

SIMULACIÓN DEL EFECTO DEL RIEGO COMPLEMENTARIO EN UN SUELO UDIPSAMENT TÍPICO

M VÁZQUEZ; G MILLÁN & P GELATI

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - Universidad Nacional de La Plata
Av. 60 y 119 - La Plata (1900). E-mail: mvazquez@agro.unlp.edu.ar

Recibido: 31/01/07

Aceptado: 26/06/08

RESUMEN

El crecimiento tecnológico de los últimos años en la actividad agropecuaria de la Pradera Pampeana, ha conducido a un aumento muy importante de establecimientos que introdujeron el riego complementario. La reciente difusión de la práctica en algunas áreas de la región no permite hacer diagnósticos de mediano a largo plazo de su impacto. La realización de ensayos en condiciones controladas de simulación posibilitaría hacer evaluaciones predictivas y evitar perjuicios futuros. Se plantea como hipótesis que el riego complementario por aspersión utilizado en un Udipsament Típico del Centro-E de la provincia de Buenos Aires, causa un aumento de la sodicidad y salinidad en el suelo, alcanzando en el mediano plazo una nueva situación de estabilidad, si la práctica se mantiene dentro de ciertos cánones (tipo de agua usada, volumen y periodicidad del riego aplicado). El objetivo de este trabajo fue evaluar la alteración de la composición y relaciones iónicas en la solución edáfica, causada por el uso prolongado del riego complementario por aspersión, verificando la posible existencia de un estado de estabilización de las mismas en el mediano plazo. Las unidades experimentales fueron macetas de 1,5 L conteniendo suelo de 0-20 cm de profundidad, simulando 0, 10, 15 y 20 años de riego, mantenidas a 60 °C y respetando el balance hidrológico zonal. El aporte salino calculado fue de 461,4 kg 100 mm⁻¹ de lámina de riego. La composición catiónica y aniónica del agua revela la dominancia de Na⁺, así como de CO₃²⁻ y CO₃H. Las variables químicas edáficas más afectadas fueron pH, Na⁺, CO₃H y RAS. Luego de 10 años de riego tanto el Na⁺ como la RAS, aumentaron más de 10 veces respecto del valor original, confirmándose la hipótesis de estadios de estabilización a partir de los 15 años de riego. La salinidad evaluada a través de la CE, se incrementó ligeramente después de 10 años de riego, manteniéndose a partir de allí, en cifras semejantes a las originales. Los umbrales alcanzados en las variables relacionadas con la sodicidad permitirían afirmar la no sustentabilidad del sistema en planteos de riego de largo plazo, bajo las condiciones de estudio.

Palabras clave. Sodicidad, salinidad, calidad de agua, sustentabilidad.

SIMULATED EFFECT OF COMPLEMENTARY IRRIGATION ON A TYPIC UDIPSAMMENT SOIL

ABSTRACT

The massive adoption of new farming technologies in the Pampas region has been accompanied by the incorporation of complementary irrigation. The recent adoption of this practice in some areas of the region prevents the evaluation of its medium to long-term impact. Experiments under controlled conditions could contribute to predictive assessments that will help avoid future damages. The proposed hypothesis of this study is that the complementary irrigation by aspersion used in a Typic Udipsamment soil of Central-E Buenos Aires province, causes an increase in soil sodicity and salinity, reaching in the medium term a new situation of stability, if the practice stays within certain parameters (type of water, volume and regularity of the irrigation). The aim of this work was to evaluate the alteration of the composition and ionic relations in the soil solution caused by the prolonged use of complementary irrigation by aspersion, verifying the possibility of reaching another equilibrium state in the medium term. The experimental units were pots of 1.5 L, containing soil sampled at a 0-20 cm depth, simulating 0, 10, 15 and 20 years of irrigation, maintained at 60 °C and respecting the hydrologic balance of the area. The saline contribution was calculated to be 461.4 kg 100 mm⁻¹ of irrigation water. The cationic and anionic composition of the latter revealed the predominance of Na⁺ as well as of CO₃²⁻/CO₃H. The most affected edaphic chemical variables were pH, Na⁺, CO₃H and SAR. After 10 years of irrigation, both the Na⁺ and the SAR increased more than 10-fold, confirming the hypothesis of new equilibrium states only after 15 years of irrigation. The salinity evaluated through EC slightly increased and subsequently stabilized after 10 years of irrigation, reaching values that did not differ significantly from the original ones. Sodicity surpassed acceptable thresholds and therefore we can assert that, under the experimental conditions of this study, the irrigation practice in Central-E Buenos Aires Province is not sustainable in the long term.

Key words. Sodicity, salinity, water quality, sustainability.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la población mundial es de alrededor de 6.000 millones de personas y aumentará a 8.000 millones hacia el 2020, y 9.400 millones en el 2050 según Lal (2000). Esto requerirá un incremento de la producción agropecuaria del 40-50% en los próximos 30 a 40 años. El incremento de las 2/3 partes de la superficie arable, se producirá incorporando áreas desérticas mediante la irrigación, ya que, paralelamente se deteriora la tierra actualmente en producción (Rhoades, 1997).

La superficie regada en la Argentina ha tenido una evolución discontinua, de 1,065 millones de hectáreas en 1970; 1,246 en 1988; 1,437 en 1995; 1,484 en el 2000 y 1,360 en el 2002, este último de acuerdo al Censo Nacional Agropecuario (Morábito 1997; SAGPyA 2007). Esta última cifra se ha mantenido estable, mientras que el área potencialmente regable asciende a 2,500 millones de hectáreas, estimándose en un 35-40% las situaciones de baja eficiencia y problemáticas relacionadas al agua aplicada (Vallote *et al.*, 2007).

Barnes (1988) describió amplias regiones de todo el país en donde ocurren fenómenos de degradación de los suelos a causa del riego. Vallone *et al.* (2007) afirmaron que 1/3 de la superficie nacional bajo riego posee problemáticas a causa del mismo, en general de salinización y/o drenaje.

Todas las aguas de riego, superficiales o subterráneas, contienen en mayor o menor medida, sales solubles y otros elementos que en ciertas situaciones pueden llegar a ser tóxicos, tal el caso de sodio, cloro y boro (Ayers & Westcot, 1987; English *et al.*, 2002). Como es sabido, las sales aumentan el potencial osmótico impidiendo que el agua sea absorbida por las plantas. La abundancia absoluta y relativa de sodio respecto de otros elementos, puede causar severos trastornos en la circulación del agua y la renovación de los gases del suelo, motivados por el deterioro de la estructura que este elemento causa, a consecuencia de su naturaleza dispersante de los coloides (Bauder & Brock, 2001; Levy *et al.*, 2003; Emdad *et al.*, 2004).

El crecimiento tecnológico de los últimos años en la actividad agropecuaria argentina, especialmente en la Pradera Pampeana, fue acompañado por un aumento muy importante de establecimientos que introdujeron el riego complementario o que están analizando la posibilidad de hacerlo (SAGPyA, 1997). En el año 2002 se estimaba una superficie de 166.483 ha regadas en la provincia de Buenos Aires, 2° en su magnitud en el país (SAGPyA, 2007).

La proporción agua de riego/agua de lluvia en este sistema de riego es considerablemente baja, no superan-

do generalmente del 10 al 30%. A pesar de la baja proporción del agua de riego recibida por el suelo en estas condiciones, la incorporación de esta práctica puede provocar un impacto ambiental considerable, por lo cual debe ser analizado con rigurosidad, si se pretenden evitar deterioros del ambiente, muy difíciles de revertir una vez originados (Minhas & Gupta, 1992). En algunas circunstancias tal deterioro puede producirse en el mediano a largo plazo, arribando a nuevas situaciones de equilibrio, que podrían implicar condiciones adversas para los cultivos (Costa & Aparicio, 1999). La reciente difusión de la práctica en algunas áreas de la región, como el centro-este de la provincia de Buenos Aires, donde comenzó a regarse a partir de mediados de la década del '90, no permite hacer evaluaciones de los efectos en el largo plazo. La realización de ensayos de simulación en condiciones controladas, posibilitaría predecir el impacto y por lo tanto, evitar perjuicios futuros (Svartz & Richter, 1996).

Se plantea como hipótesis que el riego complementario por aspersión utilizado en un suelo de tipo Udipsament Típico del centro-este de la provincia de Buenos Aires, causa un aumento de la sodicidad y salinidad, alcanzando en el mediano plazo una nueva situación de estabilidad, si la práctica se mantiene dentro de ciertos cánones (tipo de agua usada, volumen y periodicidad del riego aplicado).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la alteración de la composición y relaciones iónicas en la solución edáfica, causada por el uso prolongado del riego complementario por aspersión, verificando la posible existencia de un estado de estabilización de las mismas en el mediano plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio y características del suelo empleado

El estudio se realizó sobre un suelo del partido de 25 de Mayo, el cual está comprendido entre los 35° 10' y 36° 00' de Lat. S, y 59° 30' y 60° 45' de Long. O, en la provincia de Buenos Aires, dentro de la región denominada Pampa Deprimida. Se trata de una zona subhúmeda-húmeda con promedio anual de precipitación de 1.046 mm y temperatura media de 16,3 °C (A.E. INTA Saladillo). El suelo evaluado fue un Udipsament Típico Serie 25 de Mayo (INTA, 1993). Las características generales de la capa superficial del suelo ensayado (0-20 cm) se muestran en la Tabla 1.

Muestreo de suelo y agua

El muestreo del suelo utilizado en el experimento se realizó mediante un sistema compuesto de 20 submuestras en una superficie de 50 ha, extraídas de 0-20 cm de profundidad. La muestra

Tabla 1. Características generales del suelo ensayado.
Table 1. General characteristics of the soil used in the study.

Determinación	0-20 cm
Arcilla (%)	8,0
Limo 2-50 (%)	11,0
Arena (%)	81
Clase textural	Arenoso-fr
Retención de agua (0,03 MPa, %)	18
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	16,4
pH agua 1:2.5	6,0
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	9,5
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	5,0
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	1,5
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,8
K (cmol _c kg ⁻¹)	1,2
Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	8,5
Saturación de bases (%)	89,5

se secó al aire, homogeneizó y procesó, tamizándola por 2 mm. Se tomó una muestra de agua de la perforación, con la precaución de dejar funcionar la bomba 2 h antes de la extracción. La muestra de agua se mantuvo refrigerada hasta el momento en que se procedió a su análisis.

Diseño experimental

El experimento se realizó mediante un diseño completamente aleatorizado. Los tratamientos fueron simulaciones de 0, 10, 15 y 20 años de riego, cada uno con 3 repeticiones. Las unidades experimentales fueron macetas de 1,5 L de capacidad, conteniendo suelo muestreado y procesado según el ítem precedente.

Se midió la capacidad de retención de agua a 0,03 MPa del suelo empleado (capacidad de campo), mediante membrana de Richards (Klute, 1986), lo que arrojó un resultado de 18% en peso.

En base a las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional (Estación Olascoaga) correspondientes al período 1960-1990, se realizó el balance hídrico zonal (Thornthwaite & Mather, 1957). Esto permitió calcular los volúmenes mensuales de percolación profunda para los meses en los que las precipitaciones medias locales (1046 mm año⁻¹) superaran la evapotranspiración real media local (ETR), es decir, el agua recibida por lluvia superara la posibilidad de retención del perfil. El cálculo arrojó una lámina de percolación de 412 mm año⁻¹.

Se estableció una lámina de riego anual de 300 mm. Los riegos se realizaron diariamente con agua de la perforación mantenida a 15 °C con gotas de tolueno y en envase oscuro, perfectamente cerrado, para evitar desarrollo biológico. Cada riego se realizó por diferencia de peso, con el volumen de agua necesario para alcanzar el 90% de la capacidad de campo, a los fines de evitar percolación por agua de riego.

Las macetas se mantuvieron a 60 °C, con la finalidad de acelerar el proceso de evaporación, lo que posibilitó que se simulara cada

año, en promedio, mediante 10 días de experimentación. Cabe señalar que una prueba preliminar de incubación del suelo realizada durante 1 mes, a temperaturas de 20 °C, 40 °C y 60 °C, mediante un diseño experimental completamente al azar (3r), permitió verificar la ausencia de efectos de la variable temperatura sobre el contenido de Na y la conductividad eléctrica (CEes) del extracto de saturación, por lo que fue seleccionada la mayor temperatura probada, a los fines de acelerar el proceso de simulación.

Al cabo del riego de cada año se procedió a la percolación respectiva, de acuerdo al cálculo del balance hídrico zonal descripto, equivalente a 412 mm año⁻¹. Dicha percolación profunda se llevó a cabo con agua destilada simulando el agua de lluvia. Estas tareas se continuaron alternadamente simulando 10, 15 y 20 años de riego.

Cabe aclarar que la lámina de riego establecida y su forma de aplicación sin consideración de fracción de lavado, es coincidente con los riegos máximos locales encontrados y la modalidad difundida de su empleo. Estas condiciones fueron establecidas a los fines de evaluar los efectos de la situación más adversa que pudiera encontrarse en la zona.

Análisis químicos

A los intervalos estipulados, equivalentes a 0, 10, 15 y 20 años de riego, se procedió a realizar extractos de saturación sobre los suelos sometidos a los diferentes tratamientos. Las determinaciones químicas practicadas fueron las siguientes (SAGPyA (SAMPLA), 2004):

- *pH*: potenciometría
- *Conductividad Eléctrica* (CEes): conductimetría
- *Calcio y Magnesio*: volumetría complejométrica con EDTA
- *Sodio y Potasio*: fotometría de llama
- *Carbonato y Bicarbonato*: volumetría ácido-base

- *Cloruro*: argentimetría
- *Sulfato*: turbidimetría

En el agua se determinó pH, conductividad eléctrica (CEa), cationes y aniones, con la misma metodología empleada en el suelo.

Análisis estadístico

Se realizó a través de un análisis de varianza paramétrico, previa comprobación de las condiciones de distribución requeridas para tal análisis (asimetría y kurtosis, homogeneidad de varianzas). La comparación múltiple de las medias de los tratamientos fue realizada mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del agua de riego

La calificación de su aptitud para el riego según Singh *et al.* (1996), en base a la CEa y el contenido de arcilla (Tablas 1 y 2), la señalarían como no salina, aún para cultivos sensibles. Según Ayers & Wescot (1987) sería calificada como de baja a mediana salinidad (C1/C2) y de mediana sodicidad con problemas crecientes de infiltración (S2). La calificación de la sodicidad llevada a cabo por estos autores, resulta del cálculo de la RAS, en consideración de la modificación de la concentración efectiva de Ca, en función de los tenores de HCO_3^- y CO_3^{2-} del agua.

La relación de concentraciones iónicas en el agua empleada en este trabajo, arroja un resultado de RAS superior al cálculo de RAS sin consideración de este aspecto. Uno de los factores más discutidos en la bibliografía es la necesidad de considerar el contenido de $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ del agua de riego. La escasa solubilidad del CaCO_3 y en cierta medida de Mg, permiten prever que aguas con elevadas concentraciones de estos aniones, provocarán la precipitación de estas sales en el suelo, y disminuirá la actividad iónica de Ca y Mg. Por lo tanto, a un mismo valor de RAS del agua, mayor será el efecto del Na cuanto mayor sea el contenido de $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ de la misma (Ayers & Wescot, 1987).

En función de la concentración de cationes y aniones del agua, se calculó el aporte salino, el cual arrojó un resultado de $461,4 \text{ kg } 100 \text{ mm}^{-1}$ de lámina de riego. Coincidentemente, Irurtia (1995) calculando el contenido salino a partir de la CE y un factor estándar de conversión, estimó el aporte salino para aguas clasificadas igualmente como C2, entre 400 y $600 \text{ kg } 100 \text{ mm}^{-1}$, lo que produciría según este autor, incrementos de la CEes del suelo de $0,22$ a $0,25 \text{ dS m}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Simultáneamente se realizó un cálculo estimativo del tipo de sales a partir de la composición iónica del agua empleada y el criterio de solubilidad de las distintas sales (Tabla 3). Como puede apreciarse, las sales dominantes son el $\text{NaHCO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$. Se formarían además NaCl, CaCO_3 , MgCO_3 , K_2SO_4 y KCl. Es importante destacar que el cálculo realizado adolece de la omisión de la considera-

Tabla 2. Características generales del agua de riego.
Table 2. General characteristics of the irrigation water.

pH	CEa	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	CO ₃ H ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	RAS	RAS ^o (1)	Mg/Ca
	dS m ⁻¹	mmolc L ⁻¹										
8,20	0,75	0,80	0,54	5,40	0,30	2,90	2,75	1,15	0,16	6,60	7,30	0,68

(1) RAS^o: Corrección Ayers & Wescot (1987).

Tabla 3. Cálculo del tipo y cantidad de sales del agua de riego en función de su composición iónica y los productos de solubilidad.
Table 3. Calculation of the type and amount of salts in irrigation water based on the ionic composition and solubility products.

Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	NaCl	CaCO ₃ mmolc L ⁻¹	MgCO ₃	KCl	K ₂ SO ₄
1,56	2,75	1,01	0,80	0,54	0,14	0,16

ción de algunas situaciones. En primer lugar, la precipitación de estas sales se produce en proporción a las actividades de los iones involucrados en la solución edáfica (Sumner, 2000). Si bien ni el agua ni el suelo empleados son fuertemente salinos, razón por la cual las actividades se asemejan a las concentraciones, el cálculo con estas últimas no es estricto. En segundo lugar, cuando las aguas son incorporadas al suelo, los iones contenidos en ellas entran en un sistema complejo, con interacciones de iones de la solución edáfica, interacción con un complejo sorbente de naturaleza coloidal inorgánica y orgánica variable, organismos vivos que afectan la dinámica de estos elementos, entre otros factores. Por lo tanto, si bien el aspecto cuantitativo de este cálculo no es estricto, el tipo de sales y las cantidades relativas de las mismas, difícilmente sea modificado. Aceptada la dominancia del $\text{NaHCO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$, puede preverse que a partir de su hidrólisis, se produciría una alcalinización progresiva del medio edáfico. De la misma manera, dada la elevada solubilidad y alcalinidad de esta sal, es dable esperar efectos de fitotoxicidad, especialmente en época estival. Se trata de un fuerte dispersante de coloides, con consecuencias a nivel de la estructura del suelo negativas, y a través de ello en la dinámica del agua y los gases del suelo (Costa, 1999).

Paliwal & Gandhi (1975) demostraron que una alta relación $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ del agua de riego, promueve la sodificación del suelo, especialmente en texturas gruesas como es el caso estudiado, aspecto derivado de la diferente afinidad del complejo sorbente por ambos cationes. Suelos con montmorillonita cubierta de hidroxialuminio, alófanos y suelos orgánicos, tienen preferencia por el Ca^{2+} en relación al Mg^{2+} . En esas condiciones la adsorción de Na^+ se incrementa con el contenido de Mg^{2+} del agua, por la naturaleza de pobre competidor de este último en el complejo de intercambio. La relación $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ fue de 0,68; cifra considerada de mediana peligrosidad por la bibliografía citada, desde el punto de vista de su incidencia en el proceso de sodificación del suelo.

Efectos sobre las propiedades edáficas

Las mayores alteraciones se produjeron en las variables pH, RAS, Na^+ y HCO_3^- (Figs. 1, 2 y 3). Para las primeras 3, el mayor impacto del agua empleada se registró al cabo de los primeros 10 años de riego.

Estos resultados estarían relacionados con la naturaleza bicarbonatada sódica del agua empleada y la dominancia de illita en la fracción arcilla (Terugi, 1957). Endo *et al.* (2002) y Ward & Carter (2005) señalaron la alta afinidad por el Na de la illita, especialmente a bajos tenores de arcilla total, como es el caso estudiado. Si bien los resultados posteriores, a los 15 y 20 años, sufrieron

ligeras variaciones, los mismos parecerían señalar una estabilización de las variables, que de todas maneras indicaría que el nivel de la problemática se mantendría.

Cabe citar que Vázquez *et al.* (2006) midieron una reducción de la conductividad hidráulica a flujo saturado del orden de las 10 veces para el mismo suelo, al cabo de 3 años de riego en condiciones de campo y láminas comparables, en respuesta a un aumento de la RAS a valor de 2. En esas mismas condiciones experimentales, los autores verificaron un incremento importante de los límites de Atterberg y las capacidades de retención hídrica a 0,03 y 1,5 MPa, demostrando la alteración del espacio poroso. Esto permitiría prever perjuicios aún mayores para períodos de riego más prolongados como los estudiados en este trabajo, dado el nivel de RAS más elevado que podría alcanzarse. Irurtia & Peinemann (1986) y Peinemann *et al.* (1998), trabajando en suelos de diferentes texturas, comprobaron alteraciones de la dinámica hídrica a valores de RAS y PSI comparables a las halladas en este estudio. La alteración de la dinámica hídrica antes citada, sería la consecuencia del deterioro estructural, a causa del hinchamiento de los tactoides de arcilla y procesos dispersivos que reducen el tamaño de poros y su conectividad (Baker *et al.*, 2004; Emdad *et al.*, 2004), en una ruptura jerárquica de los agregados a partir del tamaño limo, de acuerdo a Vázquez *et al.* (2006), proceso de reversibilidad limitada (Geeves *et al.*, 1998). De acuerdo a Dikinya *et al.* (2004) la alteración de la conductividad hidráulica por estos procesos no sería influenciada por la dinámica de la sodificación, si no por la concentración de Na final a la que se arriba, justificando la validez de la experiencia realizada en este estudio, en el sentido de permitir prever perjuicios físicos en relación a los niveles de sodicidad alcanzados, aún en una experiencia de simulación como la empleada en este trabajo.

Por otro lado, los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , que actúan compensando parcialmente el efecto dispersivo del Na^+ , disminuyeron en el extracto de saturación en los tiempos evaluados, cuestión que condujo, a aumentos de RAS superior al esperado exclusivamente por el enriquecimiento en Na^+ (Fig. 2).

Svartz & Richter (1996) realizaron un estudio comparable al efectuado en esta experimentación, en un suelo del partido de Pergamino, en la provincia de Buenos Aires. Los autores demostraron un proceso de sodificación intenso, en situaciones de alternancia de agua de riego y de lluvia, superior cuando el suelo es colocado en los permeámetros en forma no perturbada, respecto de muestra perturbada. Estos resultados sugerirían que la sodificación en los suelos estudiados en este trabajo, podría ser en la situación real aún mayor que la obtenida en el ensayo, dado el tamizado del suelo para constituir las unidades experimentales.

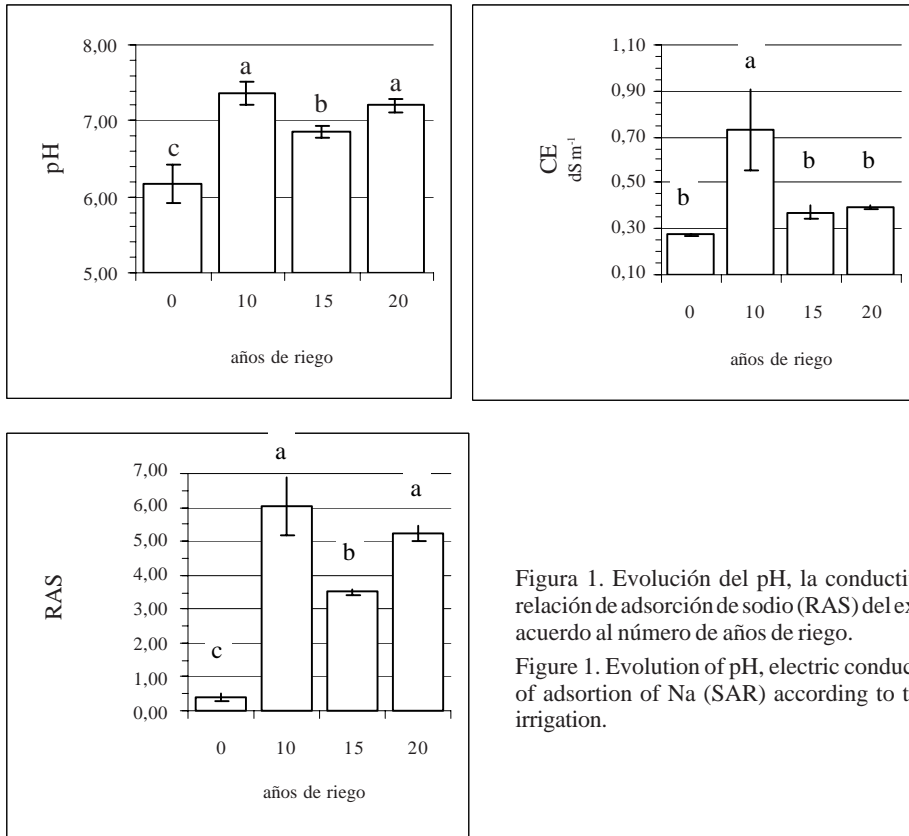


Figura 1. Evolución del pH, la conductividad eléctrica (CE) y relación de adsorción de sodio (RAS) del extracto de saturación de acuerdo al número de años de riego.

Figure 1. Evolution of pH, electric conductivity (EC) and relation of adsorption of Na (SAR) according to the number of years of irrigation.

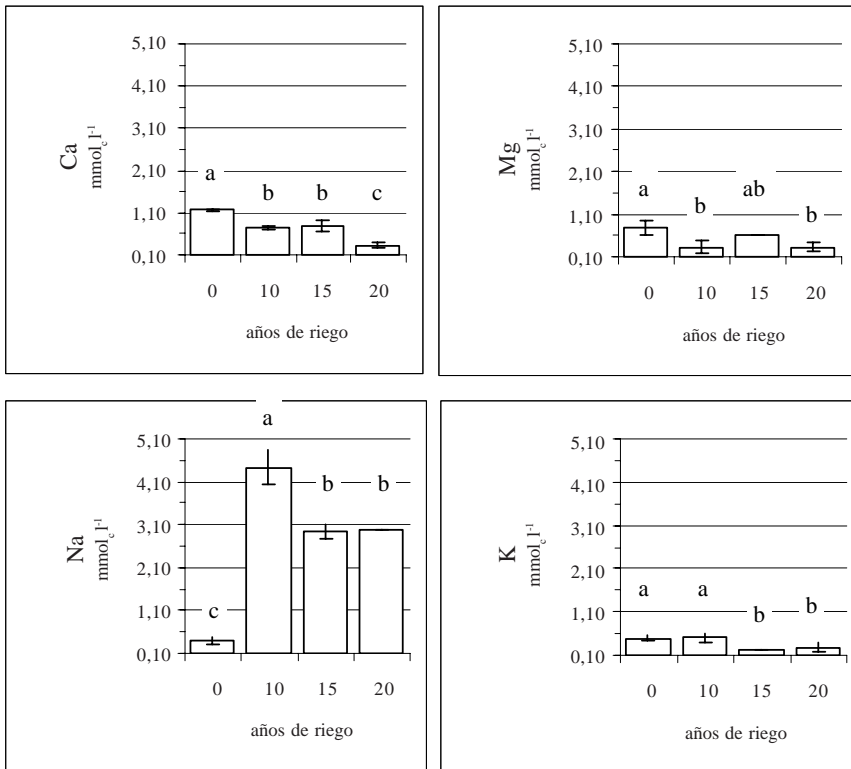


Figura 2. Evolución de la composición cationica del extracto de saturación de acuerdo al número de años de riego.

Figure 2. Evolution of the cationic composition of the extract of saturation according to the number of years of irrigation.

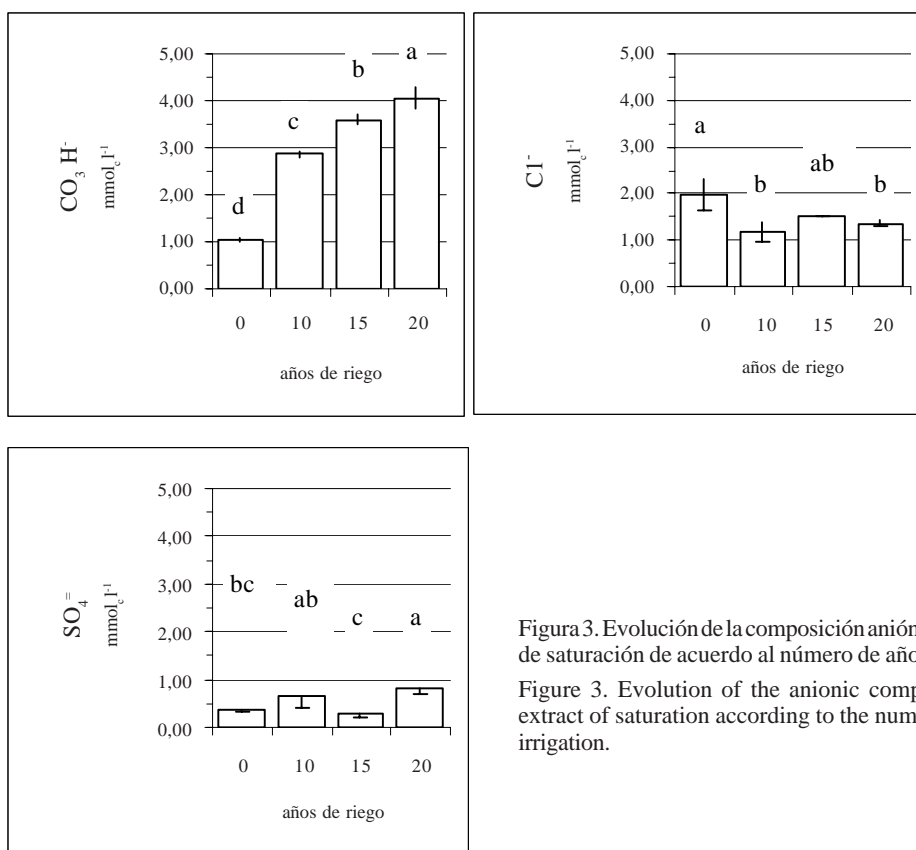


Figura 3. Evolución de la composición aniónica del extracto de saturación de acuerdo al número de años de riego.

Figure 3. Evolution of the anionic composition of the extract of saturation according to the number of years of irrigation.

En la Región Pampeana argentina ya ha sido documentado con anterioridad, el incremento de la sodicidad en suelos y sus perjuicios en las provincias de Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires, por diversos autores (Génova, 1993; Irurtia & Mon, 1998; Peinemann *et al.*, 1998; Andriulo *et al.*, 1998, 2000; Caviglia *et al.*, 2000; Marano *et al.*, 2000). De acuerdo a estos antecedentes y los umbrales alcanzados en las variables químicas evaluadas (RAS, Na⁺, CO₃H⁻), las consecuencias esperables definirían a la práctica de riego con esta calidad de agua y la lámina empleada, en los ambientes edafo-climáticos estudiados, como no sustentable. Debe destacarse que en este trabajo no se aplicó fracción de lavado, pues las láminas utilizadas en la región en estudio no las contemplan en la mayoría de los casos. Adicionalmente, según una experiencia realizada por Bustos *et al.* (2006) la pérdida neta de sales (ingreso/descarga) en un suelo de tipo franco-arenoso, similar texturalmente al estudiado en este trabajo, con la aplicación de 2 láminas de lavado, demostró descargas variables según el tipo de sal. En particular se verificó una importante retención de CO₃H⁻ por parte del suelo.

La salinidad, evaluada a través de la CEes, sólo mostraría un ligero aumento al cabo de 10 años de riego, para luego disminuir a valores similares a los iniciales, lo que queda en evidencia a través de las diferencias no significativas estadísticamente entre 0, 15 y 20 años. La naturaleza del agua y el suelo empleados, así como la pluviometría regional simulada en el estudio, podrían ser la causa de estos resultados.

Barbacone & Costa (1999) demostraron que columnas de suelo del sudeste bonaerense, regadas con 2.000 mm de agua sintética calificada como C3S2 y C4S3, incrementaron sensiblemente los valores de CE, PSI y pH. Dichos valores podrían ser comparables con los resultados obtenidos a los 10 años de riego, dados la calificación de peligro de sodificación y el volumen de agua empleada en el presente trabajo, confirmando la existencia de fenómenos de sodificación en otros ambientes. Costa (1999) en suelos del sudeste bonaerense, concluyó que en situaciones de riego complementario se llegaría a valores de estabilidad de la RAS de 5 a 6. Simultáneamente el autor demostró la ausencia de procesos de salinización, a expensas del lavado de sales, a causa de la

pluviometría regional. Ambas afirmaciones serían concordantes con los resultados registrados en el presente trabajo.

El estudio realizado permite afirmar que el riego complementario de suelos de importante difusión areal de la zona Centro-E de la provincia de Buenos Aires, conduciría a aumentos de pH, Na^+ , HCO_3^- y RAS del extracto de saturación, estabilizados a partir de los 10 años de riego con aguas características de la zona. Los valores de estabilización serían aproximadamente de pH 6,9 a 7,2; 3 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ de Na^+ , de 3,6 a 4,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ de HCO_3^- , y RAS de 3,5 a 5,2. La salinidad de los suelos no se vería afectada.

De proyectarse la afectación de las propiedades físicas, en virtud de los resultados obtenidos en ensayos de campo de 3 años sobre el mismo suelo, de acuerdo a Vázquez *et al.* (2006), se señalaría la no sustentabilidad de la práctica dentro de los límites de las condiciones experimentadas.

CONCLUSIONES

Características del agua de riego

- *Salinidad*: baja a mediana, con un aporte salino calculado de 461,4 kg 100mm^{-1} de lámina de riego, siendo las sales dominantes NaHCO_3 , Na_2CO_3 . Se formarían además NaCl , CaCO_3 , MgCO_3 , K_2SO_4 y KCl .
- *Sodicidad*: el valor de RAS^o, en consideración del Ca efectivo dadas las concentraciones de CO_3H y CO_3^- , así como la relación $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, permiten una calificación del agua como de mediana sodicidad con problemas crecientes de infiltración en los suelos regados.

Efectos sobre el suelo

- Las variables químicas más afectadas fueron pH, Na^+ , CO_3H y RAS. Las mismas se incrementaron fuertemente al cabo de los primeros 10 años de riego, para luego sufrir ligeras variaciones, confirmando la hipótesis de estadios de estabilización en el mediano plazo.
- Luego de 10 años de riego tanto el Na^+ como la RAS, aumentaron más de 10 veces respecto del valor original.
- La salinidad evaluada a través de la CE, si bien mostraría un ligero incremento después de 10 años de riego, se mantendría a partir de allí, en cifras

semejantes a las originales, presumiblemente por la condición textural del suelo y pluviometría regional.

- Los umbrales alcanzados en las variables Na^+ , CO_3H y RAS, de acuerdo a antecedentes bibliográficos, permitirían afirmar la no sustentabilidad del sistema en planteos de largo plazo, con láminas de riego y condiciones utilizadas en esta experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A; M Galetto; C Ferreira; C Cordone; C Nasal; F Abrego *et al.*, 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre un Argiudol Típico pampeano. *Ciencia del Suelo* 16(2): 125-127.
- Andriulo, A; M Galetto; C Sasal; F Abrego; M Bueno; F Rimatori *et al.*, 2000. Efecto del riego complementario con aguas salino-sódicas sobre algunas propiedades edáficas en el sudoeste santafesino. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (Comisión IV, Panel N° 5), Mar del Plata, Argentina, 11 - 14 abril.
- Ayers, RS & DW Wescot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Roma. N°29 (Rev.1) 173 p.
- Baker, BJ; NR Fausey & KR Islam. 2004. Comparison of soil physical proprieties under two different water table management regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 6: 1973-1981.
- Barbacone, A & JL Costa. 1999. Efecto de la calidad de agua para riego sobre algunas propiedades químicas de dos suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 8-12 noviembre, p. 57.
- Barnes, HR. 1988. Los problemas hidráulicos en la actividad agropecuaria y sus soluciones. *En*: "El deterioro del ambiente en la Argentina" Ed. FECIC, Argentina. 253-269.
- Bauder, JW & TA Brock. 2001. Irrigation Water Quality, Soil Amendment and Crop effects on sodium leaching. *Arid Land Research and Management* 15(2): 101-113.
- Bustos, A; R Caballero & R Román. 2006. Net changes of mains ions in the soil profile of irrigated field plots in central Spain. *Irrig. Sci.* 25: 1-9.
- Caviglia, OP; PA Barbagelata & OF Paporotti. 2000. Evaluación de 2 sistemas de labranzas con riego suplementario. II. Impacto del agua de riego sobre algunas propiedades químicas del suelo. XVII Congreso Argentina de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata (Comisión IV, Panel N°17), Argentina, 11-14 abril.
- Costa, JL. 1999. Effect of irrigation water quality under supplementary irrigation on soil chemical and physical properties in the southern humid pampas of Argentina. *Journal of Crop Production* 2: 85-99.
- Costa, JL & V Aparicio. 1999. Efecto de la calidad del agua sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos bajo riego suplementario en el sud-este de la provincia de Buenos Aires en la República Argentina. XIV° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 8-12 noviembre, p. 82.

- Dikinya, O; C Linz & G Aylmore. 2004. Dispersión and re-deposition of fines particles and their effects on saturated hydraulic conductivity. *Australian Journal of Soil Research* 44(1): 47-56.
- Emdad, M; S Raine; R Smith & H Fardad. 2004. Effect of water quality on soil structure and infiltration under furrow irrigation. *Plant and Soil* 23(2): 55-60.
- Endo, T; S Yamamoto; T Honna & AE Eneji. 2002. Sodium-calcium exchange selectivity as influenced by clay minerals and composition. *Soil Science* 167(2): 117-125.
- English, MJ; KH Solomon & GJ Hoffman. 2002. A paradigm shift in irrigation management. *Journal of irrigation and drainage engineering st.oct.*: 267-277.
- Geeves, GW; HP Cresswell & BW Murphy. 1998. Two indices of soil structure based on prediction of soil water processes. *Soil Science Society American Journal* 62: 223-232.
- Génova, LJ. 1993. Estudio de la degradación de suelos bajo riego complementario de cultivos extensivos con aguas subterráneas del acuífero pampeano en el norte de Buenos Aires. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza, Argentina, 25-29 octubre, p. 347-348.
- INTA. 1993. Carta de Suelos de la República Argentina. Pueblitos N° 3560-27.
- Irurtia, CB. 1995. Efecto del riego complementario en las propiedades físicas del suelo. 2° Seminario de Actualización Técnica de Riego. Consejo Profesional de Ingenieros Agrónomos, Centro Argentino de Ingenieros Agrónomos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Sociedad Rural Argentina, Buenos Aires, Argentina, p. 41-66.
- Irurtia, CB & R Mon. 1998. Cambios en las Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos de la Región Pampeana Después de Cinco Años de Riego Suplementario. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Argentina, 4-7 mayo, p. 241-242.
- Irurtia, CB & N Peinemann. 1986. Efecto de la R.A.S. y de la Concentración de Sales Sobre la Conductividad Hidráulica de Diferentes Suelos. *Ciencia del Suelo* 2: 165-177.
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. In: Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy Monograph N°9. 2nd Ed. Chapter 26: 635-661. Madison, USA.
- Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science* 165(1): 57-72.
- Levy, GJ; AI Mamedov & D Goldstein. 2003. Sodcity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils 1. *Soil Sci.* 168(8): 552-562.
- Marano, RP; MA Pilatti & JA DE Orellana. 2000. Efectos físicos químicos de aguas bicarbonatadas sódicas sobre Argiudoles del centro este santafesino. XVII° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (Comisión IV, Panel N° 41), Mar del Plata, Argentina, 11-14 abril.
- Minhas, PS & RK Gupta. 1992. Quality of irrigation water. Assessment and Management. Information and Publication, ICAR, p. 102.
- Morábito, J. 1997. El riego en el mundo, Argentina y Mendoza. Publicación interna Instituto Nacional del Agua (INA) y Centro Regional Andino (CRA). Mendoza Argentina. 15 p.
- Paliwal, KV & AP Gandhi. 1975. Effect of salinity, SAR, Ca: Mg ratio in irrigation water, and soil texture, on the predictability of exchangeable sodium percentage. *Soil Sci.* 122(2): 85-91.
- Peinemann, N; M Díaz Zorita; M Villamil; H Lusarreta & D Grunewald. 1998. Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura Pampeana. *Ciencia del Suelo* 16(1): 39-42. ISSN 0326-3169.
- Rhoades, JD. 1997. Sustainability of irrigation: An overview of salinity problems and control strategies. Annual Conference: Footprints of Humanity. Reflection on fifty years of water resource developments. Lethbridge, Alberta, Canadá, 3-6 Junio, p.1-42.
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina), Subsecretaría de Agricultura, Ganadería y Forestación. 1997. Riego complementario en sistemas productivos sustentables de la Región Pampeana, Boletín de divulgación sin numeración, Buenos Aires, Argentina. 16 p.
- 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 (SAMLA). Versión Electrónica. ISBN 987-9184-40-8.
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Agricultura. 2007. Riego en la Argentina al año 2002. Versión electrónica. www.sagpya.mecon.gov.ar, marzo.
- Singh, CS; SK Gupta & R Sewa. 1996. Assesment and management of poor quality waters for crop production: A simulation model (SWAM). *Agricultural water management* 30: 25-40.
- Sumner, ME. 2000. Handbook of soil science. Ed. CRC Press, Washington DC, EE.UU. I-33 p.
- Svartz, HA & M Richter. 1996. Simulación de cambios en las propiedades físicas y fisico-químicas de columnas de suelo de Pergamino bajo condiciones de riego complementario. XV° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa, Argentina, 19-24 mayo, p.161-162.
- Teruggi, ME. 1957. The nature and origin of argentine loess. *Journal of sedimentary petrology* 27(3): 322-333.
- Thornthwite, CW & JR Mather. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Tecnology Ed. Publication in climatology. Vol. X (3). 87 p.
- Vallone, R; D. Prieto & J. Morábito. 2007. Desarrollo de tecnologías para el saneamiento, recuperación de tierras y optimización de sistemas de riego en áreas de regadío. Jornadas de Investigación en Recursos Hídricos. ICA -UNCUYO, Mendoza, Argentina, 27 de setiembre.
- Vázquez, M; P Gelati & G Millán. 2006. Sustentabilidad del riego complementario en suelos Udipsamanet Típico y Hapludol Entico de la Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10(3): 593-603. ISSN 1415-4366.
- Ward, PA III & BJ Carter. 2005. Dispersion of saline and non-saline nitric Mollisols and Alfisols. *Soil Science* 169(8): 554-566.