



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

ESCURRIMIENTO Y PÉRDIDAS DE SUELO EN SISTEMAS DE CULTIVO BAJO SIEMBRA DIRECTA. EFECTO DE ALGUNAS PROPIEDADES EDÁFICAS SUPERFICIALES

Sasal, M. C., M. G. Wilson, N. A. Garciarena, H. A. Tasi y O. Paparotti

INTA EEA Paraná. Ruta 11, Km. 12.5 (3100), Paraná, Entre Ríos, Argentina

E-mail: csasal@parana.inta.gov.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de algunos sistemas de cultivo sobre propiedades físicas edáficas superficiales, y sobre las pérdidas de agua por escurrimiento y de sedimentos en cada evento lluvioso en 15 parcelas de 100 m². El suelo fue un Argiudol Acuíco, con 3,5% de pendiente y 10 años de siembra directa. Se midió: densidad aparente (Dap) y macroporosidad >50µm a 0-5 y 5-10 cm, estabilidad estructural (DMP) a 0-12 cm, resistencia mecánica a la penetración hasta 20 cm, carbono orgánico (C) a 0-5 y 5-20 cm. Se evaluaron las secuencias de cultivos: soja y maíz continuos; trigo/soja, maíz-trigo/soja, suelo descubierto, pastura y maíz continuo. La lluvia durante el período de estudio fue de 1.574 mm con el 88% de eventos erosivos. Las pérdidas de agua en las parcelas con cultivos fueron elevadas y las pérdidas de suelo muy bajas. La densificación en la capa de 5-10 cm condicionó el ingreso de agua al suelo y favoreció su pérdida por escurrimiento. El stock de C en los primeros centímetros del suelo es el único condicionante de la pérdida de suelo por erosión. La variación del escurrimiento pudo explicarse por una regresión lineal múltiple como resultado de la variación conjunta del DMP y la Dap de 0-5 cm. Se destaca la importancia del tiempo de ocupación de cultivos en el lote, la frecuencia de tránsito de implementos agrícolas y la actividad de las raíces como los factores más importantes que condicionan el escurrimiento superficial de agua.

Palabras clave: escurrimiento, pérdida de suelo, propiedades edáficas, secuencias de cultivos.

INTRODUCCIÓN

La topografía ondulada de la Provincia de Entre Ríos así como la baja capacidad de infiltración de sus suelos y las precipitaciones intensas en primavera-verano-otoño predisponen a gran parte de la superficie provincial a procesos de degradación de suelos, especialmente por erosión hídrica (Scotta, 1993) y además, son causas de riesgo de contaminación por escurrimiento a los cursos de agua superficiales. Existen pocas experiencias en la Provincia que evalúen el impacto ambiental del uso de las tecnologías de alta producción de cultivos actuales sobre los recursos naturales agua y suelo.

En la EEA Paraná del INTA existen 15 parcelas para medición de volumen y calidad del agua de escurrimiento superficial y de pérdidas de suelo, construidas en 1970. Estas parcelas fueron diseñadas para medir los coeficientes de cultivos con el fin de aplicar la ecuación universal de pérdida de suelo (Convenio FAO-INTA 1969-1974). Hasta fines de la década del 90 se cultivaron con sistema de labranza convencional y a partir de entonces cesaron los laboreos y se continuaron las secuencias de cultivos bajo siembra directa (SD), para adecuar la información al sistema adoptado por la mayor parte de los productores que trabajan en zonas con marcada pendiente. Así, esta experiencia intenta cuantificar si las modificaciones que imprimen los sistemas de cultivo bajo SD sobre el funcionamiento hídrico son compatibles con su continuidad a largo plazo (necesidades hídricas de los cultivos, riesgos de escurrimiento y erosión, contaminación, fuga de nutrientes).

Los objetivos de este trabajo fueron: i) evaluar el impacto de los sistemas de cultivo sobre las propiedades físicas edáficas superficiales y ii) analizar el efecto de los sistemas de cultivo sobre las pérdidas de agua por escurrimiento y de sedimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre agosto de 2006 y julio de 2007 se midieron las pérdidas de agua por escurrimiento superficial y de sedimentos en cada evento lluvioso en 15 dispositivos experimentales de 100 m² construidos en



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

1970 en la EEA INTA Paraná. El suelo es Argiudol Acuíco serie Tezanos Pinto (Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos, 1984), con 3,5% de pendiente cultivado con labranza convencional hasta el año 2000 y luego bajo siembra directa. El registro de las precipitaciones se realizó en el Observatorio Agrometeorológico de la EEA, situado a 200 m de las parcelas.

Entre mayo y julio de 2007 se midieron distintas propiedades físicas edáficas en cada parcela. La densidad aparente (Dap) se obtuvo por el método del cilindro en dos profundidades 0-5 cm y 5-10 cm (2 repeticiones por parcela), la macroporosidad $>50\mu\text{m}$ se realizó con las mismas muestras en celdas Tempe a 6 KPa, la estabilidad estructural (diámetro medio ponderado -DMP-) se midió en una muestra compuesta por parcela del espesor 0-12 cm con el método de LeBissonais y Le Souder (1995), la resistencia mecánica a la penetración (RMP) en MPa se midió en condiciones hídricas cercanas a capacidad de campo con un penetrológico Eijkelkamp hasta 20 cm de profundidad con registro detallado cada 1 cm (10 repeticiones por parcela). El carbono orgánico (C) se determinó en una muestra compuesta por parcela para dos profundidades, 0-5 y 5-20, por combustión seca. Se expresó en Mg ha^{-1} , multiplicado por la Dap y el espesor.

Actualmente, el esquema de secuencias de cultivos en las parcelas está diseñado de modo que hay 3 parcelas (repeticiones) con cada sistema de cultivo, éstos son soja continua; soja continua con cultivo de cobertura otoño-invernal; trigo/soja (T/S) y maíz-trigo/soja (M-T/S). Este esquema recién se estableció en 2006. Así, para analizar efectos acumulados o propiedades físicas impuestas por los sistemas de cultivo se analizaron los tratamientos antecesores a este nuevo esquema, que no contaban con más de 2 repeticiones por sistema. Además, existen 3 parcelas que no tienen repeticiones y se continúan aún en el nuevo esquema. Estas son: suelo descubierto (sin laboreo y con control químico de malezas), pastura (con cortes manuales) y maíz continuo.

Análisis de los datos

Se realizaron regresiones simples y múltiples entre las variables dependientes escurrimiento y pérdida de suelo anuales con los datos provenientes de las 15 parcelas mediante el procedimiento REG de SAS (SAS Institute 1989). Se analizaron estadísticamente las varianzas de las propiedades medidas con submuestreos (Dap, macroporosidad, RMP) utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute 1989). Se utilizó el test de Duncan para diferenciar medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El registro de lluvia durante el período de estudio fue muy elevado (1574 mm) con respecto al promedio anual histórico (período 1934/2007: 1027 mm). Se consideraron como efectivas (con potencialidad de producir escurrimiento) a las lluvias superiores a 12,5 mm (Wischmeier y Smith, 1958); así el 88% de los eventos fueron erosivos. En la Tabla 1 se presentan los valores de escurrimiento y de pérdida de suelo totales del período y la relación entre la lluvia y el escurrimiento. El suelo descubierto superó 9 veces la pérdida de agua de la pastura. Los monocultivos de soja y maíz continuos tuvieron una importante pérdida de agua: 7 veces mayor que la pastura. Las secuencias (T/S y M-T/S) tuvieron pérdidas de agua similares e intermedias. En 2002, Paparotti y Melchiori, cuantificaron las pérdidas de agua por escurrimiento en la secuencia M-T/S durante el ciclo del cultivo de trigo y el escurrimiento correspondió al 1,5 % de lo precipitado. Para esta secuencia, el escurrimiento anual fue de 13% de la lluvia efectiva.

En general, se sostiene que bajo SD continua la cobertura superficial de residuos de cosecha y el incremento en los niveles de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo producen el aumento de la tasa de infiltración y de la capacidad de almacenamiento de agua y la reducción de la escorrentía (ECAAF 1999). Sin embargo, en este estudio las pérdidas de agua en los monocultivos de soja y maíz fueron equiparables a obtenidas bajo estos cultivos, pero con laboreo (Frye et al., 1985).



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

Tabla 1: Valores de escurrimiento y de pérdida de suelo totales del período y la relación entre la lluvia y el escurrimiento en parcelas de escurrimiento

Tratamiento	Escurrimiento (mm)	Pérdida de suelo (t ha ⁻¹)	Escurrimiento/ lluvia efectiva (%)
Descubierto	413	15,3	30
Maíz	339	1,8	24,5
Soja	328	2,4	24
M-T/S	178	0,3	13
T/S	180	0,5	13
Pastura	48	0,5	3

Está ampliamente estudiado por numerosos autores que la cobertura producida por los sistemas con cultivo en SD es efectiva para controlar la erosión. La cobertura de rastrojos produce un efecto amortiguador del impacto de las gotas de lluvia impidiendo el encostramiento superficial. En este estudio las pérdidas de suelo fueron muy bajas, aún con elevadas e intensas precipitaciones. Sin embargo, el tratamiento descubierto, aún sin haber tenido laboreo reciente, superó el límite de tolerancia admitido por el Sistema de Conservación de Suelos de USA, 11.2 tn_{ha}⁻¹ (Hall et al. 1985). La mejora más importante del sistema de cultivo sobre la sustentabilidad del sistema, fundamentalmente en suelos con capacidad de almacenamiento disminuida por erosión, es la disminución del escurrimiento y el consecuente incremento en la infiltración (Frye et al., 1985). La producción de materia seca total del período de estudio fue 21.382, 5.895, 8.670 y 6.214 kg ha⁻¹ para maíz, soja y la secuencia T/S de M-T/S y T/S, respectivamente. Así, el maíz continuo con más de 3 veces la producción de materia seca que los demás sistemas tuvo un escurrimiento y una pérdida de suelo equiparables a la soja continua. En consecuencia, más importante que la cantidad de materia seca cubriendo el suelo durante el ciclo del cultivo sumado a los residuos sobre la superficie después de su cosecha, resulta el tiempo de ocupación con cultivos y raíces vivas.

En la Tabla 2 se presentan los valores medios de algunas propiedades edáficas estudiadas. No hubo diferencias entre los sistemas de cultivo para Dap ni para macroporosidad, solo la pastura presentó mejores condiciones estructurales.

Tabla 2: Valores medios de diámetro medio ponderado (DMP), carbono orgánico (C), densidad aparente (Dap) y macroporosidad para 5 sistemas de cultivo en parcelas de escurrimiento.

Parcela	DMP (mm)	C (Mgha ⁻¹)		Dap (gcm ⁻³)		Macroporosidad (cm ³ cm ⁻³)	
		0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Pastura	2,2	15,42	32,12	0,99	a 1,07	a 0,115	a 0,095
Maíz	1,2	14,13	32,71	1,31	b 1,43	b 0,055	a 0,032
Soja	0,9	11,69	31,55	1,21	b 1,41	b 0,080	a 0,046
M-T/S	1,4	14,77	34,57	1,24	b 1,40	b 0,098	a 0,044
T/S	0,9	12,65	32,00	1,26	b 1,41	b 0,079	a 0,045

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha= 0.05$) entre tratamientos.

En la Figura 2 se presenta el perfil de RMP para los tratamientos evaluados, observándose en todos ellos un aumento considerable de la resistencia que ofrece el suelo en la capa de 05-10 cm. Este comportamiento de los perfiles de RMP en siembra directa, con valores máximos en dicha capa, se asemeja a lo reportado en otros artículos (Senigaglia y Ferrari, 1993) y para Molisoles de Entre Ríos



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

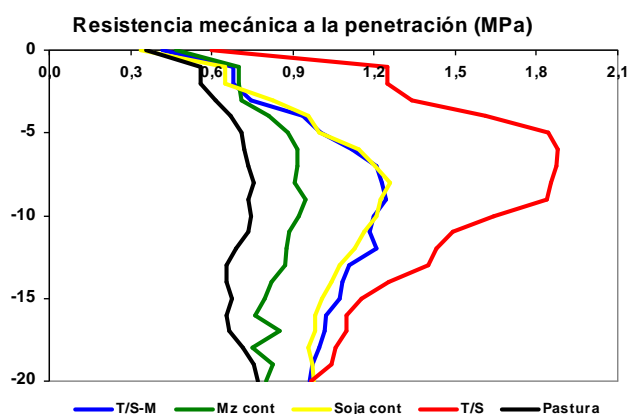
13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

(Wilson *et al.*, 2006; Indelángelo *et al.*, 2008). Los valores más bajos se presentaron en la pastura y el maíz continuo y los más altos en la secuencia T/S. Dicho incremento se extiende hasta los 20 cm. A su vez, existieron diferencias significativas entre este último tratamiento y el resto, para la capa de 00-05 cm. Este comportamiento puede ser explicado por el mayor tránsito de implementos agrícolas en T/S, con dos cultivos todos los años. Además, los menores valores de RMP en la pastura y el maíz continuo se atribuyen a la mayor presencia de raíces que actúan como descompactadores naturales (Chan *et al.* 2001). Los perfiles de RMP de los tratamientos M-T/S y Soja continua no difirieron significativamente desde la superficie y hasta los 20 cm. Las características de las maquinarias, especialmente aquellas relacionadas a su presión específica y su masa, como el modo de empleo relacionado al número de pasadas y la forma del tránsito, son las principales causas que estarían incidiendo en la compactación de los suelos agrícolas en SD (Pozzolo y Ferrari 2007).



Tratamiento	RMP (MPa)			
	00-05 cm		05-10 cm	
Pastura	0,54	a	0,73	a
Maíz	0,68	a	0,91	a
M-T/S	0,69	a	1,16	b
Soja	0,68	a	1,16	b
T/S	1,21	b	1,86	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha= 0.05$) entre tratamientos.

Figura 2: Resistencia mecánica a la penetración para 5 sistemas de cultivo en un Molisol con 10 años en siembra directa.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las regresiones simples realizadas para evaluar el impacto de las propiedades físicas edáficas sobre el escurrimiento de agua y la pérdida de suelo. La variabilidad del escurrimiento fue explicada por el DMP, la Dap del espesor 5-10 cm y del C de los primeros 5 cm. Sasal *et al.* (2006) no pudieron identificar en similares condiciones edafoclimáticas pero con pendiente casi nula, uno o un grupo de parámetros físicos superficiales (para estas mismas secuencias de cultivos) que explique significativamente la variación de la Infiltración básica. La medición de escurrimiento en forma directa, si bien requiere de dispositivos experimentales de considerable envergadura, permite evaluar en situaciones reales de campo el impacto de la lluvia sobre la ruptura de agregados y en consecuencia la reducción de la rugosidad del suelo. Además, la utilización de una metodología para cuantificar el DMP que considera 3 pretratamientos de los agregados que simulan los cuatro mecanismos que intervienen en la desagregación del suelo (dispersión físico-química, estallido, micro-agrietado y ruptura mecánica), (Le Bissonnais *et al.* 1993). El efecto de la materia orgánica como estabilizadora de la estructura edáfica ha sido considerablemente estudiado. Los elevados valores de Dap del espesor 5-10 aparecen como un efecto vinculado a la producción de cultivos en SD. Esta densificación subsuperficial, además de aumentar la resistencia a la penetración de raíces condiciona el ingreso de agua al suelo y favorece su pérdida por escurrimiento.

La variación de la pérdida de suelo sólo fue explicada por el stock de C de los primeros cm del suelo. La pérdida de suelo por erosión debida a efectos de la secuencia de cultivos puede ser una combinación de muchos factores que incluyen la cantidad de residuos aportados, la cobertura del canopeo, la biomasa de raíces vivas y muertas. Todos estos factores se relacionan con la provisión



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

de C en los primeros centímetros del suelo bajo SD.

Tabla 3: Regresiones simples entre las propiedades físicas edáficas y el escurrimiento de agua y la pérdida de suelo.

x	y	p>F	R ²
DMP		0,003	0,5
RMP 0-5 cm		ns	
RMP 5-10 cm		ns	
Dap 0-5 cm		ns	
Dap 5-10 cm	vs Escurrimiento	0,037	0,29
Macroporosidad 0-5 cm		ns	
Macroporosidad 5-10 cm		ns	
C 0-5 cm		0,013	0,39
C 5-20 cm		ns	
<hr/>			
DMP		ns	
RMP 0-5 cm		ns	
RMP 5-10 cm		ns	
Dap 0-5 cm		ns	
Dap 5-10 cm	vs Pérdida de suelo	ns	
Macroporosidad 0-5 cm		ns	
Macroporosidad 5-10 cm		ns	
C 0-5 cm		0.016	0.37
C 5-20 cm		ns	

La variación del escurrimiento pudo explicarse por una regresión lineal múltiple como resultado de la variación conjunta del DMP y la Dap del espesor 0-5 cm ($\text{Escurrimiento} = 971,87 - 240,39 \cdot \text{DMP} - 388,57 \cdot \text{Dap}_{0-5\text{cm}}$) (Figura 3). Al igual que en la regresión lineal simple, a menor diámetro medio de agregados se obtiene mayor escurrimiento, sin embargo, la Dap de 0-5 cm entra en la ecuación con signo negativo. Esto se debe a que no existe diferencia significativa entre las Dap de los tratamientos con cultivos.

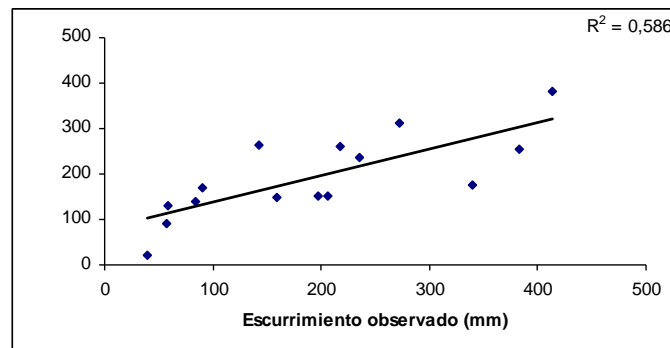


Figura 3: Comparación del escurrimiento anual observado y simulado en función del DMP y la Dap de 0-5 cm.

CONCLUSIONES

En este estudio las pérdidas de agua en las parcelas con cultivos fueron elevadas y las pérdidas de suelo muy bajas, aún con elevadas e intensas precipitaciones. El escurrimiento medido en los



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

monocultivos fue equiparable al obtenido en otras experiencias, pero con laboreo.

La Dap y la macroporosidad no resultaron sensibles a los sistemas de cultivo. Los elevados valores de Dap del espesor 5-10 cm en todos los tratamientos aparecen como un efecto vinculado a la producción de cultivos en SD, independientemente de la secuencia de cultivos aplicada. En este mismo espesor presentaron elevadas RMP las parcelas que incluyeron el cultivo de soja en su secuencia. Esta densificación subsuperficial, al aumentar la resistencia a la penetración de raíces y disminuir la macroporosidad condicionó el ingreso de agua al suelo y favoreció su pérdida por escurrimiento. El stock de C en los primeros centímetros del suelo es el único condicionante de la pérdida de suelo por erosión, esto también es característico de la siembra directa.

En consecuencia, se destaca la importancia del tiempo de ocupación de cultivos en el lote, independientemente de los residuos que aporten, de la frecuencia de tránsito de implementos agrícolas y de la actividad de las raíces como los factores más importantes que caracterizan a las distintas secuencias y que condicionan el escurrimiento superficial de agua.

La información generada permitirá el diseño de estrategias de gestión de riesgos ambientales asociados a los sistemas de producción agrícola en Entre Ríos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto Regional INTA *Agricultura Sustentable en Entre* y del Proyecto AERN *Efecto de distintas rotaciones sobre la dinámica de la materia orgánica y del agua pluvial en suelos con intensificación agrícola*. Agradecemos al personal de campo y de laboratorio del Grupo de Recursos Naturales de la EEA Paraná, como así también al Ing. Agr. N. Indelángelo y los Sres. C. Acosta y E. Gabioud por la colaboración en la obtención de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Chan K.Y., Bowman A.M., Smith W. y R. Ashley.** 2001. Restoring soil fertility of degraded hardsetting soils in semi-arid areas with different pastures. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 507-514.
- European Conservation Agriculture Federation.** 1999. *Agricultura de conservación en Europa: aspectos medioambientales, económicos y administrativos de la UE*. Bruselas, Bélgica.
- Frye W.W., Bennett O.L. y G.J. Buntley.** 1985. Restoration of crop productivity on eroded or degraded soils. In: *Soil Erosion and crop productivity* (Follet and Stewart eds). ASA-CSSA-SSSA. Madison, USA. 335-356.
- Hall G.F., Logan T.J. y K.K. Young.** 1985. Criteria for determining tolerable erosion rates. In: *Soil Erosion and crop productivity* (Follet and Stewart eds). ASA-CSSA-SSSA. Madison, USA. 173-188.
- Indelángelo N., Behr E. y R. De Carli.** 2008. Efectos del tránsito de equipos de cosecha en un Molisol con alto contenido hídrico en el rendimiento de trigo. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Luis. Trabajo en CD.
- Le Bissonais T., Singer M.J. y J.M. Bradford.** 1993. Assessment of soil erodibility: the relationship between soil properties, erosion processes and susceptibility to erosion. In: *Farm Land erosion in temperate plains environment and hills*. Wicherek S. (Ed). Elsevier Science Publishers B.V.
- Le Bissonais Y. y C. Le Souder.** 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité a la battance et a l'érosion. *Etude et Gestion des Sols* 2 (1): 43-56.
- Paparotti O. y R. Melchiori** 2002. Pérdidas de agua, nitrógeno y fósforo en el cultivo de trigo, en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural. 2º taller de contaminación por agroquímicos. 23 de Agosto de 2002. AIANBA. Pergamino. Bs. As.
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos. Convenio INTA-Gno. de Entre Ríos.** 1984. "Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos". Segunda Ed. Tomo I. Serie Relevamiento de Recursos Naturales (1) INTA-EEA Paraná. Entre Ríos. 112 pp.



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

Pozzolo O. y H. Ferrari. 2007. El tránsito de maquinarias y la compactación de los suelos en siembra directa. En Agricultura Sustentable en Entre Ríos (O. Caviglia, O. Paparotti y M.C. Sasal, eds. 232 p). Ediciones INTA. 75-80.

SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's guide, Version 6. 4th edition. Vol. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. 846 pp.

Sasal M.C., Andriulo A. y M. Taboada 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in argentinian pampas. Soil Till Res. 87: 9-18.

Scotta E. 1993. Drenaje superficial de Tierras. Desarrollo de proyectos a nivel de predio. INTA EEA Paraná. Serie Extensión N° 7. 54 p.

Senigagliesi C. y M. Ferrari. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. Crop Science. 33: 27-35.

Wilson M.G., Paparotti O., Paz Gonzalez A. y E. Díaz. 2006. Ecuaciones de ajuste entre la Resistencia Mecánica a la Penetración y el contenido hídrico en un lote en siembra directa. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta y Jujuy. Trabajo en CD.

Wischmeier W.H. and D.W. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geo. Un. 39:285-291.