

RELACIÓN DE LA INESTABILIDAD ESTRUCTURAL CON EL MANEJO Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN LA REGIÓN PAMPEANA

CARINA ROSA ÁLVAREZ,^{1*}; PATRICIA LILIA FERNÁNDEZ¹ & MIGUEL ANGEL TABOADA^{1,2}

Recibido: 11-07-12

Recibido con revisiones: 18-09-12

Aceptado: 01-10-12

RESUMEN

La inestabilidad estructural (IEST) permite caracterizar la resistencia a la degradación de los suelos. Se determinó la IEST (De Leenheer & De Boodt) en 67 sitios de muestreo bajo distintos manejos en la Región Pampeana norte, con el objetivo de comparar los manejos y analizar su relación con: a) la densidad aparente (DAP); b) el contenido de carbono orgánico total y sus fracciones particulada (> 53 mm) y resistente (< 53 mm); c) composición granulométrica; y d) la compactación relativa (relación entre la densidad aparente y la densidad máxima del suelo según Test de Proctor). La IEST de los suelos permitió diferenciar estadísticamente entre los sistemas agrícolas laboreados de los cuasi-prístinos. El resto de los sistemas, mixtos en siembra directa y agrícolas en siembra directa, presentaron valores intermedios. La IEST estuvo relacionada con el carbono orgánico total y el carbono orgánico particulado. La DAP fue mayor en los sistemas mixtos en SD. Se ajustó una función de regresión múltiple ($R^2 = 0,37$) que muestra que la variación de IEST estuvo inversamente relacionada con el carbono orgánico total y directamente con el contenido de limo y con una variable Dummy asociada al manejo (valor= 1 agrícolas laboreados y 0 para el resto). En el caso de la DAP estuvo inversamente relacionada con el carbono orgánico total y la arcilla y positivamente con una variable Dummy (valor= 1 mixtos en siembra directa y 0 para el resto) ($R^2 = 0,62$). Los resultados sugieren que otros mecanismos de estabilización, como los ejercidos por las raíces, fueron también responsables de la variación de IEST. El rol estabilizador del carbono orgánico estuvo relacionado con el contenido de limo de los suelos. Mayores contenidos de carbono orgánico son requeridos para lograr estabilidad estructural en suelos limosos.

Palabras clave. Densidad aparente, carbono orgánico, siembra directa, suelos limosos.

RELATION OF STRUCTURAL INSTABILITY WITH MANAGEMENT AND PROPERTIES OF SOILS IN THE PAMPEAN REGION

ABSTRACT

Soil structural instability (IEST) characterizes the resistance to degradation of soils. Soil IEST (De Leenheer and De Boodt) was determined in 67 sites under different soil managements in the Northern Pampean Region, in order to establish its relation with: a) core bulk density (DAP); b) total organic carbon and its particulate (> 53 mm) and resistant (< 53 mm) fractions; c) granulometric fractions; and d) relative compaction (ratio bulk density to maximum bulk density by Proctor Test). Soil IEST allowed distinguishing among quasi-pristine and agriculture under tillage ($P < 0.05$). Meanwhile integrated crop-livestock systems under no tillage and agriculture under no tillage presented intermediate values. DAP was highest in the integrated crop-livestock systems under no tillage. A multiple regression model ($R^2 = 0.37$) was fitted between IEST and total organic carbon and silt content and a Dummy variable related to management. DAP was negatively related with total organic carbon and clay content and positive with a Dummy variable (value= 1 for integrated crop-livestock systems and 0 for the others) ($R^2 = 0.62$). Results suggest other stabilizing agents like the action of plant roots could be responsible for the variation in SI in these soils. It can be concluded that higher carbon contents are required to stabilize silty soils.

Key words. Soil bulk density, organic carbon, no tillage, silty soils.

1 Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía, UBA.

2 Instituto de Suelos Castelar, INTA.

* Autor de correspondencia alvarezc@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

La inestabilidad estructural (IEST) es un índice que se relaciona con la capacidad del suelo de mantener su disposición estructural frente al estrés causado por fuerzas exógenas (Dexter, 1988). El suelo se encuentra expuesto a una dinámica de agregación y desagregación que depende tanto de factores naturales como de factores antrópicos (Taboada, 2008). Además de permitir caracterizar comparativamente la susceptibilidad a la degradación de diferentes manejos, la IEST está incluida dentro de los indicadores para la evaluación de la calidad de los suelos (Doran & Parkin, 1994).

La materia orgánica del suelo juega un rol destacado en su contribución a la estabilidad estructural del suelo; especialmente la fracción más lábil que es la que principalmente se modifica con los cambios en el manejo (Vázquez *et al.*, 1990; Quiroga *et al.*, 1996; Fabrizzi *et al.*, 2003; Álvarez *et al.*, 2009). A su vez, existen modificaciones en las propiedades físicas de los suelos que resultan concomitantes con los cambios tanto en materia orgánica como en la estructura del suelo. El objetivo del presente trabajo fue analizar la variación de la IEST bajo distintos manejos en la Región Pampeana norte y su relación con algunas propiedades edáficas. La comprensión de estas relaciones podría ser utilizada para poder predecir el comportamiento del horizonte superficial del suelo bajo distintos manejos y lograr mantener bajos valores de inestabilidad a través del tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de 0-15 cm de 67 unidades muestrales abarcando gran parte del rango textural presente en la región que comprende el Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires: 32 lotes bajo agricultura continua y siembra directa (entre 5 y 18 años) (AGR-SD); 18 lotes bajo agricultura continua y laboreo conservacionista (más de 10 años) (AGR-LC), 11 bajo manejo mixto en siembra directa (4 años pastura y 8 agricultura; MIXTOS-SD) y 6 situaciones cuasi-prístinas correspondientes a cascos de estancias (REFERENCIAS) (Álvarez *et al.*, 2009; Fernández *et al.*, 2011). Los suelos muestreados abarcaron los siguientes subgrupos: Hapludoles Típicos, Argiudoles Típicos, Abrúpticos y Vérticos. La textura superficial varió entre franco arenosa a franco arcillo limosa. Las muestras fueron tomadas durante el período invernal (junio-agosto). La distribución del tamaño de partículas (arcilla < 2 µm, limo 2-50 µm, y arenas > 50 µm) se analizó mediante el método de la pipeta (Soil Conservation Service, 1972). Se tomó una muestra compues-

ta de 20 a 30 submuestras en cada unidad muestral, para determinar el carbono orgánico total (COT) por combustión húmeda (Walkley & Black; SAGPYA, 2004). Sobre estas muestras se realizó el fraccionamiento físico por tamizado para determinar el C en las fracciones lábiles o particuladas y resistentes del suelo (Cambardella & Elliot, 1992). El contenido de C en la fracción < 53 µm (carbono orgánico resistente, COR) fue determinado por combustión húmeda (Walkley & Black; SAGPYA, 2004); y la fracción > 53 µm (carbono orgánico particulada, COP) fue calculada como la diferencia entre los contenidos de COT y COR.

En 22 situaciones se realizó el test de compactación (Test Proctor; ASTM, 1982) y en el resto de las situaciones los parámetros del Test de Proctor fueron estimados con ecuaciones de edafo-transferencia (Álvarez *et al.*, 2010). La densidad aparente (DAP) del suelo fue determinada a través del método del cilindro (Burke *et al.*, 1986). En 45 sitios el volumen del cilindro utilizado fue de 230 cm³ (diámetro 7,65 cm) y se tomaron 4 repeticiones. En el resto de los sitios se usó un cilindro de 100 cm³; y se tomaron 10 repeticiones por unidad muestral. La humedad al momento de muestreo varió entre próximo a capacidad de campo a medianamente seco. Se calculó la compactación relativa (CR) como:

$$CR (\%) = [(DA \text{ (g cm}^{-3}\text{)} / D_{\text{máx}} \text{ (g cm}^{-3}\text{)})] * 100$$

$D_{\text{máx}}$ = densidad máxima del suelo según Test de Proctor.

Sobre muestras no disturbadas de 0-15 cm se determinó el índice de inestabilidad estructural (IEST) (De Leenheer y De Boodt, citado por Burke *et al.*, 1986). Las muestras fueron tomadas con pala (n=2 en cada unidad muestral). Se transportaron en bolsa cerrada y en contenedores para evitar su disturbio. Luego fueron secadas al aire y desagregadas manualmente. Las diferencias entre medias fueron analizadas mediante sus varianzas (ANVA). Se probó la homogeneidad de varianza (Test de Bartlett) y la normalidad de los datos (Test de Shapiro-Wilk). Cuando dichos requisitos no se cumplían, la variable se transformó (ln) para lograr los mismos. Cuando se detectaron diferencias significativas se aplicó el test Tukey para separar las medias. También se realizaron regresiones simples y múltiples por Stepwise corroborando la distribución normal de residuales (Neter & Wasserman, 1974).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos medios, error estándar, máximos y mínimos de la distribución de tamaño de partículas, del COT y sus fracciones (COP y COR), y la CR para los manejos analizados se presentan en Tabla 1. Los distintos manejos no difirieron en su composición textural, indicando que dentro de cada manejo se abarcó un rango textural similar.

Tabla 1. Valor promedio \pm error estándar de las distintas propiedades edáficas evaluadas de 0-15 cm bajo los distintos manejos: agricultura continua y siembra directa (AGR-SD); agricultura continua y laboreo conservacionista (AGR-LC), mixtos en siembra directa (4 años pastura y 8 agricultura; MIXTOS-SD) y situaciones cuasi-prístinas correspondientes a cascos (REFERENCIAS), en la Región Pampeana norte de la Argentina. CR= Compactación relativa; COT= carbono orgánico total; COP= carbono orgánico particulado y COR= carbono orgánico resistente. Entre paréntesis se indican el valor mínimo y máximo.

Table 1. Mean value of different soil properties (0-15 cm) \pm standard deviation under different management: continuous agriculture under no tillage (AGR-SD); continuous agriculture under conservation tillage (AGR-LC), integrated livestock-agriculture systems under no tillage (4-yr pasture and 8-yr agriculture; MIXTOS-SD) and quasi pristine situations (REFERENCIAS) in the north pampean region of Argentina. CR = relative compaction; COT = total organic carbon; COP = particulate organic carbon and COR = resistance organic carbon. Minimum and maximum values are given within parenthesis.

	AGR-LC	AGR-SD	MIXTOS-SD	REFERENCIA	Valor P
CR (%)	84 \pm 1,1 (78-96)	87 \pm 1,3 (74-100)	90 \pm 1,7 (82-98)	78 \pm 2,3 (66-82)	<0,01
COT (g kg ⁻¹)	20 \pm 0,6 (15-24)	19 \pm 0,5 (11-28)	18 \pm 1,2 (14-26)	27 \pm 0,9 (25-30)	<0,01
COP (g kg ⁻¹)	4,7 \pm 0,4 (2,1-8,4)	5 \pm 0,2 (1,9-8,3)	5,7 \pm 0,7 (2,7-10,1)	9,5 \pm 1,6 (5,4-15,1)	<0,01
COR (g kg ⁻¹)	15,5 \pm 0,5 (10,8-20)	13,9 \pm 0,5 (8,3-21,8)	12 \pm 0,7 (7,5-15,9)	18 \pm 1,2 (13-22)	<0,01
Arena (g kg ⁻¹)	240 \pm 23 (63-420)	268 \pm 26 (56-627)	335 \pm 53 (110-580)	282 \pm 24 (206-370)	0,35
Arcilla (g kg ⁻¹)	233 \pm 8 (175-290)	225 \pm 10 (127-335)	181 \pm 19 (77-264)	210 \pm 20 (122-250)	0,06
Limo (g kg ⁻¹)	526 \pm 17(380-647)	507 \pm 19 (243-687)	485 \pm 37 (342-682)	507 \pm 11 (465-544)	0,62

En la Figura 1 se observa que la IEST presenta cierto grado de diferenciación entre manejos. Las medias presentan una progresión creciente según: REFERENCIAS < MIXTOS-SD < AGR-SD < AGR-LC. Siendo la diferencia estadísticamente significativa sólo entre las REFERENCIAS y AGR-LC.

Por otro lado, el COT y su fracción lábil diferenciaron la situación REFERENCIAS de todas las situaciones de manejo agrícola o agrícola ganadera (REFERENCIAS > MIXTOS-SD = AGR-SD = AGR-LC). Esto concuerda con otros

trabajos realizados en suelos de clima templado que destacan la mayor sensibilidad de la IEST a los cambios de manejo, respecto del COT (e.g. Ferreras *et al.*, 2007). Se sugiere que la ausencia de remoción del suelo y la presencia de raíces vivas contribuyen como factores a la estabilidad de la estructura del suelo (Taboada *et al.*, 2004) ante la falta de cambios en el componente orgánico edáfico. Ello es particularmente visible por los menores valores de IEST de los tratamientos REFERENCIAS y MIXTOS-SD, que incluyen pasturas en su secuencia.

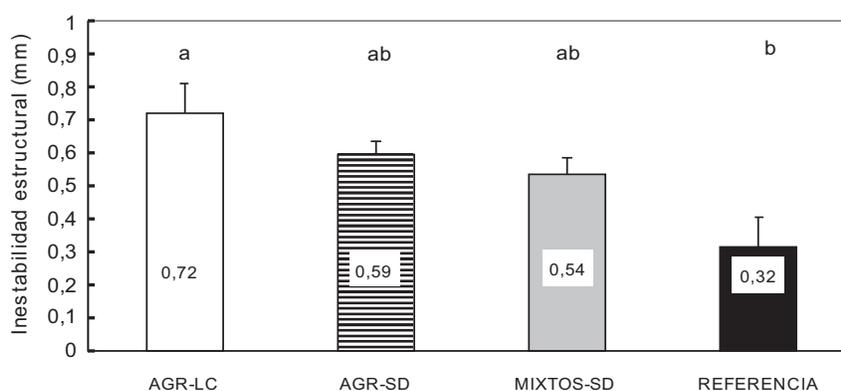


Figura 1. Inestabilidad estructural bajo distintos manejos de 0-15 cm en la Región Pampeana norte argentina. Agricultura continua y laboreo conservacionista (AGR-LC), agricultura continua y siembra directa (AGR-SD), mixtos en siembra directa (4 años pastura y 8 agricultura; MIXTOS-SD) y situaciones cuasi-prístinas correspondientes a cascos (REFERENCIAS). Letras distintas indican diferencias significativas al 5%; las barras indican el error estándar. Se indican los valores medios para cada situación.

Figure 1. Structural instability under different management (0-15 cm) in the north pampean region. Continuous agriculture under conservation tillage (AGR-LC), continuous agriculture under no tillage (AGR-SD), integrated livestock-agriculture systems under no tillage (4-yr pasture and 8-yr agriculture; MIXTOS-SD) and quasi pristine situations (REFERENCIAS). Different letters indicated significantly statistic differences and bars standard deviations. Mean values are given for each management.

La DAP también presentó variaciones asociadas al manejo, siendo mayor en los sistemas MIXTOS-SD que en el resto. Los AGR-SD presentaron mayores DAP que las REFERENCIAS, mientras que AGR-LC no se diferenció ni de AGR-SD ni de las REFERENCIAS (Fig. 2). Sin embargo, en ningún caso se alcanzaron valores críticos en los que se afectaría el crecimiento y desarrollo radical (Álvarez *et al.*, 2009; Fernández *et al.*, 2011).

La IEST estuvo relacionada negativamente con el COT y con el COP, pero no estuvo asociada con el COR (Tabla 2). Pikul *et al.* (2007) también observaron una relación

significativa entre los agregados estables al agua y el COP (0,5 a 0,053 mm), encontrando que la diversificación de la rotación y la reducción del laboreo tendían a incrementar tanto los agregados estables como el COP. La IEST estuvo positivamente correlacionada con el contenido de limo (Tabla 2). El efecto negativo del limo sobre la estabilidad estructural se relaciona con la composición y el origen de esta fase sólida del suelo. Por lo menos, la mitad de los limos están en el rango 2 - 20 μm (*i.e.* limo fino), cuyo origen son los fitolitos (Salazar Lea Plaza & Moscatelli, 1989; Cosentino & Pecorari, 2002). Estas partículas tienen po-

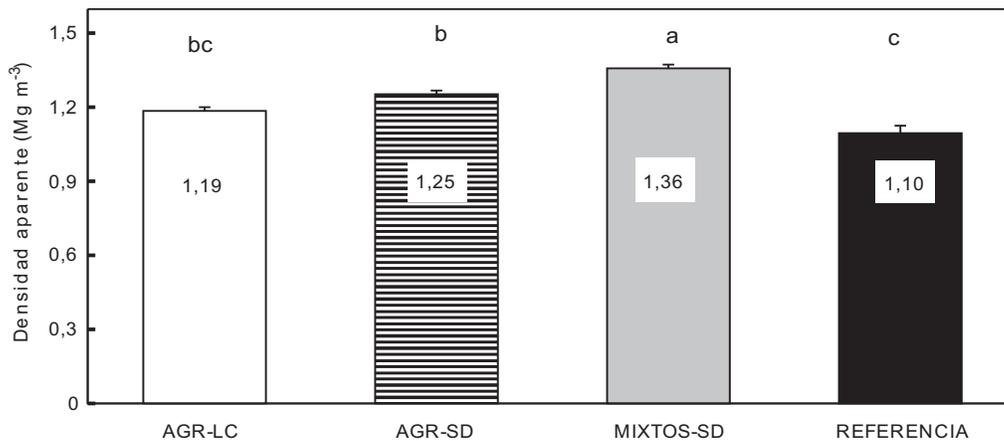


Figura 2. Densidad aparente bajo distintos manejos de 0-15 cm en la Región Pampeana norte argentina. Agricultura continua y laboreo conservacionista (AGR-LC), agricultura continua y siembra directa (AGR-SD), mixtos en siembra directa (4 años pastura y 8 agricultura; MIXTOS-SD) y situaciones cuasi-prístinas correspondientes a cascos (REFERENCIAS). Letras distintas indican diferencias significativas al 5%; las barras indican el error estándar. Se indican los valores medios para cada situación.

Figure 2. Soil bulk density under different managements (0-15 cm) in the north pampean region. Continuous agriculture under conservation tillage (AGR-LC), continuous agriculture under no tillage (AGR-SD), integrated livestock-agriculture systems under no tillage (4-yr pasture and 8-yr agriculture; MIXTOS-SD) and quasi pristine situations (REFERENCIAS). Different letters indicate significantly statistic differences and bars standard deviations. Mean values are given for each management.

Tabla 2. Coeficiente de correlación entre las variables evaluadas (0-15 cm) y nivel de significancia. COT= carbono orgánico total; COP= carbono orgánico particulado; COR= carbono orgánico resistente; CR= compactación relativa; DAP= densidad aparente; IEST= inestabilidad estructural.

Table 2. Correlation coefficient between variables (0-15 cm) and P-value. COT= total organic carbon; COP= particulate organic carbon, COR= resistance organic carbon, DAP= soil bulk density, CR= relative compaction and IEST: structural instability.

	IEST		DAP	
	r	P	r	P
Arena	-0,34	0,004	0,36	<0,001
Limo	0,36	0,003	ns	
Arcilla	ns		-0,40	<0,001
COT	-0,34	0,004	-0,67	<0,001
COP	-0,36	0,003	ns	
COR	ns		-0,63	<0,001
CR	ns		0,81	<0,001
DAP	ns		1	<0,001

rosidad lacunar, que otorga a los suelos baja resistencia a la tracción y alta susceptibilidad a la degradación por erosión, laboreo o tránsito (Cosentino y Pecorari, 2002). El alto contenido de limo ha sido mencionado como la causa de la baja resiliencia de los suelos franco limosos de la región (Taboada *et al.*, 2008). La DAP estuvo relacionada negativamente con COT, COR y con la fracción arcilla. Cabe destacar que mientras que IEST se asoció con la fracción lábil del carbono, la DAP se relacionó con la fracción resistente. DAP y IEST no estuvieron correlacionadas entre sí.

Se obtuvo un modelo de regresión múltiple que permitió explicar el 37% de las variaciones de la IEST (Fig. 3A). Cabe destacar que el rango de variación de los valores estimados es menor que el de los valores observados asociado al bajo ajuste. Las propiedades que ingresaron en el modelo fueron COT, limo y una variable Dummy asociada al manejo. La misma le otorga un valor mayor de IEST a los sistemas AGRI-LC respecto del resto. Si bien el ajuste es estadísticamente significativo, una proporción importante de la variabilidad no es explicada por las variables que ingresaron en el modelo. La variabilidad restante puede ser atribuible a otros factores, pudiendo señalarse entre ellos a los efectos bióticos de las raíces y meso y macrofauna

(Dexter 1988; Oades, 1993). Este es un mecanismo de estabilización de los agregados del suelo que no ha sido evaluado en este trabajo. Por otro lado, surge de los resultados que a medida que la fracción limo aumenta, se requieren mayores valores de carbono para evitar incrementos en IEST.

La variabilidad de la DAP pudo ser explicada en mayor medida que la IEST (62%; Fig. 3B). Las variables que ingresaron fueron arcilla, COT y una variable Dummy también asociada al manejo. En este caso esta variable adquirió un coeficiente de 1 para los sistemas MIXTOS-SD.

CONCLUSIONES

La IEST diferenció parcialmente entre los manejos, correspondiendo el valor más bajo a la situación de REFERENCIAS y el valor mayor al AGR-LC, mientras que los valores intermedios fueron para AGR-SD y MIXTOS-SD. De los análisis de regresión surge que a medida que la fracción limo aumenta, se requieren mayores contenidos de carbono para mantener la estabilidad estructural del suelo. El modelo múltiple de IEST explicó el 40% de varia-

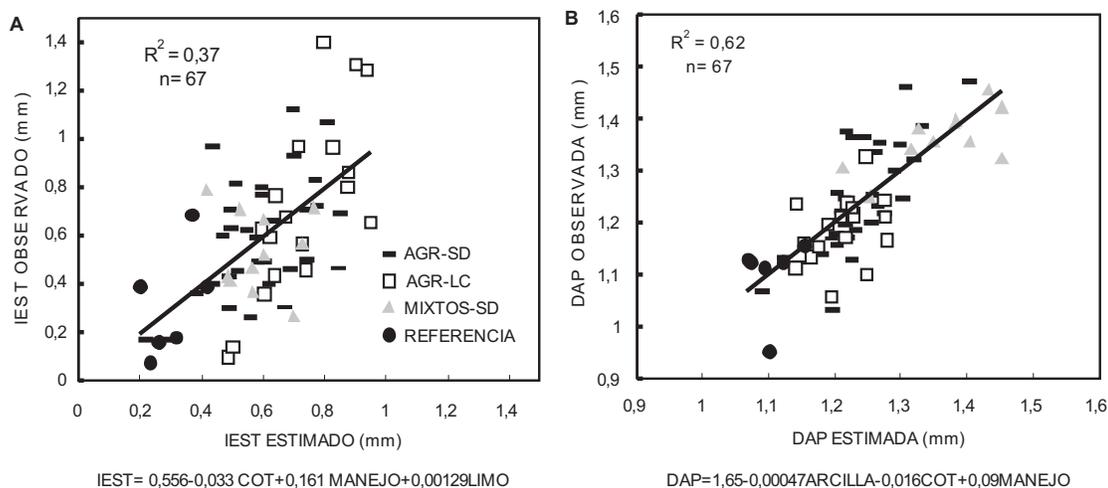


Figura 3. Valores observados y predichos por modelos de regresión múltiple para inestabilidad estructural (IEST; A) y densidad aparente (DAP; B) de 0-15 en la Región Pampeana norte. Agricultura continua y siembra directa (AGR-SD); agricultura continua y laboreo conservacionista (AGR-LC), mixtos en siembra directa (4 años pastura y 8 agricultura; MIXTO-SD) y situaciones cuasi-prístinas correspondientes a cascos (REFERENCIA). Arcilla, limo y carbono orgánico total (COT) en $g\ kg^{-1}$. Para IEST Manejo = variable dummy; valor 1 para AGR-LC y 0 para el resto de los manejos. Para DAP Manejo = variable dummy; valor 1 para MIXTOS-SD y 0 para el resto.

Figure 3. Observed vs. predicted values by a multiple regression model for structural instability (IEST; A) and soil bulk density (DAP; B) under different managements (0-15 cm) in the North Pampean Region. Continuous agriculture under no tillage (AGR-SD); continuous agriculture under conservation tillage (AGR-LC), integrated livestock-agriculture systems under no tillage (4-yr pasture and 8-yr agriculture; MIXTO-SD) and quasi pristine situations (REFERENCIA). Clay (ARCILLA), silt (LIMO) and total organic carbon (COT) are given in $g\ kg^{-1}$. For structural instability dummy variable; 1 for AGR-LC and 0 for the others. For soil bulk density Manejo = dummy variable; 1 for MIXTOS-SD and 0 for the others.

ción, siendo otros factores, como por ejemplo la acción de las raíces o macro y microfauna, responsables del resto de la variación de la IEST. La DAP mostró un aumento en sistemas que adicionan el estrés de tránsito de máquinas y el pisoteo del ganado. Si bien no se observaron valores críticos deberían monitorearse con atención la evolución de estas variables en sistemas MIXTOS-SD.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue subsidiado por el UBACYT 20020100100257, programación 2011-2014.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, CR; MA Taboada; FH Gutiérrez 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.
- Álvarez, CR; FG Micucci; C Bustingorri & MA Taboada. 2010. Prediction of Proctor test parameters in the Pampas region of Argentina. *Revista Brasileira do Ciência do Solo.* 34: 1787-1793.
- ASTM. 1982. Standard test methods for moisture relations using a 5.5 lb (2.5 kg) hammer and 12 inch (304.8 mm) drop. p. 836-842. In: American Society for Testing Materials (*ed.*), ASTM Standards in Building Codes. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA.
- Burke, W; D Gabriels & J Bruma. 1986. Soil structure assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 92.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cosentino, DJ & C Pecorari. 2002. Impact of low-density minerals on physical properties of soils of the Pampean region. *Ciencia del Suelo* 20: 9-16.
- Dexter, AR. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.* 11: 199-235.
- Doran, JW & BT Parkin. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci. Soc. Am., Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Fabrizzi, KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Fernández, PL; CR Álvarez & MA Taboada. 2011. Assessment of topsoil properties in integrated crop-livestock and continuous cropping systems under Zero Tillage (ZT). *Austr. J. Soil Res.* 49: 143-151.
- Ferreras L; G Magra; P Besson; E Kovalevski & F García. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del suelo* 25: 159-172.
- Neter, J & W Wasserman. 1974. Applied linear statistical models: Regression analysis of variance and experimental design. RD Irwin, Homewood, IL.
- Quiroga, AR; DE Buschiazzi & N Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fraction in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Sci.* 61: 104-108.
- Oades, JM. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Pikul, JL Jr; S Osborne; M Ellsbury & W Riedell. 2007. Particulate organic matter and water-stable aggregation of soil under contrasting management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 766-776.
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola. 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMPLA). CD-room. ISBN 987-9184-40-8.
- Salazar Lea Plaza, JC & G Moscatelli. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Scala: 1:500000. SAGyP - INTA, 527 p. Buenos Aires.
- Soil Conservation Service. 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples. Soil Surv. Report, 1. USDA, Washington (USA).
- Taboada, MA. 2008. Influencia de la textura y la estructura de los suelos sobre la fertilidad física. En: MA Taboada y CR Álvarez. Fertilidad Física de los suelos. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. pp 15.
- Taboada, MA; OA Barbosa, MB Rodríguez & DJ Cosentino. 2004. Mechanisms of aggregation in a silty loam under different simulated management regimes. *Geoderma* 123: 233-244.
- Taboada, MA; OA Barbosa & DJ Cosentino. 2008. Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loam soils. *Soil Sci.* 173: 130-142.
- Vázquez, ME; LA Berazategui; ER Chamorro; LA Taquini & LA Barberis. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la Pradera Pampeana. *Ciencia del Suelo* 8: 203-210.