



EFFECTOS DE RIEGO COMPLEMENTARIO SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE ARGIUDOLES DEL SUDESTE BONAERENSE

López de Sabando, M.J.¹, J.M. Gutierrez², C. R. Alvarez³, H. Rimski-Korsakov³, M. Díaz-Zorita⁴

¹ INTA Tandil, Rodríguez 370, (7000) Tandil. sabando.marcelo@inta.gob.ar

² CropSoil, (7000) Tandil. gutierrez.juanmartin@gmail.com

³ Facultad de agronomía, FAUBA, Av. San Martín 4453, (C1417DSE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires. alvarezc@agro.uba.ar rimski@agro.uba.ar

⁴ Facultad de agronomía, UNLPam, Ruta Nacional 35 km 334, (6300) Santa Rosa (La Pampa), mdzorita@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

El riego complementario en la región Pampeana permitió incrementar y estabilizar rendimientos de diversos cultivos. Sin embargo, son dispersos y escasos los estudios sobre cambios inducidos por esta práctica sobre algunas propiedades de los suelos y relaciones entre los cambios en las propiedades químicas y los cambios en las propiedades físicas edáficas. Se evaluaron las características edáficas de 23 sitios ubicados en la región sudeste bonaerense con áreas agrícolas de secano y con riego dispuestas apareadas y bajo prácticas similares de manejo productivo. En todos los casos la calidad del agua aplicada fue bicarbonatada sódica clasificada como apta para su uso para riego complementario. En promedio, en las áreas con riego se incrementó la concentración superficial del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en un 174% sobre las áreas no regadas, 0,5 las unidades de pH y 35% en los niveles de conductividad eléctrica. En los sitios bajo riego complementario, la infiltración básica se redujo 62% y la densidad aparente (Dap) fue 6% superior que en condiciones de producción de secano. El aumento en la Dap y consecuente reducción en la infiltración se correlacionó directamente con aumentos en el PSI. Estos resultados validan el deterioro potencial de propiedades físicas en planteos agrícolas intensivos del sudeste bonaerense ante los aportes y acumulación de sodio bajo condiciones de riego complementario.

PALABRAS CLAVE: Agua bicarbonatada sódica, infiltración, siembra directa, sodio intercambiable, agricultura intensiva.

INTRODUCCION

El riego complementario ha permitido incrementar y estabilizar los rendimientos de los cultivos (Pilatti *et al.*, 2005; Mon *et al.*, 2007). En la región pampeana (Argentina) el riego ha cubierto deficiencias de los cultivos en momentos donde las precipitaciones y el agua acumulada en los suelos son menores a los requerimientos de los cultivos. En general se ha reportado un uso de entre 50 a 200 mm de agua de riego por cultivo (Lavado, 2009).

Los efectos del riego sobre propiedades químicas y físicas de los suelos han mostrado asociación con la cantidad y la calidad de agua utilizada para regar y las características de los sitios donde se realiza. En Pergamino (BA) se han reportado incrementos de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), conductividad eléctrica y pH en los primeros estratos de los suelos luego de 11 años de riego con aguas bicarbonatadas sódicas con relación de absorción de sodio (RAS) de 10,6. Los incrementos de entre cuatro y seis veces en los valores iniciales de PSI correspondieron a 4 y 11 años con riego complementario, respectivamente (Andriulo *et al.*, 1998). Similares resultados fueron observados por Peinemann *et al.* (1998) bajo condiciones experimentales, por Torres Duggan *et al.* (2012) y por Costa y Aparicio (2015) en



evaluaciones en lotes de producción. En estos experimentos, además, se observó que los sitios bajo riego se asociaron con reducción en los niveles de infiltración.

En la región pampeana también se observó relación directa entre la calidad del agua de riego, determinada por la RAS, con los niveles de PSI en los suelos. En condiciones simuladas en laboratorio Aparicio *et al.* (2013) observaron mayores cambios en PSI en los suelos según fueron mayores los niveles de RAS de las aguas utilizadas para riego (RAS 9 y RAS 12,5). Estos autores también observaron efectos de la dilución del agua de riego asociado a niveles de precipitaciones. La mayor inclusión de agua desionizada con efecto de dilución sobre el agua de riego produjo menores incrementos de PSI en los suelos. Integrando estos resultados con nuevos estudios de campo, Costa y Aparicio (2015) mostraron asociaciones estrechas entre los niveles de RAS de las aguas de riego y las precipitaciones y los efectos sobre la disminución de la infiltración de los suelos según tipo de poros. Además, establecieron valores umbrales de RAS para identificar efectos en la disminución de conductividad hidráulica de los suelos.

Si bien se dispone de información de los efectos de riego complementario con aguas bicarbonatadas sódicas sobre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, resulta necesario establecer relaciones entre los cambios en las propiedades químicas de los suelos y los cambios en las propiedades físicas de los suelos. Para lograr sustentabilidad de la producción con uso de riego complementario es necesario identificar y cuantificar niveles críticos en algunas propiedades químicas de los suelos que permitan predecir cambios en propiedades físicas de los mismos. Los objetivos de este trabajo fueron (i) Cuantificar los cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos por efecto del uso de riego complementario con agua bicarbonatada sódica y (ii) establecer relaciones entre los cambios en las propiedades químicas de los suelos y los cambios en las propiedades físicas de los mismos bajo condiciones de producción del sudeste de la región pampeana en suelos manejados en siembra directa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general y diseño de experimento

Los sitios experimentales fueron 23 lotes ubicados en el sudeste de la región pampeana (Argentina) con variabilidad en la cantidad y calidad de agua utilizada para riego complementario. La lámina de riego acumulada en los últimos 25 años en los sitios tuvo un rango de 180 a 2485 mm. La RAS promedio de las aguas utilizadas en los sitios tuvo un rango de 1,0 a 18,9. Mientras que las precipitaciones promedio anuales presentaron un rango en los sitios de 850 a 1045 mm. En todos los casos el riego complementario se realizó por aspersión con sistema de pivote central (Tabla 1).

El tratamiento secano correspondió a las esquinas del lote que no recibieron riegos (manteniendo las mismas condiciones de cultivo y manejo de éste). El tratamiento riego correspondió al círculo de riego aledaña a las esquinas seleccionadas para las mediciones.

Evaluaciones de las propiedades químicas y físicas de los suelos

Se evaluaron las propiedades químicas en los estratos: 0-10 y 0-20 cm, tomando muestras compuestas de 20 submuestras. Se determinó: materia orgánica (Nelson y Sommers, 1996), contenido de cationes intercambiables por absorción atómica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH y conductividad eléctrica (CE). Se determinó la tasa de infiltración (TI; Soil Quality Institute, 1999; n=4), densidad aparente de 0 a 5 cm (Dap 0-5) y de 10 a 15 cm (Dap 10-15 cm) por método del cilindro (n=3), y estado de la estructura del suelo mediante adaptación de prueba de estallido por Peralta (2008). Las muestras de agua se analizaron utilizando las metodologías propuestas por SAMLA (2004).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de componentes principales, análisis de correlaciones y prueba de t para un diseño apareado. Se evaluó la condición de secano y de riego considerando a cada uno de los sitios como repeticiones. Cuando la variable fue evaluada en distintas profundidades la comparación se realizó dentro de cada profundidad.

Tabla 1: Características principales de la textura, precipitaciones y cantidad y calidad de agua de riego utilizada en cada sitio evaluado. Niveles de arcilla y de limo en los primeros 0,2 m de suelos. Lámina de riego acumulada en áreas bajo riego en los últimos 4 años y en los últimos 25 años y precipitaciones promedio anuales. Calidad de agua de riego: conductividad eléctrica (CE), niveles de calcio (Ca), de magnesio (Mg), de sodio (Na) y de bicarbonatos, y relación de adsorción de sodio.

Sitio			Riego acumulado		Precipitaciones anuales	CE dS m ⁻¹	Ca	Mg	Na	Bicarbonatos	Relación adsorción de sodio (RAS)
	Arcilla	Limo	4 años	25 años							
	%	%	mm	mm							
1	27,0	39,0	0	710	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
2	27,0	39,0	307	1489	878	1,12	0,70	0,58	9,35	7,36	11,7
3	34,0	29,0	117	885	878	1,12	0,70	0,58	9,35	7,36	11,7
4	29,0	29,0	194	488	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
5	31,0	37,0	350	1594	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
6	27,0	37,0	0	302	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
7	27,0	31,0	0	431	878	1,21	0,44	0,40	6,96	3,77	10,8
8	29,0	39,0	0	500	900	1,17	0,53	0,43	8,97	6,37	12,9
9	26,0	35,0	0	500	900	1,17	0,53	0,43	8,97	6,37	12,9
10	27,0	37,0	0	500	900	1,17	0,53	0,43	8,97	6,37	12,9
11	29,6	24,5	800	1200	850	0,46	0,69	1,31	4,57	7,54	4,6
12	32,2	24,8	400	600	850	0,46	0,69	1,31	4,57	7,54	4,6
13	24,7	32,4	400	600	850	0,71	0,84	0,64	6,11	7,54	7,1
14	33,4	27,5	390	2485	850	0,75	1,40	1,16	5,35	7,54	4,7
15	22,0	42,0	618	1198	1045	0,83	1,66	1,30	5,85	7,04	4,8
16	27,0	40,0	727	1307	1045	0,72	2,70	2,79	1,61	5,92	1,0
17	24,0	41,0	398	828	1045	0,84	1,50	1,15	5,96	6,10	5,2
18	26,0	41,0	430	430	1045	1,00	1,05	0,74	8,61	7,39	9,1
19	30,3	34,7	340	680	915	2,38	0,96	1,65	21,61	9,16	18,9
20	30,3	34,7	0	140	915	2,38	0,96	1,65	21,61	9,16	18,9
21	39,5	22,0	150	600	850	1,50	1,40	0,85	14,78	9,67	13,9
22	27,3	30,3	150	600	850	1,50	1,40	0,85	14,78	9,67	13,9
23	25,7	31,5	180	180	980	1,50	1,40	0,85	14,78	9,67	13,9
Promedio	28,5	33,8	259	793	910	1,16	0,95	0,89	9,79	7,54	11,4
Desvío estandar	3,7	5,7	237	528	68	0,47	0,54	0,58	4,91	1,37	5,2

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad del agua de riego

El agua de riego utilizada fue clasificada según Riverside y según FAO (Ayers y Westcot, 1987) como de moderado a alto riesgo de salinización y moderado alto y muy alto riesgo de sodificación. La clasificación desarrollada por INTA para la región de estudio consideró el agua utilizada en la categoría de segura por su conductividad eléctrica y riesgosa por su nivel de RAS. La mayor proporción de los sitios evaluados utilizó aguas clasificadas como de moderado riesgo de sodificación y definidas para uso con precaución (Tabla 1).

Efecto sobre las propiedades químicas de suelos

Los niveles de CE de los suelos fueron bajos (rango 0,09 a 0,35 dS m⁻¹). El riego complementario incrementó los niveles de CE en el estrato de 0 a 20 cm del suelo en promedio 35%. Los incrementos son coincidentes a levemente inferiores a los observados por otros autores en la región pampeana húmeda (Andriulo *et al.*, 1998; Torres Duggan *et al.* 2012; Costa y Aparicio 2015). Los valores de CE en áreas bajo riego fueron menores a 2 dS m⁻¹, para la clasificación de Riverside no se observó salinización (Tabla 2).

El PSI se incrementó un 84% en el estrato de 0 a 10 cm y un 174% en el estrato de 0 a 20 cm con riego complementario (Tabla 2). Los valores máximos de PSI observados bajo riego fueron de 5,79 % en el estrato de 0 a 10 cm y de 5,53 % en el estrato de 0 a 20 cm. Los mínimos y máximos incrementos (mínimo -30%, máximo 576%) se observaron en el estrato de 0 a 10 cm del suelo y se asociaron a sitios con riegos de menor lámina acumulada y riegos con mayor lámina acumulada, respectivamente. En coincidencia con la CE, los incrementos observados en el PSI son similares a levemente inferiores a los reportados por otros autores

(Andriulo *et al.*, 1998; Torres Duggan *et al.* 2012; Costa y Aparicio 2015). Los niveles de PSI máximos alcanzados fueron menores a los observado por Torres Duggan *et al.* (2012) y por Costa y Aparicio (2015). Los valores de PSI observados fueron menores al límite de 15%. Para los lineamientos de Riverside no se observó sodificación. Sin embargo, según Pilatti *et al.* (2006) y Costa y Aparicio (2015) en suelos con características de la región pampeana los niveles de sodio observados en este trabajo producen efectos la estructura de los suelos y una reducción de la porosidad.

El pH se incrementó significativamente en áreas bajo riego en alrededor 0,5 unidades tanto para el estrato de 0 a 10 cm como para el estrato de 0 a 20 cm. Estos incrementos también fueron observados por otros autores en la región (Torres Duggan *et al.* 2012; Costa y Aparicio, 2015) (Tabla 2).

Tabla 2: Propiedades de suelos en áreas de secano y de riego en estrato de 0 a 10 cm y de 0 a 20 cm del suelo. CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Ca: calcio intercambiable, Mg: magnesio intercambiable, K: potasio intercambiable, Na: sodio intercambiable, CIC: capacidad de intercambio catiónico, PSI: porcentaje de sodio intercambiable.

Propiedades	0-10 cm			0-20 cm		
	Secano	Riego	valor P	Secano	Riego	valor P
pH	5,72	6,11	0,0053	5,63	6,16	0,0002
CE (dS m ⁻¹)	0,17	0,20	0,1195	0,14	0,19	0,0344
MO (%)	5,87	5,33	0,0412	5,50	5,05	0,0739
Ca (meq 100g ⁻¹)	11,68	11,02	0,1667	11,26	11,72	0,4904
Mg (meq 100g ⁻¹)	4,22	3,86	0,5272	3,85	3,66	0,7331
K (meq 100g ⁻¹)	2,82	2,28	0,0516	2,08	1,89	0,2601
Na (meq 100g ⁻¹)	0,37	0,67	0,0008	0,24	0,73	0,0001
CIC (meq 100g ⁻¹)	21,27	21,52	0,8199	19,77	21,62	0,0550
PSI (%)	1,68	3,09	0,0001	1,22	3,34	0,0001

Efecto sobre las propiedades físicas de los suelos

Los principales efectos del riego complementario sobre las propiedades físicas de los suelos se observaron en el aumento de la densidad aparente en el estrato superficial y subsuperficial, en la reducción de la infiltración básica y en la degradación de la estructura del suelo evidenciada por mayor proporción de terrones grandes según el test de estallido. El riego complementario incrementó la densidad aparente superficial y subsuperficial en 6 y 5%, respectivamente (Figura 1a). La infiltración básica se redujo en áreas bajo riego en un 62%. En áreas de secano en promedio la infiltración fue de 114 mm h⁻¹ y en áreas con riego complementario fue de 54 mm h⁻¹ (Figura 1b). Los incrementos de densidad aparente y la reducción por infiltración observados son mayores a los reportados por Torres Duggan *et al.* (2012) donde no se observaron diferencias entre áreas de secano y riego y los rangos de Dap superficial fueron 1,25 a 1,28 Mg m⁻³ y la infiltración fue de 145 a 215 mm h⁻¹.

Las áreas con riego tuvieron mayor proporción de terrones de tamaño grande (mayores a 0,1 m) y medianos (entre 0,1 y 0,05m) que las áreas de secano. Mientras que la proporción de terrones de menor tamaño, menores a 0,05 m, fue menor en las áreas con riego en relación a las áreas de secano. Donde se observó a campo un predominio de tipos estructurales granulares o en bloques subangulares pequeños al momento de la evaluación, coincidieron con una mayor proporción de terrones con diámetros menores a 0,05 m luego de realizado el test del estallido. Los terrones de más de 0,1 m luego de la evaluación presentaron características similares a las estructuras descriptas como tipo masivo por De Battista *et al.* (1994). Los resultados observados, con mayor proporción de terrones de mayor tamaño en áreas con riego, se asocian a condiciones con degradación de estructura de suelos en relación a las áreas sin riego complementario (Peralta, 2008). Similares diagnósticos de degradación de estructura por incorporación de riego complementario fueron observados por Pilatti *et al.* (2006) mediante la evaluación de la estabilidad de agregados en seco y en húmedo en sitios con niveles de materia orgánica menores a los correspondientes a este experimento. Por el contrario, en condiciones de evaluación con niveles de materia orgánica cercanos a los

observados en este experimento, Torres Duggan *et al.* (2012) en sitios con incrementos de PSI por riego complementario, no observaron efectos de degradación significativa de estructura de los suelos mediante la evaluación de la estabilidad estructural.

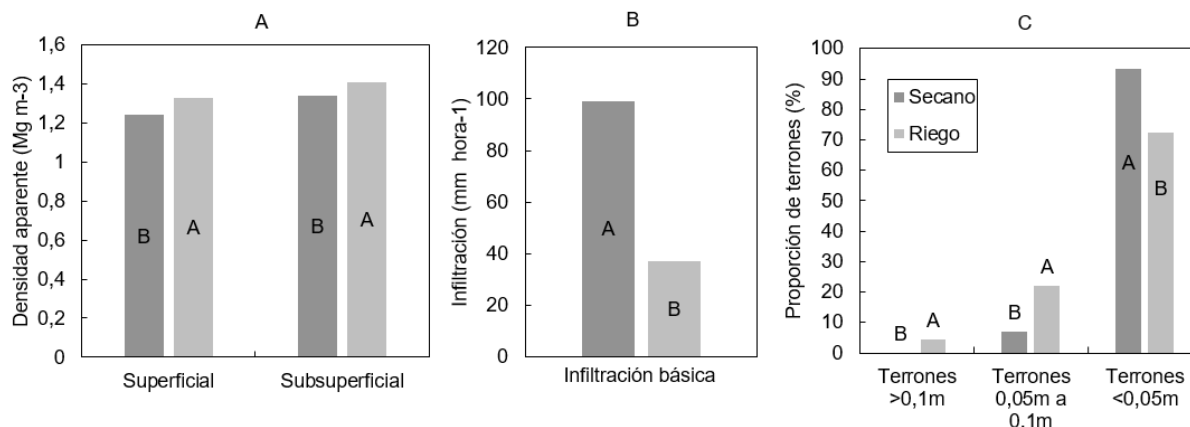


Figura 1: Densidad aparente superficial (estrato de 0 a 5 cm de suelos) y subsuperficial (estrato de 10 a 15 cm de suelos) (A), tasa de infiltración (B) y proporción de terrones según tamaño correspondientes a test de estallido (C) en áreas de secano y áreas bajo riego complementario. Letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Relación entre las propiedades químicas y físicas de los suelos

En las condiciones evaluadas el PSI de 0-20 cm del suelo mostró correlación negativa con la infiltración básica, positiva con densidad aparente superficial y negativa con la proporción de terrones de menor tamaño en test de estallido. O sea, los incrementos de PSI se asociaron con la degradación de la fertilidad física de los suelos (Figura 2). Los resultados muestran coincidencia con lo reportado por Peinemann *et al.* (1998), Costa y Aparicio (2015) y Pilatti *et al.* (2006). En todos los casos, los cambios en propiedades químicas de los suelos se asocian a cambios en las propiedades físicas de los suelos.

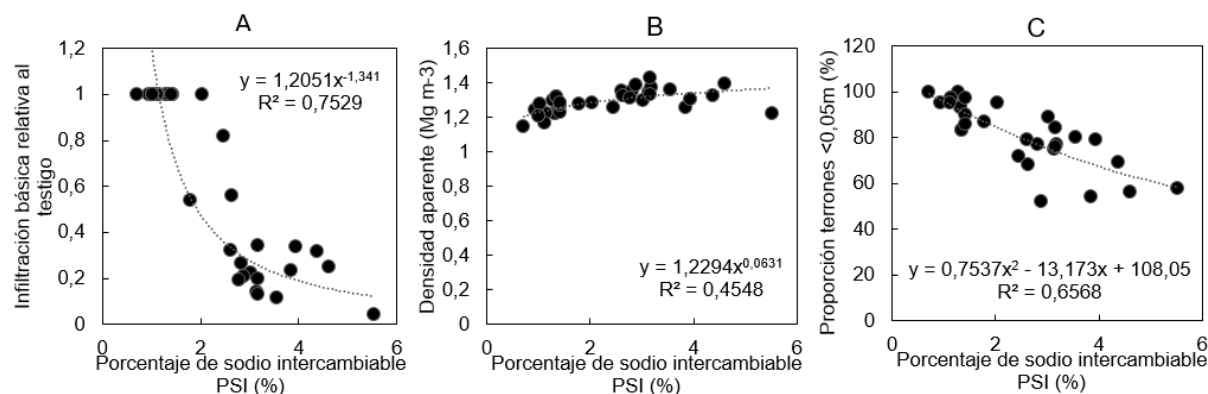


Figura 2: Relación entre la infiltración básica relativa al testigo (A), la densidad aparente superficial en estrato de 0 a 5 cm de suelos (B) y la proporción de terrones menores a 0,05 m en test de estallido (C) según los niveles de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en estrato de 0 a 20 cm de suelos.

CONCLUSIONES

En las condiciones de este estudio se validaron las observaciones provenientes de otras áreas de la región pampeana en las que se describió que al regar con agua bicarbonatada sódica aumentó el PSI de la capa superficial de los suelos con moderadas modificaciones en los niveles de pH y de la salinidad superficial. Los indicadores de fertilidad física de los suelos desmejoraron frente a la aplicación del riego complementario mostrando aumentos en la densidad aparente y reducción en la infiltración con respecto a la condición de secano. Estos resultados sustentan la relevancia de la evaluación intensiva de la evolución de indicadores

de calidad fisicoquímica de los suelos en planteos bajo riego para preservar su calidad productiva.

BIBLIOGRAFIA

- Andriulo, A; ML Galetto; C Ferreira; G Cordone & C Sasal. 1998. Efecto de 11 Años de riego complementario sobre un Argiudol típico Pampeano. *Ciencia del Suelo* 16: 125-127.
- Aparicio, V.C.; A. Barbacone & J.L. Costa. (2014). Efecto de la calidad de agua para riego complementario sobre algunas propiedades químicas edáficas. *Ciencia del suelo* 32(1): 95-104.
- Ayers, RS & DW Westcot. 1987. Calidad del agua para la agricultura. Cuadernos de riego y drenaje 29. FAO. Roma.
- Costa, J.L. & V. C. Aparicio. 2015. Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation. *Agric. Water Management* 159:299-306.
- Costa, J.L.; V.C. Aparicio; L.F. Salleses & F.D. Frolla. (2016). Effect of tillage and application of gypsum In a No-Till field under supplementary irrigation with sodium bicarbonate waters. *Agricultural Water Management* 177: 291-297.
- Costa, JL & V Aparicio. 2008. Evaluación de propiedades químicas y físicas en lotes con pivote central en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- De Battista, J.J., Andriulo A. & C. Pecorari. 1993. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. *Ciencia del Suelo*, 10: 89-93.
- INTA. 1999. Recomendaciones para la utilización de aguas para riego en función de su calidad, síntesis de los trabajos realizados en las unidades del INTA-IPG. Seminario de capacitación. Impacto ambiental del riego complementario. Pergamino, Argentina. 87 p.
- Lavado, RS. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. En: *Alteraciones de la fertilidad de los suelos*. Taboada, MA & Lavado, RS (Editores). Editorial FAUBA. 163 p.
- Mon, R.; C Iurtia; FG Botta; O Pozzolo; F Bellora Melcón; D Rivero David & M Bomben. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the Rolling Pampa region of Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria* 34: 143-150.
- Nelson, DE & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, organic matter. 961-1010 p. In: JM Bigham (eds). *Methods of Soil Analysis* (part 3). ASA and SSA, Madison. WI. USA.
- Peinemann, N.; M. Díaz-Zorita; M.B. Villamil; H. Lusarreta & D. Grunewald. (1998). Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. *Ciencia del suelo* 16(1): 39-42.
- Peralta, G.E. 2008. Estructura de suelos manejados en siembra directa: efectos sobre la extracción y conversión de agua en el cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill). Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. 291 pp.
- Pilatti, MA; S Imhoff; P Ghiberto & R Marano. 2005 Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133: 431-443.
- SAMLA, 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelo, Aguas, Vegetales y Enmiendas Orgánicas: análisis de aguas. 1° edición. SAGyP. Dirección de Agricultura. CD Rom.
- Soil Quality Institute. 1999. Soil Quality test kit guide. NRCS Soil Quality Inst., Auburn, AL.
- Torres Duggan, M., C.R. Álvarez, M.A. Taboada, T. Celesti, F. Vignarolli & D. D'Ambrosio. 2012. Riego complementario en un Argiudol Típico de la Pampa Ondulada Argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Ciencias del suelo*:30(2):201-207.