

EFFECTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO COMPLEMENTARIO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS EDÁFICAS

VIRGINIA CAROLINA APARICIO*; ALEJANDRO BARBACONE & JOSÉ LUIS COSTA

Recibido: 16-10-13

Recibido con revisiones: 01-03-14

Aceptado: 01-03-14

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar la incidencia de diferentes combinaciones de agua de riego (agua desmineralizada y agua salinizada artificialmente en laboratorio), sobre la conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de sodio (RAS), pH, porcentaje de sodio de intercambio (PSI), y porcentaje de saturación con bases (PSB) de suelos paleudoles petrocalcicos del sudeste de Buenos Aires. Se realizó un experimento en invernáculo, utilizando columnas de suelo de 30 cm de largo, donde se sembró raigrás perenne (*Lolium perenne*). Se establecieron cinco tratamientos de riego: W0 (100% de agua desmineralizada), W1 (30% de agua con bajo RAS y 70% de agua desmineralizada); W2 (50% de agua de bajo RAS y 50% de agua desmineralizada); W3 (30% de agua de alto RAS y 70% de agua desmineralizada); W4 (50% de agua con alto RAS y 50% de agua desmineralizada). A medida que la proporción de agua artificialmente salinizada fue mayor que la de agua desmineralizada, los valores de PSI y CE se incrementaron especialmente a nivel superficial (10 cm). El agua artificial de RAS=12,5 produjo un aumento considerable del PSI=19,8 en comparación con el tratamiento testigo. Considerando el efecto de dilución del agua de lluvia fue posible establecer una ecuación que permite estimar para determinada calidad de agua de riego que valor del RAS alcanzaría el suelo.

Palabras clave. Calidad de agua; riego; salinización; sodificación.

EFFECT OF SUPPLEMENTARY IRRIGATION WATER QUALITY ON SOME SOIL CHEMICAL PROPERTIES

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the incidence of different combinations of irrigation water (demineralized and artificially salinized in the laboratory) on the electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), pH, exchangeable sodium percentage (ESP), and percent base saturation of two petrocalcic Paleudolls of Argentina. An experiment was conducted in a greenhouse, where 30-cm long soil columns were seeded with perennial ryegrass (*Lolium perenne*). Five water treatments were established: W0 (100 % distilled water), W1 (30% water with low RAS and 70% distilled water), W2 (50% water of low SAR and 50 % distilled water), W3 (30% water of high RAS and 70 % distilled water), and W4 (50% water with high RAS and 50 % distilled water). Since the artificially salinized water proportion was greater than the demineralized water, the EC and ESP values increased mainly at the surface (0-10cm). The artificial water SAR=12.5 produced a significant increase in ESP=19.8 compared with the control treatment. Considering the dilution effect of rain, an equation was developed to estimate the value of soil RAS for a given quality of irrigation water value.

Key words. Water Quality, irrigation, salinization, sodicity.

INTRODUCCIÓN

El riego suplementario es una parte importante del proceso de intensificación de la producción de granos en la región húmeda y sub-húmeda. Uno de los aspectos esenciales para alcanzar la sustentabilidad de los agroecosistemas irrigados es la identificación del impacto potencial que el agua de riego ejerce sobre las propiedades del suelo (Hoffman *et al.*, 1992; Díaz Álvarez, 1988; Biswas, 1966).

La fuente más común de agua de riego en la región húmeda y sub-húmeda pampeana es de origen subterránea, caracterizadas por su elevado contenido de bicarbonato de sodio (Galindo *et al.*, 2007). Las aguas de este tipo tienden a generar precipitados de $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^- , como consecuencia, incrementan el RAS del suelo (Rhoades, 1982).

El uso de metodologías clásicas para clasificar aguas de riego y para definir la tolerancia de cultivos a la salinidad (Richards, 1954) conduce con frecuencia a errores importantes en la valoración de los efectos que las prácticas de manejo producen en el suelo y, en última instancia, en la producción de los cultivos (Costa, 1999). A diferencia de las zonas áridas y semiáridas donde el riego es integral, en las regiones húmedas y sub-húmedas el riego es complementario y las lluvias representan la mayor oferta de agua del sistema. Las láminas de riego en sistemas con riego complementario varían entre 100 y 250 mm por año, y en que existe un exceso de agua en el balance hídrico que oscila entre 100 y 200 mm anuales, con lo cual se produce el lavado de las sales que pudieran acumularse en el suelo (Lavado, 2009). Estas razones permiten flexibilizar la utilización de aguas de salinidad dudosa, siempre que se realice el monitoreo anual de la salinidad del suelo (Costa, 1999).

El peligro potencial de sodificación por aplicación de agua de riego se estima con la relación de adsorción de sodio (RAS), que expresa el valor relativo entre la concentración de iones sodio y la de iones calcio y magnesio en solución.

Las sales del agua de riego aumentan la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CEe). El incremento de la CEe es una consecuencia esperada de la extracción de agua de las plantas aún sin aplicar riego (Oster, 1979). Sin embargo, otros autores reportaron que el riego incrementó significativamente el pH y el porcentaje de sodio intercambiable, sin generar aumentos significativos en la conductividad eléctrica (Torres Duggan *et al.*, 2012).

De acuerdo a diversos trabajos realizados en la Región Pampeana en suelos bajo riego complementario, utilizando aguas bicarbonatadas sódicas (*i.e.* con alto RAS), se

observan incrementos significativos del PSI y del pH, mientras que la CE en general presenta poca variación ((Costa, 1999; Mon, *et al.*, 2007; Peinemann *et al.*, 1998; Pilatti *et al.*, 2006). En regiones donde la lluvia es significativa, el peligro de sodificación es considerablemente mayor que el sugerido por la simple aplicación de las relaciones CE-RAS. Además es escasa la información sobre criterios adecuados de calidad del agua cuando se riega con aguas de elevado RAS en condiciones climáticas donde ocurren eventos de lluvia durante la temporada de cultivo (Suárez, *et al.*, 2006; Suárez, *et al.*, 2008). Los suelos con cultivos bajo cubierta son más afectados por el uso de aguas bicarbonatadas sódicas y en ellos, los procesos de salinización y alcalinización secundaria son los principales factores limitantes (Alconada & Minghinelli, 1998).

Aunque los niveles de PSI sean inferiores a 6, límite entre suelos sódicos y no sódicos propuesto por McIntyre (1979) en Australia; los agricultores encuentran, sobre todo después de la temporada de lluvias, dificultades en la preparación de la cama de siembra. Otra consecuencia visible es una reducción en la emergencia de plántulas debido al encostramiento superficial que provocan los valores bajos de PSI del suelo durante las lluvias. Con riego complementario la infiltración de agua en el suelo se reduce considerablemente respecto a la infiltración en secano Andriulo *et al.*, (1998).

Existe escasa información publicada en la literatura científica sobre los efectos de diferentes combinaciones de aguas con alto RAS y aguas de lluvia sobre las propiedades químicas edáficas de suelos pampeanos. El objetivo del trabajo fue cuantificar el efecto de la calidad del agua de riego sobre algunas propiedades químicas del suelo. La hipótesis del trabajo es que si bien el agua de lluvia es suficiente para lavar el exceso de sales, el contenido de bicarbonato de sodio del agua de riego puede incrementar los contenidos de sodio del suelo y estos incrementos pueden manifestarse en forma diferente en distintos suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del experimento

Se realizó un ensayo en invernáculo con suelos de Balcarce y Tres Arroyos, ambos Paleudoles petrocálcicos (fino térmico illítico) pertenecientes a las series Balcarce (Horizonte A: franco) y Tres Arroyos (Horizonte A: franco arcillo arenoso) respectivamente.

Los suelos fueron secados a 30 °C, molidos y tamizados por 5 mm y luego colocados en columnas de PVC de 30 cm de altura

y 20 cm de diámetro, de color blanco para reducir la fluctuación de temperatura (Prunty *et al.*, 1991). Las columnas fueron ubicadas sobre mesas de hierro con un sistema colector del agua de percolado.

Se emplearon 50 columnas (25 por suelo) en las cuales los 10 cm inferiores se llenaron con horizonte BA, logrando una densidad aparente (δ_a) de 1,2 Mg m⁻³ y los 20 cm superiores se completaron con horizonte A con una δ_a de 1,1 Mg m⁻³.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cinco repeticiones en un arreglo factorial de dos factores: suelos y aguas de riego y profundidad como medida repetida.

El tratamiento de riego testigo (W0) consistió en agregar, durante los dos años de ensayo, agua deionizada para cubrir la demanda potencial de agua de 1000 mm año⁻¹ simulando agua de lluvia. En los restantes tratamientos de riego, se aplicaron dos aguas sintéticas (A1 y A2, Tabla 1) alternando con agua deionizada, hasta completar el mismo volumen total, en proporciones de 30% de A1 y A2 (W1 y W3, respectivamente) y 50% de A1 y A2 (W2 y W4) con respecto al volumen de agua de-ionizada.

Las aguas sintéticas se prepararon según los procedimientos aplicados por Prunty *et al.* (1991), logrando aguas de riego representativas de la región: C3 S2 y C4 S3, de acuerdo a la clasificación propuesta por Richards (1954). Para aumentar la solubilidad de algunas sales en agua deionizada se aumentó la presión parcial de CO₂ mediante el burbujeo de ese gas durante 60 minutos, reduciendo así la constante de solubilidad y creando un medio adecuado para la solubilización. Se estabilizó el pH de cada solución desplazando el CO₂ con burbujeo de O₂.

La aplicación de agua a los tratamientos totalizó 2000 mm de agua durante los dos años de ensayo (alternancia de agua deionizada y sintética). Con la modalidad de riego utilizada se pretendió reproducir, como en trabajos anteriores (Prunty *et al.*, 1991), el efecto sobre las propiedades químicas del suelo en condiciones de campo, de riegos alternados con lluvias, para lo cual se planificaron riegos de baja intensidad. Se ajustó la lámina a aplicar para no sobrepasar la demanda evapotrans-

pirativa acumulada cada dos ó tres días, estimando una evapotranspiración para raigrás perenne (*Lolium perenne* L) en invernáculo de 3.5 mm día⁻¹ como promedio anual.

Luego de tres meses de iniciado el ensayo, se instaló el sistema colector de agua de percolado colocando botellas plásticas debajo de cada columna y se agregó agua en exceso de la evapotranspiración, con el objetivo de lograr percolado. Se obtuvieron en promedio cuatro litros de agua drenada por columna, lo cual es equivale a 127,3 mm de lámina drenada. A medida que se desarrollaba el experimento se tomaron muestras de agua de percolado. Al final del ensayo se seccionaron las columnas de suelo en tres capas de 10 cm originando 150 muestras para cada suelo.

El suelo de las columnas se humedeció y se sembró con raigrás perenne una densidad de 38 kg ha⁻¹ (0,12 g columna⁻¹). Después de la emergencia, la densidad de siembra se ajustó por raleo hasta obtener 40 plantas por columna. El raigrás perenne fue cortado a 10 cm, cada vez que alcanzaba 20 cm de altura. Se analizó materia seca (estufa a 60 °C durante 69 hs). Se completaron ocho cortes, por suelo y tratamiento, y las muestras se molieron y analizaron. La siembra de raigrás perenne tuvo por finalidad simular la demanda evaporativa. El suelo se fertilizó con el equivalente a 150 kg ha⁻¹ de N (325 kg de urea ha⁻¹) y 100 kg ha⁻¹ de P2O5 (217 kg de superfosfato triple ha⁻¹). La fertilización se repitió luego de cada corte, con el equivalente a 30 kg de N ha⁻¹.

Determinaciones químicas en suelos y plantas

En todas las muestras de suelo y agua se determinó: Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ intercambiables y solubles, CO₃⁼, HCO₃⁻, Cl⁻ y CE. Los componentes iónicos de las sales solubles se obtuvieron del extracto acuoso de la pasta saturada (Rhoades; 1982), analizando CE, según la metodología propuesta por el Richards (1954); Na⁺ y K⁺ por fotometría de llama; Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ por espectrofotometría de adsorción atómica; CO₃⁼ y HCO₃⁻ por titulación potenciométrica con HCl 0.02 N hasta pH = 8,3 para CO₃⁼.

En las aguas de riego se estimó el contenido de SO₄⁼ por diferencia entre la suma de cationes y la de aniones y se calculó el RAS (Tames, 1965). En el material vegetal seco se determinaron Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, y K⁺, por digestión húmeda (Shaw, 1959).

Tabla 1. Caracterización de las aguas elaboradas en laboratorio.

Table 1. Characterization of water produced in the laboratory.

Agua	pH	CE	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
		dS m ⁻¹					mmolc L ⁻¹				
A1	7,8	1,5	0	14	2,5	1,0	2,5	0,8	11,5	0,2	9,0
A2	7,9	2,5	0	22	3,5	1,7	3,5	1,5	19,8	0,2	12,5

El porcentaje de saturación con bases (PSB) (Kass *et al.*, 1996) indica qué porcentaje de la CIC está saturada por Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ , y se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{PSB} = \frac{(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+) \times 100}{\text{CIC}}$$

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 2002). El análisis de variancia se realizó con el procedimiento Proc Mixed, donde se consideraron los suelos como variables aleatorias, los tratamientos de agua como factores fijos y las profundidades como medidas repe-

tidas. La comparación de medias entre tratamientos fue obtenida por el test LSMEANS ($p > 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Salinidad y sodicidad

La relación RAS-RSI caracteriza el intercambio de Na^+ por Ca^{++} y Mg^{++} en el suelo y es controlada por la constante de Gapon (Robbins *et al.*, 1980). La relación fue $\text{RSI} = 0,0198 \times \text{RAS} - 0,00094$ ($R^2 = 0,708$) para el suelo de Balcarce y $\text{RSI} = 0,0147 \times \text{RAS} + 0,0001$ ($R^2 = 0,6205$) para el suelo de Tres Arroyos (Fig. 1). La constante de Gapon (KG), o pendiente de la ecuación de regresión, para el suelo

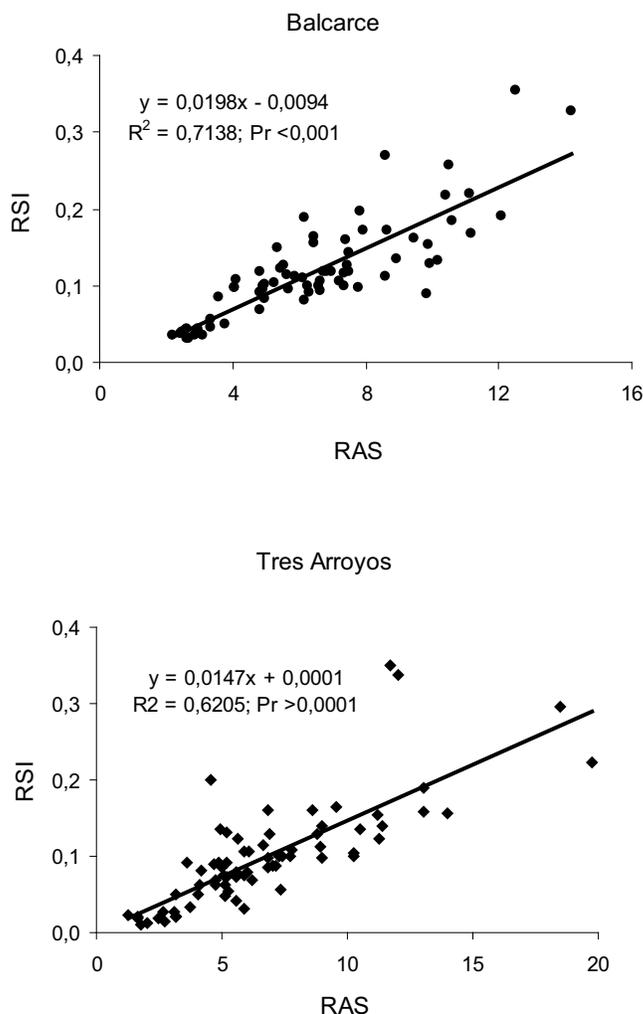


Figura 1. Relación entre la relación de adsorción de sodio (RAS) y la relación de sodio de intercambio (RSI) para los suelos de Tres Arroyos (A) y Balcarce (B).

Figure 1. Relationship between sodium adsorption ratio (RAS) and the ratio of sodium exchange (RSI) for the soils of Tres Arroyos and Balcarce.

de Tres Arroyos ($KG=0,0147$), coincide con la obtenida por Richards (1954) en tanto para el suelo de Balcarce fue mayor ($KG=0,0198$).

La CE no se diferenció entre suelos, pero sí entre profundidad y tratamiento de riego y no hubo interacción. La mayor salinidad se detectó a la profundidad de 0-10 cm mientras que en las otras dos profundidades no hubo diferencias (Fig. 2). La CE aumentó significativamente con respecto al testigo en todos los tratamientos y W4 se diferenció del resto (Fig. 2), aunque en ningún caso se superó el límite de $1,7 dS m^{-1}$ al cual se afecta por ejemplo, el rendimiento de maíz (Mass y Hoffman, 1977).

El pH difirió significativamente entre los suelos y los tratamientos de riego y no se encontraron diferencias por

profundidad (Fig. 3). El mayor pH del suelo de Tres Arroyos está relacionado a que su complejo de intercambio se saturó casi completamente al aplicar los tratamientos de riego, en tanto que el PSB del suelo de Balcarce nunca superó el 75% (Fig. 4). Los riegos siempre incrementaron el PSB y no hubo interacción. Los mayores PSB se dieron en las mayores profundidades (10-20 y 20-30). La diferencia de pH encontrada se debe también a que los PSB iniciales fueron diferentes (Tabla 2). El pH inducido por las diferentes aguas de riego (W1, W2, W3 y W4) solo aumentó significativamente con respecto al tratamiento testigo (W0) (Fig. 3).

El PSI mostró diferencias entre suelos (Fig. 5) e interacción entre tratamientos y profundidad (Fig. 6). El PSI del suelo de Balcarce fue mayor que el de Tres Arroyos; esto

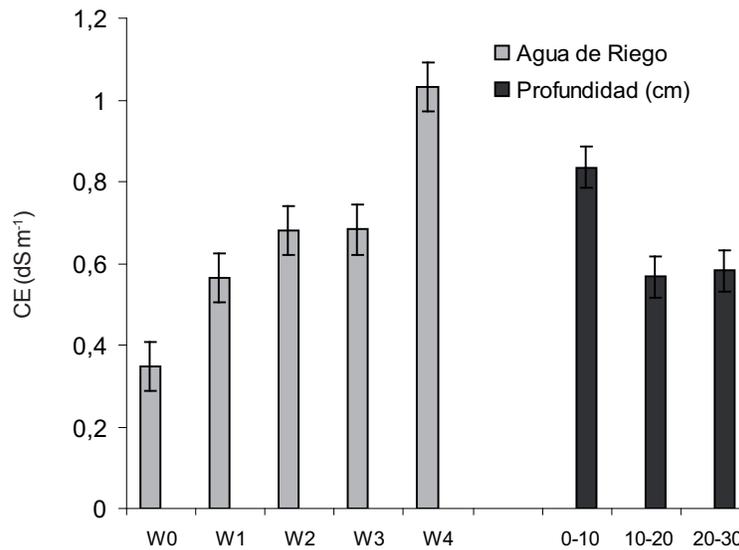


Figura 2. Valores de conductividad eléctrica (CE). Las barras de error corresponden al error estándar ($p > 0,05$).

Figure 2. Values of electrical conductivity (CE). The error bars represents the standard error ($p > 0,05$).

Tabla 2. Cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, Carbono Orgánico (Co) y porcentaje de saturación de bases PSB) para los horizontes A y AB de los suelos de Balcarce y Tres Arroyos.

Table 2. Exchangeable cations, cation exchange capacity (CIC), pH, Organic Carbon (Co) and percent base saturation (PSB) for the A and AB horizons of soils at Balcarce and Tres Arroyos.

Suelo	Horizonte	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	pH	Co	PBS
		cmol _c kg ⁻¹						%	
Balcarce	A	11,8	2,6	0,95	1,48	25,8	6,8	3,7	64,9
	AB	11,9	2,5	0,90	1,54	25,1	6,9	1,3	67,2
Tres Arroyos	A	21,5	4,7	0,68	1,51	32,6	7,6	1,8	87,5
	AB	23,6	4,5	0,75	1,49	31,2	7,7	1,2	97,7

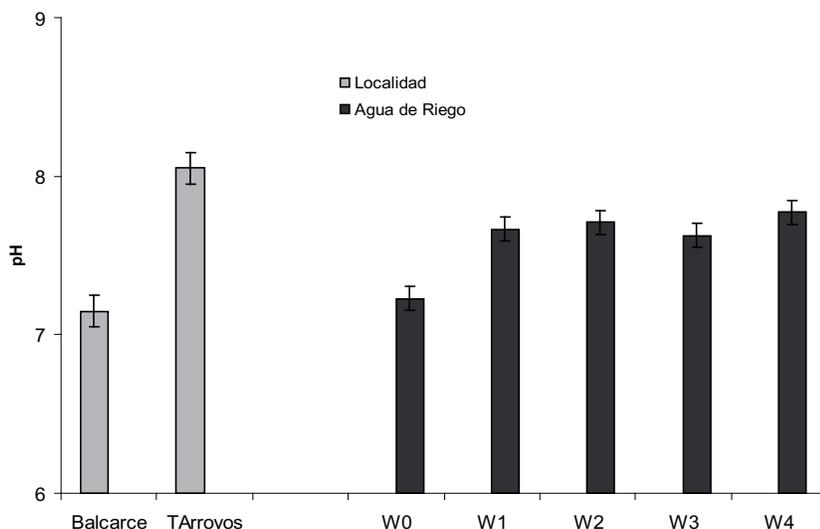


Figura 3. Valores de pH del extracto de saturación para los tratamientos W0 (100% de agua desmineralizada), W1 (30% de agua con bajo RAS y 70% de agua desmineralizada); W2 (50% de agua de bajo RAS y 50% de agua desmineralizada); W3 (30% de agua de alto RAS y 70% de agua desmineralizada); W4 (50% de agua con alto RAS y 50% de agua desmineralizada) y para dos localidades. Las barras de error corresponden al error estándar.

Figure 3. Saturation extract pH values for treatments W0 (100% distilled water), W1 (30% water with low RAS and 70% distilled water), W2 (50% water of low SAR and 50% distilled water), W3 (30% water of high RAS and 70% distilled water), and W4 (50% water with high RAS and 50% distilled water) and for two locations (Balcarce and Tres Arroyos). Error bars represent standard errors.

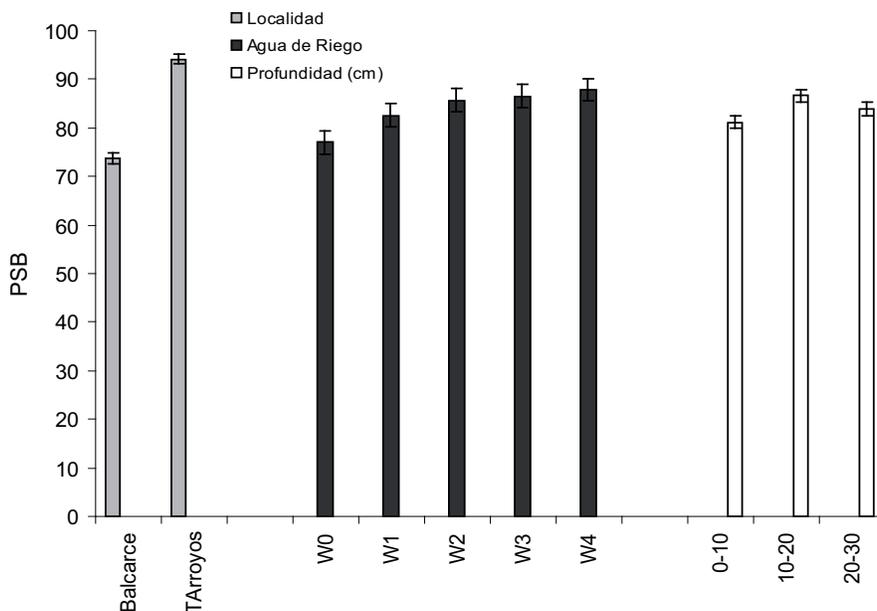


Figura 4. Porcentaje de saturación de bases (PSB) promedio para los tratamientos de agua de riego W0 (100% de agua desmineralizada), W1 (30% de agua con bajo RAS y 70% de agua desmineralizada); W2 (50% de agua de bajo RAS y 50% de agua desmineralizada); W3 (30% de agua de alto RAS y 70% de agua desmineralizada); W4 (50% de agua con alto RAS y 50% de agua desmineralizada), suelos de dos sitios y para tres profundidades. Las barras de error corresponden al error estándar ($p > 0,05$).

Figure 4. Percent base saturation (PSB) for irrigation water treatments W0 (100% distilled water), W1 (30% water with low RAS and 70% distilled water), W2 (50% water of low SAR and 50% distilled water), W3 (30% water of high RAS and 70% distilled water), and W4 (50% water with high RAS and 50% distilled water) and for two locations (Balcarce and Tres Arroyos), three depths (0-10; 10-20 and 20-30 cm) and two soil sites (Balcarce and Tres Arroyos). Error bars represent standard errors ($p > 0,05$).

pudo ser debido a que por un lado el suelo de Balcarce tiene mayor afinidad por el sodio que el suelo de Tres Arroyos ($KG=0,0198$ y $KG= 0,0147$, respectivamente). Por otro lado el suelo de Tres Arroyos tiene una CIC significativamente mayor a la CIC de Balcarce (Fig. 5) y no se detectaron diferencias significativas en el contenido de Na_i por localidad. La CIC sólo tuvo diferencias significativas entre suelos, no se detectaron diferencias ni en profundidad ni por agua de riego y no hubo interacción. El RAS del suelo

(RAS_s) se diferenció estadísticamente por agua y profundidad y no hubo ninguna interacción ni diferencia entre suelos.

Los valores más altos de PSI se registraron siempre en la superficie del suelo (Fig. 6). El tratamiento de riego W4 con mayor cantidad de agua de mayor RAS (12,5) produjo los mayores PSI sugiriendo que este tipo de aguas pueden incrementar el PIS del suelo en superficie, si como consecuencia de escasas precipitaciones, debe agregarse ma-

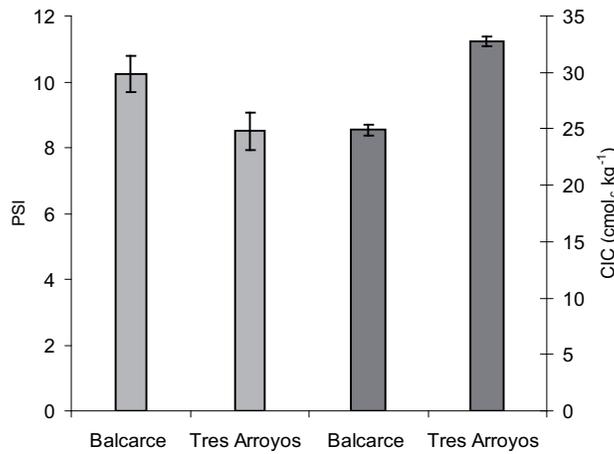


Figura 5. Valores de porcentaje de sodio de intercambio (PSI) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) para cada suelo, Las barras de error corresponden al error estándar ($p>0,05$).

Figure 5. Values of exchangeable sodium percentage (ESP). The error bars correspond to standard error ($p>0.05$).

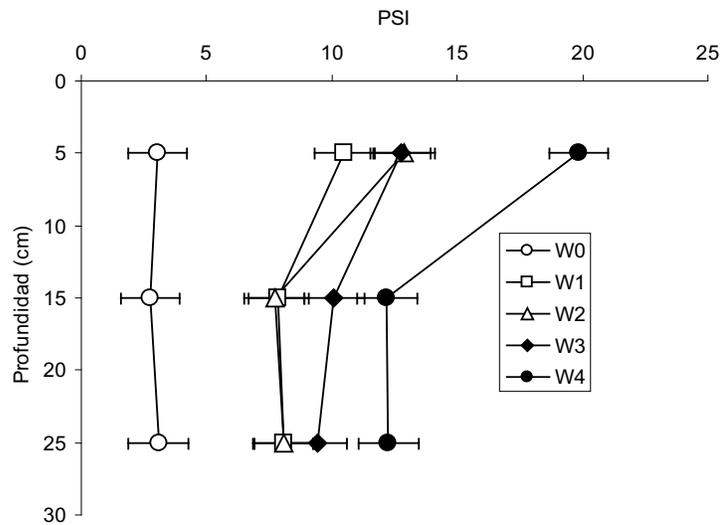


Figura 6. Valores de porcentaje de sodio de intercambio (PSI) según profundidad, Las barras indican el error estándar ($p>0,05$)

Figure 6. Values of exchangeable sodium percentage (PSI) by depth. The bars indicates the standard error of the mean ($p>0.05$)

yor cantidad de agua de riego. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, con el objetivo de lograr cambios en el menor tiempo posible, el tratamiento W4 representó una aplicación de riego de 500 mm año⁻¹, en láminas que no sobrepasaron los 20 mm por aplicación, el riego en la región alcanza valores entre 100 y 250 mm año⁻¹). Tomando como riego anual promedio para la zona 125 mm, W4 representaría el equivalente a 4 años de riego.

Como se espera que la interacción entre el agua de lluvia con el agua de riego incremente el riesgo de sodicidad debido a la baja conductividad eléctrica del agua de lluvia (Suárez, *et al.*, 2006) y que los criterios de salinidad y sodicidad para caracterizar la calidad del agua para riego se han desarrollado para condiciones en que el agua de riego es la única fuente de agua (Richards, 1954). No está claro que estos criterios sean aplicables a entornos donde hay una combinación de lluvia y riego durante la estación de crecimiento (Suarez *et al.*, 2008). Por esta razón, proponemos como

una forma de estimar el RAS_s que puede alcanzar un suelo bajo riego complementario con aguas de diferentes niveles de RAS, se realice recalculando el RAS del agua de riego por el efecto de dilución producido por el agua de lluvia (RAS_a) con lo cual obtenemos nuevos valores de RAS_a para cada tratamiento de agua (Tabla 3). De acuerdo a nuestro conocimiento y revisión bibliográfica no encontramos otra metodología que pueda mejorar los criterios de clasificación de la calidad del agua de riego cuando tenemos la combinación de agua de lluvia y agua de riego bicarbonatada sódica.

Para obtener el valor del RAS del agua de lluvia se tomó el promedio el RAS de 16 mediciones de agua de lluvia tomadas entre los años 2005 y 2010 (Daniel Martínez, com. per.). Se correlacionaron los valores de RAS_a y RAS_s para cada tratamiento de agua obteniendo una ecuación lineal (R²=0,97) que nos permite estimar con determinada agua de riego que RAS_s es esperable que alcance el suelo (Fig. 7).

Tabla 3. Estimación de la relación de adsorción de sodio (RAS) utilizando el factor de dilución (RAS_a) a los cationes Ca, Mg y Na comparados con el RAS de las aguas sintéticas.

Table 3. Estimation of the sodium absorption ratio (RAS) by using the dilution factor (RAS_a) on cations Ca, Mg and Na compared to the synthetic water RAS.

Aguas	Combinación de Aguas	Factor de dilución	Valores originales			Valores aplicando el factor de dilución			RAS	RAS _a
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
mmol ₍₊₎ l ⁻¹										
A1	W1	0,3	2,5	0,8	11,5	0,75	0,24	3,45	9,0	4,9
A1	W2	0,5	2,5	0,8	11,5	1,25	0,4	5,75	9,0	6,3
A2	W3	0,3	3,5	1,5	19,8	1,05	0,45	5,94	12,5	6,9
A2	W4	0,5	3,5	1,5	19,8	1,75	0,75	9,9	12,5	8,9

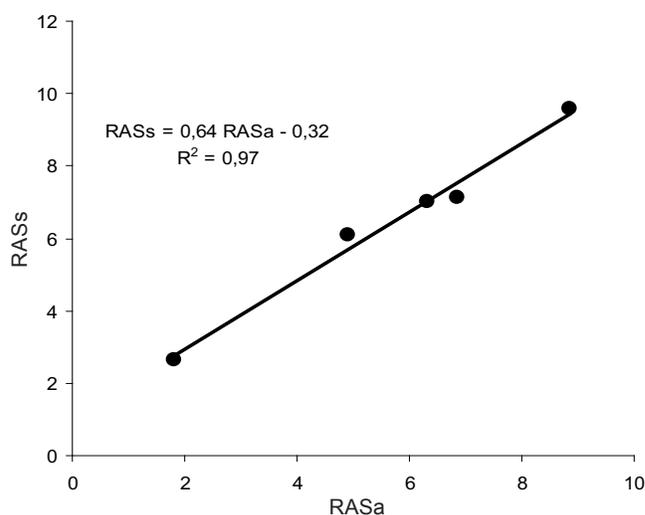


Figura 7. Relación de adsorción de sodio (RAS) del agua de riego (RAS_a) corregido por dilución y RAS del suelo (RAS_s).

Figure 7. Relationship between RAS irrigation water corrected by dilution and the Nai of the soil.

Biomasa forrajera y contenido de sodio

La producción de materia seca sólo arrojó diferencias significativas entre suelos, no se detectaron diferencias por corte ni interacciones. La mayor productividad total se alcanzó en el suelo de Balcarce, posiblemente debido a sus mejores aptitudes para el desarrollo del raigrás perenne comparada con el suelo de Tres Arroyos (Fig. 8).

Como era de esperar hubo incremento significativo de la acumulación de sodio en planta a medida que se incrementó el contenido de sodio en el agua de riego, sin interacción entre suelo y tratamiento de riego. La mayor concentración de sodio se encontró en las plantas regadas con el tratamiento W4 (Fig. 9).

Figura 8. Rendimiento en materia seca total por maceta para las dos localidades.
Figure 8. Total dry matter yield per pot for the two locations.

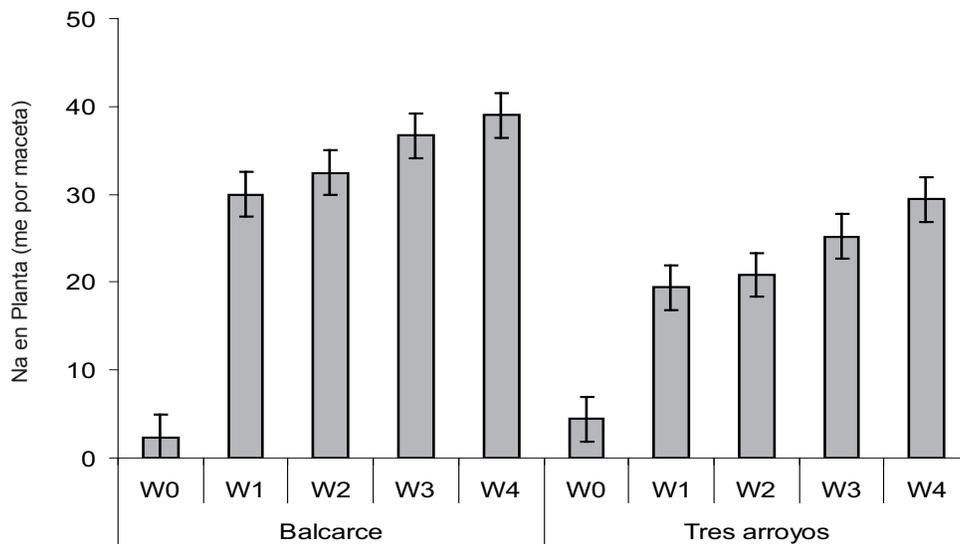
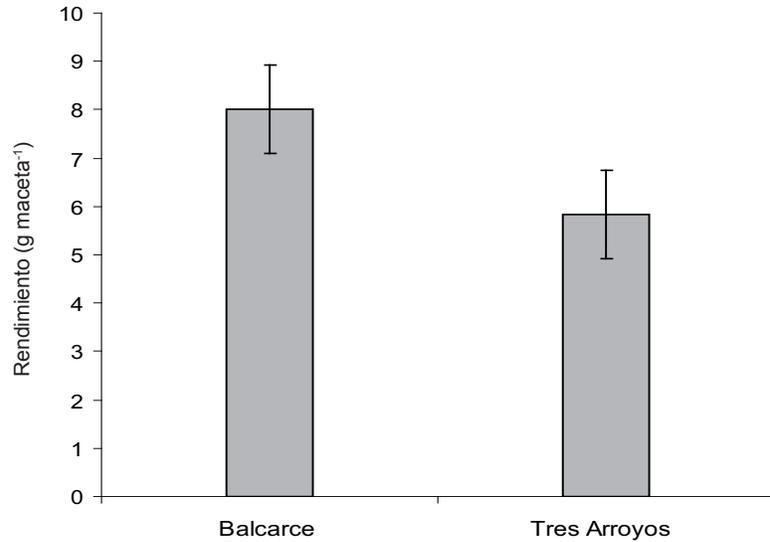


Figura 9. Contenido total de sodio en planta según localidad y tipo de agua.
Figure 9. Sodium total content in plant by location and applied water.

CONCLUSIONES

La constante de Gapón (KG), para el suelo de Tres Arroyos coincidió con la obtenida por Richards (1954) en tanto que para el suelo de Balcarce fue mayor (KG=0,0198).

La CE no se diferenció entre suelos y en ningún caso se superó el límite de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ al cual afecta negativamente el rendimiento de los principales cultivos extensivos de la región. El pH se incrementó por el uso de aguas bicarbonatadas sódicas y su nivel estuvo asociado al PSB inicial del suelo. El uso de aguas de riego bicarbonatadas sódicas incrementó el N_{ai} del suelo; a igual N_{ai} , el suelo de Tres Arroyos, con mayor CIC, tuvo un PSI menor. Tanto el PSI como el RAS_s siempre fueron mayores en la superficie del suelo. Podemos estimar el RAS_s de un suelo regado con aguas bicarbonatadas sódicas utilizando el RAS del agua de riego corregido por el factor de dilución del agua de lluvia. Hubo una mayor acumulación de sodio en planta a medida que se incrementó el contenido de sodio en el agua de riego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a INTA por brindar el presupuesto necesario, al Sr. Luis Alonso por su colaboración en el trabajo en invernáculo y a los revisores anónimos cuyas sugerencias mejoraron notablemente el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Alconada, M. & F Minghinelli. 1998. Calidad de agua de riego según diferentes criterios: su influencia sobre la salinización-alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el gran La Plata.
- Andriulo, A; ML Galetto; C Ferreyra; G Cordone; C Sasal; F Abrego; J Galina & F Rimatori. 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. I: Propiedades físico-químicas. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Villa Carlos Paz, 247-258
- Biswas, TD. 1996 (*ed*) Soil Management in Relation to Land Degradation and Environment. New Delhi, INDIA, 167 p.
- Costa, JL. 1999. Effect of irrigation water quality under supplementary irrigation on soil chemical and physical properties in the «southern humid pampas» In: MB Kirkham Water use in crop production Food Products Press, The Haworth press, Inc, ISBN 1-56022-068-6 NY. Pp 85-99.
- Díaz Álvarez, MC; S Garrido Valero & MR Hidalgo Gonzales. 1988. Agricultura y Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas, Centro de Publicaciones, Madrid, 62 p.
- Galindo, G; C Sainato; C Dapeña; JL Fernández-Turiel; D Gimeno; MC Pomposiello & HO Panarello. 2007. Surface and groundwater quality in the northeastern region of Buenos Aires Province, Argentina. *J. South American Earth Sci.* 23: 336-345.
- Hoffman, GJ; JD Rhoades; J Letey & F Sheng. 1992. Salinity Management. In: Hoffman GJ, Howell TA, y Salomon KH, (*ed*) Management of Farm Irrigation Systems, ASAE Monograph N° 9, St Joseph, USA.
- INTA (2010). Carta de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Hoja Tres Arroyos 3960-9. 1986.
- Kass, Donald Charles Lieber & J Núñez-Solís (*eds.*). 1996. Fertilidad de suelos. ISBN: 9977-64-889-1.
- Lavado, R.S. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. 2009. pag. 45-58. En: Taboada y Lavado (*ed*). Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. EFA, Buenos Aires. ISBN 978-950-29-1162-5
- McIntyre, DS (1979). Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity. *Australian J. Soil Res.* 17: 115-120.
- Mon, R; C Irurtia; FG Botta; O Pozzolo; F Bellora Melcón; D Rivero & 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.
- Oster, J D & FW Schroer. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Am. J.* Vol 43: 444-447.
- Peinemann, N; M Diaz Zorita; MB Villamil; H Lusarreta & D Grunewald. 1998. Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura Pampeana. Actas XVI Congreso Arg. Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz, mayo de 1998: 7-8.
- Pilatti, MA; S Imhoff; P Ghiberto & RP Marano. 2006. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133: 431-433.
- Prunty, L; BR Montgomery & MD Sweeney. (1991). Water Quality effects and soils and alfalfa: I. Water use yield, and nutrient concentration. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 196-202.
- Rhoades, JD (1982). Soluble salts. p.167-179. In: AL Page *et al.* (*ed*) Methods of soil analysis, Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9.ASA and SSSA, Madison, WI.
- Richards, LA (1954). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de agricultura N° 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 171 pp.
- Robbins, CW; JJ Jurinak & RJ Wagenet. 1980. A combined salt transport-chemical equilibrium model for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 1191-1194.
- SAS Institute, Inc. 2002. SAS user's guide. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Shaw, WM. 1959. Sulfur Determination, Nitric-Perchloric Acid Oxidation for Sulfur in Plant and Animal Tissues. *J. Agric. Food Chem.* 7: 843-847.
- Suarez, DL; JD. Wood & SM Lesch. 2008. Infiltration into Cropped Soils: Effect of Rain and Sodium Adsorption Ratio-Impacted Irrigation Water. *J. Environ. Qual.* 37: 169-179.
- Suarez, D; J Wood & M Lesh. 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agric. Water Manag.* 86: 150-164.
- Tames C. 1965. Utilización de aguas saladas para el riego. INIA Madrid.
- Torres Duggan, M; CR Alvarez; MA Taboada; T Celesti; F Vignarolli & D D´Ambrosio. 2012. Riego complementario en un arriedo típico de la pampa ondulada argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Ci. Suelo* 30: 201-207.
- Vázquez M; P Gelati & G Millán. 2006. Sustentabilidad del riego complementario en suelos Udipsament Típico y Hapludol Entico de Argentina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10: 593-603.