para que no afectaran su desarrollo. Mayor detalle del manejo de las secuencias

en cada sitio experimental se pueden encontrar en Martínez *et al.* (2019).

La **Tabla 1** resume algunos parámetros de suelo determinados al inicio de los ensayos, para lo cual se extrajo de cada bloque una muestra compuesta de 25 submuestras distribuidas al azar del estrato 0-20 cm. La **Figura 1** y la **Tabla 2** (adaptadas de Martínez *et al.*, 2020) indican los valores de C orgánico total (COT) y partícula (COP), y el carbono aportado como residuos en cada secuencia, respectivamente, luego de 4 años de su desarrollo, en cada Sitio experimental.

Durante el otoño de los años 2011 y 2010 se extrajeron muestras de suelo para la determinación de la Dap y la EA en los Are y Bce, respectivamente. Adicionalmente, durante el otoño del año 2012 se determinó la RMP y la TI en Bce.



**Figura 1.** Carbono total acumulado luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Arequito (Are) y Balcarce (Bce). Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N /soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). Barras verticales indican error estándar de la media (Adaptado de Martínez *et al.*, 2020))

**Figure 1.** Total accumulated carbon after 4 years from different crops sequences in Arequito (Are) and Balcarce (Bce). Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soybean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Vertical bars indicate standard error of the mean. (Adapted from Martínez *et al.*, 2020)

**Tabla 2.** Contenido de carbono orgánico total (COT) y particulado (COP) en las diferentes secuencias, para las profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 y 0-20 cm luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Arequito (Are) y Balcarce (Bce). Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/ soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N / soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ).

**Table 2.** Total organic carbon (COT) and particulate organic carbon (COP) content from different sequences at 0-5, 5-10, 10-15, and 15-20 cm soil depth after 4 years from different crops sequences in Arequito (Are) and Balcarce (Bce). Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soya bean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Values between parentheses indicate standard error of the mean. (Adapted from Martínez *et al.*, 2020).

Secuencias	COP (Mg ha <sup>-1</sup> )									
	Are					Bce				
	Profundidad (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-20	0-5	5-10	10-15	15-20	0-20
Sj	3,6 (0,16) b	1,8 (0,15) a	1,4 (0,25) a	1,2 (0,09) a	8,3 (0,38) b	5,2 (0,22) ab	4,5 (0,40) a	4,6 (0,12) a	4,6 (0,09) a	19,7 (0,64) a
Sjf	4,1(0,24) b	1,9 (0,06) a	1,2 (0,17) a	1,1 (0,16) a	8,6 (0,17) b	4,9 (0,43) b	4,4 (0,35) a	4,4 (0,28) a	4,5(0,18) a	18,7 (1,05) a
CC/Sjf	5,0 (0,37) a	2,1 (0,08) a	1,5 (0,13) a	1,2 (0,10) a	10,1 (0,35) a	6,1 (0,15) a	4,4 (0,38) a	3,8 (0,43) a	3,5 (0,14) a	18,4 (0,49) a
CCf/Sjf	5,3 (0,34) a	2,0 (0,08) a	1,4 (0,31) a	0,9 (0,17) a	9,9 (0,35) a	6,1 (0,24) a	4,5 (0,32) a	4,3 (0,34) a	4,1 (0,29) a	19,6 (1,16) a
Rot	5,4 (0,21) a	2,3 (0,02) a	1,5(0,12) a	1,5 (0,17) a	11,1 (0,20) a	6,2 (0,34) a	4,9(0,38) a	4,5 (0,49) a	4,8 (0,65) a	20,6 (1,74) a

Secuencias	COT (Mg ha <sup>-1</sup> )									
	Are					Bce				
	Profundidad (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-20	0-5	5-10	10-15	15-20	0-20
Sj	11,0 (0,55) c	9,1 (0,22) b	8,5 (0,12) a	7,3 (0,30) a	36,9 (1,2) b	17,7 (0,37) b	18,5 (0,49) a	17,8 (0,56) a	17,7 (0,81) a	73,2 (2,10) a
Sjf	11,9 (0,39) b	9,4 (0,13) b	8,9 (0,12) ab	7,4 (0,16) a	38,6 (0,48) b	17,3 (0,21) b	18,3(0,22) a	17,7 (0,02) a	17,3 (0,16) a	72,0 (0,54) a
CC/Sjf	13,6 (,36) a	10,0 (0,14) a	9,3 (0,10) a	8,4 (0,12) a	42,2 (0,54) a	18,8 (0,18) a	18,2 (0,42) a	17,4 (0,56) a	17,2 (0,18) a	73,1 (1,32) a
CCf/Sjf	14,0 (0,59) a	10,0 (0,18) a	9,4 (0,14) a	8,2 (0,23) a	42,5 (0,86) a	18,9 (0,34) a	18,5 (0,45) a	17,6 (0,33) a	16,6 (0,33) a	73,3 (1,40) a
Rot	13,9 (0,32) a	10,1 (0,29) a	9,2 8 (0,25) a	8,2 (0,31) a	42,6 (0,85) a	19,1 (0,43) a	18,9 (0,64) a	18,2 (0,91) a	18,2 (1,02) a	76,1 (2,93) a

Las determinaciones se realizaron cuando todas las parcelas se encontraban en barbecho, esto es, después de la cosecha de la soja y previo a la siembra de los CC.

Para la determinación de la Dap, cuando el suelo se encontró a capacidad de campo, de cada unidad experimental se extrajeron 2 submuestras de suelo sin disturbar para los estratos 0-5 y 5-10 cm, utilizando cilindros de acero inoxidable de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura (Blake & Hartge, 1986).

La determinación de EA se realizó cuando el suelo se encontró a capacidad de campo, tomando de cada unidad experimental una mues-

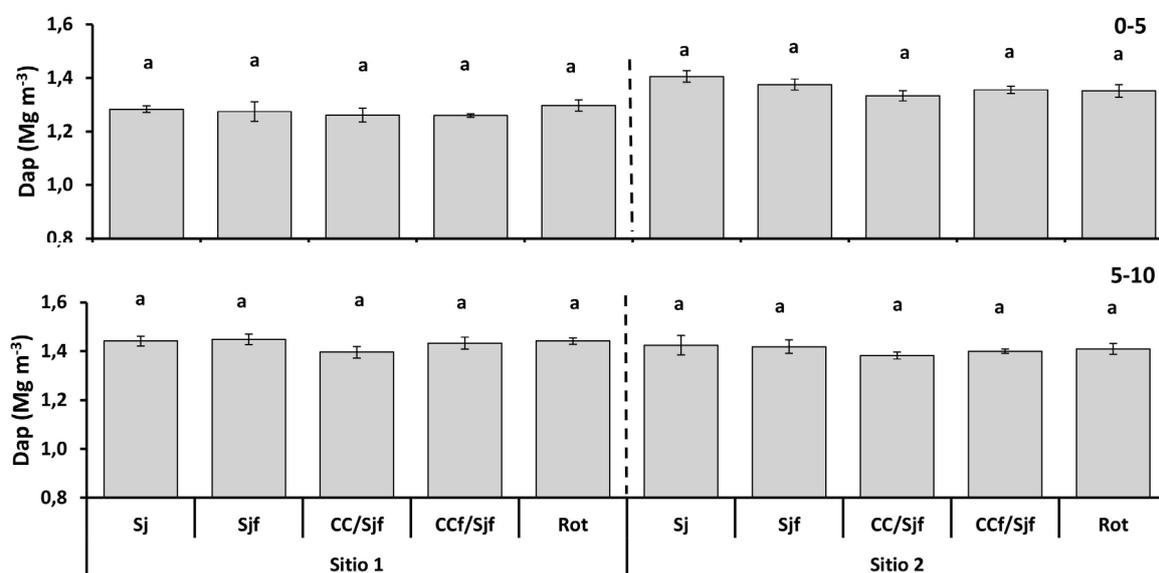
tra de suelo sin disturbar de los primeros 10 cm de profundidad de aproximadamente 1 kg. Luego de siguió la metodología descrita por De Leenher y De Boedt (De Boedt *et al.*, 1961)

Para determinar RMP se utilizó un penetrómetro digital Eijkelkamp con cono de 60° y base de 1 cm<sup>2</sup> de sección. Se realizaron 9 mediciones al azar por unidad experimental a intervalos de 5 cm hasta los 20 cm de profundidad. Luego se promediaron las mediciones correspondientes a cada intervalo y se obtuvo un valor de RP por intervalo para cada unidad experimental. En forma adicional se determinó el contenido de agua en los intervalos 0-5, 5-10 y 10- 20 cm de profundidad por el método gravimétrico

La TI se determinó mediante un método simplificado con anillo simple (USDA, 1999) realizando 3 repeticiones por unidad experimental. Para ello se utilizaron anillos de 19 cm de diámetro y 13 cm de altura, los cuales se introdujeron en el suelo a una profundidad de 8 cm. La superficie de suelo en el interior de cada anillo fue cubierta con una lámina plástica, y se agregó una lámina de 25,4 mm de agua destilada. Luego se retiró la lámina plástica y se midió el tiempo transcurrido desde dicho momento hasta que no se observó más agua sobre la superficie del suelo (t1). Este primer paso tuvo como objetivo hacer uniforme el contenido de agua del suelo en todos los tratamientos y que éste se encontrara a capacidad de campo. Inmediatamente se agregó otra lámina de 25,4 mm y se midió nuevamente el tiempo de infiltración de la misma (t2). Esta última refleja la infiltración en estado estacionario. Las tasas de infiltración inicial (TI 1) y en estado estacionario (TI 2) se determinaron me-

dianete la relación entre la lámina de agua agregada (25,4 mm) y el tiempo transcurrido hasta su infiltración total (t1 y t2 para la infiltración inicial y estacionaria, respectivamente) expresado en horas. En forma adicional, al momento de realizar la determinación de TI se determinó el contenido de agua en el intervalo 0- 20 cm de profundidad por el método gravimétrico

Los análisis de las varianzas se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1988). Se utilizó el procedimiento PROC-MIXED (Littell *et al.*, 2006), realizándose el análisis de forma independiente para cada sitio experimental. La normalidad y homogeneidad de varianzas de los residuales fue chequeada para cada caso por el test de Shapiro Wilk y el test de Levene, respectivamente (Littell *et al.*, 2006). Las variables analizadas fueron la Dap y EA en el sitio Are y la Dap, EA, RMP y TI en el sitio Bce. Se consideró como fijo el efecto de la secuencia y como aleatorio el efecto del bloque. En caso de detectarse



**Figura 2.** Densidad aparente (Dap) para las profundidades de 0-5 y 5-10 cm luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Arequito (Are) y Balcarce (Bce). Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/ soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N / soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). Barras verticales indican error estándar de la media

**Figure 2.** Soil bulk density (Dap) at 0-5 y 5-10 cm soil depth after 4 years from different crops sequences in Arequito (Are) and Balcarce (Bce). Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/ PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soya bean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Vertical bars indicate standard error of the mean.

diferencias ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS) ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Densidad Aparente

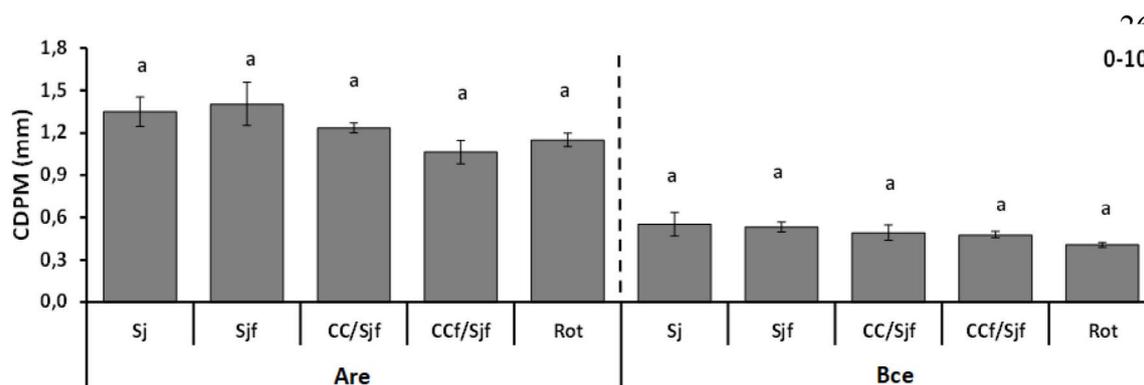
Los valores de Dap a 0-5 cm se ubicaron en el rango de 1,26 a 1,30 y 1,33 a 1,41  $\text{Mg m}^{-3}$  para los Are y Bce, respectivamente, mientras que en 5-10 cm se ubicaron en el rango de 1,40 a 1,45 y 1,38 a 1,42  $\text{Mg m}^{-3}$  para Are y Bce respectivamente (**Figura 2**). Estos valores fueron algo elevados comparados con registros de la región (Domínguez *et al.*, 2009; Restovich *et al.*, 2011) aunque no superaron el umbral de densidad aparente de 1,65  $\text{Mg m}^{-3}$  establecido como límite para el crecimiento radical para suelos francos (USDA, 2001). Los elevados valores de Dap podrían deberse al deterioro de las propiedades físicas de los suelos bajo estudio, provocado por el prolongado uso agrícola de los lotes previo al comienzo de los ensayos.

La Dap no difirió significativamente ( $p < 0,05$ ) por efecto de la fertilización con P y S, la inclusión de CC y una rotación con alto ISI en ninguno de los estratos para ningún sitio experimental (**Figura 2**). Sin embargo, se puede observar que en el sitio Bce, a la profundidad de 0-5 cm Sj y Sj<sub>F</sub> registraron valores de Dap algo mayores que el resto de las secuencias (1,41 y 1,38  $\text{Mg m}^{-3}$ , para Sj y Sj<sub>F</sub>, respectivamente) vs (1,33; 1,36 y 1,35  $\text{Mg m}^{-3}$  para CC/Sj<sub>F</sub>, CC<sub>F</sub>/Sj<sub>F</sub> y Rot, respectivamente). Esto puede deberse al menor aporte de C mediante los residuos de los tratamientos Sj y Sj<sub>F</sub> (**Figura 1**), que ocasionaría una menor cantidad de CO en el estrato superior del perfil (**Tabla 2**), lo cual puede relacionarse con mayores valores de Dap (Álvarez *et al.*, 2009). Este efecto es más notable a la profundidad de 0-5 cm donde se produce una mayor acumulación de residuos en comparación con el estrato 5-10 cm debido al efecto de la SD. Por otro lado, una cuestión a considerar es que durante el muestreo de Dap realizado en el sitio Are, en los tratamientos Sj y Sj<sub>F</sub> se pudo observar la presencia de una estructura laminar del suelo en los primeros centímetros, la cual no se manifestaba en forma tan marcada en los tratamientos más intensificados,

coincidiendo con lo reportado por Sasal (2012) para suelos de Pergamino. Sin embargo, más allá de esta observación no se registraron cambios en la Dap entre las secuencias.

### Estabilidad de Agregados

El cambio en el diámetro ponderado medio de los agregados (CDMP) registró en promedio mayores valores en Are (1,22) que en Bce (0,49) (**Figura 3**). Esta tendencia registrada entre sitios puede deberse al mayor contenido de CO en Bce comparado con Are (**Tabla 1 y 2**), ya que este tiene efecto benéfico en el suelo como agente formador y estabilizador de agregados (Six *et al.*, 2004). Tanto en Are como Bce, la EA medida a través del CDPM no registró diferencias ( $p < 0,05$ ) por efecto de la fertilización con P y S, la inclusión de CC o una rotación con alto ISI (**Figura 3**). Al comparar entre secuencias en cada sitio se puede observar que los valores de CDPM de Sj y Sj<sub>F</sub> fueron algo mayores respecto al de los tratamientos CC/Sj<sub>F</sub>, CC<sub>F</sub>/Sj<sub>F</sub> y Rot, aunque estadísticamente no significativos ( $p > 0,05$ ). Teniendo en cuenta que la EA está estrechamente asociada al contenido de CO, principalmente con la fracción más lábil (**Tabla 2**) (Eiza *et al.* 2006, Álvarez *et al.*, 2009), esta tendencia sería esperable debido al mayor aporte de residuos (**Figura 1**) y la mayor cantidad de tiempo que el suelo presenta raíces vivas en las secuencias CC/Sj<sub>F</sub>, CC<sub>F</sub>/Sj<sub>F</sub> y Rot. Dos cuestiones a considerar es el relativamente corto período de desarrollo de las secuencias, lo cual puede afectar la magnitud de las diferencias entre tratamientos, y la variabilidad de la determinación de CDPM, lo cual puede condicionar la detección de ligeros cambios presentados en la estabilidad estructural del suelo. Restovich *et al.* (2011) en estudios realizados con secuencias que incluyeron CC, registraron aumentos en el COT en el corto plazo (1 y 2 años) aunque no registraron cambios consistentes en la EA. Similares resultados fueron informados por Deagustini *et al.* (2017) luego del primer año de incorporación de vicia como CC. Sin embargo, Blanco-Canqui *et al.* (2011) en un ensayo de larga duración (15 años) reportaron aumentos en los contenidos de CO del suelo en secuencias que incluían CC, lo cual era acompañado por mejoras en indicadores de calidad física como la Dap y la EA.



**Figura 3.** Cambio en el diámetro ponderado medio de los agregados (CDPM) para la profundidad de 0-10 cm.luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Arequito (Are) y Balcarce (Bce). Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/ soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N / soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). Barras verticales indican error estándar de la media

**Figure 3.** Aggregate stability measured as mean weight diameter change (CDPM) at 0-10 cm soil depth after 4 years from different crops sequences in Arequito (Are) and Balcarce (Bce). Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soya bean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Vertical bars indicate standard error of the mean.

### Resistencia Mecánica a la Penetración

El contenido de agua en el suelo a las profundidades de 0-5, 5-10 y 10-20 cm al momento de la determinación de la RP no varió entre las secuencias y se ubicó en el rango de 30,6 a 25,0 % p/p siguiendo una tendencia de disminución con la profundidad (**Tabla 3**). Estos valores se encuen-

tran muy cercanos al valor de capacidad de campo para el suelo de este estudio (27,2 % p/p) (Travasso & Suero, 1994), y es el contenido de agua indicado para realizar la determinación de RP.

La RMP determinada para el sitio Bce se ubicó en el rango de 0,75 a 1,67 MPa, siguiendo una tendencia de aumento con la profundidad

**Tabla 3.** Humedad gravimétrica ( $H^{\circ}$ ) en los estratos de 0-5, 5-10 y 10-20 cm al momento de determinación de la resistencia a la penetración luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Balcarce. Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/ soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N / soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). P = probabilidad, CV = coeficiente de variación.

**Table 3.** Gravimetric soil water content ( $H^{\circ}$ ) 0-5, 5-10, and 10-20 cm soil depth After 4 years from different crops sequences in Balcarce. Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soya bean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Values between parentheses indicate standard error of the mean. P = probability, CV = variation coefficient.

Secuencias	$H^{\circ}$ (% p/p)					
	0-5		5-10		10-20	
Sj	30,1	(1,0) a	27,8	(0,7) a	26,0	(0,9) a
Sjf	29,8	(0,7) a	27,2	(0,4) a	25,7	(0,1) a
CC/Sjf	30,3	(0,5) a	27,2	(0,2) a	25,9	(0,2) a
CCf/Sjf	30,4	(0,7) a	27,5	(0,4) a	25,4	(0,4) a
Rot	30,6	(1,2) a	28,2	(1,1) a	25,0	(0,8) a
P	0,878		0,691		0,612	
CV	3,2		3,5		3,1	

**(Tabla 4).** Sin embargo, no se registraron diferencias ( $p < 0,05$ ) de RP por efecto de la fertilización con P y S, la inclusión de CC o una rotación con alto ISI en ninguna de las profundidades. Esto coincide con lo reportado en suelos del sudeste bonaerense por Tourn *et al.* (2014), quienes no encontraron diferencias en RP por efecto de la inclusión de CC. Sin embargo, Deagustini *et al.* (2017) en determinaciones de RP realizadas entre el secado de los CC y la siembra del maíz bajo SD, determinaron menores valores de RMP en los estratos superficiales cuando se utilizó vicia como CC previo. Por otro lado, en EEUU, Villamil *et al.* (2006) determinaron que la inclusión de CC en secuencias de maíz y soja y disminuyeron la RMP en el estrato superficial.

Diversos autores reportan que los CC pueden tener un efecto directo sobre la RP por efecto de su sistema radical y otro debido a una mayor estructuración del suelo como consecuencia del aumento del CO (Reeves, 1994; Fageria *et al.*, 2005). Sin embargo, Restovich *et al.* (2011) en un estudio desarrollado en un Argiudol de la Pampa Ondulada, reportaron que el efecto positivo directo de los CC sobre la porosidad puede desaparecer durante la estación estival, debido a los ciclos de secado y humedecimiento del sue-

lo, producidos por las precipitaciones y el consumo de agua del cultivo de verano.

### Tasa de Infiltración

Los valores de TI 1 estuvieron en el rango de 280 a 618  $\text{mm h}^{-1}$ , mientras que los de TI 2 estuvieron en el rango de 64 a 116  $\text{mm h}^{-1}$ . Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Tourn *et al.* (2014) en suelos del Sudeste Bonaerense y por Álvarez *et al.* (2009) para suelos de textura franca de la Pampa Ondulada. En términos generales, la TI registró una gran variabilidad, la cual fue más acentuada en la TI 1 (**Tabla 5.**). Esto es esperable, debido a que la TI 1 puede estar afectada por el contenido de agua inicial del suelo.

La fertilización con P y S, la inclusión de CC o la rotación con alto ISI no afectaron ( $p > 0,05$ ) a la TI 1 ni a la TI 2. Si bien se registraron leves diferencias en el contenido de agua en el suelo a 0-20 entre tratamientos al momento de la determinación (**Tabla 5**), ésta no explicó la variación de la TI 1 ni de la TI 2 cuando se incluyó en el análisis como covariable, razón por la cual no se incluyó en el modelo.

La ausencia de cambios en la TI por efecto de las secuencias está en línea con lo reportado

**Tabla 4.** Resistencia mecánica a la penetración (RMP) para las profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Balcarce. Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N /soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). Valores entre paréntesis indican error estándar de la media. P = probabilidad, CV = coeficiente de variación.

**Table 4.** Mechanical penetration resistance (RMP) at 0-5, 5-10, 10-15, and 15-20 cm soil depth after 4 years from different crops sequences in Balcarce. Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soya bean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Values between parentheses indicate standard error of the mean. P = probability, CV = variation coefficient.

Secuencias	RMP (MPa)							
	0-5		5-10		10-15		15-20	
Sj	0,76	(0,13) a	1,06	(0,16) a	1,30	(0,20) a	1,59	(0,23) a
Sjf	0,75	(0,06) a	1,23	(0,01) a	1,42	(0,04) a	1,67	(0,08) a
CC/Sjf	0,81	(0,03) a	1,22	(0,05) a	1,47	(0,05) a	1,61	(0,03) a
CCf/Sjf	0,84	(0,05) a	1,26	(0,11) a	1,36	(0,17) a	1,61	(0,12) a
Rot	0,76	(0,00) a	1,01	(0,01) a	1,39	(0,06) a	1,67	(0,15) a
P	0,650		0,181		0,773		0,978	
CV	11,0		11,9		12,2		12,2	

**Tabla 5.** Tasa de infiltración (TI) inicial (TI 1) y estacionaria (TI 2) y humedad gravimétrica ( $H^\circ$ ) de 0 a 20 cm de profundidad luego de 4 años de desarrollo de las secuencias en Balcarce.. Soja continua sin fertilización (Sj); soja continua fertilizada con P y S (Sjf); cultivo de cobertura (CC)/soja con P y S (CC/Sjf); CC fertilizado con N /soja con P y S (CCf/Sjf); rotación de alto ISI fertilizada con N, P y S (Rot), en la localidad de Balcarce (Sitio 2). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). Valores entre paréntesis indican error estándar de la media. P = probabilidad, CV = coeficiente de variación.

**Table 5.** Infiltration rate (TI), initial (TI 1), and stationary (TI 2); and gravimetric soil water content ( $H^\circ$ ) at 0 a 20 cm soil depth after 4 years from different crops sequences in Balcarce (Bce). Continuous soybean (Sj); continuous soybean fertilized with phosphorus (P) and sulphur (S) (Sjf); cover crop (CC)/PS- fertilized soybean (CC/Sjf); CC fertilized with nitrogen (N)/PS- fertilized soya bean (CCf/Sjf); NPS- fertilized crop rotation with high ISI (Rot). Means were compared using the LSD test. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). Values between parentheses indicate standard error of the mean. P = probability, CV = variation coefficient.

Secuencias	TI ( $\text{mm h}^{-1}$ )				$H^\circ$ (% p/p)	
	TI 1		TI 2			
Sj	280	(70) a	76	(7) a	24,9	(0,6) c
Sjf	309	(28) a	70	(4) a	25,8	(0,6) b
CC/Sjf	618	(242) a	116	(29) a	26,3	(0,2) ab
CCf/Sjf	284	(94) a	64	(13) a	26,5	(0,7) ab
Rot	588	(225) a	101	(32) a	26,6	(0,4) a
P	0,226		0,305		0,006	
CV	53,4		37,7		1,6	

por Villamil *et al.* (2006). Estos autores encontraron efectos positivos de la inclusión de CC sobre la EA la Dap y la RP, aunque no encontraron efectos sobre conductividad hidráulica del suelo, variable que se relaciona con la TI. Otra cuestión a considerar, coincidiendo con lo mencionado para la RP, es el efecto directo de los CC sobre la macro-porosidad, por efecto de la actividad radical. Este efecto podría desaparecer durante la estación estival coincidiendo con lo reportado por Restovich *et al.* (2011). Por lo tanto, un análisis de las fluctuaciones temporales de los indicadores de calidad física para las secuencias utilizadas en este estudio sería de utilidad para detectar posibles efectos directos de los CC que se registran en el corto plazo y no perduran durante toda la estación de crecimiento estival.

## CONCLUSION

Luego de 4 años de su implementación, la fertilización con P y S, la inclusión de un CC, y/o una rotación con alto ISI fertilizada con P, S y N, no provocaron cambios significativos en la Dap ni la EA en secuencias con predominio de soja para los sitios Are y Bce. Tampoco se registraron

efectos sobre la RMP y TI en Bce por efecto de dichas prácticas. Sin embargo, teniendo en cuenta el efecto benéfico de prácticas de manejo que incrementen el aporte de residuos sobre el CO, y su relación con la calidad física de suelo, resulta de interés el estudio de los indicadores de calidad física evaluados a más largo plazo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos otorgados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Diagnóstico reposición de nutrientes y tecnología de la fertilización, PNCER 2342 2006-2009; Diagnóstico, reposición de macronutrientes y tecnología de la fertilización, PNCER-022421 2009-2012; Manejo nutricional de cereales y oleaginosas para la intensificación sustentable de los sistemas productivos, PNCYO 1127033: 2012-2018, correspondientes al Programa "Cereales y Oleaginosos" y Desarrollo y aplicación de tecnologías para el control de la erosión y degradación de suelos, 2019-PE-E2-I052-001 correspondiente al Programa "Recursos Naturales").

**BIBLIOGRAFIA**

- Agostini, M; MA Monterubbianesi; GA Studdert & S Maurette 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo*, 32, 171-176.
- Álvarez, CR; MA Taboada; F Gutierrez Boem; A Bono; PL 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 Tillage Res.* 96:155-165.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (ed.) 'Methods of soil analysis', Part. 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 363-375.
- Blanco-Canqui, H; MM Micka; DR Presley & MM Claassen. 2011. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. *Soil Sci. Soc Am. J.* 75:1471-1482.
- Blanco-Canqui, H; JD Holman; AJ Schlegel; J Tatarko & TM Shaver. 2013. Replacing fallow with cover crops in a semiarid soil: effects on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:1026-1034
- Bolsa de cereales de Buenos Aires. 2019. Panorama agrícola semanal. Departamento de Estimaciones y Proyecciones Agrícolas. <http://www.bolsadecereales.com/pas#> Último acceso Noviembre 2019.
- Calonego, JC & CA Rosolem. 2010. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. *Eur. J. Agron.* 33:242-249.
- Caviglia, OP; FH Andrade & VO Sadras. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87(3):117-129.
- Caviglia, OP & FH Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. *The Am J. Plant Sci. Biotech.* 3 (Special Issue 1): 1-8.
- Ciampitti, IA & FO García. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo Agronómico* N° 11, IPNI. 11:13-16
- De Boodt, N; L De Leenher & D Kirkham. 1961. Soil aggregate stability indexes and crop yields. *Soil Sci.* 91:138-146.
- Deagustini, CA; GF Domínguez; M 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.
- 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 Tillage Res.* 102:93-100.
- Eiza, MJ; GA Studdert; N Fioriti & GF Domínguez. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. En actas: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Salta-Jujuy, 18-22 de septiembre de 2006.
- Fageria, NK; VC Baligar & BA Bailey. 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36:2733-2757.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82:121-145.
- 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 Tillage Res.* 126: 276-283
- Kay, BD. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12:1-41.
- Littell, RC; GA Milliken; WW Stroup, RD Wolfinger & O Schabenberger. 2006. SAS® for Mixed Models, second edition. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA .
- Martínez, JP; C Crespo; HR Sainz Rosas; HE Echeverría; GA Studdert; Martínez F; G. Cordone & PA Barbieri. 2019. Soil organic carbon in cropping sequences with predominance of soya bean in the argentinean humid Pampas. *Soil Use and Management.* 36:173-183.
- Martínez, F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II N° 3.
- Reeves, DW. 1994. Cover crops and rotations. In: Hatfield, J.L.; Stewart, B.A. (ed.) Crop residues management. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU. pp 125-172.
- Restovich, SB; AE Andriulo & C Améndola. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: Efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ciencia del Suelo* 29:61-73.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29:29-37.
- SAS Institute, 1988. SAS/STAT User's guide. Statics version. 6.0. 3rd ed. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Sasal, MC; AE Andriulo & MA Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian pampas. *Soil Tillage Res.* 87:9-18.

- Sasal, MC. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 144 p.
- 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 Tillage Res.* 79:7-31.
- 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.* 76:2164-2173
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1496-1503.
- Taboada, MA; FG Micucci & CR Álvarez. 2010. Impedancias mecánicas y compactación en sistemas agrícolas. En: Álvarez R.; Rubio G.; Álvarez C.R.; Lavado R.S. (eds.) *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana.* Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires, Argentina. pp 117-154.
- Tourn, SN; GF Domínguez; MA Agostini & GA Studdert. 2014. Paraplow y cultivos de cobertura: efecto sobre algunas propiedades físicas bajo siembra directa. *Actas 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Bahía Blanca, mayo de 2014. En CD.
- Travasso, MI & EE Suero. 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico N° 125.* Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, INTA, EEA Balcarce. 9p.
- USDA. 2001. Soil Quality Resource Concerns: Compaction. [En línea] USDA-NRCS Soil Quality Institute. < <http://soils.usda.gov/SQI/management/files/RSQIS4.pdf> > [Consulta: 5 diciembre de 2012].
- USDA. 1999. Soil quality test kit guide. USDA-Agriculture Research Service, Soil Conservation Service, Washington (DC), EEUU. 82 p.
- 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.* 70:1936-1944.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.