

## EFFECTO DE LA SECUENCIA DE CULTIVOS BAJO SIEMBRA DIRECTA SOBRE LA CALIDAD DE ALGUNOS SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

MARIO GUILLERMO CASTIGLIONI<sup>1\*</sup>; FILIPE BEHREND'S KRAEMER<sup>1</sup> & HÉCTOR JOSÉ MARÍA MORRAS<sup>2</sup>

Recibido: 03-11-12

Recibido con revisiones: 22-03-13

Aceptado: 03-04-13

### RESUMEN

Los cambios edáficos por el uso de la tierra no sólo surgen como consecuencia del sistema de implantación de cultivos, sino que también pueden influir la secuencia y rendimiento de las especies cultivadas. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de diferentes secuencias de cultivos implantados bajo siembra directa, a través de algunos indicadores de calidad edáfica, en distintos suelos de la Región Pampeana con texturas y mineralogías contrastantes. Se trabajó en tres sitios ubicados en: Pergamino (provincia de Buenos Aires), Bengolea (provincia de Córdoba) y Viale (provincia de Entre Ríos). En cada sitio se compararon dos secuencias de cultivos bajo siembra directa: una con predominio del cultivo de soja (MP), mientras que en la otra hubo un mayor equilibrio entre gramíneas y leguminosas (BP). Se tomó como referencia en cada uno de los sitios una situación no disturbada (AN). Del suelo superficial se determinó la estabilidad estructural y otros parámetros físicos que surgen de la curva de retención hídrica, entre ellos el índice de calidad física (S). En la evaluación del suelo de Bengolea, la estabilidad estructural resultó un buen parámetro para distinguir MP de BP. Por su parte, el índice de calidad física S permitió diferenciar estas dos situaciones en el Vertisol de Viale. En el suelo de Pergamino no se pudieron observar diferencias significativas entre tratamientos, a partir de las propiedades estudiadas. De acuerdo a estos resultados, se puede inferir que el incremento en la proporción del cultivo de soja en la secuencia agrícola, tiene efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas edáficas, los que se expresan en mayor o menor medida dependiendo del suelo considerado.

**Palabras clave.** Estabilidad estructural, S Dexter, índice de intensificación de cultivos, BIOSPAS.

## EFFECTS OF CROP SEQUENCES UNDER NO-TILLAGE ON THE QUALITY OF SOME SOILS OF THE PAMPA REGION

### ABSTRACT

Physical changes in agricultural soils are not only affected by the cultivation system but also by the particular crop sequences and their yields. The aim of the present study was to determine the effects of different crop sequences under no tillage on soil quality, using soil quality indicators in Pampa soils with contrasting textures and mineralogy. The study was carried out in three sites located in: Pergamino (Buenos Aires province), Bengolea (Cordoba province) and Viale (Entre Rios province). Two situations under no-tillage were compared at each site: one with soybean preponderance within the crop rotation (MP), and another one with a more balanced crop rotation in terms of gramineae and legumes (BP). Undisturbed areas were used as a reference in each site. The structural stability and various physical parameters derived from the water retention curve, including the physical quality index (S) were determined in the topsoil of each situation. Structural stability proved to be a good parameter to distinguish MP from BP in Bengolea soil. However, in the Vertisol of Viale the physical quality index was the property that best differentiated these two situations. In Pergamino, no differences in the evaluated properties were observed between treatments. From these results, it can be inferred that the increase of soybean proportion in the crop rotation has detrimental effects on different physical soil properties. These effects are expressed to a greater or lesser extent depending on the soil type.

**Key words.** Structural stability, S Dexter, crop intensification index, BIOSPAS.

<sup>1</sup> Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía UBA. (1417) Av. San Martín 4453. Capital Federal.

<sup>2</sup> Instituto de suelos INTA-CIRN (1712) Castelar.

\* Autor de contacto: castigli@agro.uba.ar

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en la Argentina la mayor parte de los cultivos agrícolas extensivos se implantan bajo el sistema siembra directa (Derpsch *et al.*, 2010). Algunos de los beneficios de esta práctica están asociados a la reducción que provoca en la erosión del suelo y a la disminución en los costos de producción. Al mismo tiempo, en los últimos años se ha incrementado de manera importante la proporción de la superficie destinada casi exclusivamente al cultivo de soja (Novelli *et al.*, 2011), lo cual puede repercutir negativamente sobre el ambiente.

Los cambios edáficos por el uso de la tierra no sólo surgen ante modificaciones del sistema de labranza aplicado, sino que también pueden influir la secuencia y rendimiento de los cultivos implantados (Díaz Zorita *et al.*, 2004). En este sentido, se han reportado modificaciones generadas por distintas especies vegetales o por sus diferentes secuencias en la curva de retención hídrica, en la tasa de infiltración superficial y en el flujo de agua en profundidad (Dexter *et al.*, 2001; Sasal *et al.*, 2006; McVay *et al.*, 2006). Para evaluar el efecto de la alternancia de cultivos, el índice de intensificación de la secuencia agrícola (ISI), que es la relación entre el número de meses ocupado por cultivos en desarrollo respecto al número total de meses del año (Sasal *et al.*, 2010), ha demostrado ser un parámetro que se vincula significativamente con el comportamiento de algunas propiedades edáficas. En este sentido, Echeverría *et al.* (2012) encontraron una relación positiva entre el índice de estabilidad estructural de un suelo de la Pcia. de Bs. As. con un parámetro similar al ISI. Por su parte, Sasal (2012) encontró que la presencia de estructura laminar en el suelo estaba vinculada negativamente con un mayor valor de ISI. Este parámetro sintetiza información de las características de los cultivos, como la cantidad y calidad de los rastrojos aportados y el tipo y distribución de su sistema radical (Sasal *et al.*, 2006).

Se ha observado que no todas las propiedades edáficas responden de la misma manera a los cambios en la secuencia de cultivos. Castiglioni *et al.* (2010) determinaron en un Argiudol vértico con una rotación trigo/soja-maíz bajo siembra directa, mayor volumen de macroporos luego del cultivo de maíz. Restovich *et al.* (2010), reportaron para un Argiudol típico efectos favorables a corto plazo del maíz sobre el índice de estabilidad de agregados y la macroporosidad edáfica, no perdurando los mismos más de un año. Chagas *et al.* (1995), al comparar monocultivos de maíz y soja bajo SD, pudieron determinar efectos negativos de esta última especie sobre la estabilidad de la estructura

superficial de un Argiudol típico con alto contenido de limo. Por su parte, Rubio *et al.* (2012) comprobaron que la incorporación de especies de desarrollo invernal en un monocultivo de soja, favorecía el nivel de polisacáridos, del carbono lábil y de la estabilidad de la estructura de un Hapludol del oeste de Bs. As. A su vez, Brandan Perez *et al.* (2010) visualizaron un efecto positivo de la secuencia de diferentes cultivos sobre la diversidad y cantidad de poblaciones bacterianas y fúngicas del suelo.

Wilson *et al.* (2010) observaron mayores valores de resistencia a la penetración en la rotación trigo/soja y trigo/soja-maíz, respecto a lo sucedido en monocultivos de soja y maíz. Sin embargo, estos autores no atribuyeron estos resultados al efecto particular de alguna de las especies analizadas, sino al mayor número de pasadas de implementos agrícolas que ocurren en las dos primeras secuencias de cultivos mencionadas. Sasal *et al.* (2010) no encontraron en un Argiudol ácuico de Entre Ríos, diferencias en la conductividad hidráulica saturada, en la densidad aparente, como tampoco en el porcentaje de macroporos, al comparar distintas secuencias de cultivos implantados con siembra directa. A su vez, De Falco *et al.* (2012) no observaron cambios en la macrofauna del suelo (diversidad, riqueza y abundancia de especies), al incorporar especies de desarrollo invernal en un monocultivo de soja.

También es cierto que las modificaciones surgidas por el distinto uso de la tierra pueden variar entre regiones y ambientes diferentes (Villamil *et al.*, 2006). Novelli *et al.* (2011) mencionan que si bien son varios los trabajos en los que se ha analizado la respuesta en el nivel de carbono edáfico y la distribución de agregados por efecto de los diferentes sistemas de labranza y la fertilización, hay poca evidencia sobre el efecto del incremento en la frecuencia del cultivo de soja sobre estas variables en suelos con características contrastantes.

El manejo sustentable de las tierras necesita poder anticipar los efectos de su uso a través de indicadores confiables que puedan ser utilizados en un amplio rango de suelos (Echeverría *et al.*, 2012). Cuando estos indicadores asumen valores óptimos, el desarrollo de los cultivos agrícolas tiende a ser máximo, al mismo tiempo que la degradación del ambiente y del suelo es mínima (Reynolds *et al.*, 2009). En este sentido, la estabilidad de agregados ha sido considerada por diferentes autores como una de las propiedades más sensibles al uso y manejo del suelo (Echeverría *et al.*, 2012). A su vez, Dexter (2004) ha desarrollado un índice de calidad física del suelo (S), el cual es obtenido a partir de determinar la pendiente de la curva de retención

hídrica en su punto de inflexión. La cantidad de agua perdida por un suelo entre su estado de saturación y el punto de inflexión de la curva de retención hídrica, corresponde a la almacenada en los poros estructurales. Por lo tanto, el valor de *S* está directamente ligado a la presencia de este tipo de poros, siendo mayor la calidad física del suelo en la medida que es mayor el valor de este parámetro. El índice *S* ha sido relacionado con muchas propiedades edáficas, y si bien es promisorio su función como indicador de la calidad física del suelo, hasta el presente se han realizado pocas comparaciones con otros indicadores edáficos (Reynolds *et al.*, 2009). Por su parte, cuando se intenta evaluar la respuesta en la calidad física del suelo frente a distintos usos de la tierra, es recomendable no utilizar un solo atributo edáfico, sino una serie de indicadores para poder realizar una evaluación más generalizada de los cambios surgidos (Dexter, 2004).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de diferentes secuencias de cultivos implantados bajo siembra directa, a través de algunos indicadores de calidad

física, en distintos suelos de la Región Pampeana con texturas y mineralogías contrastantes, analizando en forma más detallada el comportamiento de la estabilidad estructural y el índice *S*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en tres sitios diferentes ubicados en: Pergamino (provincia de Buenos Aires), Bengolea (provincia de Córdoba) y Viale (provincia de Entre Ríos) (Fig. 1), que representan situaciones edáficas de características composicionales y taxonómicas contrastantes (Tabla 1). Estos sitios corresponden a situaciones seleccionadas por el proyecto BIOSPAS ([www.biospas.org](http://www.biospas.org)), cuyo objetivo a largo plazo es la identificación de indicadores de sustentabilidad bajo SD (Wall, 2011). Los usos de la tierra analizados fueron elegidos en relación a los criterios de la agricultura certificada propuesta por Aapresid ([www.aapresid.org.ar](http://www.aapresid.org.ar)), en los cuales se define: 1) «Buenas Prácticas Agrícolas» (BP): Manejo agrícola sustentable bajo SD con rotaciones agrícolas intensivas, reposición de nutrientes

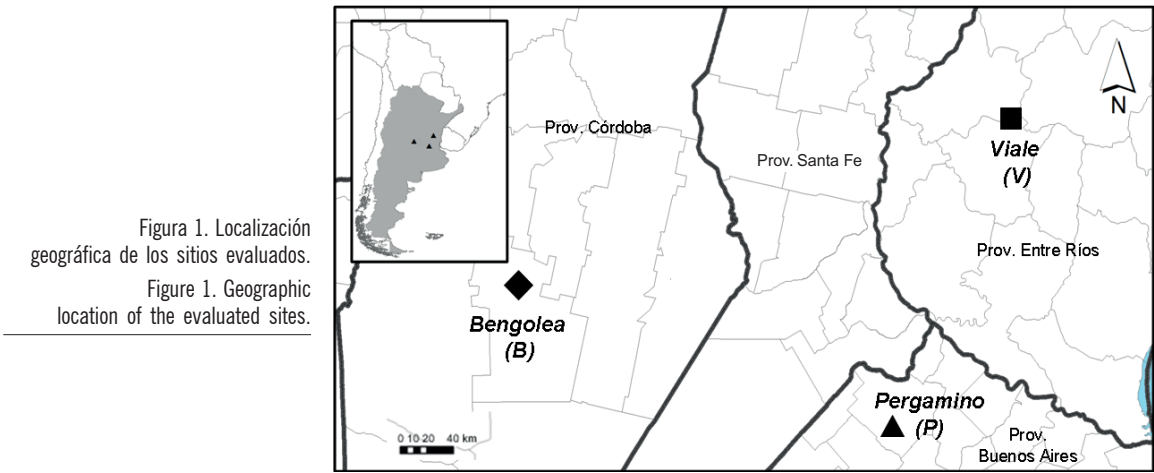


Tabla 1. Clasificación taxonómica (Soil Survey Staff, 2003), contenido de carbono oxidable (CO) y granulometría superficial (0-15 cm) de los sitios evaluados bajo ambiente natural (AN), buenas prácticas (BP) y malas prácticas (MP).

Table 1. Taxonomic classification (Soil Survey Staff, 2003), organic carbon (CO) and superficial granulometry (0-15 cm) of evaluated sites under natural environment (AN), good practices (BP) and bad practices (MP).

Sitios	Tratamientos	CO(%)	Arcilla (<2 μm)	Limo (2-50 μm)	Arena (>50 μm)
			(g kg <sup>-1</sup> )		
Pergamino (Argiudol típico)	AN	3,44	229	619	152
	BP	2,22	222	606	172
	MP	2,38	222	640	138
Viale (Hapludert típico)	AN	3,12	420	563	17
	BP	2,58	489	495	16
	MP	1,87	372	607	21
Bengolea (Haplustol éntico)	AN	2,29	156	287	557
	BP	1,17	118	320	562
	MP	1,05	115	318	567

y mínimo uso de agroquímicos (herbicidas, insecticidas y fungicidas); 2) «Malas Prácticas Agrícolas» (MP): Manejos agrícolas no sustentables bajo SD con monocultivos, baja reposición de nutrientes y alto uso de agroquímicos; 3) «Ambiente Natural» (AN): zonas con vegetación natural situados cercanos al área de estudio, donde no se ha practicado la agricultura por lo menos desde hace 30 años. Bajo estos lineamientos, en las tres localidades se evaluó la respuesta física del suelo ante dos secuencias de cultivos diferentes. En el tratamiento MP se evaluaron lotes (n:3) bajo SD, con preponderancia de soja en la secuencia de cultivos (Tabla 2), mientras que en BP (n:3), la secuencia de cultivos fue más equilibrada en cuanto a gramíneas y leguminosas (Tabla 2). De esta manera, la proporción del cultivo de soja en los últimos seis años estuvo por encima del 50% en MP y por debajo del 33% en BP. Los tratamientos y el ambiente natural dentro de cada sitio se encuentran en un radio de no más de 5 km.

Estas características diferenciales en el uso de la tierra determinaron como consecuencia un distinto nivel de carbono edáfico superficial (Tabla 1), presentando este comportamiento rasgos distintos según el lugar analizado. Las diferencias en el contenido de carbono entre MP y BP fueron del 38 y 11% para Viale y Bengolea respectivamente, mientras que para Pergamino prácticamente no hubo modificaciones.

Estudios previos (Kraemer *et al.*, 2011) muestran que la mineralogía de arcillas del suelo de Bengolea presenta una composición con predominancia de illita y un bajo contenido de minerales interestratificados irregulares illita-esmectita, mientras que en el de Pergamino predomina la illita, aunque se incrementa ligeramente la proporción de interestratificados I-E. El suelo de Viale se caracteriza por la dominancia de minerales esmectíticos, acompañados por una proporción significativa de illita. En todos los casos se presentaron trazas de caolinita y de minerales accesorios (cuarzo y feldespatos).

En cada uno de los tratamientos de cada sitio se tomaron 3 muestras compuestas (0-10 cm), separadas por no menos de 50 metros. Debido a que cada tratamiento no posee repeticiones verdaderas, el experimento posee pseudoréplicas para inferir el efecto de las secuencias de cultivos en las propiedades de los suelos a nivel regional (Hurlbert, 1984). Con dichas muestras se determinó la distribución de agregados por tamaño y su estabilidad (De Leenher & De Boodt, 1958). Para ello se pasó el suelo seco por una batería de tamices, obteniéndose los pesos secos de las siguientes fracciones por tamaño de agregados: 2-3 mm, 3-4,8 mm y 4,8-8 mm. Con dicha información se pudo determinar el diámetro medio ponderado, correspondiente a las fracciones de agregados entre 2 y 8 mm (DMP\_S). Posteriormente, 100 g de suelo de dicha fracción fue repartida en las categorías de agregados de 2-3 mm, 3-4,8 mm y 4,8-8 mm, según la proporción surgida del tamizado seco. Luego, cada una de estas categorías fue humedecida mediante goteo hasta llegar a capacidad de campo, siendo incubadas durante 24 horas. Por último, los agregados fueron tamizados sumergidos en agua durante 5 minutos, obteniéndose el peso seco de las siguientes fracciones (mm): 4,8-3, 3-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,3, <0,3. Con esta última información se calculó el diámetro medio ponderado de los agregados obtenido por tamizado húmedo (DMP\_H). El cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP) surge de la diferencia entre DMP\_S y DMP\_H. A su vez se determinó el índice de estabilidad estructural (IEE), el cual es la relación porcentual entre el CDMP de cada tratamiento analizado y el CDMP de AN. Las clases establecidas para el IEE son (De Leenher & De Boodt, 1958): > 50% excelente, 40-50% muy bueno, 33-40 % bueno, 25-33% insatisfactorio y < 25% malo.

De los mismos lugares donde se obtuvo el suelo para realizar el análisis previamente detallado, se tomaron también muestras con cilindros (83,1 cm<sup>3</sup>), para la obtención en laboratorio de la curva de retención hídrica del estrato superficial (0-5 cm) del suelo (Klute, 1986). Para ello se determinó el contenido

Años/Localidad	Bengolea	Pergamino	Viale
<b>MP</b>			
2004/2005	Maní	Soja	Maíz
2005/2006	Trigo/soja	Soja	Soja
2006/2007	Soja	Soja	Trigo/soja
2007/2008	Trigo/soja	Soja	Maíz
2008/2009	Soja	Soja	Soja
2009/2010	Soja	Soja	Soja
ISI	0,53	0,42	0,50
<b>BP</b>			
2004/2005	Trigo/soja	Soja	Trigo/soja
2005/2006	Maíz	Trigo/soja	Melilotus + RG/Maíz
2006/2007	Trigo/soja	Maíz	Soja
2007/2008	Vicia/maíz	Soja	Trigo/soja
2008/2009	Trigo/soja	Trigo/soja	Maíz
2009/2010	Soja	Maíz	Soja
ISI	0,67	0,55	0,60

Tabla 2. Secuencias de cultivo e índice de intensificación agrícola (ISI) en las tres localidades bajo estudio, correspondientes a MP y BP.

Table 2. Crop rotations and crop intensification index (ISI) for MP and BP in the three locations under study.

de humedad edáfica a las siguientes tensiones (cm c.a.): 0; 10; 30; 60; 100; 150; 200; 280 y 15.000. A partir de dichos resultados se pudieron determinar los siguientes indicadores (Reynolds *et al.*, 2009): *Capacidad de aire* ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (CA): volumen del espacio poroso comprendido entre las tensiones (cm c.a.) 0 y 100. *Agua disponible* ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (AD): volumen de agua en el suelo retenida entre las tensiones (cm c.a.) 100 y 15.000. *Macroporosidad* ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (M): volumen del espacio poroso comprendido entre las tensiones (cm c.a.) 0 y 10. *Índice de calidad física* (adimensional) ( $S_{\text{Dexter}}$ ): pendiente de la curva de retención hídrica en su punto de inflexión. Para esta última determinación, se estimaron para cada muestra los parámetros del modelo de retención hídrica de van Genuchten (1980) mediante el programa RETC (van Genuchten *et al.*, 1991), y posteriormente mediante fórmula (Dexter, 2004) se calculó el valor de  $S$  ( $S_{\text{Dexter}}$ ). Por último se determinó la densidad de agregados naturales de 3 a 5 mm de diámetro ( $\text{g cm}^{-3}$ ) (Dag). Este análisis consistió en seleccionar agregados con el mencionado tamaño, los que fueron saturados con kerosene y posteriormente sumergidos en un recipiente que contenía dicho fluido, dispuesto a su vez sobre una balanza. Aplicando el principio de Arquímedes se pudo determinar el volumen del agregado, que al ser dividido por su peso seco dió como resultado la Dag.

Finalmente se calculó el índice de intensificación de la secuencia agrícola (ISI), correspondiente al período de seis años anterior al muestreo realizado.

#### Análisis estadísticos

Se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) para resumir las características físicas de los suelos estudiados y para interpretar la asociación entre estas variables edáficas. El ACP incluyó los siguientes parámetros: arcilla, limo, arena, carbono orgánico (CO), CDMP, DMP\_S, DMP\_H,  $S_{\text{Dexter}}$ , CA, AD, M y densidad de agregados (Dag). Luego se evaluó la existencia de agrupamientos entre las propiedades físicas de los suelos evaluados de acuerdo al tratamiento, y se correlacionaron las variables individuales con el CP1 y el CP2. El ACP fue realizado sobre la matriz de correlación (Balzarini *et al.*, 2008).

Mediante el análisis de varianza, en cada sitio se compararon entre los dos tratamientos los resultados de las distintas propiedades estudiadas. A su vez se buscó el grado de vinculación entre estos parámetros, a partir del análisis de correlación y regresión simple. Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa Infostat/P v1.1, 2002. Los supuestos del ANOVA fueron cumplimentados en todos los casos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del estudio de componentes principales surge que los dos primeros ejes fueron responsables del 80% de la variabilidad total aportada por los parámetros estudiados. De

acuerdo a lo observado en la Figura 2, se puede determinar que a lo largo del eje CP1 se diferencian los tres sitios, mientras que sobre el eje CP2 se separan los distintos tratamientos. Esta diferencia entre sitios (CP1) se fundamenta en que las variables que presentaron valores más altos de variabilidad en este componente, fueron aquellas relacionadas con características intrínsecas del suelo como la granulometría (Tabla 3). De esta manera en el extremo izquierdo se ubican los suelos con más contenido de arcilla, mientras que en el derecho aquellos con más contenido de arena. También se observa que las propiedades que están más vinculadas con el contenido de arcilla, como la densidad de agregados y el DMP\_S, se disponen del lado izquierdo. En el eje CP2 aparecen las propiedades edáficas más asociadas al uso de la tierra, como el DMP\_H, el CDMP, el CO, M y CA, en tanto  $S_{\text{Dexter}}$  queda más ligado a la textura y por ende al CP1 (Tabla 3). El limo es un componente del suelo que genera una importante susceptibilidad a la degradación física, apareciendo en la Figura 2 fuertemente relacionado al sitio y también al CP2, el cual como ya se dijera explica los diferentes usos de la tierra.

En la misma Figura se observa que los AN se alinean con el DMP\_H, CO, M y CA, mientras que MP y BP lo hacen más cercanos al CDMP. También se puede deducir de la observación de la Figura 2, que BP y MP se encuentran más distanciados de AN en los extremos texturales edáficos (Viale y Bengolea), respecto al suelo con más contenido de limo (Pergamino), mientras que entre MP y BP la separación es menor respecto a AN.

Los parámetros edáficos que obtuvieron un mayor porcentaje de variabilidad en el CP2 fueron el CDMP (0,46), el DMP\_H (0,45), la macroporosidad (0,42) y el CO (0,4) (Tabla 3), siendo estos probablemente los indicadores más sensibles al cambio en el uso de la tierra. Esto se corroboró al encontrar un alto grado de ajuste ( $R^2$ : 0,72;  $p=0,004$ ) entre el ISI y este componente (CP2) para todos los sitios y tratamientos. A su vez, el CDMP, el CO y la macroporosidad fueron las variables que mejor se correlacionaron con el ISI (Figs. 3a, 3b y 3c), indicando esto que un mayor tiempo de ocupación del terreno por cultivos en estado de desarrollo, provoca efectos favorables sobre las mismas.

En la Figura 3a se observa que todos los tratamientos del sitio de Bengolea, dadas sus diferentes condiciones edafoclimáticas respecto a los otros dos sitios, muestran un menor contenido de carbono a iguales valores de ISI. Este comportamiento diferencial se explica a partir de los rendimientos promedio más bajos de los cultivos implanta-

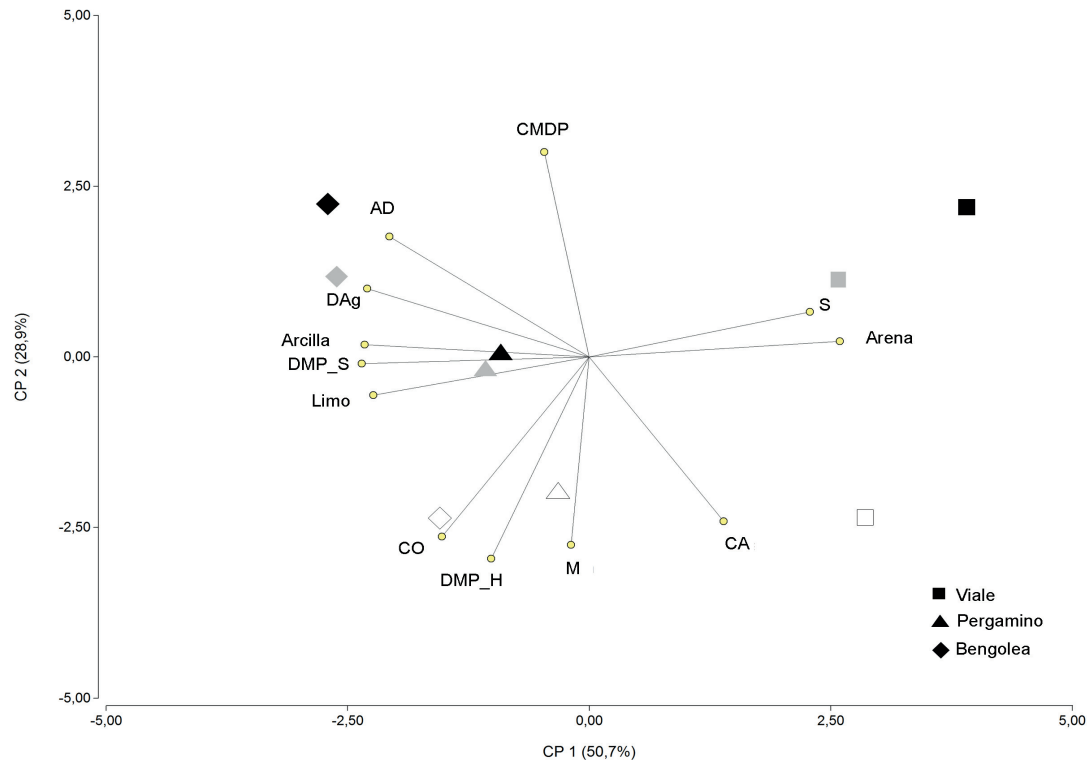


Figura 2. Resultados del análisis de componentes principales. La longitud de vectores representa la magnitud de cada variable para cada componente y los ángulos entre variables indican la correlación entre ellos. Ángulos de 90° entre dos variables indican que dichas variables no están correlacionadas. Viale: cuadrado, Pergamino: triángulo, Bengolea: diamante. Símbolos vacíos corresponden a AN, grises a BP y negros a MP.

Figure 2. Results of principal components analysis. The length of the vectors represents the magnitude of the representation of each variable for each component and the angles between the variables indicate the correlation between them. Angles of 90° between two variables indicate that they are not correlated. Viale: square, Pergamino: triangle, Bengolea: diamond. Empty symbols correspond to AN, grey to BP and black to MP.

Variables	CP1		CP2	
Arcilla	-0,35	**	0,03	
Limo	-0,34	**	-0,09	
Arena	0,4	***	0,03	
CDMP (mm)	-0,07		0,46	**
DMP_S (mm)	-0,36	**	-0,02	
DMP_H (mm)	-0,15		-0,45	*
MO	-0,23		-0,4	*
S_Dexter	0,35	***	0,1	
CA (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,21		-0,37	*
AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	-0,32	*	0,27	
M (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	-0,03		-0,42	**
DAg	-0,35	**	0,15	

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

Tabla 3. Autovectores correspondientes al análisis de componentes principales. La significancia corresponde a la correlación de Pearson entre cada componente principal y las variables.

Table 3. Principal component analysis autovectors. The significance corresponds to Pearson's correlation analysis between the principal components and each variable.



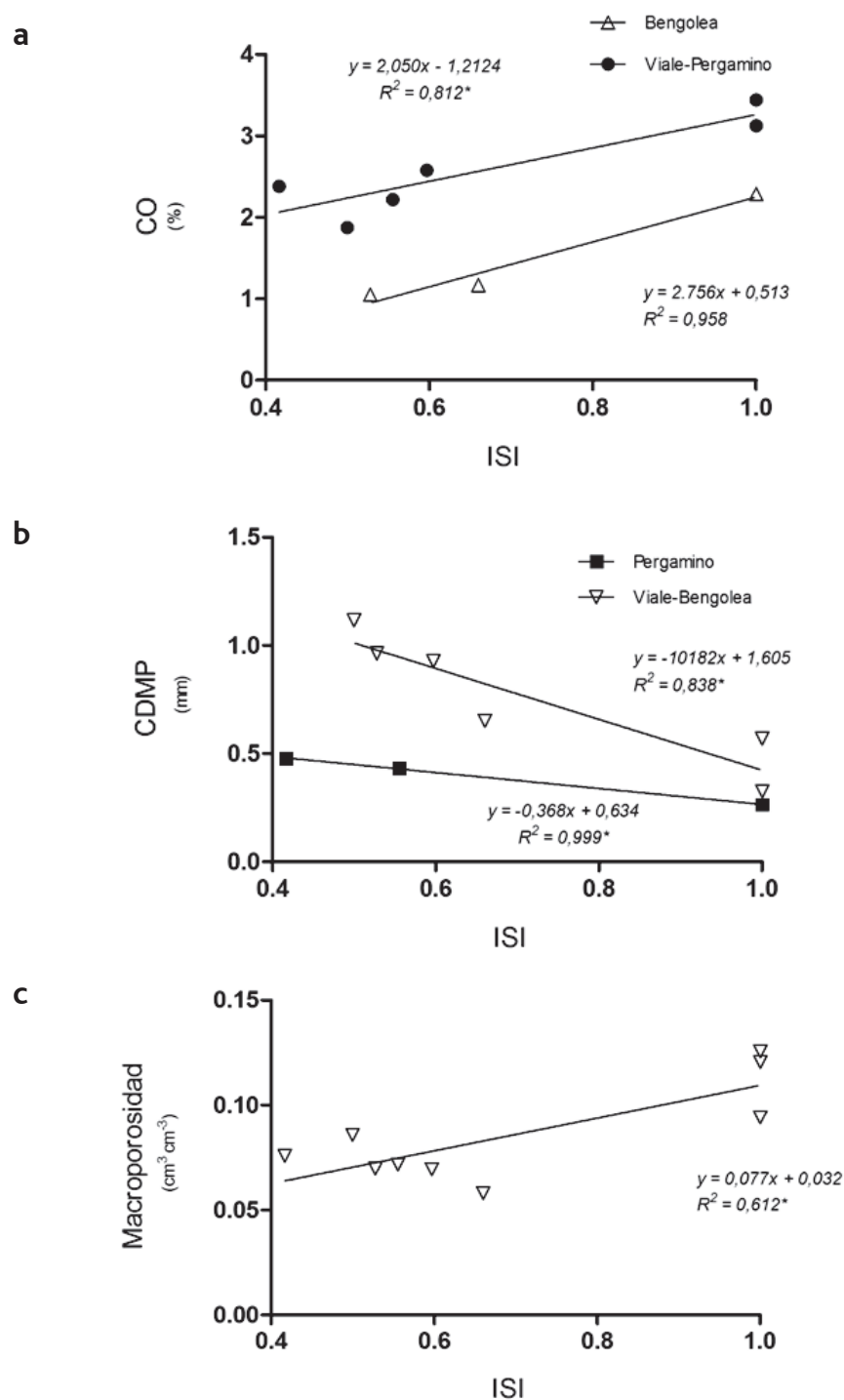


Figura 3. a: Relación entre el índice de intensificación de la secuencia de cultivos (ISI) y el carbono orgánico (CO) para Viale y Pergamino tomados en forma conjunta y Bengolea. b: Relación entre el índice de intensificación de la secuencia de cultivos (ISI) y el cambio en el diámetro medio ponderado de agregados (CDMP) para Viale y Pergamino tomados en forma conjunta y Bengolea. c: Relación entre el índice de intensificación de la secuencia de cultivos (ISI) y la macroporosidad para todos los sitios y tratamientos evaluados.

Figure 3. a: Relationship between the intensification sequence index (ISI) and organic carbon (CO) for Viale and Pergamino together and Bengolea. b: Relationship between the intensification sequence index (ISI) and the change in weight aggregate diameter (CDMP) for Viale and Pergamino together and Bengolea. c: Relationship between the intensification sequence index (ISI) and the macroporosity for all the sites and treatments evaluated.

dos en Bengolea, debido al inferior volumen de las precipitaciones registradas en dicho sitio, respecto a los ubicados más al este. Esto determinó una menor cantidad de rastros aportados al suelo, y por lo tanto un inferior contenido de carbono ante similar sucesión de cultivos.

Debe mencionarse que en el presente trabajo los valores de ISI fueron siempre menores en MP, lo que está vinculado a que en muy pocas oportunidades se incluyeron en dicho tratamiento cultivos de invierno.

Echeverría *et al.* (2012) también observaron una alta vinculación entre la estabilidad de la estructura y el período de ocupación de los cultivos, mencionando que los largos períodos de barbecho otoño-invernal no favorecen la estabilidad de agregados, debido probablemente a una menor permanencia de raíces activas. Por su parte, Sasal (2012) encontró una relación negativa entre el ISI y la proporción de estructura laminar presente en el suelo. Esta autora menciona que son numerosas las variables que están relacionadas con el ISI, como el estado de agregación, su estabilidad, la distribución de poros y su orientación, propiedades que están afectadas tanto por la cantidad y la calidad de los residuos de los cultivos, como también por el tipo y la distribución del sistema radical.

Por otro lado, y según se detallará más adelante, el efecto particular de las arcillas esmectíticas en el suelo de Viale sobre su CDMP, y las condiciones edafoclimáticas

menos favorables para la acumulación de carbono en el de Bengolea, determinaron que la relación ISI-CDMP fuera distinta en estos dos sitios respecto a Pergamino (Fig. 3b). Dicho comportamiento determinó que a iguales valores de ISI, los suelos de Pergamino presenten una mejor estabilidad en su estructura.

Dada esta mayor sensibilidad de los parámetros asociados a la estabilidad estructural en respuesta a los tratamientos analizados, se comparó entre los mismos el efecto del tamizado seco y húmedo sobre los agregados (Tabla 4).

Como puede observarse en la misma, el DMP\_S no fue afectado por el distinto uso de la tierra en ninguno de los sitios evaluados. Sin embargo, la distribución de agregados evaluada en forma posterior al tamizado húmedo, mostró que el suelo de Bengolea fue el único sensible a los tratamientos analizados, presentando MP un menor diámetro promedio en sus agregados ( $p < 0,05$ ) respecto a BP.

Al analizar lo sucedido con el CDMP, se pudo comprobar un comportamiento similar al detallado para el DMP\_H (Tabla 4).

El IEE correspondiente al suelo de Bengolea fue en BP y MP de un 49,5% y 33,5%, respectivamente. A su vez, los suelos de Pergamino y Viale presentaron resultados similares entre sí (BP: 61,4% para ambos suelos; MP: 51,0% para Viale y 55,4% para Pergamino). Por lo tanto y de acuerdo a las categorías establecidas para el IEE (De Leenher

Tabla 4. Resultados obtenidos de la estabilidad estructural (CDMP); tamizado seco (DMP\_S) y húmedo (DMP\_H); CA: capacidad de aire; AD: agua disponible; DAG: densidad de agregados; M: macroporosidad; S\_Dexter: índice de calidad física, para los distintos suelos y tratamientos (AN: ambiente natural; BP: buenas prácticas; MP: malas prácticas).

Table 4. Structural stability (CDMP); dry (DMP\_S) and wet (DMP\_H) sieving; CA: air capacity; AD: water available; DAG: aggregates density; M: macroporosity; S\_Dexter: physical quality index, for the three soils and treatments (AN: natural environment; BP: good practices; MP: bad practices).

Propiedades	Abreviatura/Unidad	Bengolea			Pergamino			Viale		
		MP	BP	AN	MP	BP	AN	MP	BP	AN
Diámetro Medio Ponderado Seco	DMP_S (mm)	4,38 a	4,59 a	4,59	4,64 a	4,78 a	4,59	4,90 a	4,97 a	4,9
Diámetro Medio Ponderado Húmedo	DMP_H (mm)	3,42 b	3,94 a	4,27	4,16 a	4,35 a	4,32	3,79 a	4,04 a	4,34
Cambio Diámetro Medio Ponderado	CDMP (mm)	0,96 b	0,65 a	0,32	0,48 a	0,43 a	0,27	1,12 a	0,93 a	0,57
Capacidad de Aire	CA (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,30 a	0,26 a	0,38	0,18 a	0,20 a	0,28	0,15 a	0,19 a	0,38
Agua disponible	AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,23 a	0,22 a	0,11	0,18 a	0,17 a	0,31	0,15 a	0,11 a	0,18
Densidad de Agregados (3-5 mm)	DAG (g cm <sup>-3</sup> )	1,44 a	1,38 a	1,33	1,52 a	1,53 a	1,44	1,75 a	1,69 a	1,67
Macroporosidad	M (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,07 a	0,06 a	0,12	0,08 a	0,07 a	0,09	0,08 a	0,07 a	0,13
Índice de calidad física de Dexter	S_Dexter	0,148 a	0,159 a	0,171	0,050 a	0,056 a	0,078	0,029 b	0,049 a	0,091

Letras distintas en una misma fila: diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p < 0,05$ )

Different letters in the same row: represent statistical differences among treatments ( $p < 0,05$ )



& De Boodt, 1958), este índice fue excelente para todos los tratamientos de Pergamino y Viale, mientras que en Bengolea fue bueno para MP y muy bueno para BP. Chagas *et al.* (1995), trabajando con la serie de suelos Marcos Juárez, determinaron que después de quince años de monocultivo de soja bajo siembra directa este índice era muy bueno, mientras que para el monocultivo de maíz el mismo era excelente, estableciéndose diferencias significativas en esta propiedad entre ambos sistemas de uso de la tierra.

En el presente estudio, la cantidad de años con cultivo de soja no fueron suficientes para que se manifiesten diferencias con BP en la estabilidad de agregados de los suelos con mayor contenido de arcilla (Viale y Pergamino). Campitelli *et al.* (2010), trabajando en un Haplustol típico de textura franco limosa bajo siembra directa, tampoco pudieron determinar diferencias en esta propiedad, al comparar un monocultivo de soja con tres años de antigüedad y una rotación soja-maíz de diez años. Sin embargo, estos autores al contrastar los resultados de esta última secuencia de cultivos con un monocultivo de soja de diez años, comprobaron el efecto perjudicial de este cultivo sobre la estructura edáfica.

Contrariamente a los suelos de textura más fina, la condición estructural del suelo franco arenoso de Bengolea resultó ser afectada por los cambios en la secuencia de cultivos ocurrida en un período de seis años. De igual manera, Rubio *et al.* (2012) determinaron menor estabilidad estructural ( $p < 0,05$ ) en un suelo franco arenoso bajo siembra directa, al comparar un monocultivo de soja de cinco años, respecto a intercalar en el mismo distintas especies de desarrollo invernal.

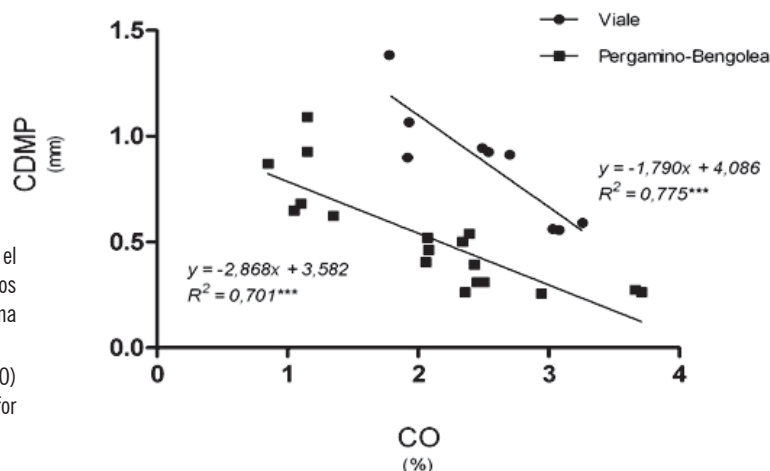
Las diversas especies vegetales pueden afectar la estructura del suelo al favorecer el desarrollo de diferentes fracciones de materia orgánica (Angers & Caron, 1998), a partir

del efecto de sus raíces que pueden envolver y estabilizar a los agregados (Tisdall & Oades, 1982), o de acuerdo al material exudado por ellas. Estos compuestos estabilizan las partículas del suelo y favorecen la actividad microbiana, la que a su vez afecta la agregación del suelo (Morel *et al.*, 1991). Bronick & Lal (2005) mencionan que los residuos del cultivo de maíz poseen cantidades importantes de fenoles, una alta relación C:N, altos contenidos de carbono y de carbohidratos, lo cual determina un incremento en la estabilidad de los agregados. Por su parte, el efecto menos favorable del cultivo de soja sobre el suelo se relaciona con el menor volumen de rastrojos producido, su peor calidad bioquímica y la menor concentración de fenoles en los mismos (Bronick & Lal, 2005). A su vez, las raíces de las leguminosas tienen una menor relación C:N y un menor desarrollo comparado con el maíz y otros cereales. Esto último puede resultar en una pobre agregación, aunque en algunos casos el incremento de la actividad microbiana puede llegar a compensar los efectos negativos del menor desarrollo radicular (Bronick & Lal, 2005). En este sentido, Villamil *et al.* (2006) encontraron mayor estabilidad estructural luego del cultivo de soja respecto al de maíz, lo cual lo relacionaron con que bajo la primer especie prevalecieron los efectos benéficos de la biomasa microbiana por sobre la peor calidad de sus residuos. De cualquier manera, estos autores al analizar los resultados de la incorporación de cultivos de invierno en la rotación soja-maíz, encontraron mayor estabilidad estructural, asignando estos resultados al mayor contenido de carbono del suelo y a la mayor masa de raíces producida durante el año.

En nuestro trabajo, la textura del suelo de Bengolea determinó que su estabilidad estructural se vea afectada más rápidamente por disminuciones en su contenido de carbono orgánico respecto a los restantes suelos evaluados. Sin embargo, observando la Figura 4 se puede deducir

Figura 4. Relación entre el carbono orgánico (CO) y el cambio en el diámetro medio ponderado de agregados (CDMP) para Pergamino y Bengolea tomados en forma conjunta y Viale.

Figure 4. Relationship between the organic carbon (CO) and the change in weight aggregate diameter (CDMP) for Pergamino and Bengolea together and Viale.



que el contenido de carbono ha tenido bastante influencia en los resultados del CDMP, independientemente de la textura del suelo considerado. Similares resultados encontraron otros autores (Álvarez *et al.*, 2006; Eiza *et al.*, 2006; Echeverría *et al.*, 2012). No obstante, Aparicio & Costa (2007) no pudieron determinar una relación significativa entre dichos parámetros, debido a los altos niveles de materia orgánica (5,9% a 8,5%) de los suelos por ellos analizados. De la misma manera, en la Figura 4 se puede visualizar que a partir del valor 3 de carbono orgánico (5,16% de materia orgánica) el CDMP pareciera estabilizarse.

En dicha Figura también se puede comprobar que el suelo de Viale presentó valores de CDMP mayores, respecto a la tendencia mostrada en la relación CO-CDMP de Bengolea y Pergamino. El análisis mineralógico de la fracción arcilla (Kraemer *et al.*, 2012), mostró que el suelo de Entre Ríos tiene es-mectitas en su composición y esto podría ser la causa de los resultados obtenidos. Stern *et al.* (1991) mencionan que la presencia de pequeñas cantidades de esmectita incrementa el grado de dispersión del suelo, favoreciendo la formación de sellos superficiales. Igwe *et al.* (1999) señalan que este proceso se debe a que los minerales de arcilla expansibles en presencia de agua muestran un no-table hinchamiento entre sus cristales, que junto a los procesos de expansión y contracción producidos durante los ciclos de humedecimiento y secado, provocan una menor estabilidad en los agregados.

De la misma manera que el CDMP, el parámetro S\_Dexter resultó ser un indicador sensible a los tratamientos analizados, al menos para uno de los suelos bajo estudio (Tabla 4). En este sentido, Viale presentó una calidad física edáfica mayor ( $p < 0,05$ ) en BP respecto a MP. Por otro lado, los restantes indicadores físicos derivados de la curva de retención hídrica, no fueron los adecuados para discriminar los usos de la tierra evaluados (Tabla 4). De cualquier manera, y con una sola excepción (BP de Viale para AD), los restantes tratamientos obtuvieron valores de CA, AD y M que no impedirían el buen desarrollo radicular, ni tampoco restringirían el rendimiento de los cultivos (Reynolds *et al.*, 2009).

Dexter (2004) menciona que S está vinculado con el contenido de arcilla, la densidad aparente y el CO, lo cual se pudo verificar en el presente trabajo para el primer parámetro ( $R: -0,68$ ;  $p < 0,05$ ) y para la densidad de agregados ( $R: -0,79$ ;  $p < 0,05$ ), no habiendo asociaciones significativas de S con CO y CDMP cuando se analizó en forma

conjunta a los tres sitios. Esto se debió a que el CO y el CDMP presentaron en Bengolea una relación con S\_Dexter numéricamente diferente a los otros dos suelos (Figs. 5a y 5b), aunque de similar pendiente. Contrariamente, la densidad de agregados presentó una única relación con el índice de calidad física, al incluir todos los suelos analizados (Fig. 6).

No obstante y considerando cada sitio por separado, las tasas de cambio de S\_Dexter por unidad de incremento de la densidad de agregados, se ubicaron en el siguiente orden: Viale > Pergamino > Bengolea. Esta mayor sensibilidad de S\_Dexter en los suelos de Viale, determinó que surgieran diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Por su parte, el suelo más arenoso, al partir de valores de densidad de agregados más bajos y con tasas de cambio de S\_Dexter con DAG también bajas, mantuvo altos valores de este índice de calidad física. Debe destacarse que los suelos arenosos tienen naturalmente valores de S más elevados ya que su textura condiciona la distribución de poros (predominancia de poros de mayor tamaño). Consecuentemente, la curva de retención hídrica resultante, especialmente el tramo inicial de dicha curva (desde saturación hasta capacidad de campo), determina que su pendiente sea mayor y por lo tanto el S más elevado.

Dexter (2004) establece un valor límite para S de 0,035, por debajo del cual se considera que la calidad física del suelo es pobre a muy pobre. Si bien este límite es considerado provisional (Silva *et al.*, 2011), el suelo correspondiente a MP de Viale se ubicaría por debajo de este umbral.

De acuerdo a estos resultados, se infiere que la mayor capacidad de expansión y contracción ante los ciclos de humedecimiento y secado en el suelo correspondiente a MP de Viale, no pudo revertir el proceso de degradación de la calidad física en que se encuentra dicho suelo. En este sentido, Pires *et al.* (2008) si bien pudieron constatar que los ciclos de humedecimiento y secado alteraban la distribución de poros de tres suelos de Brasil, solamente uno de ellos (con 28% de arcilla) mejoró su calidad física (S). Respecto a los otros dos suelos (con más del 40% de arcilla), uno no mostró modificaciones en S, mientras que el otro sufrió una disminución en el valor de dicho parámetro.

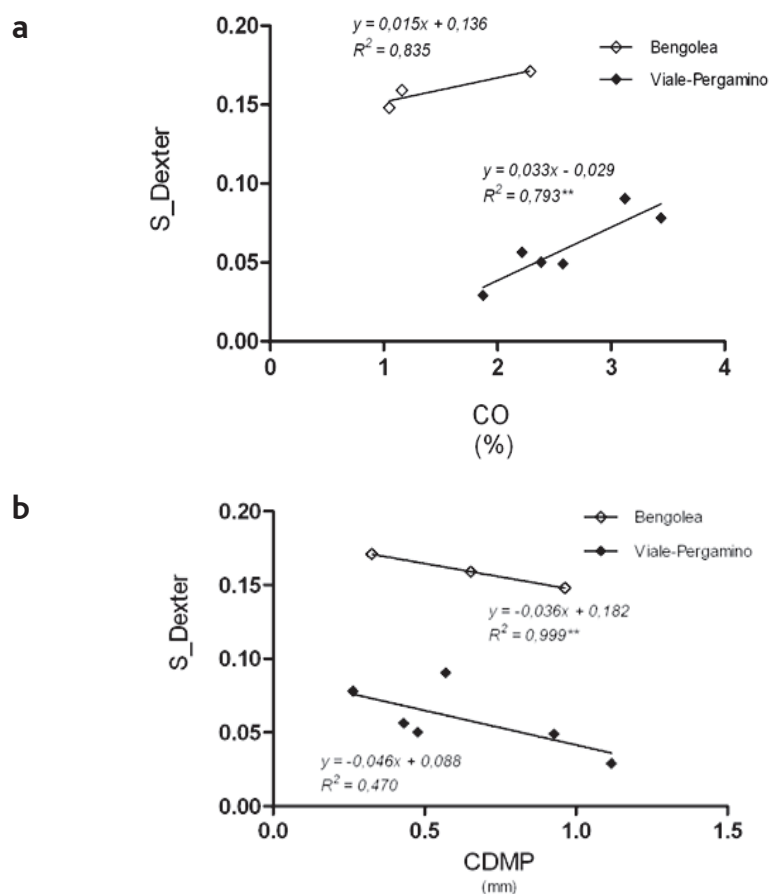


Figura 5. a: Relación entre el contenido de carbono orgánico (CO) y el índice de calidad física ( $S\_Dexter$ ) para Viale y Pergamino tomados en forma conjunta y Bengolea. b: Relación entre el cambio en el diámetro medio ponderado de agregados (CDMP) y el índice de calidad física ( $S\_Dexter$ ) para Viale y Pergamino tomados en conjunto y Bengolea.

Figure 5. a: Relationship between the organic carbon content (CO) and the physical quality index ( $S\_Dexter$ ) for Viale and Pergamino together and Bengolea. b: Relationship between the change in weight aggregate diameter (CDMP) and the physical quality index ( $S\_Dexter$ ) for Viale and Pergamino together and Bengolea.

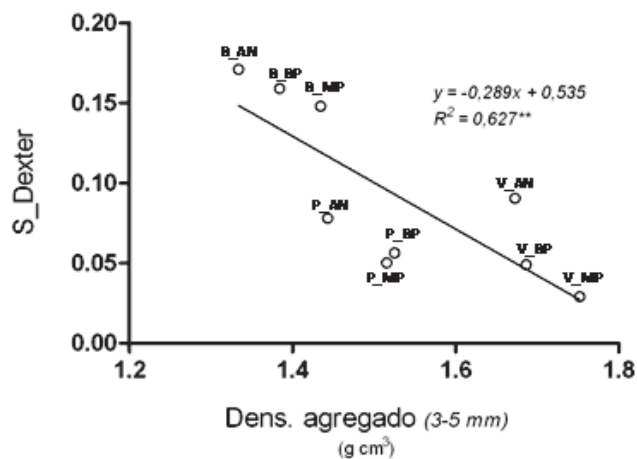


Figura 6. Relación entre la densidad de agregados (Dag) y el índice de calidad física ( $S\_Dexter$ ) (AN: ambiente natural; BP: buenas prácticas; MP: malas prácticas; B: Bengolea; P: Pergamino, V: Viale)

Figure 6. Relationship between aggregate density (Dag) and the physical quality index ( $S\_Dexter$ ) (AN: natural environment; BP: good practices; MP: bad practices; B: Bengolea; P: Pergamino, V: Viale).

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del comportamiento físico de los primeros diez centímetros de algunos suelos de la Región Pampeana con textura y mineralogía contrastante, sugieren que el efecto de distintas secuencias de cultivos no siempre se puede visualizar a partir de una sola propiedad. Es así que la determinación de la estabilidad estructural de acuerdo al método De Leenher & De Boodt (1958), resultó de mayor utilidad en la evaluación del suelo illítico de textura franco-arenosa (Bengolea), en tanto que el índice S de Dexter (2004) permitió distinguir mejor las diferentes situaciones del suelo arcilloso y esmectítico (Viale). Por su parte el suelo de Pergamino, caracterizado por el mayor contenido de limo y de carbono y una mineralogía mixta (illita e interestratificados I-E), no fue sensible al cambio en la secuencia de cultivos, de acuerdo a las propiedades analizadas. Teniendo en cuenta estos resultados, se puede inferir que el incremento en la proporción del cultivo de soja en la secuencia agrícola, tiene efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas edáficas, los que se expresan en mayor o menor medida dependiendo del suelo considerado.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Proyecto PAE BIOSPAS-PICT 2007 n 18 (ANPCyT)

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, CR; A Bono; MA Taboada; FH Gutiérrez Boem; PL Fernández & P Prystupa. 2006. Distintos manejos del suelo en la Pampa Ondulada: II Fracciones orgánicas y propiedades físicas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta.
- Angers, DA & J Caron. 1998. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry* 42: 55-72.
- Aparicio, V & J L Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96: 155-165
- Balzarini, MG; L González; M Tablada; F Casanoves; JA Di Rienzo & CW Robledo, 2008. Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina
- Brandan Pérez, C; J Huidobro; C Conforto; JL Arzeno; G March; J Meriles & S Vargas Gil. 2010. Efecto de la rotación de cultivos sobre la diversidad de las comunidades microbianas del suelo cuantificada mediante pcr-trflp. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.
- Bronick, CJ & R Lal. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil Till. Res.* 81: 239-252
- Campitelli, P; A Aoki; O Gudelj; A Rubenacker & R Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28(2): 223-231.
- Castiglioni, MG; ME Mendive Álvarez; J Córdoba; M Ochoa & D Mazzoni. 2010. Cambios en la porosidad y distribución de poros asociados a causas edáficas y por el uso de la tierra. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.
- Chagas, CI; OJ Santanoglia; MG Castiglioni & HJ Marelli. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 26(5&6): 643-655.
- De Falco, P; E Penón; AE Duhour; V Wagner; L Podestá & Di Ciocco. 2012. Evaluación de la macrofauna edáfica en monocultivo de soja bajo diferentes rotaciones. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Mar del Plata, Argentina
- De Leenher, L & M De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Proceedings of the International Symposium of Soil Structure*. Ghent, Bélgica, 290-300.
- Derpsch, R; T Friedrich; A Kassam & H Li. 2010. Current Status of Adoption of No-Till Farming in the World and Some of Its Main Benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3(1).
- Dexter, AR. 2004. Soil physical quality. Part I: Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.
- Dexter, AR; EA Czyz; J Niedzwiecki & C Mackowiak. 2001. Water retention and hydraulic conductivity of a loam sand soil as influenced by crop rotation and fertilization. *Arch. Acker- Pfl. Boden* 46: 123-133.
- Díaz-Zorita, M; C Álvarez & M Barraco. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22(1): 11-18.
- Echeverría, N; S Querejazu; M De Lucia; J Silenzi; H Forjan & M Manso. 2012. Estabilidad y carbono orgánico de agregados bajo rotaciones en siembra directa. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.
- Eiza, M; G Studdert; N Fioriti & G Domínguez. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en Molisoles de Balcarce. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Argentina.
- Hurlbert, SH. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54: 187-211.
- Igwe, CA; FOR Akamigbo & JSC Mbagwu. 1999. Chemical and mineralogical properties in soils of southeastern Nigeria in relation to aggregate stability. *Geoderma* 92: 111-123.
- Infostat / P v1.1. 2002. InfoStat, v. 1.1. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2<sup>nd</sup>. Ed. *Agronomy* 9: 635-662.
- Kraemer, FB; PL Fernández; MG Castiglioni & HJM Morrás. 2012. Evaluación del tiempo de inmersión de los agregados en el tratamiento de humedecimiento rápido de la técnica de Le Bissonnais. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- McVay, KA; JA Budde; K Fabrizzi; MM Mikha; CW Rice; AJ Schlegel; DE Peterson; DW Sweeney & C Thompson. 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 434-438.

- Morel, JL ; L Habib ; S Plantureux & A Guckert. 1991. Influence of maize root mucilage on soil aggregate stability. *Plant Soil* 136: 111-119.
- Novelli LE; OP Caviglia & RJM Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-168: 254-260.
- Pires, LF; FAM Cássaro; K Reichardt & OS Bacchi. 2008. Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modifications. *Soil Till. Res.* 100: 72-77.
- Pognante, J; M Bragachini & C Casini. 2011. Siembra directa. INTA Actualización Técnica n 58.
- Restovich, SB; MJ Torti; DA Colombini & AE Andriulo. 2010. Evolución de algunas propiedades físicas y químicas edáficas durante la implementación de cultivos de cobertura en la secuencia soja maíz. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario.
- Reynolds, WD; CF Drury; CS Tan; CA Fox & XM Yang. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152: 252-263.
- Rubio, G; C Mosca; MF Varela; C Scianca & MA Taboada. 2012. Estructura de suelos arenosos bajo cultivos de cobertura. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Mar del Plata.
- Sasal, C. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis Doctoral. Área Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados FAUBA. Pp 144.
- Sasal, MC; MG Castiglioni & MG Wilson. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Till. Res.* 108: 24-29.
- Sasal, C; A Andriulo & M Taboada. 2006. Soil Porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in argentinian pampas. *Soil Till. Res.* 87(1): 9-18.
- Silva, GL; HV Lima; MM Campanha; RJ Gilkes & TS Oliveira. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma* (167-168): 61-70.
- Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy, 9th ed. USDA-NRCS, Washington, DC.
- Stern, R; M Ben-Hur & I Shainberg. 1991. Clay mineralogy effect on rain infiltration, seal formation and soil losses. *Soil Science* 152(6): 455-462.
- Tisdall, JM & J M Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil. Sci.* 33: 141-164.
- van Genuchten, M Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of un- saturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
- van Genuchten, M Th; F J Liej & SR Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Document EPA/600/2-91/065, Riverside, CA, USA.
- 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.
- Wall, LG. 2011. The BIOSPAS Consortium: Soil Biology and Agricultural Production, in Handbook of Molecular Microbial Ecology I: Metagenomics and Complementary Approaches (ed F. J. de Bruijn), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9781118010518.ch34
- Wilson, M; J Oszust; C Sasal; A Paz Gonzales. 2010. Variación espacial de la resistencia mecánica a la penetración y su relación con estados estructurales del suelo bajo distintas secuencias de cultivos. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario.