

## RIEGO COMPLEMENTARIO EN UN ARGUDOL TÍPICO DE LA PAMPA ONDULADA ARGENTINA BAJO SIEMBRA DIRECTA: EFECTOS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO

MARTÍN TORRES DUGGAN<sup>1</sup>; CARINA ROSA ÁLVAREZ<sup>2</sup>; MIGUEL ANGEL TABOADA<sup>2,3,4</sup>; TOMÁS CELESTI<sup>2</sup>; FEDERICO VIGNAROLLI<sup>2</sup> & DIEGO D'AMBROSIO<sup>2</sup>

Recibido: 30-03-12

Recibido con revisiones: 11-06-12

Aceptado: 16-06-12

### RESUMEN

El riego complementario permite incrementar y estabilizar los rendimientos de los cultivos de granos. Sin embargo, cuando se utilizan aguas de mala calidad, pueden generar procesos de degradación de las propiedades edáficas. El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto del riego complementario, con agua de baja conductividad eléctrica y sodicidad intermedia, sobre algunas propiedades físicas y químicas de un suelo Argudol típico, franco, en siembra directa. Los tratamientos fueron: i: Riego durante 13 años; ii: Secano en zonas adyacentes (esquinas). Las propiedades se evaluaron en tres sectores dentro del lote diferenciando en círculo de riego y esquinas, con un diseño de t-apareado. El tratamiento Riego incrementó significativamente el pH y el porcentaje de sodio intercambiable ( $P < 0,05$ ), sin generar aumentos significativos en la conductividad eléctrica, carbono y nitrógeno orgánicos, calcio, magnesio y potasio intercambiables y la CIC. La infiltración media fue menor en Riego que en Secano. La elevada variabilidad observada en el tratamiento Riego, impidió detectar diferencias significativas al 5%. El Riego no produjo cambios significativos en la densidad aparente ( $P > 0,05$ ). La resistencia a la penetración fue superior a 2 MPa en ambos tratamientos en todo el perfil medido (0-40 cm), lo cual estuvo posiblemente asociado al tránsito vehicular y la cosecha en suelo húmedo. La estabilidad de agregados fue muy alta en ambos tratamientos, atribuible al contenido elevado de materia orgánica en superficie y al manejo en siembra directa.

**Palabras clave.** Riego, propiedades físicas, propiedades químicas, siembra directa.

## SUPPLEMENTARY IRRIGATION IN A TYPIC ARGUDOLL OF THE ARGENTINE ROLLING PAMPAS UNDER NO-TILLAGE: EFFECTS ON SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

### ABSTRACT

Supplementary irrigation increases and stabilizes crop yields. However, when irrigation water of poor quality is applied, it can adversely affect soil properties. The objective of this study was to: evaluate the influence of supplementary irrigation on some physical and chemical properties under no-till cultivation systems. A field experiment was performed on a loamy Typical Argudoll, managed under no-tillage. The treatments were: 1-Irrigated soil during 13 years, 2-Adjacent Rainfed soil. Soil chemical (pH, electric conductivity, exchangeable sodium percentage, organic carbon, total N, exchangeable cations, cation exchange capacity, extractable P) and physical properties (infiltration rate, soil penetration resistance, bulk density, gravimetric water content, structural instability) were evaluated. Irrigation significantly increased the pH and exchangeable sodium percentage ( $P < 0.05$ ), while electric conductivity was slightly affected. Although the mean soil infiltration rate in the Irrigated treatment was lower than in the Rainfed one, it was not able to detect significant differences between treatments because of the high variability in the irrigated treatment. Regarding soil physical properties, supplementary irrigation did not affect bulk density. Soil penetration resistance (0-40 cm) was high ( $> 2\text{Mpa}$ ) in both treatments, probably due to the effects of the cultivation and harvest machinery under high soil water contents. The soil structural instability was very low (i.e. high structural stability) in both treatments, probably associated to the high organic matter content and the no-till cultivation system.

**Key words.** Irrigation, physical properties, chemical properties, no tillage.

1\* Tecnoagro. Girardot 1331, CABA, [torresduggan@tecnoagro.com.ar](mailto:torresduggan@tecnoagro.com.ar)

2 Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, FAUBA, Av. San Martín 4453, CABA, [alvarezc@agro.uba.ar](mailto:alvarezc@agro.uba.ar).

3 CONICET.

4 INTA, Instituto de Suelos Castelar. Las Cabañas y De Los Reseros s/n (1712) Villa Udaondo Castelar/Hurlingham. Buenos Aires.

\*Autor con el que se mantendrá correspondencia.

## INTRODUCCIÓN

El riego complementario permite incrementar de un modo significativo el rendimiento de los cultivos y su estabilización en el tiempo (Pilatti *et al.*, 2005; Mon *et al.*, 2007).

A pesar de los efectos positivos del riego, la evaluación del impacto de esta práctica sobre la calidad del suelo constituye un aspecto central para la producción sustentable. Cuando el agua de riego utilizada es de mala calidad, se pueden presentar procesos de salinización y/o sodificación. La salinización es frecuente en regiones áridas y semiáridas (Qadir & Schubert, 2002), mientras que la sodificación del suelo puede constituir una problemática especialmente en zonas húmedas y sub-húmedas, donde los niveles de salinidad edáfica se mantienen bajos debido a la lixiviación generada por las lluvias (Summer, 1993; Sainato *et al.*, 2006). Asimismo, bajo condiciones de riego complementario continuo, los contenidos de sodio pueden alcanzar límites críticos, afectando la calidad física del suelo (Balks *et al.*, 1998; Halliwell *et al.*, 2001). El riego complementario ha crecido en las últimas décadas en la región pampeana (Bragachini *et al.*, 2009). Las láminas de riego aplicadas cubren del 10 al 30% del agua total recibida por el cultivo, fundamentalmente en etapas ontogénicas críticas para la definición del rendimiento como la floración en el cultivo de maíz (Lavado, 2009). El agua de riego utilizada en mayor medida en la Pampa Ondulada proviene del acuífero Puelche, cuyas aguas son bicarbonatadas sódicas y, por lo tanto, pueden conducir a procesos de salinización y/o sodificación de suelos (Lavado, 2009; Heredia, 2010).

Así entonces, continúa habiendo incertidumbre en relación al impacto del riego complementario sobre las propiedades edáficas en los agrosistemas pampeanos. El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto del riego complementario con aguas bicarbonatadas sódicas (RAS medio a alto) sobre algunas propiedades físicas y químicas de suelos manejados en siembra directa.

## MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental se encuentra en la Pampa Ondulada, en el sur de Santa Fe, Argentina (33°S 36' 13.6''S; 60° 52' 00 18'' O). La lámina media de riego aplicada anualmente fue de 94 mm (máximo 162 mm; mínimo 40 mm), mientras que las precipitaciones medias anuales fueron de 913 mm

(mínimo 610 mm, máximo 1196 mm). El riego complementario se realizó por aspersión (pivote central) durante 13 años. Los muestreos y mediciones se realizaron previo a la siembra del cultivo de maíz (*Zea mays* L). Este cultivo formaba parte de secuencias de cultivos con trigo (*Triticum aestivum* L) y soja (*Glycine max* L), en siembra directa. El suelo estudiado es un Argiudol Típico con una secuencia de horizontes A<sub>1</sub> (0-22 cm), B<sub>1</sub> (22-27 cm), B<sub>21t</sub> (27-35 cm), B<sub>22t</sub> (35-70 cm); C<sub>1</sub> (+70 cm). La textura del horizonte superficial es franca (arena= 28%, limo= 47%; arcilla= 25%), mientras que el resto de los horizontes poseen textura franco arcillosa. Las situaciones evaluadas fueron: 1-Riego, 2-Secano. El tratamiento Riego correspondió al área de influencia del círculo de riego y el tratamiento Secano a los *corners* o esquinas del lote que no reciben riego. El lote se dividió en tres sectores considerados pseudoréplicas. En cada pseudoréplica se evaluaron las propiedades químicas en los estratos: 0-5, 5-20 y 20-40 cm, tomándose muestras compuestas de 20 submuestras. Se determinó: el carbono orgánico total (COT; Nelson & Sommers, 1996), contenido de cationes intercambiables por absorción atómica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), P Bray1, pH y CE. Las muestras de agua se analizaron utilizando las metodologías y lineamientos propuestos por SAMLA (2004). Se determinó la tasa de infiltración (TI; Soil Quality Institute, 1999; n= 2), densidad aparente (DA) de 0 a 5 cm por el método del cilindro (n= 5); resistencia a la penetración (RP) con penetrómetro estático con punta de 30° (n=10), humedad gravimétrica y el índice de inestabilidad estructural (IE; n=2 ). La IE se estimó como la diferencia entre el diámetro medio ponderado del tamizado en seco (4,8-, 3,4- y 2- mm de apertura) y el diámetro medio ponderado luego del tamizado en húmedo (4,8-, 3,4-, 2-, 1-, 0,5- y 0,3- mm de apertura) durante 30 minutos (25 ciclos min<sup>-1</sup>) utilizando un aparato Yoder. Los datos fueron analizados a través de una Prueba t para un diseño apareado. Cuando la variable fue evaluada en distintas profundidades la comparación se realizó dentro de cada estrato.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad del agua de riego

En la (Tabla 1) se presentan los resultados del análisis de calidad del agua de riego. Según la clasificación de Riverside y la de FAO (Ayers & Westcot, 1987) el agua utilizada presenta alto riesgo de salinización y muy alto riesgo de sodificación. Por otro lado, la clasificación de aguas para riego complementario desarrollada por el INTA para la Región Pampeana (INTA, 1999) considera la CE y el RAS del agua de riego, como así también algunos atributos edáficos de las diferentes zonas de dicha región (e.g. con-

Tabla 1. Caracterización de la calidad del agua de riego. Promedio 2006 y 2009.

Table 1. Characterization of the quality of the irrigation water. Mean of 2006 and 2009.

|   | Valor medio |
|---|-------------|
| pH  | 8,2         |
| Bicarbonatos (meq l <sup>-1</sup> )           | 12          |
| Sodio (meq l <sup>-1</sup> )                  | 14,6        |
| Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> ) | 1,47        |
| Relación de adsorción de sodio (RAS)          | 22          |

tenido de MO, lámina media anual aplicada, textura del suelo, etc.). Según esta clasificación, el agua utilizada corresponde a la categoría «riesgosa» en relación al RAS del agua y «segura» por su CE.

**Efecto del riego sobre las propiedades químicas edáficas**

Los valores de CE del suelo fueron en general bajos, sin diferencias significativas entre Riego y Secano (Tabla 2). La CE disminuyó con la profundidad y la máxima diferencia se encontró en el estrato de 20 a 40 cm siendo 0,43 y 0,17 dS m<sup>-1</sup> para Riego y Secano, respectivamente. Por el contrario, el PSI se incrementó de 0,23 a 6,31% (i.e. 27 veces) por efecto del riego considerando el estrato de 0-40 cm. De acuerdo a los lineamientos de Riverside, no se observó salinización actual ya que los valores de CE fueron meno-

res a 2 dS m<sup>-1</sup> y tampoco sodificación del suelo, ya que los valores de PSI fueron menores que 15%. Sin embargo, estos límites críticos tan elevados fueron desarrollados experimentalmente en suelos de zonas áridas y semiáridas, caracterizados por una elevada concentración de electrolitos (CE) (Halliwell *et al.*, 2001). De acuerdo con Summer (1993), en suelos con bajo contenido salino, como los dominantes en regiones húmedas y/o sub-húmedas, los problemas de sodicidad se pueden presentar aún en suelos con muy bajo PSI, dependiendo de las características del suelo y los niveles de CE. Así, por ejemplo, en Australia se han reportado límites críticos de PSI mayores a 5% (Balks *et al.*, 1998). En la Argentina, la investigación en este sentido es escasa y no se han desarrollado aun experimentalmente límites críticos de PSI de referencia para ser utilizados como lineamientos en diferentes regiones o tipos de suelos.

El pH presentó cambios significativos en todos los estratos y fue superior en el tratamiento Riego, notándose un leve incremento con la profundidad (Tabla 2). Sin embargo, los valores de pH alcanzados en el tratamiento Riego, no implicarían un riesgo para el crecimiento vegetal. Estos resultados coinciden con los reportados por Andriulo *et al.*, (1998), aunque estos autores observaron descensos moderados en los valores de pH en profundidad.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el contenido de COT,

Tabla 2. Propiedades del suelo hasta 40 cm para las situaciones de secano y riego. CE: conductividad eléctrica, COT carbono orgánico total, NT nitrógeno total, Ca calcio intercambiable, Mg magnesio intercambiable, K: potasio intercambiable, Na: sodio intercambiable, P: Fósforo Bray, CIC: capacidad de intercambio catiónico, PSI: porcentaje de sodio intercambiable.

Table 2. Soil properties up to 40 cm depth in the rainfed and irrigated treatments. CE: electrical conductivity, TOC total organic carbon, NT total nitrogen, Ca: exchangeable calcium, Mg: exchangeable magnesium, K: exchangeable potassium, Na: exchangeable sodium, P: Bray P, CIC: cation exchange capacity, PSI: exchangeable sodium percentage.

| Propiedades                   | 0-5 cm |       |         | 5-20 cm |       |         | 20-40 cm |       |         |
|-------------------------------|--------|-------|---------|---------|-------|---------|----------|-------|---------|
|                               | Secano | Riego | valor P | Secano  | Riego | valor P | Secano   | Riego | valor P |
| pH                            | 5,97   | 7,03  | 0,0039  | 6,17    | 7,13  | 0,0012  | 6,63     | 7,37  | 0,0315  |
| CE (dS m <sup>-1</sup> )      | 0,53   | 0,63  | 0,2254  | 0,23    | 0,53  | 0,0955  | 0,17     | 0,43  | 0,0572  |
| COT (g kg <sup>-1</sup> )     | 24,7   | 26,5  | 0,3775  | 15,5    | 19,9  | 0,3405  | 7,9      | 9,2   | 0,3028  |
| NT (g kg <sup>-1</sup> )      | 2,10   | 2,20  | 0,2996  | 1,30    | 1,60  | 0,4229  | 0,80     | 0,90  | 0,5730  |
| Ca (meq 100g <sup>-1</sup> )  | 9,88   | 9,32  | 0,6559  | 10,01   | 9,97  | 0,9735  | 10,39    | 11,30 | 0,6523  |
| Mg (meq 100g <sup>-1</sup> )  | 2,10   | 2,40  | 0,2376  | 2,06    | 2,30  | 0,0796  | 3,04     | 3,03  | 0,9754  |
| K (meq 100g <sup>-1</sup> )   | 2,06   | 2,71  | 0,1100  | 1,59    | 2,25  | 0,3074  | 1,69     | 2,21  | 0,3450  |
| Na (meq 100g <sup>-1</sup> )  | 0,04   | 1,11  | 0,0028  | 0,03    | 1,08  | 0,0016  | 0,04     | 0,98  | 0,0004  |
| P (mg kg <sup>-1</sup> )      | 21,97  | 30,33 | 0,5938  | 4,50    | 18,17 | 0,3859  | 2,00     | 7,20  | 0,3959  |
| CIC (meq 100g <sup>-1</sup> ) | 15,50  | 16,33 | 0,4726  | 15,20   | 16,57 | 0,2114  | 16,47    | 17,63 | 0,0057  |
| PSI (%)                       | 0,26   | 6,84  | 0,0082  | 0,20    | 6,54  | 0,0008  | 0,24     | 5,55  | 0,0017  |

NT, calcio, magnesio y potasio intercambiable o P extractable (Tabla 2). El riego produce por un lado un aumento de los aportes de carbono al suelo pero, a su vez, puede aumentar las pérdidas por mineralización. Esto lleva a obtener distintos balances e impactos del riego sobre el componente de carbono del suelo (Blanco-Canqui *et al.*, 2010).

#### Efecto del riego sobre las propiedades físicas edáficas

La DA no difirió significativamente entre tratamientos ( $P > 0,05$ ) y varió entre 1,25-1,28  $\text{Mg m}^{-3}$  (Fig. 1a). Los valores de DA se corresponden con la textura del suelo y coinciden con los generalmente observados en el área de estudio (Álvarez & Steinbach, 2009). En cuanto a la TI, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, mostrando una gran variabilidad especialmente en el tratamiento Riego (Fig. 1b). De acuerdo a los lineamientos del Soil Quality Institute (1999) la TI del tratamiento Riego fue moderada ( $145 \text{ mm h}^{-1}$ ), mientras que en Secano fue moderadamente rápida ( $215 \text{ mm h}^{-1}$ ). Estos resultados son coincidentes con una amplia red de experimentos efectuada en el sudeste de Buenos Aires en planteos de siembra directa, donde no se observaron impactos significativos del riego sobre la conductividad hidráulica no saturada (Costa *et al.*, 2008). Sin embargo, en el mismo trabajo, el riego redujo significativamente esta variable en suelos bajo labranza convencional. En igual sentido, Andriulo *et al.* (1998) observó una marcada reducción (50%) de la infiltración por efecto del riego complementario (11 años acumulados) en un experimento conducido en Pergamino (provincia de Buenos Aires) en un suelo Argiudol Típico bajo labranza convencional y con

erosión. Asimismo, Irurtia y Mon (1998), utilizando simuladores de lluvia de microparcels, observaron en experimentos conducidos en Salto (provincia de Buenos Aires) que la tasa de infiltración promedio fue de 12,4 y  $24,4 \text{ mm h}^{-1}$  en suelos regados y no regados, respectivamente.

No se observaron diferencias en humedad gravimétrica entre tratamientos (Fig. 2a) y los resultados de RP se compararon directamente. Así, la RP del Riego superó al Secano en un 15% (alrededor de 387 Kpa) si se consideran los valores promedios del estrato 0-40cm (Fig. 2b). Sin embargo, las diferencias entre los mismos variaron marcadamente según la profundidad considerada. Las mayores diferencias entre medias se presentaron a los 7,5 cm y a los 32,5 cm, pero sólo a los 37,5 cm las mismas fueron estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ). Los suelos regados tienen menor capacidad soporte resultando en una mayor compactación del mismo cuando es transitado en húmedo (Hamza & Anderson, 2005). Cabe destacar, que a pesar del alto contenido de humedad gravimétrica (21-24%) al momento del muestreo en ambos tratamientos, una elevada proporción de los datos de RP superaron los 2000 Kpa, considerado un límite crítico para el crecimiento de las raíces (Glinski & Lipiec, 1990). Sin embargo, la RP en superficie (0-5 cm) estuvo por debajo de 1500 Kpa (poco limitante para el crecimiento de las raíces) tanto en Riego como en Secano, a pesar de que fueron mayores en el primer tratamiento. Se destacan los valores elevados de RP en la condición de suelo húmedo. Esto implicaría que, si el mismo suelo presentara una menor disponibilidad hídrica, los valores de RP serían aún más elevados, considerando la relación inversa que existe entre la dureza del suelo y su

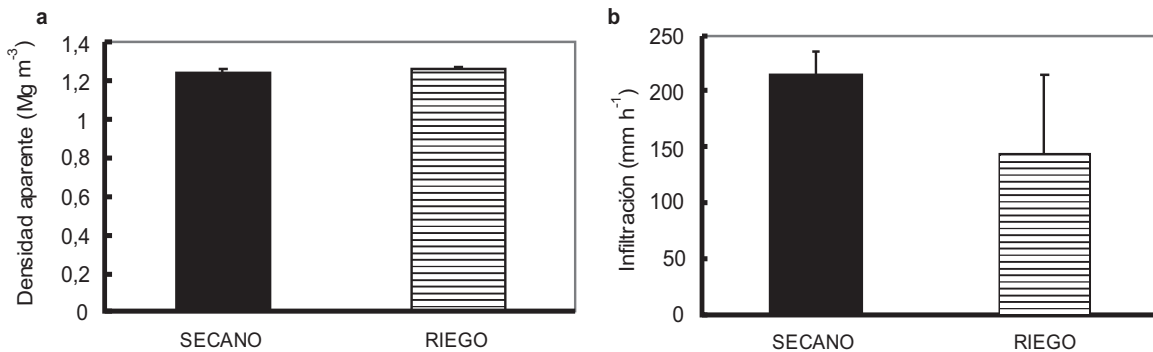


Figura 1. Densidad aparente (a) y tasa de infiltración en secano y riego (b). Las barras indican el error estándar.

Figure 1. Soil bulk density (a) and water infiltration rate (b) in the rainfed and irrigated treatments. Bars indicate mean standard error.

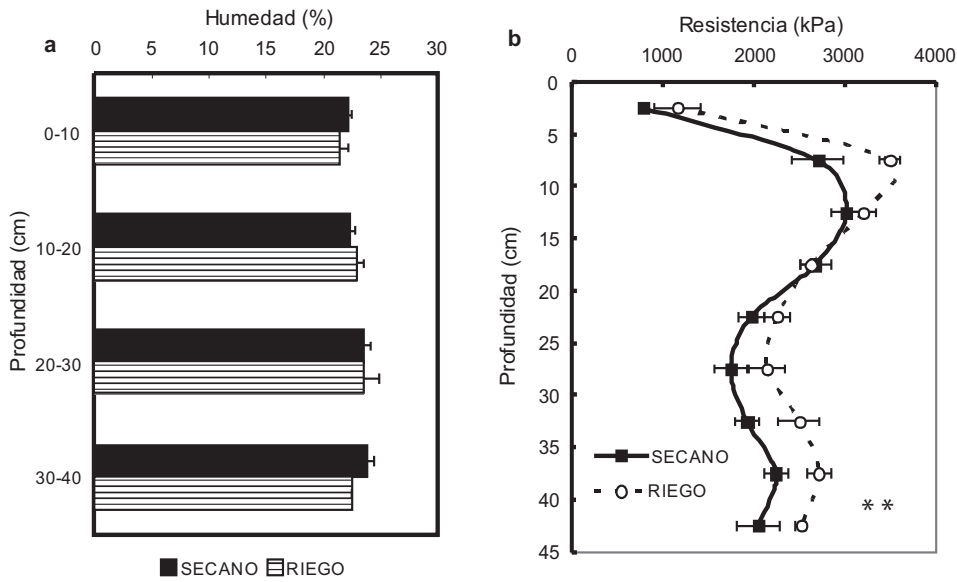


Figura 2. Contenido hídrico del suelo hasta 40 cm en seco y riego (a) y resistencia a la penetración hasta 45 cm para las situaciones de Secano y de Riego (b). Las barras indican el error estándar. \*\* indica diferencias significativas entre los tratamientos en profundidad indicada. Figure 2. Soil gravimetric water content up to 40 cm depth in the rainfed and irrigated treatments (a) and soil penetration resistance up to 45 cm depth in rainfed and irrigated treatments. Bars indicate standard error. \*\* indicates significant statistical differences between treatments.

contenido hídrico (Álvarez *et al.*, 2009). La elevada dureza superficial posiblemente se vincule con el tránsito de las maquinarias, principalmente la cosecha en condiciones de suelo húmedo. La dureza en superficie debe ser considerada una limitación para la emergencia de las plántulas y para la uniformidad del *stand* de plántulas (Micucci & Taboada, 2002).

La IE si bien fue menor en Riego que en Secano, en ambos tratamientos fue baja (Riego=0,52 mm; Secano=0,6 mm; Fig. 3), valores frecuentes en siembra directa (Álvarez *et al.*, 2009). Los valores elevados de estabilidad observados podrían vincularse con el alto contenido de MO y manejo en siembra directa (e.g. mayor estabilidad de agregados) (Micucci & Taboada, 2002; Qadir & Schubert,

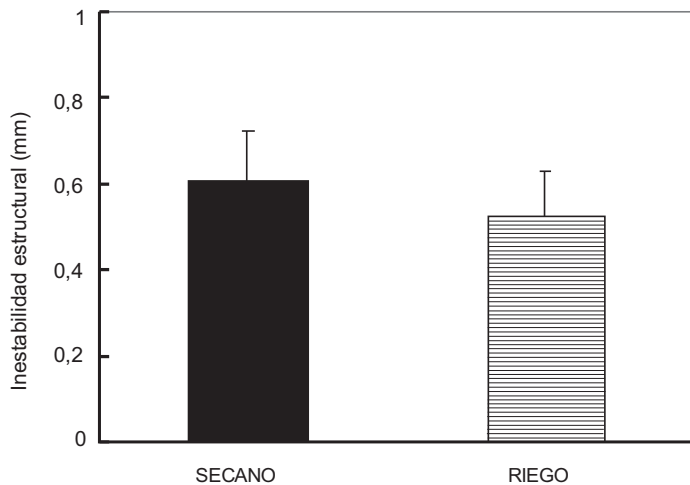


Figura 3. Inestabilidad estructural en riego y seco. Las barras indican el error estándar. Figure 3. Structural instability in rainfed and irrigated treatments. Bars indicate mean standard error.

2002). En la misma zona edafo-climática, y en suelos con niveles similares o mayores de PSI, Pilatti *et al.* (2005) informaron reducciones en la estabilidad de agregados y de la infiltración en suelos con bajos tenores de MO para la región (<2,5%). La distribución porcentual del diámetro medio de agregados muestra mayor tamaño tanto en seco como en húmedo en el tratamiento bajo riego (Fig. 4). Esto se puede vincular con el aumento de la cohesión de los agregados causado por mayor sodio intercambiable en el tratamiento regado, proceso que ha sido reportado en suelos sódicos de la Pampa Deprimida (Taboada & Lavado, 1996).

En conclusión, en el presente trabajo se observaron cambios desfavorables en el PSI bajo riego, no así en el pH ni en la salinidad. La situación de Riego presentó una mayor dureza (mayor RP) asociada aun mayor tamaño medio de agregados, una menor tasa media de infiltración, pero no una menor estabilidad estructural.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con fondos provistos por Tecnoagro S.R.L y el proyecto UBACYT G403 (Programación 2008-2010) y UBACYT 20020100100257. (Programación 2011-2014).

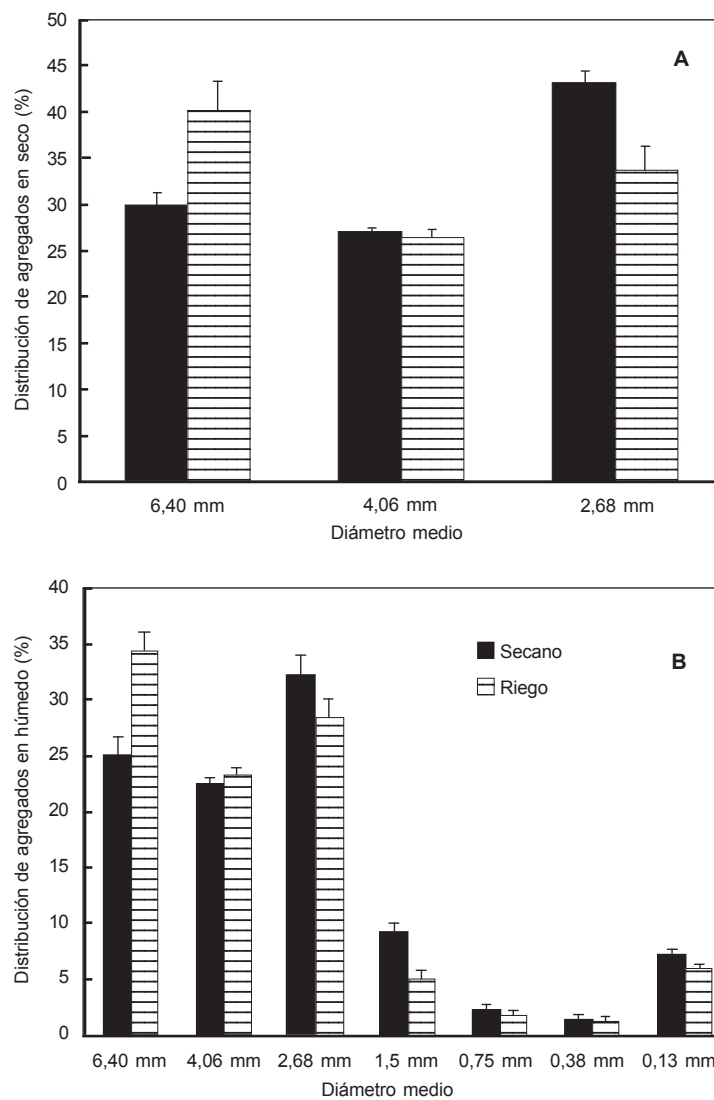


Figura 4. Distribución de agregados según su diámetro medio A. En seco y B. en húmedo. Las barras indican el error estándar.  
Figure 4. Dry (A) and wet (B) aggregate distribution in the rainfed and irrigated treatments. Bars indicate mean standard error.

## 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, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 104: 1-15.
- 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.
- Ayers, RS & DW Westcot. 1987. Calidad del agua para la agricultura. Cuadernos de riego y drenaje 29. FAO. Roma.
- Balks, W; WJ Bond & CJ Smith. 1998. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Aust. J. Soil Res.* 36: 821-830.
- Blanco-Canqui, H; NL Klocke; AJ Schlegel; LR Stone & CW Rice. 2010. Impacts of deficit irrigation on carbon sequestration and soil physical properties under no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 1301-1309.
- Bragachini, M; A Méndez; J Pognante; D De la Torre & O Pozzolo. 2009. Historia de la mecanización agrícola del país: del arado de reja a la siembra de precisión. *En: La Argentina 2050. La Revolución Tecnológica del Agro.* Ricci, D. (Editora) 744 p.
- 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.*
- Glinski, J & J Lipiec. 1990. *Soil Physical Conditions and Plant Roots.* CRC Press Inc, Boca Raton, Florida. 250 pp.
- Halliwel, DJ; KM Barlow & DM Nash. 2001. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. *Aust. J. Soil Res.* 39: 1259-1267.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Heredia, OS. 2010. Calidad de agua para riego. *En: Aspectos Ambientales de las Actividades Agropecuarias.* Fernández, Cirelli; AF Moscuza; CH Pérez; AL Carrera; AV Volpedo (eds.). Facultad de Ciencias Veterinarias y CETA (Centro Transdisciplinario del Agua). 189 p.
- 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.
- Irurtia, CB & R Mon. 1998. Cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la región pampeana después de 5 años de riego suplementario. *Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.* Villa Carlos Paz, Mayo 1998: 241- 242.
- 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 y Lavado, RS (Editores). Editorial FAUBA. 163 p.
- Micucci, FG & MA Taboada. 2002. Fertilidad física de los suelos. Editorial Facultad de Agronomía (UBA). 79 p.
- Mon, R; C Irurtia; 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 región 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.
- Pilatti, MA; S Imhoff; P Ghiberto & R Marano. 2005 Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133: 431-443.
- Qadir, M & S Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degrad. Develop.* 13: 275-294.
- Sainato, C; G Galindo & OS Heredia. 2006. Agua subterránea: Explotación y su utilización agropecuaria. 1 ed. Editorial Facultad de Agronomía (UBA). 115 p.
- SAMLA, 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelo, Aguas, Vegetales y Enmiendas Orgánicas: análisis de aguas. 1º edición. SAGyP. Dirección de Agricultura. CD Rom.
- Soil Quality Institute. 1999. Soil Quality test kit guide. NRCS Soil Quality Inst., Auburn, AL.
- Summer, ME. 1993. Sodic soils: new perspectives. *Australian Journal of Soil Research* 31: 683-750.
- Taboada, M & R Lavado. 1996. Interactive effects of exchangeable sodium and water content on soil modulus of rupture. *Soil Technology* 8: 345-349.