

Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina

M. VÁZQUEZ, G. MILLÁN & P. GELATI

Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP
mvazquez@agro.unlp.edu.ar

VÁZQUEZ, M., G. MILLÁN & P. GELATI. 2006. Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Fac. Agron.* 106 (1): 57-67.

El aumento poblacional en los próximos 25 años demandará un incremento de producción de alimentos, el que ocurrirá principalmente a partir del aumento de superficie arable y ella a través del riego, de evitarse el deterioro del suelo relacionado con esta práctica. Recientemente en la Pradera Pampeana, el riego complementario se difundió ampliamente. Se plantea que el mismo causa un deterioro edáfico, propio del agroecosistema y del agua usada, condicionando el empleo de sistemas clasificatorios del agua no calibrados regionalmente y que utilizan umbrales de peligrosidad considerablemente distintos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la sustentabilidad del riego mediante la evolución de la solución edáfica en NO/Centro-E de la provincia de Buenos Aires, así como la aplicabilidad de criterios clasificatorios del agua. Los suelos estudiados fueron Hapludol Éntico/Típico (NO) y Udipsament Típico (Centro-E). Antigüedad del riego: 2-4 años (90 -150 mm/año). Se analizó suelo en situaciones: Testigo/Riego (fuera y dentro del pivote de riego), 0-20/20-40/40-60 cm de profundidad (muestreo compuesto), años 97 al 99, y agua de riego. Las aguas del Centro-E fueron desde no salinas a mediana/altamente salinas (CE:0,6-0,8 dS m⁻¹) y desde no sódicas a predisponentes a problemas de infiltración (RAS:0,9-6,6), las del NO desde no salinas hasta altamente salinas (CE:0,7-1,3 dS m⁻¹) y desde no sódicas hasta sódicas (RAS:7,2-9,6), predominando el NaCO₃H. La relación Mg²⁺/Ca²⁺ (0,29-1,57) alcanzaría valores peligrosos por su incidencia en la sodificación. Se comprobaron aumentos de salinidad/sodicidad variables de acuerdo a cada situación, demostrando que la no sustentabilidad de la práctica depende de las características propias de cada agroecosistema. Estos procesos no fueron previsibles mediante las clasificaciones de la aptitud del agua utilizadas, evidenciando la necesidad de desarrollar criterios calibrados regionalmente.

Palabras Clave: sustentabilidad, calidad de agua, conductividad eléctrica, RAS, tipo de sales.

VÁZQUEZ, M., G. MILLÁN & P. GELATI. 2006. Effects of supplementary irrigation on the salinity and sodicity of soils. *Rev. Fac. Agron.* 106 (1): 57-67.

The estimated growth of the world population in the next 25 years predicts that the world food supply will have to increase considerably, most probably as a result of increasing the cultivated area by irrigating marginal areas, provided that this practice does not deteriorate soil quality. Recently, supplementary irrigation has been widely adopted by farmers of the Pampean Prairie, which may lead to soil deterioration, due to the nature of the ecosystem and the use of uncalibrated water in the region, which employ considerably different dangerous threshold. The purpose of this work was to evaluate the sustainability of irrigated production systems by analyzing the evolution of the edaphic solution at North-West/Mid-East sites in the Province of Buenos Aires. Additionally, the possible use of water classification criteria was assessed. The soils of the experimental area were Typic/Entic Hapludol and Typic Udipsament. Irrigation was performed for a period between 2-4 years (90 - 150 mm/yr). Control (unirrigated) and irrigated soils (within and outside an irrigation pivot) were analyzed at depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm, from 1997 to 1999. Waters of the ME location ranged from non saline to highly saline (EC: 0.6-0.8 dSm m⁻¹) and from low to high Na, which might lead to infiltration problems (SAR: 0,9-6,6). Water of the NW area ranged from non saline to highly saline (EC: 0,7-1,3 dS m⁻¹) and the sodium content ranged between non-sodic to sodic water (SAR:7,2-9,6). The Mg/Ca (0,29-1,57) relationship may reach high levels, which is dangerous considering its effect upon sodification. Increases in salt and sodium soil content were variable in each situation, suggesting that the sustainability of irrigation depends upon the characteristics of the agroecosystem. It was not possible to predict the effect of irrigation based on the classification of irrigation water used, suggesting that a water classification system based on local criteria is needed.

Key Words: sustainability, water quality, electric conductivity, SAR, type of salts.

Recibido: 22/10/2003. Aceptado: 17/04/2004.

INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional mundial de 6300 millones de personas en la actualidad a 8500 previsto para el 2025, requerirá un incremento de la producción del 40-50% en los próximos años (Rhoades, 1997). Este autor prevé que en las futuras décadas el aumento de las 2/3 partes de la superficie arable para sustentar esa producción, se producirá a partir de la irrigación. Sin embargo, un manejo inadecuado del riego puede causar deterioros de la fertilidad de los suelos (Lentz *et al.*, 1996; Ruiz & Paolini, 1999; Tarchitzky *et al.*, 1999). Barnes (1988) citó extensas regiones argentinas afectadas por esta práctica. El crecimiento tecnológico en la actividad agropecuaria en la Pradera Pampeana, trajo aparejado una gran difusión del riego complementario en esa región. A pesar de la baja cantidad del agua recibida por el suelo con este sistema de riego, el aumento de la salinidad, el deterioro físico causado por la sodicidad a la vez que situaciones de toxicidad específicas de ciertos iones, podrían ser importantes, de acuerdo a otros antecedentes (Abrego *et al.*, 1998; Andriulo *et al.*, 2000). Este impacto ambiental podría ocurrir aún con aguas de baja sodicidad y en suelos texturalmente gruesos, si la salinidad es reducida y la fracción arcilla está dominada por la illita (Churchman *et al.*, 1993), características de algunas subregiones de la Pradera Pampeana. De lo dicho se desprendería la necesidad del estudio tanto de la aptitud del suelo como del agua a ser empleados, si se pretende evitar deterioros del ambiente, muy difíciles de revertir una vez originados.

La calidad del agua de riego según numerosos autores, entre ellos Richards (1980), Suarez (1981), Pizarro (1985) y Ayers & Westcot (1987), se define en función de tres parámetros: salinidad, sodicidad y toxicidad. A pesar de esta unificación aparente de criterios, los diferentes autores emplean distintas escalas, relaciones entre parámetros y cálculos de indicadores de estos parámetros. Es pro-

bable que en cada caso, esta diferencia surja de la naturaleza particular de los sistemas productivos y edafo-climáticos a partir de los cuales se originaron estos criterios y justifica que aquellos desarrollados en ambientes particulares, no puedan ser extrapolados a otros ambientes sin adaptaciones.

Se plantea como *hipótesis* que el riego complementario por aspersión en las regiones Centro-E y NO de la provincia de Buenos Aires en condiciones subhúmedas-húmedas a secas, causaría un incremento en la salinidad y sodicidad del suelo, propio de la situación edafo-climática y del agua usada, lo que condicionaría el empleo de sistemas de clasificación de la calidad del agua de riego desarrollados en otros ámbitos.

El *objetivo* de este trabajo es evaluar la sustentabilidad del riego complementario por aspersión de los suelos del Centro-E y NO de la provincia de Buenos Aires, mediante el estudio de la evolución de distintas variables químicas de la solución del suelo, y examinar la aplicabilidad local de criterios bibliográficos de difusión nacional para la clasificación de la aptitud del agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área en estudio

Este trabajo fue realizado en los Partidos de Lincoln y Gral. Pinto (NO), y Saladillo y 25 de Mayo (Centro-E) en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se trata de una zona subhúmeda-húmeda a seca, con precipitaciones medias anuales de 1000 y 1046 mm respectivamente. Son subregiones templadas con temperaturas medias anuales de 16,2 y 16,3 °C respectivamente. La distribución de la lluvia y la evapotranspiración pueden causar períodos de severos déficits hídricos (Maturano, 1997).

En la zona NO se evaluaron 3 establecimientos (INTA, 1993 a):

1. Milagro, Serie San Jorge (Hapludol Típico);

2. Catalina, Serie El Abolengo (Hapludol Típico);
3. Reserva, Serie Santa Ana (Hapludol Entico).

En la zona Centro-E fueron estudiados 3 establecimientos pertenecientes a la Serie 25 de Mayo (Udipsament Típico) (INTA, 1993 b):

4. Criolla;
 5. Unión;
 6. Toldos.
- (Figura 1).

Los suelos utilizados en este estudio poseen loess arenoso como material original, dominando la illita y la montmorillonita en la fracción arcilla (Iñiguez & Scoppa, 1972; Dillon *et al.*, 1985; Hurtado *et al.*, 1985; Imbellone & Teruggi, 1993; Giménez *et al.*, 1996).

En las áreas en estudio la práctica del rie-

go comenzó en los años 93/94, con láminas de entre 90 y 150 mm anuales, poseyendo los lotes entre 2 y 4 años de riego previo al muestreo de 1997.

Muestreo de Suelos y Aguas

El muestreo de suelos se realizó sobre situaciones "Testigo" (t) y "Riego" (r), fuera y dentro del área de los pivotes de riego. En cada situación se extrajeron 2 muestras compuestas por 10 submuestras c/u a las siguientes profundidades: 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm, repitiéndose el esquema de muestreo durante los años 97, 98 y 99, dentro de los mismos lotes. Se tomaron muestras de agua de las respectivas perforaciones, con el recaudo de hacer circular el agua 2 h como mínimo antes de la extracción.

Análisis químicos

Se realizó una caracterización general de los suelos en estudio, mediante las siguientes determinaciones: materia orgánica por el método de Walkley y Black modificado por reducción de escala (MO), malla 0,5 mm; pH por potenciometría, relación suelo: agua de 1: 2,5; malla 2 mm; capacidad de intercambio catiónica (CIC) por el método del acetato de amonio 1N pH 7, malla 2 mm; cationes intercambiables por el método del acetato de amonio 1N pH 7, malla 2 mm; Calcio y Magnesio por volumetría complejométrica con EDTA, Sodio y Potasio por fotometría de llama, textura por el método de sedimentación diferencial y densimetría de Bouyoucos ($< 2\mu\text{m}$, $2 - 50\mu\text{m}$, $50 - 2000\mu\text{m}$).

El efecto del riego fue analizado en las situaciones Testigo y Riego a través del extracto de saturación con las siguientes determinaciones: pH por potenciometría; conductividad eléctrica (CE) por conductimetría; Calcio y Magnesio por volumetría complejométrica con EDTA; Sodio y Potasio por fotometría de llama; Carbonato y Bicarbonato: volumetría ácido-base; Cloruro por argentimetría; Sulfatos: turbidimetría. Se calculó el porcen-



Figura 1. Ubicación geográfica de los suelos estudiados.

Geographic location of the soils studied.

taje de saturación de bases (S) y de Na⁺ intercambiable (PSI).

El agua de riego fue analizada inmediatamente de recibida en el laboratorio, midiéndose por la misma metodología que en los extractos de saturación, pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, CO₃H⁻, Cl⁻ y SO₄²⁻. Se calculó la relación de adsorción de Na⁺ (RAS), el carbonato de Na⁺ residual (CSR= (CO₃²⁻ + CO₃H⁻) - (Ca²⁺+ Mg²⁺)) y la relación Mg²⁺/Ca²⁺. El agua así analizada fue clasificada según los criterios desarrollados por el Laboratorio de Salinidad de los EEUU de América (Richards, 1980), el Comité de Consultores de la Universidad de California (1974), los trabajos de Ayers & Wescot (1976, 1987) y Minhas & Gupta (1992).

Las determinaciones mencionadas se llevaron a cabo mediante metodología descrita en el Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis (SAMLA)(SAGPYA, 2004).

Análisis estadístico

Los resultados químicos fueron analizados según un diseño completamente al azar con arreglo factorial (factores: año, profundidad, situación de riego), evaluándose efectos principales y simples de acuerdo a la significancia estadística de las interacciones. Se realizó la comparación múltiple de Tukey (Mendenhall *et al.*, 1986).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización general de los suelos y las aguas de riego

Las características generales de los suelos estudiados pueden verse en la Tabla 1. Los mismos comprenden clases texturales desde franca a areno-franca. Los contenidos de MO son medios. Estos factores se conjugan para determinar una CIC baja a media. La satura-

Tabla 1.- Caracterización general de los suelos estudiados en situaciones sin riego

General characteristics of the soils studied, without irrigation

| Serie | Prof | MO | pH | CIC | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | S ⁽¹⁾ | PSI | Arena | Limo | Arcilla | Clase textural |
|------------------------|------|-----------------------|------|---------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|------|-------|------|---------|----------------|
| (Establecimiento) | (cm) | (g kg ⁻¹) | | (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | (%) | (%) | (%) | | | |
| CENTRO - E | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 de Mayo (Toldos) | 20 | 23,05 | 5,40 | 10,6 | 5,4 | 1,0 | 0,7 | 1,4 | 80,0 | 6,7 | 59 | 28 | 13 | franca arenosa |
| | 40 | | | 10,6 | 5,1 | 1,9 | 0,7 | 1,3 | 85,8 | 6,7 | 61 | 26 | 13 | franca arenosa |
| | 60 | | | 11,5 | 6,0 | 3,0 | 0,8 | 1,2 | 95,7 | 7,0 | 69 | 21 | 10 | franca arenosa |
| 25 de Mayo (Union) | 20 | 12,38 | 5,10 | 7,0 | 3,7 | 1,5 | 0,7 | 0,6 | 92,9 | 10,1 | 83 | 10 | 7 | areno franca |
| | 40 | | | 7,2 | 4,3 | 1,2 | 0,8 | 0,7 | 97,2 | 11,2 | 83 | 9 | 8 | areno franca |
| | 60 | | | 7,4 | 3,6 | 2,0 | 0,8 | 0,8 | 97,3 | 10,5 | 83 | 10 | 7 | areno franca |
| 25 de Mayo (Criolla) | 20 | 16,38 | 6,00 | 9,5 | 5,0 | 1,5 | 0,8 | 1,2 | 89,5 | 8,0 | 81 | 11 | 8 | areno franca |
| | 40 | | | 8,5 | 5,1 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 91,8 | 9,7 | 81 | 10 | 9 | arenoso franca |
| | 60 | | | 8,2 | 4,5 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 97,6 | 8,9 | 83 | 8 | 9 | arenoso franca |
| NO | | | | | | | | | | | | | | |
| Santa Ana (Reserva) | 20 | 21,84 | 6,10 | 14,9 | 8,5 | 1,5 | 0,6 | 1,5 | 81,2 | 4,3 | 47 | 36 | 17 | franca |
| | 40 | | | 14,5 | 8,6 | 1,4 | 0,8 | 1,3 | 81,4 | 5,6 | 53 | 29 | 18 | franca arenosa |
| | 60 | | | 13,6 | 8,6 | 1,4 | 0,7 | 1,1 | 89,0 | 5,2 | 53 | 28 | 19 | franca arenosa |
| San Jorge (Milagro) | 20 | 21,33 | 6,10 | 13,2 | 8,0 | 2,0 | 0,7 | 1,4 | 88,6 | 5,4 | 58 | 26 | 16 | franca arenosa |
| | 40 | | | 12,8 | 8,2 | 1,6 | 0,7 | 1,2 | 91,4 | 5,6 | 60 | 22 | 18 | franca arenosa |
| | 60 | | | 12,0 | 8,5 | 1,5 | 0,7 | 1,0 | 97,5 | 6,2 | 64 | 20 | 16 | franca arenosa |
| El Abolengo (Catalina) | 20 | 21,67 | 5,90 | 14,0 | 8,3 | 2,2 | 0,7 | 1,4 | 90,0 | 4,9 | 48 | 34 | 18 | franca |
| | 40 | | | 15,7 | 10,0 | 2,0 | 0,7 | 1,3 | 89,2 | 4,6 | 48 | 30 | 22 | franca |
| | 60 | | | 14,9 | 9,5 | 2,2 | 0,7 | 1,2 | 91,3 | 4,9 | 46 | 30 | 24 | franca |

Referencias: ⁽¹⁾ S: porcentaje de saturación de bases; ⁽²⁾ Profundidad de muestreo 20: 0 - 20 cm; 40: 20 - 40 cm; 60: 40 - 60 cm

ción de bases fue mayor al 80% y el complejo de cambio estuvo dominado por Ca^{2+} en todos los casos.

Las características de las aguas de riego y su clasificación según los criterios utilizados por distintos autores se presentan en la Tabla 2. Estos resultados permiten verificar que las aguas empleadas en el Centro-E son clasificadas desde no salinas a mediana/altamente salinas, según el criterio, mientras que las del NO lo son como no salinas a altamente salinas. De acuerdo a la concentración de los distintos iones se calculó un aporte salino global de entre 400 y 900 $\text{kg } 100\text{mm}^{-1}$ de agua aportada, correspondiendo los mayores valores al

NO (Tabla 2). Su composición permite establecer que en todos los casos domina el NaCO_3H , sal que se caracteriza por su elevada alcalinidad y efecto dispersante de los coloides, a la vez que presenta toxicidad potencial para muchos vegetales (Pizarro, 1985). La sodicidad evaluada a través del pH, RAS y carbonato de sodio residual (CSR), indica que las aguas del Centro-E pueden ser clasificadas desde de baja sodicidad hasta predisponentes a problemas de infiltración, y las del NO como no causantes de problemas de pérdida de estructura hasta sódicas. La relación $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ es considerada desde baja (0,29) hasta peligrosa (1,57) por su incidencia en el

Tabla 2. Características generales de las aguas de riego de las áreas Centro-E y NO de la provincia de Buenos Aires. Diferentes clasificaciones.

General characteristics of the irrigation water from mid-E and N areas of Buenos Aires province. Different classifications.

| | Centro-E | | | NO | | |
|--|-----------------|-------|---------|-----------------|------------|-------------|
| | Serie | | | Serie | | |
| | 25 de Mayo | | | Sta. Ana | San Jorge | El Abolengo |
| | Establecimiento | | | Establecimiento | | |
| | Toldos | Unión | Criolla | Reserva | Milagro | Catalina |
| pH | 8,1 | 7,8 | 8,2 | 8,2 | 8,3 | 8,3 |
| CE (dS m^{-1}) | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 1,3 | 0,9 | 0,7 |
| Ca^{2+} (mmol _c L ⁻¹) | 0,7 | 2,3 | 0,8 | 1,0 | 0,7 | 0,7 |
| Mg^{2+} (mmol _c L ⁻¹) | 1,1 | 1,9 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,2 |
| Na^+ (mmol _c L ⁻¹) | 3,9 | 1,3 | 5,4 | 9,2 | 6,2 | 6,4 |
| K^+ (mmol _c L ⁻¹) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| CO_3^{2-} (mmol _c L ⁻¹) | | | 2,9 | 0,7 | | 0,4 |
| CO_3H^+ (mmol _c L ⁻¹) | 4,3 | 4,6 | 2,8 | 8,0 | 7,8 | 5,5 |
| Cl^- (mmol _c L ⁻¹) | 1,5 | 0,8 | 1,2 | 2,0 | 1,2 | 1,1 |
| SO_4^{2-} (mmol _c L ⁻¹) | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 1,6 | 0,2 | 0,3 |
| RAS | 4,1 | 0,9 | 6,6 | 9,6 | 7,2 | 9,5 |
| CSR (1) (mmol _c L ⁻¹) | 2,5 | 0,4 | 4,3 | 6,9 | 6,3 | 5,0 |
| $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ | 1,57 | 0,83 | 0,68 | 0,85 | 1,14 | 0,29 |
| Clasificaciones | | | | | | |
| Richards 1980 | C2S1 | C2S1 | C2/C3S1 | C3S2 | C3S2 | C2S2 |
| Comité Consultores Univ. California (1974) | C1S1 | C1S1 | C1S1 | C2S2 | C2S2 | C1S2 |
| Ayers-Wescot (1976) | C0S0 | C0S0 | C0/C1S0 | C1S0 | C1S0 | C0S0 |
| Ayers-Wescot (1987) | C0S1 | C0S1 | C0/C1S2 | C1S1 | C1S1 | C0S1 |
| Minhas-Gupta (1992) | C0S0 | C0S0 | C0S0 | C0S2(CSR)(2) | C0S2 (CSR) | C0S2 (CSR) |
| Aporte salino (kg 100 mm ⁻¹) | 491 | 401 | 462 | 916 | 706 | 572 |

Referencias:

(1)CSR: Carbonato de sodio residual. Cálculo de Eaton (1950). (2) Sódico (CSR): sódico a causa del CSR.

Salinidad: C0: no salino; C1: baja; C2: mediana; C3: alta. **Sodicidad:** S0: no sódico; S1: baja; S2: mediana /problemas crecientes de infiltración

proceso de sodificación según antecedentes de Curtin & Smillie (1983). Estos autores destacaron la incidencia directa del Mg^{2+} sobre la inestabilidad estructural, así como indirecta por su influencia en la acumulación del Na^+ intercambiable, ya que el Na^+ puede ser más competitivo por los sitios de intercambio en presencia de Mg^{2+} que de Ca^{2+} . Este factor podría agravar las clasificaciones antes mencionadas.

La aplicación de los criterios clasificatorios utilizados, seleccionados por su amplia difusión en el país, demuestra la disparidad de umbrales de identificación de las problemáticas de salinidad y sodicidad. Esta disparidad es originada por las condiciones edafo-

climáticas para las cuales fueron desarrollados dichos criterios y pone en evidencia la invalidez de su extrapolación, sin ajustes locales.

Propiedades químicas de los suelos regados

El análisis estadístico permitió la comprobación tanto de efectos principales como de interacciones de los factores considerados (año (97, 98, 99), profundidad (0-20, 20-40 y 40-60 cm), situación de riego (t, r)) de acuerdo a la propiedad química evaluada y al establecimiento considerado, demostrando la complejidad de estos sistemas. De acuerdo a las significancias estadísticas del análisis de la varianza (factores principales o interacciones),

Tabla 3. Comparación múltiple de Tukey de los resultados analíticos (pH, CE y RAS) de los extractos de saturación de los suelos pertenecientes al Centro-E.

Tukey's multiple comparison of analytical results (pH, EC and SAR) of soils saturation extracts in the mid-east location.

| Serie (Establec.) | pH | | CE | | RAS | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------|--------|---------|
| | Factor | Media | Factor | Media (dS m ⁻¹) | Factor | Media |
| 25 de Mayo (Toldos) | 98 (1) | 6,83 a | 97 | 0,780 a | 97 t | 1,50 a |
| | 99 | 6,35 a | 99 | 0,420 b | 97 r | 0,91 b |
| | 97 | 5,95 b | 98 | 0,400 b | 98 t | 0,72 bc |
| | | | | | 98 r | 0,57 bc |
| | 60(2) | 6,33 a | | | 99 r | 0,48 cd |
| | 20 | 6,02 b | | | 99 t | 0,27 e |
| 25 de Mayo (Unión) | 97r | 7,00 a | 97 | 0,567 a | 98 | 0,87 a |
| | 99r | 6,41 b | 98 | 0,373 b | 97 | 0,84 a |
| | 98r | 6,37 b | 99 | 0,333 b | 99 | 0,27 b |
| | 99t | 6,36 b | | | | |
| | 97t | 6,26 b | | | | |
| | 98t | 6,17 b | | | | |
| 25 de Mayo (Criolla) | 97r | 6,86 a | | | 98 | 1,49 a |
| | 98r | 6,77 a | | | 97 | 1,48 a |
| | 99r | 6,69 a | | | 99 | 0,76 b |
| | 98t | 6,56 a | | | | |
| | 97t | 6,03 b | | | r (3) | 1,68 a |
| | | | | | t | 0,80 b |

Referencias

(1) Años de muestreo: 97, 98, 99. (2) Profundidad de muestreo: 20: 0 - 20 cm; 40: 20 - 40 cm; 60: 40 - 60 cm. (3) Riego: r, Testigo: t. a - d: Test de Tukey, letras diferentes indican dif. est. sig. ($p < 0,90$). El análisis se realiza sobre efectos principales (1 símbolo, ejemplo: r) o simples (2 símbolos, ejemplo: 97r) en caso de interacciones.

se procedió a la comparación múltiple de Tukey. En las Tablas 3 y 4 se transcriben los resultados obtenidos para ambas subregiones y 3 de las variables más afectadas y de mayor valor diagnóstico: pH, CE y RAS.

Queda de manifiesto la influencia del año calendario sobre las variables analizadas. Cabe consignar que la precipitación ocurrida durante el semestre anterior al muestreo para los distintos años evaluados, fue en la zona Centro-E de 393 mm (97), 774 (98) y 759 (99),

mientras que en el NO fue de 523 (97), 796 (98) y 737 (99). Es decir el año 97 fue el de menor pluviometría en ambas zonas, pero especialmente en la del Centro-E, donde constituyó prácticamente la mitad de la pluviometría de los 2 años subsiguientes. Los balances hidrológicos (resultados no mostrados) confirman que en ambas localidades y durante los años estudiados no se produjeron déficits hídricos previos al muestreo, sin embargo los excesos acompañaron la evolución

Tabla 4. Comparación múltiple de Tukey de los resultados analíticos (pH, CE y RAS) de los extractos de saturación de los suelos del NO.

Tukey's multiple comparison of analytical results (pH, CE and SAR) of soils saturation extracts in the NW.

| Serie (Establec.) | pH | | CE | | RAS | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------|------------|-----------|
| | Factor | Media | Factor | Media (dS m ⁻¹) | Factor | Media |
| Santa Ana (Reserva) | r | 7,04 a | r | 0,63 a | 98 | 0,76 a |
| | t | 6,87 b | t | 0,42 b | 97 | 0,54 ab |
| | | | | | 99 | 0,42 b |
| | | | 97 | 0,730 a | | |
| | | | 98 | 0,480 b | | |
| San Jorge (Milagro) | 97 | 7,20 a | 99 | 0,510 a | 99 r 20(3) | 1,34 a |
| | 99 | 6,92 b | 98 | 0,300 a | 99 t 20 | 1,17 ab |
| | | | 97 | 0,266 b | 97 r 20 | 0,96 abc |
| | | | | | 97 r 40 | 0,88 abcd |
| | | | r | 0,431 a | 99 r 60 | 0,88 abcd |
| | | | t | 0,288 b | 99 r 60 | 0,87 abcd |
| | | | | | 99 t 60 | 0,78 bcde |
| | | | | | 99 t 40 | 0,67 bcde |
| | | | | | 98 r 40 | 0,61 cde |
| | | | | | 98 t 20 | 0,60 cde |
| | | | | | 98 r 60 | 0,48 cde |
| | | | | | 98 t 40 | 0,42 cde |
| | | | | | 97 r 60 | 0,42 cde |
| | | | | | 99 r 20 | 0,39 de |
| | | | | | 97 t 20 | 0,34 de |
| | | | | 98 t 60 | 0,32 e | |
| | | | | 97 t 40 | 0,31 e | |
| | | | | 97 t 60 | 0,31 ef | |
| El Abolengo (Catalina) | | | 20 | 0,460 a | r | 0,73 a |
| | | | 40 | 0,330 b | t | 0,55 b |
| | | | 60 | 0,240 b | | |
| | | | | 20 | 0,86 a | |
| | | | | 60 | 0,42 b | |

Referencias

(1) Años de muestreo: 97, 98, 99. (2) Profundidad de muestreo: 20: 0 - 20 cm; 40: 20 - 40 cm; 60: 40 - 60 cm. (3) Riego: r, Testigo: t. a - d: Test de Tukey, letras diferentes indican dif. est. sig. (p < 0,90). El análisis se realiza sobre efectos principales (1 símbolo, ejemplo: r) o simples (2 símbolos, ejemplo: 97r) en caso de interacciones.

de las precipitaciones, lo que facilitaría mayor lixiviación profunda de sales durante los años 98/99. Esto podría explicar el incremento de la CE en los establecimientos Toldos y Unión (Serie 25 de Mayo) para el año 97, revirtiéndose la situación en los años 98 y 99. Por otro lado, en el establecimiento Criolla, de la misma serie, no hubo afectación de la salinidad del suelo a pesar que el agua de riego fue clasificada de hasta medianamente salina. Resultados similares encontraron Costa & Aparicio (1999), quienes estudiando el efecto del riego complementario en el sudeste bonaerense, confirmaron el aumento de salinidad (CE) y RAS en suelos regados, aunque señalaron también que el agua de lluvia reduce el contenido salino sin riesgo de acumular sales en el perfil en situaciones de riego con aguas de hasta 4 dS m⁻¹ de CE. Es de destacar que aún en los casos donde se consignó variación estadística de la CE, los valores alcanzados podrían ser juzgados como inocuos para el crecimiento vegetal (Ayers & Wescot, 1987; Ke- ren, 2000; Levy, 2000)

La incidencia del agua de riego sobre la sodicidad, evaluada a través de la RAS y el pH, sólo fue comprobada estadísticamente en el suelo del establecimiento Criolla (Serie 25 de Mayo), independientemente de la profundidad considerada. Es decir, aparentemente, los cambios pluviométricos fueron insuficientes para revertir el Na⁺ acumulado, como ocurriera con el tenor salino en su conjunto. Sólo la clasificación de Ayers & Wescot (1987) señala la posibilidad de problemas crecientes de infiltración causados por la sodicidad del agua en cuestión, que por otro lado es la de mayor contenido de este elemento de las 3 consideradas para la región. La disparidad de resultados de los sistemas clasificatorios de calidad de agua de riego fue puesta de manifiesto a nivel nacional por Alconada & Minghinelli (1998) en cultivos protegidos del Gran La Plata.

En la zona NO, el riego tuvo efectos significativos desde el punto de vista estadístico ($p < 0,90$) sobre la CE en los establecimientos

Reserva (Serie Santa Ana) y Milagro (Serie San Jorge), condiciendo con la mayor parte de los criterios clasificatorios (Tabla 2) e independientemente del año calendario. Es decir que a pesar de registrarse precipitaciones comparables en ambas zonas, en estos suelos las mismas fueron insuficientes para controlar la salinidad producida por las láminas utilizadas. De la misma manera que en el Centro-E, los valores alcanzados hasta la fecha por la CE podrían juzgarse como inocuos para el crecimiento de la mayor parte de las especies vegetales. Cabría preguntarse si en plazos más prolongados, el aumento de la salinidad podría transformarse en una limitación en estas condiciones. La sodicidad (RAS) tuvo connotaciones particulares para cada establecimiento, en esta subregión. Estuvo sujeta al año calendario en la Serie Santa Ana, manifestó interacción año/riego/profundidad en la Serie San Jorge y demostró efecto principal del riego en la Serie El Abolengo. Esto ocurrió a pesar de que las aguas empleadas en los 3 casos fueron clasificadas similarmente y poseen valores de RAS comparables. La naturaleza mineralógica de la fracción arcilla podría, entre otros factores, incidir en el proceso de salinización según antecedentes de Churchman *et al.* (1993). Noborio *et al.* (1996) y Suarez & Simunek (1997) señalaron que variables tales como densidad aparente, conductividad hidráulica, tipo de solutos disueltos y adsorbidos, producción y absorción de CO₂, capacidad de retención de agua del suelo, absorción de agua por las plantas, sistema de irrigación, entre otras, son responsables de la evolución de la salinidad de los suelos. Esto demuestra a las claras la dificultad de predecir dicha evolución ante intervenciones antrópicas del sistema suelo – planta, como lo constituye el riego con aguas de tenores salinos cualitativa y cuantitativamente variables. De la misma manera explicaría la razón de la falta de ajuste de los sistemas de clasificación de la aptitud del agua para el riego citados en este estudio, respecto de los resultados obtenidos en las

variables edáficas.

Debe destacarse que en ambas zonas, los valores de RAS alcanzados en los suelos regados no señalarían problemáticas de ninguna índole derivadas de la acumulación sódica, según antecedentes (Ayers & Wescot, 1987; Keren, 2000; Levy, 2000). Asimismo y tal como se considerara en el caso de la salinidad, es necesario estudiar bajo estas condi-

ciones, la evolución de la sodicidad en plazos prolongados, a los fines de establecer la sustentabilidad de la práctica en el largo plazo.

A título ilustrativo se muestran algunos resultados del establecimiento La Criolla (Serie 25 de Mayo), promediando los 3 años de muestreo en la Figura 2. En ella se observa una tendencia del suelo regado a incrementar el pH, la CE, el Na⁺ del extracto de saturación,

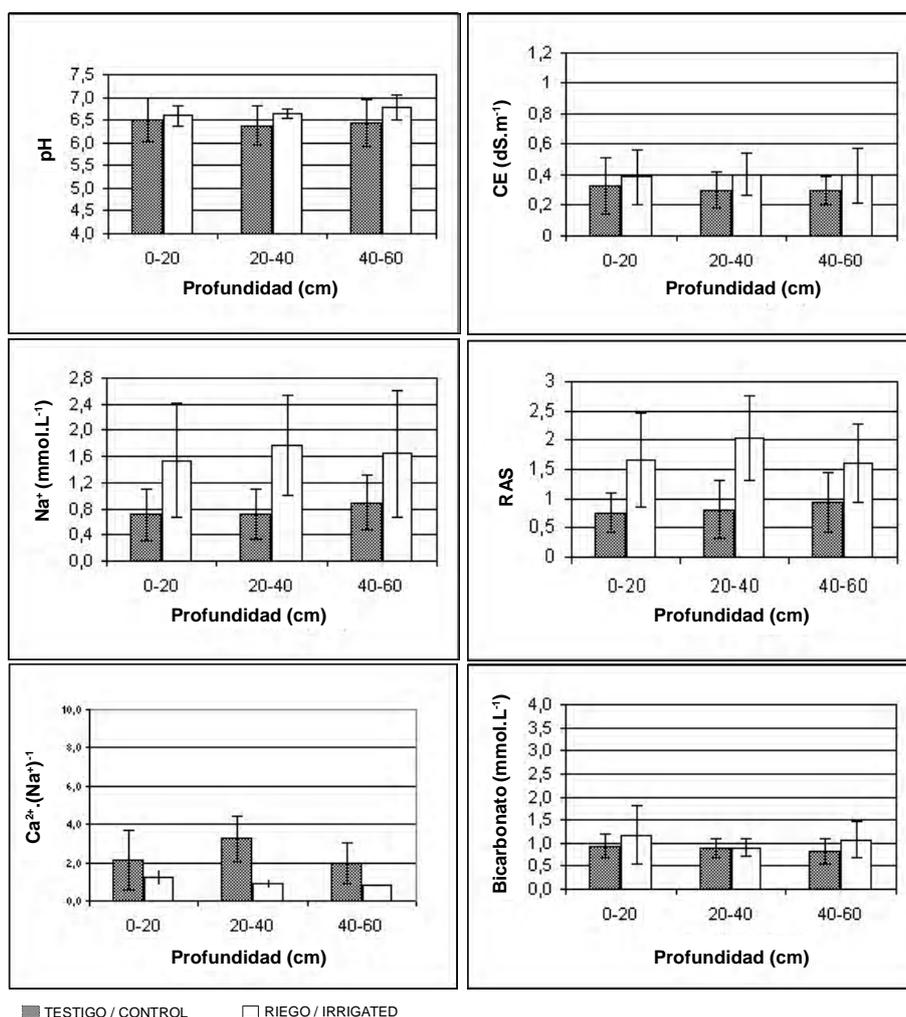


Figura 2. Resultados promedio de pH, conductividad eléctrica (CE), (Na⁺)⁻¹, RAS, relación Ca²⁺/Na⁺ y CO₃H en suelos bajo riego y testigos a 3 profundidades en el establecimiento Criolla. Las barras representan el desvío standard.

Average pH, electric conductivity (EC), (Na⁺)⁻¹, SAR, ratio Ca²⁺/Na⁺ and CO₃H at three depths in soils with or without irrigation in the Criolla farm. Bars show the standart deviation.

la RAS y el CO_3H^- mientras que la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ disminuye. Cabe destacar que tanto las propiedades texturales como el contenido de MO, harían pensar a priori en una escasa posibilidad de retención de iones en su complejo sorbente, lo que podría constituir una ventaja comparativa de estos suelos frente al riego. Componentes adicionales en esta evaluación serían la elevada pluviometría acaecida en los años de muestreo, una escasa antigüedad de la práctica y láminas reducidas. A pesar de estos factores el suelo estudiado manifestó alteraciones químicas que podrían ser potencialmente conducentes a problemáticas de fertilidad de mantenerse la tendencia en el largo plazo. Con variantes particulares, el resto de los suelos analizados mostraron tendencias similares.

CONCLUSIONES

– El riego provocó leves aumentos de salinidad (CE) en las Series Santa Ana (establecimiento Reserva) y San Jorge (establecimiento Milagro) del NO, independientemente de la profundidad y año de muestreo.

– Se comprobó un ligero incremento de sodicidad (RAS) causado por el riego en uno de los suelos de la Serie 25 de Mayo (Establecimiento Criolla) del Centro-E, y en las Series San Jorge (establecimiento Milagro) y El Abolengo (Establecimiento Catalina) del NO de la provincia de Buenos Aires. Dicho incremento se manifestó tanto independientemente de los otros factores considerados (año, profundidad), como interactuando con ellos, de acuerdo a cada situación.

· La variabilidad de los aumentos de salinidad y sodicidad no permitirían afirmar que el riego complementario en los términos estudiados, constituya una práctica no sustentable en forma genérica para las regiones analizadas, dependiendo esta de las características propias de cada agroecosistema.

– Los resultados obtenidos señalarían la

conveniencia de realizar futuros estudios para evaluar el impacto de la práctica sobre estas propiedades químicas en plazos más prolongados.

– Las clasificaciones de la aptitud del agua para el riego utilizadas fueron dispares y no predijeron fielmente las modificaciones ocurridas, por lo que sería necesario realizar calibraciones regionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrego, F., A. Andriulo, C. Ferreyra, M. L. Galetto, J. Galina, C. Iruña, R. Mon, F. Rimatori & C. Sasal**. 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. II. Propiedades físicas. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Córdoba, Argentina, pp. 249-250.
- Alconada, M. & F. Minghinelli**. 1998. Calidad del agua de riego según diferentes criterios: su influencia sobre la salinización – alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el Gran La Plata. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Argentina, pp. 229-230.
- Andriulo, A., M. L. Galetto, C. Sasal, F. Abrego, M. Bueno, F. Rimatori & M. A. de la Cruz**. 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, Mar del Plata, Argentina, CD-rom.
- Ayer, R. S. & D. W. Wescot**. 1976. Calidad del agua para la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. N° 29. Roma. 85 pp.
- Ayers, R. S. & D. W. Wescot**. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Roma. N°29 (Rev.1) 173 pp.
- Barnes, H. R.** 1988. Los problemas hidráulicos en la actividad agropecuaria y sus soluciones. En "El deterioro del ambiente en la Argentina". (1995) Cap. VIII. p. 253 – Ed. FECIC, Argentina. 497 pp.
- Comité de Consultores de la Universidad de California**. 1974. Guidelines for interpretation of water quality. Papers N° 2145, 21-50.
- Costa, J. L. & 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, pp. 82.
- Curtin, D. & G. W. Smillie.** 1983. Soil solution composition as affected by liming and incubation. *Soil Science Society American Journal* 47: 701-707.
- Churchman, G. J., O.Skjmstad & M. J. Oades.** 1993. Influence of clay minerals and organic matter on effects on sodicity on soils. *Australian Journal Soil Research* 31: 779-800.
- Dillon, A., M. Hurtado, J. Giménez & R. Castillo.** 1985. Consideraciones geomorfológicas y estratigráficas como base del carteo de suelos de un sector de la pampa arenosa, provincia de Buenos Aires. *Actas 1ras Jornadas Geológicas Bonaerenses*. Tandil, pp: 737-749.
- Eaton, F. M.** 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science* 69: 123-133.
- Giménez, J. E., P. A. Imbellone & R. R. Iasi.** 1996. Suelos con fragipan del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de La Plata (NS) Geología XI (109)*: 119-134.
- Hurtado, M., A. Dillon, J. Giménez & R. Castillo.** 1985. Incidencia de factores pedogenéticos en suelos del Partido de Carlos Casares, provincia de Buenos Aires. 1ras Actas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil, pp. 751-763.
- Imbellone, P. A. & M. Teruggi.** 1993. Paleosols in loess deposits of the Argentine Pampas. *Quaternary International* 17: 49-55.
- INTA.** 1993. a. Carta de suelos de la Rep. Argentina, Hoja 3563-11, Diego de Alvear.
- INTA.** 1993. b. Carta de suelos de la Rep. Argentina, Hoja 3560-27, Pueblitos.
- Iñiguez, A. M. & C. O. Scoppa.** 1972. Mineralogía de arcillas en suelos alcalino-sódicos del noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Serie 3, VIII (3)*, pp. 119-140.
- Keren, R.** 2000. Salinity. En *Handbook of Soil Science*. Section G. Sumner M.E., Ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU. (1): 3-25.
- Lentz, R. D., R. E. Sojka & D. L. Carter.** 1996. Furrow Irrigation Water-Quality Effects on Soil Loss and Infiltration. *Soil Science Society American Journal* 60: 238-245.
- Levy, G. J.** 2000. Sodicity. En *Handbook of Soil Science*. Section G. Sumner M.E., Ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU. (2): 27-63.
- Maturano, M.** 1997. Caracterización de la situación actual y problemas detectados en el área bajo riego de la zona norte de la provincia de Buenos Aires. *Seminario de Riego*. Mar del Plata, Argentina, pp. 37-45.
- Mendenhall, W., R. Scheaffer & D. Wackerly.** 1986. *Estadística matemática con aplicaciones*. Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, California, USA. 751 pp.
- Pla Sentis, I.** 1999. El papel de la investigación en la conservación de suelo y agua en América Latina. XIV° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 8-12 noviembre. CD-ROM.
- Minhas, P. S. & R. K. Gupta.** 1992. Quality of irrigation water. *Assessment and Management. Information and Publication, ICAR*, 102 pp.
- Noborio, K., K. J. McInnes & J. L. Heilman.** 1996. Two-Dimensional Model for Water, Heat, and Solute Transport in Furrow-Irrigating Soil: I. Theory. *Soil Science Society American Journal* 60: 1001-1009.
- Pizarro, F.** 1985. *Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos*. Ed. Agrícola Española S.A., 2° Ed., Madrid. 542 pp.
- Rhoades, J. D.** 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, pp.1-42.
- Richards, L. A. (Ed.)** 1980. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Ed. Limusa, 6° Ed. México. 172 pp.
- Ruiz, M. & J. Paolini.** 1999. Efectos de la composición del agua de riego sobre el contenido y la distribución de la materia orgánica en entisoles. XIV° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, pp. 210.
- 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)*. CD.
- Suarez, D. L.** 1981. Relationship between pH. And SAR and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage water. *Soil Science Society American Journal* 45: 469 – 475.
- Suarez, D. L. & J. Simunek.** 1997. UNSATCHEM: Unsaturated Water and Solute Transport Model with Equilibrium and Kinetic Chemistry. *Soil Science Society American Journal* 61: 1633-1646.
- Tarchitzky, J., Y. Golobati, R. Keren & Y. Chen.** 1999. Wastewater effects on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sand soils. *Soil Science Society American Journal* 63: 554-560.