

# ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO, EN EL CENTRO DE SANTA FE, SOBRE PROPIEDADES DEL SUELO MEDIANTE SIMULACIÓN FÍSICA

R. P. MARANO; M. Á. PILATTI y J. A. de ORELLANA

Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias. UNL  
Kreder 2805. 3080 – Esperanza. E-mail: mpilatti@unl.edu.ar

## ABSTRACT

At the flat plains of Santa Fe province it is important investigate alterations caused by supplementary irrigation on soils. The objective of this experience was "evaluate modifications that the supplementary irrigation with water of low quality causes in chemical and physical-chemical properties at the soils rooting depth". Two edaphic materials was used, of A horizons, very differed to each other, (*LLNT*, typic Natracualf and *LSAA*, acqic Argiudoll), together with two groundwaters of low quality ( $CE = 2,5$  dS/m and  $SAR = 40$  for *LLNT*;  $CE = 1,7$  dS/m and  $SAR = 24$  for *LSAA*). Water and solutes dynamic was simulated in soils columns with perturbed samples and without cultivations, along 4 years, with an applied total of 930 mm of watering. Soils, not saline at begin, increased salinity in the first year, and continue in the successive years tending to equilibrium. *LSAA* trials was not sodic, but their following increase of *ESP* was very high (7,3 times), tending to equilibrium of about 26% at surface; on the other hand, in *LLNT*, *Na* was record only a light increment (0,25 times). In both treatments, *Na* incorporation in the *CEC* took place to expense of exchange acidity diminution (*H*), and *pH* varies in the same way of the sodificación tendency, as much in surface as in depth. They were carried out regressions between the applied watering sheet and *Na* concentration at *CEC* ( $R^2=0,99$  \*\*), and between *Na* and *pH* of the soil ( $R^2=0,96$  \*\*).

## RESUMEN

En la pampa llana santafesina este, es importante contar con investigaciones referidas a las alteraciones que provoca el riego suplementario sobre los suelos. El objetivo de esta experiencia fue "evaluar las modificaciones que el riego suplementario con agua de baja calidad ocasiona en propiedades químicas y físico químicas del espesor enraizable". En la experiencia se utilizaron dos materiales edáficos del horizonte A, bien diferenciados entre sí, (*LLNT*, Natracualf típico y *LSAA*, Argiudol ácuico), junto con dos aguas subterráneas de mala calidad (*LLNT*: *CE* y *RAS* de 2,5 dS/m y 40; *LSAA*: 1,7 dS/m y 24, respectivamente). Se simuló físicamente la dinámica hídrica y de solutos en columnas de suelo con muestras perturbadas y sin cultivos, durante un lapso equivalente a 4 años, con un total aplicado de 930 mm de riego. Los suelos son inicialmente no salinos, incrementándose en el 1er año y continuando en los años sucesivos con una tendencia al equilibrio. En *LSAA*, no sódico, el incremento de *PSI* fue muy elevado (7,3 veces), con una tendencia a equilibrarse en valores próximos a 26 % en superficie; en cambio en *LLNT*, sódico, sólo se registró un leve incremento (0,25 veces). La incorporación de *Na* en la *CIC* se produjo a expensas de la disminución de la acidez de cambio (*H*) y los valores de *pH* acompañan la tendencia de sodificación, tanto en superficie como en profundidad. Se realizaron regresiones entre la lámina de riego aplicada y la concentración de *Na* en la *CIC* ( $R^2=0,99$  \*\*); y entre *Na* y el *pH* del suelo ( $R^2=0,96$  \*\*\*).

## INTRODUCCIÓN

Las clasificaciones de aguas para riego advierten sobre los peligros de salinización y sodificación que dichas aguas pueden producir en suelos irrigados. En la región pampeana norte existen trabajos de investigación referidos a riego suplementario con aguas subterráneas (Svartz, 1979; Wyckers y Genova, 1987 y Grenón, 1988) y si bien hay alguna evidencia empírica acerca de la inconveniencia de regar con aguas bicarbonatadas sódicas (Arens, 1969; Cerana, 1980 y Boivin, 1998), en la pampa llana santafesina este no se cuenta con investigaciones referidas a las alteraciones que provoca el riego suplementario sobre los suelos. Esto es importante teniendo en cuenta el auge del riego suplementario ocurrido en los últimos años (Marano et al., 1996).

La zona de interés presenta condiciones edafoclimáticas y de aguas subterráneas especiales que motivan la realización de estos estudios. La sucesión de períodos de deficiencia hídrica con excedentes pluviales es un rasgo típico; en ciertas épocas es necesario suplementar con agua de riego para incrementar y estabilizar la producción vegetal; en otras los excesos hídricos con importantes láminas de percolación permiten remover de la superficie las sales que allí se acumulan en tierras salinas- sódicas que abundan en el centro y norte de la provincia de Santa Fe. La textura del horizonte superficial es franco limosa con hasta 70% de limo y 5 a 10% de arena; los tenores orgánicos raramente superan los 3%. Esos contenidos de limo y de materia orgánica generan elevada inestabilidad estructural, con las consiguientes adversas propiedades físicas del suelo tanto para la dinámica de los fluidos como para la exploración y actividad radical. Esta condición natural puede verse agravada por el manejo de las tierras y particularmente con el uso de aguas subterráneas bicarbonatadas-sódicas.

El objetivo de esta experiencia fue **"evaluar las modificaciones que el riego suplementario con agua de baja calidad ocasiona en propiedades químicas y físico químicas del espesor enraizable de suelos con aptitud de uso agrícola y pecuaria del centro de Santa Fe"**.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Suelos y aguas

Se utilizó material edáfico del horizonte A de un Argiudol ácuico Serie Pilar y de un Natracualf típico Serie Aurelia; ambos del centro de la provincia de Santa Fe (INTA, 1991). El primero con capacidad de uso IIw; el otro presenta un horizonte A somero y características sódicas, con capacidad de uso VIws (cuadro 1).

**Cuadro 1: Datos analíticos de la situación inicial de los suelos estudiados**

<b>Determinaciones</b>	<b>Argiudol ácuico</b>	<b>Natracualf típico</b>
<i>Conductividad eléctrica extracto de saturación: CEe (dS/m)</i>	0,86	1,10
<i>Carbono orgánico %</i>	1,4	0,9
<i>Arcilla &lt; 2 μ %</i>	26	23
<i>pH (relación suelo /agua = 1/ 2,5)</i>	6,0	6,1
<i>Complejo de Intercambio</i>		
<i>Ca<sup>2+</sup> (me/100g)</i>	10	14,2
<i>Mg<sup>2+</sup> (me/100g)</i>	1,3	1
<i>Na<sup>+</sup> (me/100g)</i>	0,6	4,0
<i>K<sup>+</sup> (me/100g)</i>	1,8	3,1
<i>H<sup>+</sup> (me/100g)</i>	4	3,5
<i>Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC me/100g)</i>	17,7	25,8
<i>Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI %)</i>	3	15

Las aguas subterráneas utilizadas obtenidas de perforaciones a 18 y 26 m de profundidad del acuífero Pampeano, (INCyTH, 1975; Palazzo y Cruz, 1998), denominadas *La Luisa* y *La Selmira*, son de diferente calidad (ver cuadro 2). Las determinaciones analíticas se realizaron según MAG (1982).

**Cuadro 2: Análisis químico de las aguas de riego La Selmira y La Luisa**

	LA SELMIRA	LA LUISA
Ca <sup>2+</sup> (me/l)	0,6	0,6
Mg <sup>2+</sup> (me/l)	0,4	0,1
Na <sup>+</sup> (me/l)	16,6	23,6
K <sup>+</sup> (me/l)	0,3	0,7
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (me/l)	2,4	3,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (me/l)	12,5	8,3
Cl <sup>-</sup> (me/l)	2	4,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	0,9	8,6
CEa (dS/m)	1,7	2,5
pH	8,5	9,2

### Detalles experimentales

Para simular físicamente la dinámica hídrica y de solutos en el suelo se procedió así:

FASE I: *Preparación de columnas de suelos*. Numerosas investigaciones han utilizado columnas de suelo para representar lo que ocurre químicamente en el suelo estudiado. En Argentina, Svartz (1979) y Nijensohn (1994) usaron muestras no perturbadas. Costa et al. (1991), también utilizó muestras sin perturbar, mientras que Curtin et al. (1993), realizó experiencias con muestras perturbadas, reproduciendo distintos suelos en columnas de pequeño diámetro. Aquí se utilizaron columnas 28,5 cm de diámetro y de 30 cm de profundidad, lo que equivale al espesor mayormente explorado por el sistema radical de cultivos anuales en los suelos del centro de la provincia de Santa Fe (Pilatti y Grenón, 1995). El material, tamizado entre 0,2 y 2 mm, se cargó en los recipientes según el procedimiento descrito por Hénin et al. (1960) resultando una densidad de 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

FASE II: *Cuantificación de variables principales del riego*. Para la simulación de la dinámica hídrica y de solutos fue necesario estimar los ingresos (precipitación, riego) y egresos (evaporación superficial y percolación) que más frecuentemente ocurren en la zona estudiada. Para ello se utilizó un modelo de simulación matemática desarrollado por Pilatti et al. (1999) llamado FITOSIM: simula el crecimiento y desarrollo de cultivos anuales, incluyendo la dinámica hídrica. Se utilizó una base de datos de 50 años meteorológicos representativos del centro de la provincia de Santa Fe y se supuso que anualmente crecía un cultivo de soja y uno de trigo para estimar las siguientes variables de interés: Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), Lámina de riego (*LR*), Percolación profunda (*Per*) y Lámina de lavado (*RL*). Así se obtuvieron los valores modales de ingreso y egreso de agua, los que se utilizaron para la simulación física según se detalla a continuación.

FASE III: *Aplicación y evaporación del agua en las columnas de suelo*: Para representar la dinámica hídrica y de solutos que ocurre anualmente en el suelo, se distinguieron los siguiente períodos:

- El lapso con aporte de riego, comprendido entre octubre y febrero; en el que también ocurren importantes tasas de evaporación directa;
- el período más importante para el arrastre en profundidad de sales acumuladas por el riego, coincidente con excesos hídricos pluviales (marzo – mayo) y
- meses con escasas precipitaciones y riego (junio a septiembre) en el que predomina una lenta evaporación.

La elección de estos tres períodos permitió simplificar y acelerar la simulación física de un ciclo anual; así es posible representar en un año de simulación física varios años de lo que ocurriría en condiciones reales de campo.

A partir de los datos diarios de *EV*, *LR*, *Per* y *RL*, de los 50 años de simulación obtenidos con FITOSIM, se determinaron los valores modales para cada uno de los tres períodos analizados, de modo tal que para simular físicamente un ciclo anual se procedió así:

**Primer período** (o de riego suplementario, equivale a octubre-febrero): Se aplica agua de riego (*LR*) en forma gradual y se deja evaporar hasta completar 230 mm, manteniendo el contenido hídrico del suelo en umbral de riego. También se simula la *Per* que ocurre en este período que es de sólo 15 mm. Debe aclararse que si bien esto es lo que ocurre modalmente, existen años con excedentes hídricos que superan notoriamente aquel valor, pero esto no es considerado en la simulación física.

**Segundo período** (o fin del riego e inicio de excedentes pluviales, entre marzo y mayo): Termina el riego y se adiciona agua de lluvia para que se produzca un lavado similar al que se produce modalmente en condiciones naturales. La *RL* fue de 0,37.

**Tercer período** (invernal, prácticamente sin riego ni precipitaciones): Para simplificar, se acepta que en él no hay ni riego ni aporte de agua pluvial para lavado.

En las columnas de suelo no se cultivaron plantas porque se supuso que toda el agua que se utiliza en el proceso de transpiración (*T*) no afecta al balance salino; sí en cambio la que se evapora directamente desde la superficie del suelo o la que percola por debajo de los 30 cm. Esto permitió disminuir la cantidad total de agua a aplicar para simular un ciclo anual. Por lo tanto en la experiencia se aplicó una lámina de agua de riego igual a lo que se aplicaría modalmente en el período estival (230 mm) más el agua de lluvia (95 mm) necesaria para completar la lámina a evaporar y percolar.

Para disminuir la duración de la experiencia se acondicionó un invernadero con ventilación forzada ya que es la evaporación directa desde el suelo el fenómeno que más demora la experiencia. Así se trata de imitar lo que ocurre en la naturaleza: acumulación de sales en la superficie debido a la evaporación y lavado en profundidad con el agua de percolación

Los tratamientos, con cinco repeticiones cada uno y diseño estadístico completamente aleatorizado, fueron dos:

- 1) *La Luisa (LLNT)*: Natracualf típico Serie Aurelia con agua denominada La Luisa.
- 2) *La Selmira (LSAA)*: Argiudol ácuico con agua La Selmira.

Se simularon cuatro años, extrayéndose muestras de suelo a dos profundidades: de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm, siempre al finalizar el período de lluvias de cada año. Se seleccionó este momento de muestreo ya que al lavarse –al menos parcialmente– las sales que se acumulan en superficie es el momento de peor condición física.

De cada tratamiento se realizaron las siguientes determinaciones químicas: Conductividad eléctrica del extracto de saturación (*CEe*) según Richards (1954), reacción del suelo (*pH*) por potenciometría, cationes intercambiables y Capacidad de Intercambio Catiónico (*CIC*) (*MAG*, 1982). Además se midió *CE* y concentración de iones de los respectivos percolados (Richards, 1954).

Para cada agua utilizada se obtuvo la Relación de Adsorción de Na (*RAS*), corrigiéndola según Suárez (1981) para evaluar la probable precipitación de Carbonatos de Calcio y Magnesio, obteniendo así la *RAS* ajustada. También calculó el Porcentaje de Na (*PS*) y el Carbonato de Na residual (*CSR*), indicador que se usa para inferir la probable precipitación de *Ca* y *Mg* presentes en el agua de riego. Posteriormente se clasificaron las aguas de acuerdo con diferentes autores (Richards, 1954, Eaton, 1949, Ayers y Westcott, 1987).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### I. Condiciones Químicas Iniciales de Suelos y Aguas

En el cuadro 1 se observa que el tratamiento LSAA es un suelo con bajo contenido de Na ( $PSI = 3\%$ ) con un Índice de Productividad ( $IP$ ) 69 (INTA 1991), mientras que LLNT es un suelo sódico ( $PSI = 15\%$ ),  $IP$  de 20 (INTA 1991), con serias limitaciones productivas debido al pobre drenaje y elevado Na intercambiable. En ambos suelos el valor de  $pH$  está próximo a 6, a pesar de los diferentes contenidos de Na. Este fenómeno es frecuente en algunos suelos sódicos no salinos santafesinos (Priano y Orellana, 1964) y fue denominado como suelos sódicos degradados por De Sigmond ya en 1938 (Richards, 1954)

Los valores  $PS$ ,  $RAS$ ,  $RAS$  ajustada,  $CSR$ , para las aguas y el juicio de diversas clasificaciones se presentan en el cuadro 3.

En la región de estudio Castiglioni y Cejas (1996) relevaron perforaciones ubicadas a diferentes profundidades, donde se destaca que en el intervalo de  $CE$  de 0,7 a 3 dS/m –valores comprendidos en LSAA y LLNT- se encuentra el 92% de los casos. En cuanto a la  $RAS$ , entre 20 a 40 y  $CE < a$  2,9 dS/m, se encuentra el 35 % de las perforaciones, que significa el intervalo con mayor frecuencia.

**Cuadro 3: Aptitud para el riego de las Aguas utilizadas**

<b>Clasificación</b>	<b>LA SELMIRA</b>	<b>LA LUISA</b>
$CEa$ (dS/m)	1,7	2,5
$PS$ (%)	93	94
$RAS$	24	40
$RAS$ (Ajustado)	29	50
$CSR$ (me/l)	14	11
Clasif. Riverside (1954)	C3-S4	C4; el Na está fuera de rango
Clasific. FAO (1987)	Severo problema infiltración	Severo problema de infiltración
Clasific. EATON (1949)	> 2,5 No aptas	> 2,5 No aptas

De acuerdo con las clasificaciones más usuales, ambos tipos de agua son inaplicables para riego, por potenciales problemas de salinización y sodificación.

Se aplicó, al cabo de los cuatro años de simulación, 930 mm de agua de riego y considerando las concentraciones de sodio de cada agua, en LSAA se adicionó a cada columna un total de 1.029 mmolc ó 3.550 kg/ha y en LLNT 1.463 mmolc ó 5.050 kg/ha

## II. Evolución de las propiedades Edáficas

### a) Incremento de la Salinidad

1) El contenido salino inicial de ambos suelos ( $CEe$ ) es moderado. Luego del 1er año se incrementa notoriamente, continuando en los años sucesivos y con tendencia al equilibrio (ver cuadro 4). Este se alcanza según Ayers y Wetscott (1987) cuando la  $CEe$  es –aproximadamente- 1,5 veces el valor de  $CE$  del agua de riego; siempre que el patrón de distribución de raíces sea normal (40, 30, 20 y 10% del agua consumida por los cultivos es extraída respectivamente de cada cuarto de la zona radical) y el perfil de salinidad aumente con la profundidad (no hay acumulación de sales en superficie). Esta condición no ocurre en ambos tratamientos debido a la metodología empleada (sin cultivos y dejando secar el suelo). Por ello se observa un perfil de salinidad invertido, con mayores valores en superficie. Si se considera el 4to año la relación  $CEe/CEa$  es, para LSAA de 1,7 y para LLNT de 1,96, ambos mayores a la condición de equilibrio. Analizando una experiencia desarrollada en un campo del sudeste bonaerense (Costa, 1998), utilizando aguas salinas ( $CEa = 4$  dS/m y  $LR = 300$  mm), luego del riego la  $CEe$  se elevó a 3 dS/m y posterior a la etapa de lluvias descendió a los valores previos al riego. Comparando ambos casos, es evidente que para las condiciones del

presente ensayo la *RL* modal utilizada es inferior y mayor la evaporación directa del suelo, debido a las condiciones meteorológicas de una y otra región.

En el cuadro 4 se muestra cómo ha evolucionado en promedio la salinidad y la reacción del suelo. Además se presentan valores obtenidos en las aguas de percolación.

**Cuadro Nº 4: Evolución de propiedades químicas de los suelos regados**

<b>Determinaciones</b>	<b>LSAA Año 0</b>	<b>Año 1 0-10 10-30</b>	<b>Año 3 0-10 10-30</b>	<b>Año 4 0-10 10-30</b>	<b>LLNT Año 0</b>	<b>Año 1 0-10 10-30</b>	<b>Año 3 0-10 10-30</b>	<b>Año 4 0-10 10-30</b>
<i>CEe</i> (dS/m)	0,86	2,4	2,9 2,0	2,9	1,1	3,3	4,4 4,0	4,9
<i>PH</i> (relación 1: 2,5)	6,1	6,5	7 6,2	7,7 6,1	6,1	5,7	7 5,6	7,5 5,7
Agua de percolación <i>CEp</i> (dS/m) <i>PH</i>		1,7 6,5	2,1 7	3,6 7,7		1,6 5,7	5,3 6,5	7,7 7,1

2) Los mayores aumentos ocurridos en *LLNT* eran de esperar dado que el agua de riego es más salina, y los niveles alcanzados son limitantes para muchos cultivos agrícolas y forrajeros. En *LSAA* la *CEe* no es crítica para ser considerados salinos, según Richards (1954), aunque puede afectar a cultivos moderadamente sensibles (Mass y Hofman, 1977).

#### **b) Incremento de Sodio en el complejo de intercambio**

1) Para considerar los valores de *PSI* y *Na* que alcanzarían ambos tratamientos, se utilizaron las ecuaciones presentadas por Richards (1954), para la Relación de *Na* intercambiable (*RSI*) y *PSI* considerando un suelo en equilibrio con el agua de riego. Fueron utilizadas teniendo en cuenta la profundidad superficial (0 – 10 cm) y *CIC* al cabo del 4º año, obteniendo los siguientes resultados (cuadro 5) :

**Cuadro 5: Predicción del *Na* y *PSI* en el complejo de intercambio**

Tratamiento	<i>RAS</i> agua de riego	<i>RSI</i>	<i>Na</i> (cmolc/kg)	<i>CIC</i>	<i>PSI</i> (%)
<i>LSAA</i>	24	0,34	5,4	21,2	25,5
<i>LLNT</i>	40	0,57	8,5	23,2	36,8

La evolución de los cationes en el complejo de intercambio se presentan en el cuadro 6, correspondiendo a valores promedios.

**Cuadro Nº 6: Evolución de los cationes intercambiables**

Tratamiento	Profundidad	Ca + Mg cmolc/kg	Na cmolc/kg	K cmolc/kg	H cmolc/kg	<i>CIC</i> cmolc/kg	pH	<i>PSI</i> (%)
<b><i>LSAA Año 0</i></b>	0-30	11,3	0,6	1,8	4	17,7	6,1	3,2
<b><i>LSAA Año 4</i></b>	0-10	13,5	5,6	2,8	1,7	21,2	7,7	26,4
	10-30	13,5	2	2,2	2	20,6	6,1	9,7
<b><i>LLNT Año 0</i></b>	0-30	15,2	4	3,1	3,5	25,8	6,1	15,4
<b><i>LLNT Año 4</i></b>	0-10	14,3	5,8	2,9	1,7	23,2	7,5	16,6
	10-30	11,3	2,9	2,3	4,2	21	5,7	13,9

- 2) En la LSAA hubo un incremento significativo del *PSI*, en 3,8 veces si se considera un promedio ponderado de ambas profundidades, y de 7,3 veces en superficie. Estos datos son congruentes con experiencias realizadas a campo en la región maicera núcleo de Pergamino, Bs.As. (Wyckers y Génova, 1987; Grenón, 1988) que muestran una mayor sodificación en superficie. En cambio en LLNT, para ambas profundidades, las variaciones no fueron significativas, pese a que fue entregado con el agua de riego un 42% más de sodio que en LSAA. Este comportamiento no era previsible de acuerdo a trabajos de Richards (1954), Eaton (1949), Cerana (1980) y Boivin (1988), constituyéndose en un caso extraño que podría ser objeto de estudios más detallados.
- 3) La incorporación de *Na* en el CIC en todo el perfil de LSAA se produjo en su totalidad a expensas de la disminución de la acidez de cambio (*H*), antes que en el desplazamiento del Ca. Esto también lo encontró Svartz (1979) para suelos de Pergamino, utilizando muestras de suelo no perturbadas y una aplicación de riego y lluvia diferente.
- 4) De lo anterior surge que LSAA, con menor saturación sódica inicial que LLNT, incorpora más *Na* en el complejo, incluso con mayores valores de *PSI* en superficie con respecto LLNT (26,4 % > 16,6 %).
- 5) Los valores de *RSI* y *PSI* obtenidos con las ecuaciones propuestas por Richards (1954) fueron iguales a los valores medidos en la experiencia, para el tratamiento LSAA, en la profundidad 0-10 cm, indicando condiciones cercanas al equilibrio. LLNT presenta un comportamiento anómalo según se indicó previamente.
- 6) Por último, se relacionó *LR* con la concentración en superficie de *Na* en el CIC, fueron:

$$I. LLNT \quad Na = 4 - 0,000039 \times LR + 0,000022 \times LR^2 \quad R^2 = 0,99 \quad P < 0,01 \quad n = 15$$

$$II. LSAA \quad Na = 0,6 + 0,0091 \times LR - 0,000004 \times LR^2 \quad R^2 = 0,99 \quad P < 0,01 \quad n = 15$$

*Na* = Concentración de *Na* en el complejo de intercambio, en cmolc/kg    *LR* = Lámina de riego, en mm

La ecuación II representa una parábola decreciente, por lo que para una lámina de riego próxima a 1.200 mm se alcanzaría la máxima concentración de *Na*, es decir el equilibrio entre el sodio intercambiable y el del agua de riego; similar valor de *Na* se obtiene aplicando la ecuación de Richards (1954).

### c) Alcalinización

Los valores de *pH* de ambos suelos acompañan la tendencia de sodificación, tanto en superficie como en profundidad.

Si, como contralor práctico para decidir detener temporariamente el período de riego suplementario e iniciar un lapso de recuperación edáfica por el deterioro ocasionado por aguas de mala calidad, se toma como referencia el *pH*, interesaría estimar después de qué lámina aplicada se llega a un valor crítico de la reacción del suelo. Para esto se relacionó la concentración de *Na* y el *pH* de ambos suelos. Las ecuaciones encontradas son:

$$III. LSAA: \quad pH = 6 + 0,05 \times (Na)^2 \quad R^2 = 0,96 \quad \text{con } P < 0,01 \quad n = 15$$

$$IV. LLNT: \quad pH = 3,8 + 0,63 \times Na \quad R^2 = 0,98 \quad \text{con } P < 0,01 \quad n = 15$$

*Na* = Concentración de *Na* en el complejo de intercambio, en cmolc/Kg

La misma tendencia se ha encontrado al evaluar suelos con diferentes años de riego suplementario, aunque con diferentes ecuaciones de regresión (A. Andriulo, 1998, comunicación personal).

Puede ser útil predecir el *PSI* que se alcanzaría a un valor de *pH* considerado crítico, por ejemplo de 8 (Wild,1992). Luego es posible analizar qué lámina de riego máxima se podría aplicar, a partir de las ecuaciones antes halladas. El cuadro 7 indica los resultados obtenidos :

**Cuadro N° 7: Na , *PSI* y *LR* predecidos a partir de las ecuaciones de regresión**

<i>pH</i> crítico = 8	<i>LLNT</i>	<i>LSAA</i>
<i>Na</i> (cmolc/kg)	6,7	6,4
<i>PSI</i> (%)	28,7	27,6
Lámina de riego (mm)	1125	1200 *

\* La *LR* de *LSAA* corresponde al valor máximo de la parábola, que equivale a un *pH* de 7,7

## CONCLUSIONES

- I. El procedimiento empleado para simular físicamente la dinámica de agua y solutos en el suelo, atendiendo a las condiciones meteorológicas y de cultivo de la zona en estudio, resulta novedoso en experiencias de esta naturaleza.
- II. En *LSAA* la salinidad del suelo, después de cuatro años, no alcanzó a ser crítica para la mayoría de los cultivos. Para *LLNT*, en cambio, se alcanzaron valores considerados peligrosos.
- III. *LSAA* alcanzó, al término del experimento, valores de *PSI* similares a *LLNT*, pese a que el contenido de *Na* de esta última era inicialmente casi 4 veces mayor.
- IV. El *pH* es un muy buen indicador del proceso de sodificación de estos suelos.
- V. La ecuación de predicción del *PSI* presentada por Richards (1954) ha resultado satisfactoria para aplicarla al suelo de mayor aptitud de uso, no reflejando lo ocurrido en el otro tratamiento.
- VI. La incorporación de *Na* en la *CIC*, en *LSAA*, se produjo a expensas de la disminución de la acidez de cambio (*H*).

## AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Agr. Osvaldo Felli, responsable del seguimiento del experimento.
- Al Lic. en Química Carlos D. Copes (CONICET) por los análisis químicos de suelos.
- A la Ing. en Rec. Híd. Graciela Bernal, por los análisis químicos de aguas.
- A Gustavo Leurino y Diógenes Antille. Alumnos pasantes de la cátedra de Edafología (FAVE); colaboradores del armado y seguimiento de las columnas de suelos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARENS, P, 1969. Algunos efectos del riego suplementario sobre los suelos de la pampa ondulada. Actas de la 5ta. Reunión de la A.A.C.S. Santa Fe pp 98-102.
- AYERS, R. S. y WESTCOT, D. W., 1987. La calidad del agua en la Agricultura. Serie FAO Riego y Drenaje N° 29 rev1. Roma, Italia.
- BOIVIN, P.; CASTIGLIONI, M.; PECORARI, C.; HAMMECKER, C. y ANDRIANI, J. Riego Suplementario en Santa Fe: Clasificación química del agua subterránea. La Revista del Riego, Bs. As. Pp 26-27
- CASTIGLIONI, M. y SEJAS J. 1996. Análisis de Factores Naturales para riego complementario de la zona Centro de Santa Fe. M.A.G.I. y C. Pcia. de Santa Fe.(inédito)
- CERANA, J. 1980. Deterioro de los suelos a consecuencia de riegos con aguas poco salinas que contienen bicarbonatos. Actas de la 6ta Reunión A.A.C.S. Paraná. Tomo I: 55-61
- CURTIN, D.; STEPPUHN, H. and SELLES, F., 1993. Structural Stability of Chernozemic soils as affected by exchangeable sodium and electrolyte concentration. Canadian Journal of Soil Science pag 157-164
- COSTA, J. L.; LYLE PRUNTY, B. R.; RICHARDSON, J. L and ALESSI, R. S., 1991. Water Quality Effects on Soils and Alfalfa: II Soil Physical and Chemical Properties. Soil Sci. Soc. Am. Journal. 55:203-209.
- COSTA, J. L. 1998. Calidad de agua para riego. Cuadernillos AgroMercado N° XXVIII, pp 8-11.
- EATON, F. M., 1949. Significance of carbonates in irrigations waters. Soil Science 69:123-133
- GRENÓN, D. A., 1988. Modificaciones producidas por el riego complementario en un suelo Argiudol de Pergamino, Prov. de Buenos Aires. IICA. Proyecto de cooperación para la modernización del sector agropecuario. 18 pp. (inédito)
- GOLLÁN, J. y D. LACHAGA, 1939. Aguas de la provincia de Santa Fe. Santa Fe, Min. de Instruc. Pública y Fomento. Instituto Experimental de Investigación Agrícola-Ganadero. Dep. de Química Agrícola y Edafología. 384 pp.
- HÉNIN S., R. GRASS y G. MONNIER, 1960. Le profil cultural. La Maison Rustique , París, 340 p
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA, EEA, Rafaela, 1991. Carta de Suelos de la República Argentina. San Carlos - Coronda. 192 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TÉCNICA HÍDRICAS, 1975. Convenio Argentino Alemán de Agua Subterránea. Recursos de Agua Subterránea y su Aprovechamiento en la Llanura Pampeana y en el valle del Conlara. Tomo 1, Buenos Aires.
- MAAS, E. V. and HOFFMAN, G. J., 1977. Crop salt Tolerance - Current Assessment. J. Irrig. and Drainage, División ASCE 103(IRZ): 115-134.
- MARANO, R. P.; PILATTI, M. A.; WEIDMANN, P. y PECORARI, C. A., 1996. Riego Suplementario en el centro de Santa Fe I. Respuesta productiva del maíz para silaje. Publicación Miscelánea N°77 EEA INTA Rafaela.
- MINISTERIO de AGRICULTURA y GANADERÍA, 1982. Toma de Muestras y Determinaciones Analíticas en Suelos y Aguas. Pp 153.
- NIJENSOHN, L. 1994. Influencia de una capa potencialmente sódica y de la calidad del agua en la desalinización de un suelo salino-sódico-yesoso. Informes Científicos y Técnicos N° 47. Fac. Cs. Agrarias UNC 21pp.
- ORELLANA, J. A. de, 1997. "Necesidad y peligro del riego suplementario en los suelos agrícolas del centro de Santa Fe". *En Rev. "6 de agosto": IV (X): 27-29. Centro de Estudiantes de Agronomía y Veterinaria. Esperanza.*
- PALAZZO, R. S. y CRUZ, G. V., 1998. El uso del agua subterránea como fuente de provisión en los distintos servicios de abastecimiento de agua potable en la Pcia. de Santa Fe. Anales del XVII Congreso Nacional del Agua. Santa Fe, Vol 3: 129-138.
- PILATTI, M. A. y D. A. GRENÓN, 1995. La profundidad enraizable de los suelos. Su estimación a partir de información edáfica. 2ª. versión, ampliada; software y manual para el usuario. *Comunicaciones F.A.V.E., C-003-AD-003, 29 p.*

- PILATTI M. A., A. NORERO y C. BOUZO, 1999. FITOSIM: Bases para la simulación del desenvolvimientode cultivos anuales. En redacción final, disponible para los interesados; aprox. 200pp.
- PRIANO, L. J. y ORELLANA J. A. de, 1964 .“Prioridad suelos”, en: "Promoción Socioeconómica del Norte Santafesino. Area piloto de la Cuña Boscosa. Estudios técnicos":173-245." Min. de Agricultura y Ganadería. de Santa Fe, 306 pp.
- RICHARDS, L. A. (Ed.), 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de agricultura N° 60. Dep. de Agricultura de los EE. UU. de América. 172 pp.
- SUAREZ, D. L., 1981. Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters. Soil Sc. Soc. of Am J. 45(3): 469-475.
- SVARTZ, H., 1979. Simulación de cambios en las propiedades físicas y fisico-químicas en columnas de suelo de Pergamino bajo condiciones de Riego Complementario. Tesis de graduación Ms. Sc. Fac. de Agronomía UBA. 65 pp (inédito).
- WILD A., 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según RUSSELL. Versión española de Urbano Terrón, P. y Rojo Hernández, C. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, pp 1045.
- WYCKERS, A y GENOVA, L,1987. Evaluación del efecto del riego complementario en el cultivo de maíz con aguas bicarbonatadas sódicas en la región maicera típica. Trabajo de locación Fac. de Agronomía UBA 45pp (inédito).