

## REHABILITACION DE SUELOS HORTÍCOLAS: IMPACTO DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS CON USO DE YESO Y DRENAJE

MUGUIRO, A.<sup>1</sup>; ÁLVAREZ, C.<sup>1</sup>; BABINEC, F.<sup>2</sup> & MARANO, R.<sup>3</sup>

### RESUMEN

El exceso de Na<sup>+</sup>, carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de riego incrementan el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), afectando el crecimiento de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de prácticas de manejo con aplicación de yeso y drenaje en suelos petrocálcicos de La Pampa afectados por riego con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas. Se cultivó lechuga durante cuatro ciclos (500 días) en dos invernáculos diferenciados por la cantidad previa de años de riego, utilizando un diseño factorial completamente aleatorizado con 4 submuestras (unidades de medición). Los tratamientos en ambos túneles (2 años=B1 y 4 años=B2) fueron: 1) T0, testigo sin tratar; 2) T1, 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola, 3) T2, 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola + drenaje y 4) T3, drenaje. La incorporación de yeso disminuyó la concentración de Na<sup>+</sup> y PSI significativamente desde superficie hasta 0,4 m. También mejoró significativamente las condiciones físicas del suelo en el túnel B2, aspecto que se manifestó con un incremento de la productividad acumulada del cultivo de lechuga. En cambio no se encontraron diferencias significativas en el pH del suelo en ninguna de las profundidades evaluadas. Adicionalmente, la CE del suelo con los diferentes tratamientos disminuyó notablemente a partir del 2º ciclo de producción debido al incremento en la dosis de riego.

*Palabras clave:* riego por goteo, lechuga, enmiendas, drenaje.

---

1.- AER Gral. Pico. (6360) General Pico, provincia de La Pampa. Email: [muguiro.alberto@inta.gov.ar](mailto:muguiro.alberto@inta.gov.ar)

2.- EEA INTA Anguil. (6326). Anguil, provincia de La Pampa.

3.- Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe.

Manuscrito recibido el 30 de noviembre de 2016 y aceptado para su publicación el 14 de marzo de 2017.

## ABSTRACT

### Soils with physical impediments and horticultural crops: impact of agricultural management with gypsum and drainage.

The excess of  $\text{Na}^+$ , carbonates and bicarbonates present in irrigation water increases the pH, the electric conductivity (EC) and the exchangeable sodium percentage (ESP) in the soil, thus affecting crop growth. The aim of this work was to quantify the use of different techniques in petro-calcium soils of La Pampa affected by irrigation with sodium bicarbonate underground waters. Lettuce was grown during four cycles (500 days) in two greenhouses differentiated by years of irrigation, using a completely randomized factorial design with 4 sub-samples (units of measurement). Treatments in both tunnels (2=B1 and 4=B2 years) were: 1) T0, non-treated control; 2) T1, 3.5 Mg ha<sup>-1</sup> of agricultural gypsum, 3) T2, 3.5 Mg ha<sup>-1</sup> of agricultural gypsum + drainage, and 4) T3, drainage. Gypsum significantly decreased the concentration of  $\text{Na}^+$  and ESP from the surface to 0.4 m. It also significantly improved the physical conditions of the soil in tunnel B2, which was manifested through an increase of the accumulated productivity of the lettuce crop. However, no significant differences were registered in soil pH in any of the evaluated depths. Additionally, the soil EC under the different treatments decreased notably from the 2nd production cycle onwards, due to the increase in the irrigation depth.

*Key words: drip irrigation, lettuce, amendment, drainage.*

## INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas en invernáculo ha tenido un amplio crecimiento en el mundo y especialmente en nuestro país (26). En La Pampa la producción de lechuga (*Lactuca sativa var. crispa o in-tybacea* L) es una alternativa para pequeños productores hortícolas, la cual comenzó a tomar importancia en el año 2000.

En los últimos 10 años los suelos de esta región bajo cubierta plástica muestran una tendencia a la degradación debido a los sucesivos ciclos de horticultura intensiva. La misma se manifiesta en sus propiedades físicas y químicas, materia orgánica, actividad microbiológica, disminución de la estabilidad estructural, menor capacidad de infiltración, mayor necesidad de fertilizantes e incremento de los problemas de halomorfi-

smo (43). Las causas se deben tanto a la calidad del agua de irrigación como al método utilizado, debido a que el riego por goteo se aplica en pequeñas dosis que no tienen en cuenta los requerimientos de lixiviación. Por otra parte, al tener cobertura plástica durante varios años, las precipitaciones son insuficientes para permitir un adecuado drenaje de las sales acumuladas en el perfil.

El exceso de cationes como el  $\text{Na}^+$  y aniones como  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , presentes en el agua de riego, incrementan el pH del suelo, la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y por ende se afecta el crecimiento de los cultivos (20). En la medida que el  $\text{Na}^+$  sustituye al  $\text{Ca}^{2+}$  en el complejo de intercambio, el suelo reduce la permeabilidad y algunos cultivos sensibles pueden manifestar síntomas de intoxicación

(8). El bicarbonato de sodio es responsable del aumento tanto del PSI como del pH en el suelo (57), aunque también la salinización puede conducir a un incremento del PSI, cuando hay presencia de sales de  $\text{Na}^+$ , que pueden mantenerse en solución aún en concentraciones muy elevadas (57; 56; 6).

Los problemas de infiltración en estos sistemas se relacionan con algunos indicadores de la calidad del agua de riego, principalmente pH, CEe y la relación de adsorción de sodio (RAS), además del tipo de arcilla presente en el suelo. La infiltración aumenta cuanto mayor es CEe, en tanto disminuye cuando aumenta la RAS (12). Las aguas de baja salinidad, con CEe inferior a  $0,2 \text{ dS m}^{-1}$  presentan graves problemas de infiltración debido a su gran poder de disolución. Igualmente, altas relaciones  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  originan RAS muy altos, disminuyendo la macro-porosidad del suelo por el hinchamiento de las arcillas y por ende afectando tanto la infiltración como la conductividad hidráulica (KH) (44; 12). Cuando la velocidad de infiltración disminuye significativamente, ocurren problemas de encharcamiento en los suelos, causando la podredumbre de raíces por falta de adecuada aireación (18) sumado a esto, los impactos mecánicos del agua aplicada. También se impide el lixiviado de sales, lo que incide en el aumento de la salinidad del suelo (18).

En el cultivo de lechuga, el incremento en el tenor de  $\text{Na}^+$  y CEe del suelo induce a una menor germinación, achaparramiento y clorosis de las hojas, provocando importantes pérdidas en la producción y/o en su calidad (45).

(34) relacionaron la escasa productividad de los suelos sódicos con la baja tasa de infiltración y las restricciones de drena-

je debido a su poca e inestable macroporosidad. Estos autores afirman que, para mejorar la estabilidad de los agregados del suelo, puede recurrirse a la adición de agentes químicos (yeso) y materia orgánica mientras que para mantenerla se debe recurrir a técnicas que eviten la re-compactación por riego, tráfico de máquinas e impacto de las gotas de lluvia. Los perjuicios derivados del incremento en los niveles  $\text{Na}^+$  pueden revertirse, o al menos mitigarse, mediante el empleo de enmiendas químicas (yeso o azufre elemental) destinadas a provocar su desplazamiento, disminuir el pH y consecuentemente aumentar la velocidad de infiltración (8; 22; 39).

Por otra parte, para mejorar las propiedades físicas del horizonte superficial expuesto y recuperar las funciones hidrológicas de estos suelos degradados, es necesario el aporte de grandes cantidades de materia orgánica (36), lo que permitiría aumentar la estabilidad estructural (61), disminuir la densidad aparente (63), mejorar la velocidad de infiltración y KH (26). Esto puede lograrse mediante la aplicación de enmiendas tales como diferentes abonos orgánicos frescos o compostados (49; 21; 20). Éstos contribuyen a mejorar la condición física y mantener el balance de materia orgánica en caso de altas tasas de mineralización (cultivos bajo cubierta y alta frecuencia de laboreos mecánicos).

Con la finalidad de revertir los problemas causados por años sucesivos de irrigación con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas, en suelos petrocálcicos de La Pampa con cultivos hortícolas bajo cubierta plástica, se evaluaron y cuantificaron diferentes prácticas agronómicas remediadoras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el Módulo Demostrativo Hortícola “Caleufú”, (La Pampa, 35° 40’S; 63 ° 46’W) desde el 01/03/2010 hasta el 30/11/2011. El clima en la región corresponde a semiárido con precipitaciones anuales que oscilan entre 600 y 800 mm (17). Las variables meteorológicas que se midieron fueron temperaturas y humedad relativa del aire, velocidad de viento y radiación global, a partir de datos diarios obtenidos de la estación meteorología situada en Intendente Alvear (LP) a 100 km del sitio bajo estudio. La precipitación no se tuvo en cuenta debido a desarrollarse el cultivo bajo cubierta plástica.

### Suelo y Agua

El suelo es un Haplustol Éntico con presencia de tosca a 80 cm, totalmente modificado desde el punto de vista químico respecto a la condición prístina y de acuerdo a los años con horticultura. El pH, CEe, PSI, granulometría (limo +arcilla, %) y MO varían según años de producción para túneles con B1 (dos años) y B2 (cuatro años de riego por goteo continuo) (Tabla 1).

Se calculó el índice de fertilidad (IMO) propuesto por (54) de acuerdo a la ecuación

$$(1): IMO = [MO / L + A] * 100 \quad (1)$$

Donde:

MO, materia orgánica (%); L: Limo (%) y A: Arcilla (%).

El agua para riego utilizada en el experimento tiene origen subterráneo y su composición química se presenta en la Tabla 2.

### Prácticas Culturales

Se cultivó lechuga (*Lactuca sativa* var. *crispa o intybacea* L), cuyo nombre comercial es “Brisa (Seminis)”, durante cuatro ciclos sucesivos (se inició en el mes de abril de 2010) y la duración de cada ciclo fue de 74 (1°), 67 (2°), 37 (3°) y 105 (4°) días respectivamente. El suelo se sistematizó en platabandas de 1 m de ancho y 0,4 m de pasillo, utilizando dos túneles de 32 m de largo, 6 m de ancho y 2,5 m de alto. Al inicio de cada ciclo de cultivo fue incorporado abono orgánico a razón de 1 kg m<sup>-2</sup> y con 24,2 % de materia orgánica (MO); 1,25 % de nitrógeno total (Nt); 8,1 de pH; 6,8 dS m<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica (CE), y relación C/N igual a 10. Fue laboreado con motocultivador para su incorporación.

Tabla 1. Valores de pH, conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe), Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), Materia Orgánica (MO,%), Índice de fertilidad (IMO) y Densidad Aparente (DA, Mg m<sup>-3</sup>) para un suelo Haplustol Éntico con diferentes años de riego.

Tipo de suelo	pH	CEe (dSm <sup>-1</sup> )	PSI (%)	MO (%)	IMO	DA Mg m <sup>-3</sup>
Suelo prístino	5,13	2,06	< 1	3,57	11,9	1,1
Túnel de 2 años de riego (B1)	8,11	1,96	27	2,09	6,8	1,34
Túnel de 4 años de riego (B2)	8,38	2,61	22	3,46	11,6	1,18

**Manejo del riego**

En cada túnel se ubicaron dos platabandas centrales con dos laterales de riego y dos lomos laterales con un solo lateral. Se utilizó cinta T-Tape de 150  $\mu\text{m}$  de espesor, diámetro interior de 16 mm y con emisores (e) cada 0,20 m, resultando una densidad de 8,3 e  $\text{m}^{-2}$ .

Para controlar la uniformidad del riego se estabilizó la presión del sistema en 1 kg  $\text{cm}^{-2}$ , se eligieron 20 e en cuatro líneas laterales y se procedió a su aforo en 5 min. Se determinó el coeficiente de uniformidad de distribución (CUD) según ecuación (2):

$$CUD = 100 \times \left( \frac{q_{25\% \text{ inf}}}{qm} \right) \quad (2)$$

Donde:

q 25 % inf, promedio del 25 % de los emisores con menor caudal,  $\text{L h}^{-1}$

qm, caudal medio de los emisores,  $\text{L h}^{-1}$

Considerando el método FAO Penman-Monteith para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>) se determinó utilizando como coeficiente único de cultivo (K<sub>c</sub>) el valor de 0,72 (4).

Dado que no fue considerada la precipitación, la necesidad de riego neta (NR<sub>n</sub>) fue igual a ET<sub>c</sub>. La dosis neta y bruta de riego (DNR y DBR respectivamente) se obtuvieron con ecuaciones (3) y (4):

Tabla 2: Composición química del agua utilizada para riego.

Variables	VALORES
pH	8,3
CE $\text{dS m}^{-1}$	1,31
Dureza $\text{g L}^{-1}$	34
RAS (*)	28,2
CSR (**) ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	9,3
Bicarbonato (***) ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	10
Sulfatos ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	1,54
Cloruros ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	0,66
Carbonatos ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	0,13
Calcio ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	0,29
Magnesio ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	0,41
Sodio ( $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$ )	16,4

\*RAS ajustado: 31,2 calculado ( $\text{RAS} \times [1 + (8,4 - \text{pH})]$ )

\*\*Cuando se superan los 2,50  $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$  las aguas son consideradas de mala calidad (USSL Staff, 1954).

\*\*\*Valores superiores a 8  $\text{cmmol}_c\text{L}^{-1}$  son considerados restrictivos para el riego (Metcalf & Eddy, 1995).

A. Muguero *et al.*

$$\text{DNR} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times \text{Fa} \times \text{E} \quad (3)$$

$$\text{DBR} = \frac{\text{DNR}}{(1 - \text{RL}) \times \text{CUD}} \quad (4)$$

$$\text{IR} = \frac{\text{DNR}}{\text{NRn}} \quad (5)$$

Donde:

$\theta_{cc}$ , contenido volumétrico de agua en el suelo a capacidad de campo,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$

$\theta_{pmp}$ , contenido volumétrico de agua en el suelo en punto de marchitez permanente,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$

E, espesor enraizable del suelo, expresado en m

Fa, factor de agotamiento, equivalente a 0,2 ya que se mantuvo el agua en el suelo a 80,0 % de  $\theta_{cc}$  (30)

NRn, mm  $\text{d}^{-1}$ ; DNR y DBR, mm

IR, intervalo entre riegos, d

RL, requerimiento de lixiviación, adimensional.

La eficiencia de aplicación se adoptó igual a CUD dado que se despreciaron las pérdidas por escorrentía y las pérdidas por percolación profunda estarían contempladas en el propio cálculo de RL. Los valores de CEe y CEumbral en función de la tolerancia de la lechuga fueron de (0,9 y 1,31  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente).

### Tratamientos

El 1/03/2010 se comenzó con las tareas de preparación del terreno para realizar los tratamientos, aislando el área de cada uno con polietileno colocado en forma vertical hasta una profundidad de 0,8 m, lugar donde se encuentra el manto de tosca. De ésta forma cada túnel quedó dividido en 8 sectores de 8 m de largo, 3 m de ancho, es decir 24  $\text{m}^2$ .

En los tratamientos con enmienda química se aplicó yeso agrícola pelletizado, grado de pureza mayor a 92,0 % (S: 17,0 %, Ca: 22,0 % y  $\text{SO}_4$ : 54,0 %). La cantidad de enmienda a aplicar se determinó en función de obtener un PSI de equilibrio -en el espesor considerado- igual a 15 %, considerando este valor como umbral de suelos sódicos (57). La ecuación para su cálculo fue:

$$Y = \frac{(\text{PSI}_{fin} - \text{PSI}_{in}) \times \text{CIC} \times \text{DA} \times \text{Pr} \times \text{Pm} \times \text{Fc}}{100} \quad (6)$$

Donde:

Y, dosis de yeso a aplicar,  $\text{kg m}^{-2}$

$\text{PSI}_{fin}$  y  $\text{PSI}_{in}$  corresponden al Porcentaje de Sodio Intercambiable final e inicial respectivamente, %

CIC, capacidad de intercambio catiónica,  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$

DA, densidad aparente del suelo,  $\text{kg m}^{-3}$

Pr, espesor considerado de suelo donde se aplica la enmienda, 0,2 m

Pm, peso molecular de la enmienda aplicada,  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ .

El valor de Y resultó 0,35  $\text{kg m}^{-2}$  y, luego de su incorporación, se aplicaron 10 mm de agua de riego para favorecer la reacción de las enmiendas con el suelo.

Para los tratamientos con drenaje se construyó una zanja trapezoidal con retroexcavadora hasta la profundidad de la barrera (tosca) y distanciada 5 m de las platabandas con cultivo y 1 m de la pared del túnel (profundidad aproximada de 0,8 m).

El tratamiento testigo tuvo las prácticas convencionales de motocultivador, siembra y agregado de materia orgánica.

**Mediciones en el suelo**

Para determinar pH y CEe, en cada una de las unidades de medición de los tratamientos, al inicio del experimento y al finalizar cada ciclo de cultivo, se obtuvieron muestras disturbadas entre 0 y 0,20 m. En el último ciclo de producción se realizó, en todos los tratamientos, un análisis completo del perfil de suelo (de 0 a 0,80 m, estratificado cada 0,20 m) obteniendo, además de pH y CEe, CIC, PSI, granulometría (L+A) y cationes de intercambio. Las técnicas analíticas que se utilizaron fueron: pH actual por potenciometría con relación suelo/agua 1:2,5- SSSI; Conductividad Eléctrica del extracto de saturación con conductímetro, relación suelo/agua 1:2,5; calcio y magnesio intercambiable por volumetría complejométrica (62); Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> intercambiable por fotometría de llama (62); Capacidad Intercambio Catiónico por saturación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (62). Además se determinó la proporción de arcilla, limo y arena por el método del hidrómetro de Bouyucus (29) y Materia Orgánica (MO, 65).

Al finalizar el experimento se realizó una prueba para evaluar el grado de encharcamiento provocado por la aplicación de riego y cuantificar infiltración media de agua en el suelo. Para ello se aplicó una lámina de 150 mm, generando

do encharcamiento en todo el invernadero a través de la construcción de bordes en los extremos laterales y frentes, suficiente como para infiltrar agua hasta el horizonte con presencia de tosca. A intervalos de 6, 12, 24, 36 y 60 hs. después de iniciada la infiltración se determinó el contenido de agua en el suelo con método gravimétrico a diferentes profundidades (0-0,20 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m y 0,60 a 0,70 m).

Las muestras se extrajeron sin disturbar con cilindros (250 cm<sup>3</sup>) a fin de referir los resultados a masa de suelo (método del cilindro, 10).

**Manejo del riego**

Para mantener un contenido de agua en el suelo equivalente al 80% de capacidad de campo, se necesitó aplicar con cada riego un valor de DNR igual a 15 mm, teniendo en cuenta el espesor de suelo considerado (0,20 m). El promedio de los caudales obtenidos fue 1,5 L h<sup>-1</sup>, que representó una pluviometría de 8,5 mm h<sup>-1</sup>, mientras que la prueba de uniformidad indicó un valor muy alto de CUD (0,95), debido a las dimensiones de la subunidad de riego, con laterales de corta longitud. IR promedio fue de 3,3 días en base a la duración del ciclo y n° de riegos (Tabla 3), máximo valor recomendado para este método de riego.

Tabla 3. Evapotranspiración del cultivo (ETc); Dosis neta y bruta de riego (DNR y DBR); Requerimientos de lixiviación (RL); Número de riegos total (N° de Riegos) e Intervalo de riegos (IR), para cada ciclo del cultivo: (A-M-J) meses de abril, mayo y junio, (A-S-O) meses de agosto, septiembre y octubre, (E) mes de enero y (M-J-J) meses de mayo, junio y julio.

Ciclo	$\sum DNR = \sum ETc$ (mm)	DBR (mm)	RL (mm)	RL	N° de Riegos	IR (días)
1° (A-M-J)	122	146	24	0,17	13	4,20
2° (A-S-O)	214	230	15	0,07	18	3,20
3° (E)	142	300	158	0,53	17	1,25
4° (M-J-J)	103	218	115	0,53	18	4,60

El valor de RL calculado fue 0,5 y en cada uno de los ciclos se lo utilizó para determinar DBR, excepto en el segundo, donde RL fue tan sólo 0,07 a causa de inadecuado control de la dosis aplicada. Debido a ello, en el ciclo siguiente se acumularon sales en superficie por lo que se debió aumentar ligeramente RL a 0,53. En el cuarto ciclo se mantuvo igual magnitud de RL, sin advertirse problemas de encharcamiento.

#### ***Diseño experimental y análisis Estadístico***

Se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado con 4 submuestras (unidades de medición) por tratamiento. Este diseño da respuesta a las dificultades encontradas cuando no se pueden lograr repeticiones en todos los tratamientos (33; 14; 15).

Tratándose de un ensayo factorial no replicado, para las pruebas de significancia se emplearon las interacciones triples como estimador del error experimental (33; 35). Los análisis se realizaron empleando los procedimientos GLM y MIXED de SAS (60).

El factor A correspondió a diferentes tratamientos de rehabilitación del suelo: T0- Testigo; T1- 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola de composición granulada; T2 - 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola de composición granulada + drenaje y T3- Drenaje. El factor B correspondió a la cantidad de años de riego previos al inicio del experimento, B1: 2 años de riego y B2: 4 años de riego.

Las comparaciones de medias se realizaron con el test LSD de Fisher, para nivel de significancia del 10,0 % (33; 11; 53).

Para seleccionar estos niveles de significancia se tuvo en cuenta, además de (53), el impacto productivo producido por esas diferencias entre tratamientos.

## **RESULTADOS**

### ***Alcalinidad y Salinidad***

La interacción entre los factores (años x tratamiento) para las variables pH y CEe no fue significativa en ninguno de los ciclos productivos evaluados (Tabla 4), en tanto que sólo fue significativa ( $p < 0,10$ ) entre años para CEe en el 3° ciclo.

Considerando la variación de pH entre tratamientos y para cada uno de los ciclos de producción, los resultados obtenidos no permitieron encontrar diferencias significativas, mientras que entre túneles la tendencia fue similar (Tabla 4). Los valores iniciales fueron muy elevados, superando el rango óptimo de pH para cultivo de lechuga, que oscila entre 5,0 a 8,5 según (23; 13; 16). A partir del 2° ciclo el valor de pH disminuyó en todos los tratamientos y en ambos túneles, sin observarse diferencias significativas entre ellos (Fig. 1).

La CEe del 1° ciclo fue muy elevada y superior al umbral óptimo para que no haya disminución de productividad, de 1,35 dS m<sup>-1</sup> según (41) y (19). Fue mayor en los tratamientos con enmienda, aunque sin diferencias significativas en relación al resto de los tratamientos (Tabla 4).

En el 2° y 3° ciclo la CEe disminuyó abruptamente en todos los tratamientos y se ubicó por debajo de aquel umbral, mientras que en el 4° ciclo se mantuvo próximo a 0,5 dS m<sup>-1</sup>. La disminución fue incluso en T0, indicando que el manejo del riego puede disminuir sensiblemente la salinidad del suelo (Fig. 2). Entre ambos túneles ocurrió lo mismo, sin diferencias significativas, excepto para la variable CEe en el 3° ciclo, resultando B1 significativamente menor a B2 ( $p < 0,10$ ; Tabla 4).

Tabla 4. Valores medios de conductividad eléctrica del suelo (CEe) y pH para cuatro ciclos de cultivo de los tratamientos Testigo (T0), Enmienda (T1), Enmienda+ Drenaje (T2) y Drenaje (T3); en los túneles de 2 años (B1) y 4 años (B2); espesor 0-0,20 m.

Ciclos		Tratamientos				Túneles		Factor Tratamientos	Factor Años	Tratamientos x años
		T0	T1	T2	T3	B1 (2años)	B2 (4 años)			
1º ciclo	pH	8,93	8,79	8,76	8,84	8,79	8,87	ns	ns	ns
	CEe (dS m <sup>-1</sup> )	1,93	2,73	3,14	2,56	2,47	2,71	ns	ns	ns
2º ciclo	pH	8,37	8,15	8,27	8,23	8,20	8,31	ns	ns	ns
	CEe (dS m <sup>-1</sup> )	1,03	0,84	0,94	0,84	1,00	0,82	ns	ns	ns
3º ciclo	pH	8,35	8,21	8,32	8,35	8,24	8,37	ns	ns	ns
	CEe (dS m <sup>-1</sup> )	0,52	0,77	0,53	0,78	0,54 (a)	0,76 (b)	ns	*	ns
4º ciclo	pH	8,24	8,29	8,46	8,48	8,40	8,33	ns	ns	ns
	CEe (dS m <sup>-1</sup> )	0,44	0,61	0,54	0,55	0,49	0,58	ns	ns	ns

Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre los túneles B1 y B2 ( $p < 0,10$ ); mientras que ns representa diferencias no significativas ( $p < 0,10$ ) para cada ciclo (fila), ambas según Test LSD.

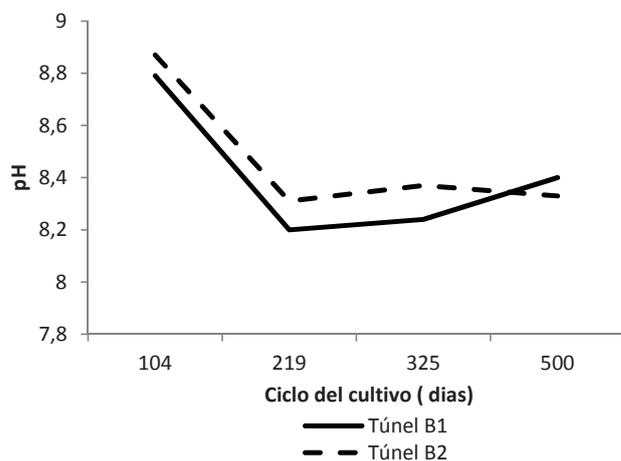


Figura 1. Evolución del pH para los túneles de 2 años (B1) y 4 años (B2) en función de los ciclos del cultivo de lechuga.

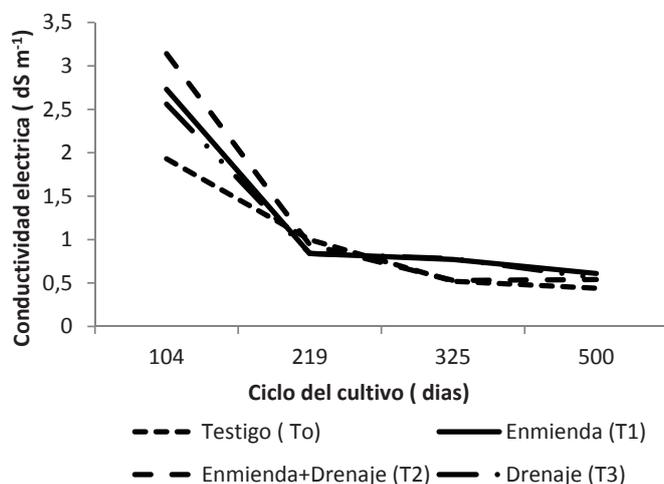


Figura 2. Evolución de la conductividad eléctrica del suelo promedio (CEe,  $dS m^{-1}$ ) para los diferentes tratamientos en función de los ciclos del cultivo de lechuga.

En general no se encontraron diferencias significativas tanto de pH como de CEE entre tratamientos y años de riego. Sin embargo, se comprobaron efectos positivos sobre la productividad del cultivo de lechuga, especialmente en el 1° y 2° ciclo (Fig. 3), posiblemente asociado al contenido de MO e IMO iniciales, principalmente en el túnel B2 (Tabla 1).

Los altos valores de la RAS del agua de riego provocaron altos incrementos de PSI al inicio del experimento (Tablas 1 y 2).

#### **Evolución del $Na^+$ - Influencia sobre pH y CIC**

En T0 se determinaron diferencias significativas ( $p < 0,10$ ) entre ambos túneles, en los promedios de  $Na^+$ , pH y CIC -entre 0 y 0,20 m-, al finalizar el 4° ciclo. El túnel B2 presentó mayores concentraciones de  $Na^+$  y de PSI pero menor CIC que el túnel B1 (Tabla 5), a pesar de haber recibido iguales dosis de riego.

En T2 se registraron diferencias significativas ( $p < 0,10$ ) en  $Na^+$  y pH entre túneles, pero no en la CIC (Tabla 5). En T1 y T3 no hubo diferencias significativas entre túneles (años de riego) en ninguna de las variables analizadas (Tabla 5).

Se comprobaron diferencias significativas ( $p < 0,10$ ) entre profundidades en los valores medios de pH y CIC del tratamiento T3 (Tabla 6), en tanto que no se encontraron diferencias significativas entre profundidades en  $Na^+$  y PSI.

En T0, y considerando el promedio de ambos túneles para todas las profundidades, la concentración de  $Na^+$  entre 0 y 0,20 m fue más elevada que en el resto del perfil, sin embargo en esta profundidad se obtuvieron los menores valores de pH. A mayor profundidad, los valores de PSI disminuyen y, en contraste, los valores de pH aumentan (Tabla 6). Esta mayor alcalinidad podría deberse a la presencia de un man-

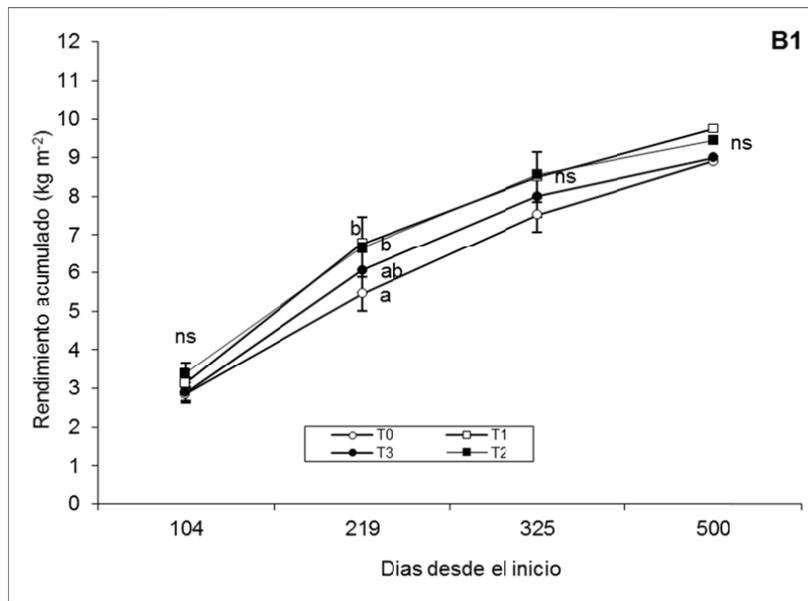
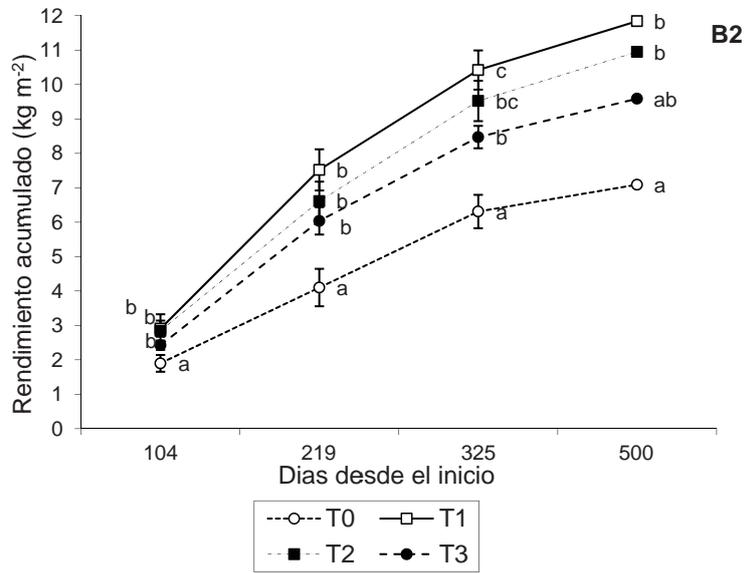


Figura 3. Evolución de los rendimientos acumulados de lechuga para los diferentes tratamientos en función de la duración del ensayo en el túnel de 2 años de riego (B1) y en túnel de 4 años (B2). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,10$ ) según test LSD.

to calcáreo (tosca) no demasiado profundo (0,80 m). También se determinó que a partir de 0,4 m de profundidad no hubo diferencias significativas en los valores de PSI, ni en las concentraciones de pH.

Considerando el promedio de ambos túneles para cada profundidad del tratamiento T2, se comprobó que la con-

centración de Na<sup>+</sup> sólo presentó diferencias significativas (p<0,10) entre 0-0,20 m respecto de 0,60-0,80 m (Tabla 6).

En T1 la concentración de Na<sup>+</sup> presentó diferencias estadísticas significativas (p<0,10) sólo en la profundidad de 0-0,20 m, en tanto que para PSI se comprobaron diferencias significativas entre 0-0,20 y 0,20-0,60 m

Tabla 5. Concentraciones de sodio en el suelo (Na<sup>+</sup>), pH, porcentaje de sodio intercambiable (PSI, %) y capacidad de intercambio catiónico (CIC cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) para los tratamientos Testigo (T0), Enmienda (T1), Enmienda+ Drenaje (T2) y Drenaje (T3) en los túneles B1 (dos años) y B2 (cuatro años) al finalizar el 4º ciclo en el espesor 0-0,20 m.

Tratamiento	Variable	Túnel	
		B1	B2
Testigo (T0)	Na <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,31 a	2,60 b
	pH	8,72 a	8,77 b
	CIC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	12,26 a	11,38 b
	PSI %	17,41 a	23,40 b
Enmienda (T1)	Na <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,20 a	2,24 a
	pH	8,73 a	8,34 a
	CIC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	13,63 a	13,60 a
	PSI %	16,20 a	16,57a
Enmienda +Drenaje (T2)	Na <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,34 a	2,53 b
	pH	8,66 a	8,89 b
	CIC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	12,22 a	12,93 a
	PSI %	17,81 a	19,55 b
Drenaje (T3)	Na <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,22 a	2,38 a
	pH	8,59 a	8,60 a
	CIC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	13,38 a	13,20 a
	PSI %	17,76 a	18,66 a

Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre túneles para el tratamiento T0 (p<0,10).

(Tabla 6). Esta variable alcanzó en superficie (0-0,2m) valores cercanos al objetivo pautado al inicio del ensayo (15 %), manteniéndose en profundidad. El horizonte superficial presentó mayores valores de CIC dado por un mayor contenido de MO, mientras que el pH aumentó en profundidad, aunque los datos obtenidos no permitieron registrar diferencias significativas (Tabla 6).

Se calculó la diferencia de concentración  $\text{Na}^+$  entre T0 y T1, disminuyendo un total de  $0,94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  si se compara en todo el perfil (Fig. 4), en tanto que los valores de PSI fueron menores en las capas superficiales (Tabla 6). La diferencia de concentración de  $\text{Na}^+$  debida a T3 fue, para todo el perfil, de  $0,62 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . (Fig. 5).

Aún sin diferencias significativas de pH entre espesores, éste se hizo más alcalino a mayores profundidades, posiblemente dado por aumento de la concentración de carbonatos en presencia de tosca.

#### Infiltración

En la Fig. 6 se observa que después de 12 horas de ser inundado, el túnel B1 (2 años) no cambia el contenido hídrico, en tanto que en B2 fue muy diferente. Estos resultados pueden estar asociados a una menor DA y mayor concentración de MO en el túnel B2 (Tabla 1) ambos indicadores relacionados con la estructura del suelo. Estos resultados son coincidentes con (61), quienes encontraron que la mayor MO y menor DA se correlacionan positivamente con la infiltración.

Tabla 6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) promedio de ambos túneles en los tratamientos Testigo (T0), Enmienda (T1), Enmienda+Drenaje (T2) y Drenaje (T3) para diferentes profundidades de suelo hasta la presencia de tosca (0,80 m).

Tratamiento	Profundidad (m)	Variables			
		pH	Na ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	PSI (%)	CIC ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )
Testigo (T0)	0-0,20	8,53 a	2,82 b	23,65 b	12,30 a
	0,20-0,40	8,63 a	2,63 b	21,00 ab	12,65 a
	0,40-0,60	8,87 b	2,25 a	19,20 a	12,05 a
	0,60-0,80	8,93 b	2,12 a	17,80 a	12,27 a
Enmienda +Drenaje (T2)	0-0,20	8,52 a	2,55 b	19,15 a	13,42 a
	0,20-0,40	8,70 b	2,50 ab	18,55 a	13,38 a
	0,40-0,60	8,95 c	2,48 ab	18,27 a	12,55 a
	0,60-0,80	9,20 c	2,28 a	19,70 a	12,70 a
Enmienda (T1)	0-0,20	8,18 a	2,43 b	15,57 a	15,65 b
	0,20-0,40	8,22 a	2,25 a	17,32 c	13,00 a
	0,40-0,60	8,70 a	2,15 a	16,82bc	12,82 a
	0,60-0,80	9,00 a	2,05 a	15,85ab	12,95 a
Drenaje (T3)	0-0,20	8,30 a	2,82 a	19,08 a	15,02 c
	0,20-0,40	8,53 b	2,33 a	16,78 a	13,92 bc
	0,40-0,60	8,72 bc	2,07 a	18,22 a	11,72 a
	0,60-0,80	8,83 c	1,98 a	16,75 a	12,50 ab

Letras distintas en sentido vertical, indican diferencias significativas ( $p < 0,10$ ) entre profundidades para cada uno de los tratamientos.

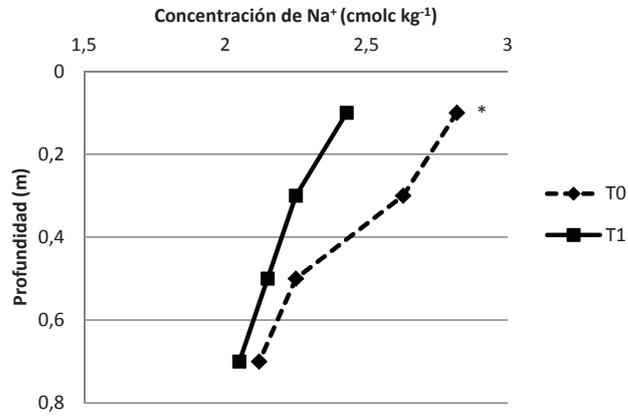


Figura 4. Concentración de Na<sup>+</sup> en el perfil en función de la profundidad entre el tratamiento T0 y T1 valores promedios para ambos túneles (B1 y B2). \* indica diferencias significativa entre T0 y T1 ( $p < 0,10$ ).

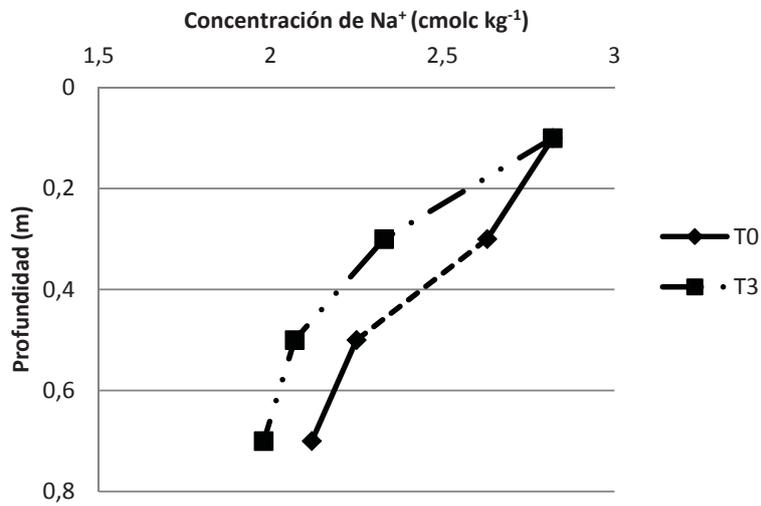


Figura 5. Concentración del Na<sup>+</sup> en el perfil en función de la profundidad entre el tratamiento T0 y T3, valores promedios para ambos túneles (B1 y B2).

**Productividad**

No hubo interacción entre los factores años de riego y tratamientos, por lo que la productividad se analizó para cada túnel. En B2 hubo diferencias significativas en los cuatro ciclos de producción entre T0 y todos los tratamientos, pero entre ellos solo hubo diferencias significativas en el 3º y 4º ciclo ( $p < 0,10$ ; Fig. 3). En B1 solo se comprobó respuesta significativa en el 2º ciclo de producción en T1 y T2 respecto a T3 y T0, no observándose diferencias significativas en los otros ciclos de producción ( $p < 0,10$ ; Fig. 3).

**DISCUSIÓN**

La disminución generalizada de CEE podría deberse al manejo del riego, que aportó una dosis extra de agua como RL. Por otro lado, los valores de pH correspondientes al 1º ciclo de todos los tratamientos (incluido el testigo) fueron mayores a los iniciales (Tabla 4).

Experimentos conducidos en el cinturón hortícola de La Plata, en invernaderos con muchos años sucesivos de riego con aguas bicarbonatadas-sódicas y en Argiudoles cultivados con tomate, pimiento y verduras de hoja, aplicando enmiendas cálcicas obtuvieron disminuciones de pH superiores a este trabajo (9; 7).

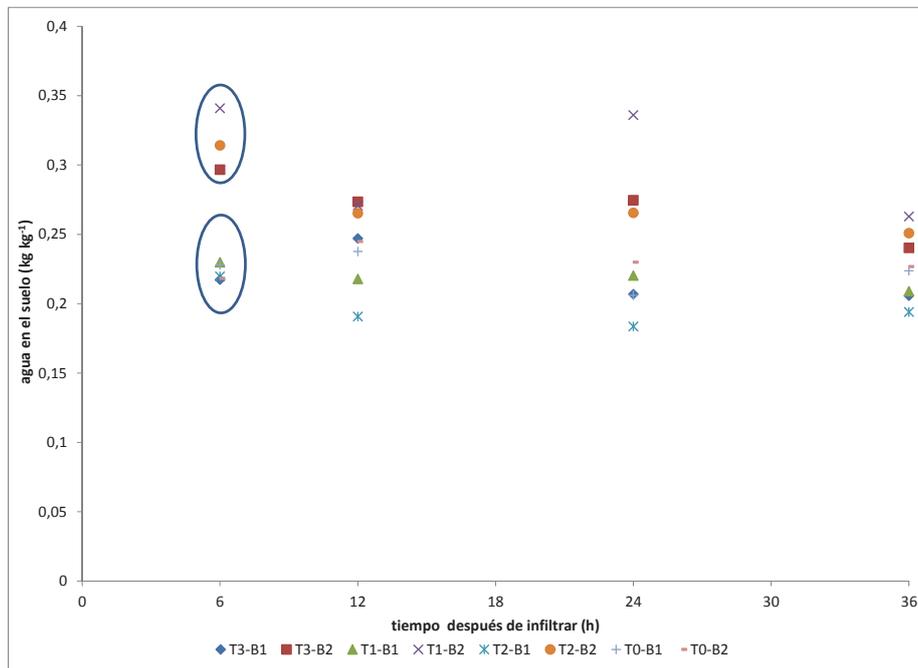


Figura 6. Contenido hídrico del suelo en función de las horas después de la infiltración de agua para los diferentes tratamientos (B1= 2 años de riego), (B2= 4 años de riego), (T0=Testigo), (T1= yeso agrícola ), (T2= yeso agrícola + drenaje) y (T3= drenaje).

El aumento de pH en el 1° ciclo (Tabla 4) pudo deberse al RAS del agua de riego que junto a una baja lámina de agua aportada al inicio, provocaron un aumento de esta variable. El pH del suelo en el tratamiento T1 disminuyó notablemente a partir del 2° ciclo de producción, posiblemente a consecuencia de la activación de la enmienda por aplicación de una lámina mayor de riego provocando lavado de sales de  $\text{Na}^+$  a profundidad. Trabajos evaluados por (47) señalaron que al agregar yeso a un suelo Natracualf de la serie Poblet (Partido de Magdalena, Pcia. de Bs.As.), disminuyó tanto el pH, la RAS y el PSI, aumentando la CEE, mientras que la producción de materia seca a igual dosis de yeso estuvo en función de la intensidad de lavado. (37) hallaron que el yeso fue la enmienda más eficiente para desplazar  $\text{Na}^+$  en un Natracuol de la serie Guido, de Balcarce. (64) señalaron que aplicando yeso y mezclándolo con el horizonte A mejoraban las propiedades químicas de los horizontes A y Btn de suelos Solonetz de Alberta, Canadá.

La alta frecuencia de riego también es fundamental para disminuir el estrés por salinidad, logrando mayor contenido hídrico, mayor potencial mátrico y con la solución tan diluida como sea posible (alto potencial osmótico). Esto pudo observarse a partir del cambio en la dosis de riego (Tabla 3) donde los valores de CEE fueron menores a partir del 2° ciclo productivo en ambos túneles (Tabla 4). Por lo tanto, es factible producir cultivos como los hortícolas con una alta dosis de riego para la lixiviación, junto con la solubilidad del yeso como una fuente de  $\text{Ca}^{2+}$  para desplazar al ión  $\text{Na}^+$  adsorbido en los perfiles de suelo.

En T2, considerando el perfil de 0 a 0,40 m, la concentración de  $\text{Na}^+$  disminuyó  $0,40 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ( $0,27+0,13$ ), mientras

que entre 0,40 y 0,80 m del mismo tratamiento aumentó la concentración de este ión en  $0,39 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ( $0,23+0,16$ ). Esto se explicaría por el efecto del uso de enmienda (yeso) provocando que el  $\text{Na}^+$  lixiviado de los horizontes superficiales se haya transformado en carbonatos (carbonato de sodio) lo cual produce un aumento de pH en profundidad. Si se utiliza el valor de RAS ajustado del agua de riego la condición de sodicidad en el suelo aumenta considerablemente (de 28,2 a 31,2), debido a la posibilidad de precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . Esto es consecuencia de la menor actividad del  $\text{Ca}^{2+}$  y por lo tanto, mayor RAS efectiva en el suelo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores para regiones similares a las estudiadas en este trabajo (1; 2; 3). En este tratamiento no disminuyó la CIC, probablemente debido tanto al efecto de yeso como el agregado de MO, que impidió la dispersión de coloides, tal como sucedió en T0 a lo largo de los 4 ciclos del cultivo de lechuga (59).

Al no comprobarse interacción entre factores (año x tratamiento) se analizó la variable  $\text{Na}^+$  en promedio para cada profundidad. Para discutir el cambio en los diferentes estratos evaluados se consideraron los tratamientos extremos (T0 y T2). La concentración de  $\text{Na}^+$  promedio de los túneles B1 y B2 fue menor en profundidad cuando se analizan dichos tratamientos (Tabla 6). Se destaca el efecto combinado del yeso + drenaje (T2), que evitó la acumulación de  $\text{Na}^+$  en las capas superficiales (0-0,40 m), mientras que por debajo de esa profundidad, y hasta 0,80 m, fueron similares. La cantidad de  $\text{Na}^+$  aplicado con el agua de riego no fue suficiente para su percolación, dado que debería acumularse en los estratos inferiores, máxime considerando la presencia de tosca. Según estudios de (25; 43) el  $\text{Na}^+$  en sue-

los arenosos se redujo gradualmente conforme se incrementaron las dosis de yeso.

Integrando los resultados obtenidos, se corrobora la reducción del PSI inicial en los diferentes túneles y tratamientos. Comparando T0 y T1, la concentración de  $\text{Na}^+$  disminuyó en un total de  $0,94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  en todo el perfil, en tanto que los valores de PSI fueron menores en las capas superficiales, mientras que en T0, solo con el manejo del riego, el PSI disminuyó de 27 a 23,65 %, inicial y final respectivamente. Estos resultados son coincidentes con los reportados por (5; 28) en las zonas donde se aplicó yeso, las cuales presentaron menores valores de  $\text{Na}^+$  dado por el desplazamiento en forma  $\text{NaOH}$ . Esta sal, al reaccionar con el agua de riego, posteriormente se combina con  $\text{CO}_2$  libre en la solución del suelo para formar carbonato de sodio que es lavado a horizontes inferiores.

Para el caso de drenaje, la diferencia de concentración de  $\text{Na}^+$  entre T0 y T3 fue, para todo el perfil, de  $0,62 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Para complementar estos resultados se calculó la cantidad de  $\text{Na}^+$  aplicada con el total del agua de riego, que resultó  $1,27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Esta cantidad es muy importante y una fracción podría haber sido adsorbida en el horizonte superficial, fundamentalmente en el tratamiento T0, mientras que otra proporción se habría desplazado hacia los horizontes más profundos. Teniendo en cuenta la concentración inicial de  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de  $\text{Na}^+$  entre 0-0,20 m, y a pesar de aportar el agua de riego  $1,27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  del mismo ión, con un manejo adecuado de riego T0 disminuyó a  $2,82 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  en dicho horizonte (Tabla 6).

Si bien se redujo los niveles de  $\text{Na}^+$  en los diferentes tratamientos respecto del testigo, no se registraron cambios significativos en los valores de pH, a diferencia de

lo encontrado por (31; 25; 58; 43), quienes reportaron una contribución efectiva del yeso en la reducción del pH en Argiudoles con problemas de sodicidad. Por otro lado, los bicarbonatos causantes de la alcalinidad se combinan con el  $\text{Ca}^{2+}$  del yeso formando compuestos de baja solubilidad y contribuyendo también en la reducción del pH (58).

Por otro lado, (51) consideran a la estabilidad estructural como un componente importante de la calidad del suelo, dado que sus valores son resultantes de la calidad de los poros, el aporte orgánico y la actividad biológica. (38) plantean que un aumento en la DA significa mayor peso de suelo por unidad de volumen, por lo tanto, cuando una mayor cantidad de suelo es confinado en el mismo volumen, el terreno se vuelve más compacto e inconveniente para la agricultura. Debido a que un suelo compacto tiene menos espacio poroso, la infiltración del agua y crecimiento de las raíces se reduce (50). El mejoramiento de la infiltración producido por el yeso pudo ser la causa que permitió el lavado de sales generadas por la aplicación del mismo. Mantener una concentración de electrolitos suficientemente alta es de crucial importancia, dado que favorece la circulación de agua de la que depende el proceso de recuperación (52).

Experiencias desarrolladas sobre variables estructurales dadas por MO como segmentante y aglutinante de agregados, refieren a una mejora de las condiciones físico-hídricas del suelo. En este sentido, la concentración de MO fue mayor en un 60% en el túnel B2 respecto de B1 y, considerando que ambos túneles tienen la misma proporción de A+L, esto indicaría mejores condiciones estructurales (macro-porosidad), aspecto que se corroboró con un menor valor de DA en B2 (semejante a la condición prístina, Tabla 1). Además el

mismo túnel presentó mayores valores de contenido hídrico, respecto de B1 (Fig. 6), indicando esto una mayor capacidad de retención de agua en el tiempo. Estos resultados han sido descritos por otros autores, quienes encontraron cambios significativos en las variables físicas evaluadas (7).

Debe destacarse lo promisorio del hecho, ya que se trata de una única aplicación de las enmiendas y sólo un período de cinco meses entre dicha aplicación y la evaluación edáfica. La estabilidad estructural medida a través de la porosidad e infiltración es un atributo sensible que puede indicar tendencias a la recuperación o degradación en lapsos relativamente cortos, por tratarse de una propiedad de carácter dinámico (24; 66). Estos aspectos de la calidad edáfica cobran especial relevancia en el contexto de suelos texturalmente finos (limosos +30%) como los estudiados y en producciones intensivas como la hortícola/florícola.

Las diferencias de productividad entre ciclos están relacionadas tanto a la condición ambiental como a la evolución del suelo en función de los tratamientos. Si bien el 2º ciclo fue el de mayor productividad debido a una mejor condición ambiental, la producción acumulada de lechuga en los cuatro ciclos varió entre 8,99 a 9,41 kg m<sup>-2</sup> (B1) y entre 7,09 a 11,84 kg m<sup>-2</sup> (B2), indicando que en poco más de tres meses los tratamientos en su conjunto permitieron mayor diferencia de productividad en el túnel B2, en tanto que para el túnel B1 el impacto de los tratamientos fue menor.

## CONCLUSIONES

La incorporación de yeso disminuyó la concentración de Na<sup>+</sup> y PSI significativamente desde superficie hasta 0,4 m. En cambio no se registraron diferencias significativas en el pH del suelo en ninguna de las profundidades evaluadas. La CEe, aumentó en el 1º ciclo de cultivo sin provocar efectos negativos sobre la productividad.

La zanja de drenaje per se no tuvo impacto en pH, Na<sup>+</sup> y CEe. No obstante, combinado con yeso tuvo mayor impacto en el túnel B2 debido a las mejores condiciones físicas del suelo (mayor concentración de MO y menor DA).

El manejo del riego por goteo, incorporando una lámina extra como requerimiento de lixiviación, permitió disminuir significativamente la CEe y PSI en todos los tratamientos en los primeros 0,40 m del perfil de suelo.

La incorporación de yeso también mejoró significativamente las condiciones físicas del suelo en el túnel B2, aspecto que se manifestó con un incremento de la productividad acumulada del cultivo de lechuga.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **ALCONADA, M.** 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata, Bs. As., Argentina. Actas XIII Congreso Latinoamericano Ciencia del Suelo. Brasil. Versión electrónica. CD.
- 2.- **ALCONADA, M. Y L. HUERGO.** 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, N.O.A., Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. CD.
- 3.- **ALCONADA, M. Y 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, 4 - 7 mayo, pp. 229- 230.
- 4.- **ALLEN, R.G.; PRUITT W.O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ITENFISU, D.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; YRISARRY J. B.; SMITH M.; PEREIRA L. S.; RAES D.; PERRIER A.; ALVES I.; WALTER I. Y R. ELLIOTT.** 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81: 1-22.
- 5.- **AMSTRONG ASB Y TWT TANTON.** 1992. Gypsum applications to aggregate saline-sodic clay topsoils. *J. Soil Sci.* 43: 249-260.
- 6.- **ANDERSON, J.U.F.; O. BAILEY Y H. A. DREGNE.** 1972. Short-term effects on irrigation with high sodium waters. *Soil Sci.* 113 (5):358-362.
- 7.- **ANDREAU, R.; P. GELATI; M. PROVAZA; D. BENNARDI; D. FERNÁNDEZ Y M. VÁZQUEZ.** 2012. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense: alternativas de tratamiento. *Ci. Suelo (Argentina)* 30(2): 107-117.
- 8.- **AYERS, RS Y DW WESTCOT.** 1987. La calidad del agua en la Agricultura. Serie FAO Riego y Drenaje N° 29 Rev.1. Roma, Italia, 174 pp.
- 9.- **BALCAZA, L.** 2003. Deterioro de los suelos cultivados bajo invernáculo. *Idia XXI N° 4.* Ediciones INTA, 196 pp.
- 10.- **BLAKE, G.R. Y K.H. HARTGE.** 1986. Bulk density. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph N° 9. Second edition.* Pp. 363-376.
- 11.- **BOX GEP; HUNTER JS, & WG HUNTER.** 2005. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery, 2nd Edition.* Wiley.
- 12.- **CAMACHO FERRE, F.** 2004. Técnicas de producción en Cultivos Protegidos. Suelos y aguas utilizados en la horticultura intensiva. Tomo 1 y 2. Ed. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Almería. 776 pp.
- 13.- **CANAVAS, M. F.** 1999. Sistemas hidropónicos, pp. 223-244. In: *Cultivo sin suelo 2. Curso de especialización superior*, FERNANDEZ F., M.; CUADRADO G., I. M. (eds.). Caja Rural de Almería. Andalucía, España.
- 14.- **CARMER, S. G.** 1976. Optimal Significance Levels for Application of the Least Significant Difference in Crop Performance Trials *Crop Science* 16 (1): 95-99.
- 15.- **CARMER, S. G. Y W. M. WALKER.** 1988. Significance from a Statistician's Viewpoint *Journal of Production Agriculture* 1 (1): 27-33.
- 16.- **CARRASCO, S. G.** 2004. Sistema NFT, requerimientos y usos, pp. 541-554. In: *Tratado de cultivo sin suelo. 1ª Ed.* URRESTARAZU G., M. (ed.). Editorial Mundi Prensa. Almería, España.
- 17.- **CASAGRANDE, G.A.; M.E. DEANNA; A. FARRELL Y F. BABINEC.** 2012. Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". *Boletín de divulgación técnica N° 88.* Ed. INTA. pp 3-45.
- 18.- **CASAS CASTRO, A. Y E. CASAS BARBA.** 1999. El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos

- hortícolas en la zona del sureste peninsular. Ed. Caja Rural de Almería. España. 249 pp.
- 19.- **CASTELLANOS, R. J. Z.** 2004. Manual de Producción de Hortícola en Invernadero. INTAGRI. Celaya Gto. México. 469 p.
- 20.- **CHOUDHARY, O. P.; A.S. JOSAN Y M.S. BAJWA.** 2002. Role of organic materials in mobilizing intrinsic calcium carbonate to ameliorate sodic irrigations. Proceedings of the 17th World Congress Soil Science, Symposia No. 34, Abstract vol. III (Symposia 22-36), pp. 1162.
- 21.- **COOPERBAND, L.** 2000. Sustainable use of by products in land management. (pp. 215-235). En: J.M. Barteksy W.A. Dick (eds.). Land Application products of Agricultural, Industrial and Municipal By-Products. SSSA Book series N° 6, Madison, USA.
- 22.- **COSTA, J. L. Y P. GODZ.** 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del sudeste de la pampa Deprimida. *Ciencia del Suelo* 17(2): 21-27.
- 23.- **DAVIS, R. M., SUBBARAO, K. V., RAID, R. N., KURTZ, E. A.** 1997. Compendium of Lettuce Diseases. APS. Press St. Paul, Minnesota. Pp. 51.
- 24.- **DORAN, J. Y T. PARKIN.** 1994. Defining and assessing soil quality. *Soil Sci Soc* 677: 3-21.
- 25.- **DUBEY, S. K. YR. C. MONDAL.** 1994. Effect of amendments and saline irrigation water on soil properties and yields of rice and wheat in a highly sodic soil. *J. Agric. Sci.* 122: 351-357.
- 26.- **FELTON, G. K.** 1995. Temporal variation of soil hydraulic properties on municipal solid waste amended mine soils. *Trans. ASAE* 38: 775-782.
- 27.- **FERRATTO, J.; A. LONGO; R. GRASSO; M. MONDINO Y A. MUGUIRO.** 2006. Manual de Producción Hortícola. CERET, CFI, Ministerio de la Producción de La Pampa. pp. 53.
- 28.- **GHARAIBEH, M. A.; N. I. ELTAIF Y O. F. SHUNNAR.** 2009. Leaching and reclamation of calcareous saline-sodic soil by moderately saline and moderate-SAR water using gypsum and calcium chloride. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:713-719.
- 29.- **GEE, G.W. Y BAUDER, J. W.** 1986. Chapter 15. Particle size analysis. In: Klute A (Ed.), Part 1, Physical and Mineralogical Methods. USA: SSSA - ASA Madison WI pp 383-412.
- 30.- **GRANDA, F. J. E. Y C. S. LÓPEZ JACOME.** 2009. Estudios de los sistemas de riego localizado por goteo y exudación en el rendimiento del cultivo de lechuga en invernadero. CD
- 31.- **GUPTA, R. K.; C. P. SINGH Y I. P. ABROL.** 1985. Dissolution of gypsum in alkali soils. *Soil Sci.* 140:382-386.
- 32.- **HOLANDA, J. S.; G. C. VITTI; A. A. C. SALVIANO; J. D. F. MEDEIROS Y J. R. A. AMORIM.** 1998. Altera coenas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Campinas, V 22, N° 3,* 387- 394.
- 33.- **HURLBERT, S. H.** 2004. On misinterpretations of pseudoreplication and related matters: a reply to Oksanen. *Oikos*, 104: 591-597. doi:10.1111/j.0030-1299.2004.12752.x
- 34.- **JAYAWARDENE, N. S. Y K. Y. CHAN.** 1994. The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils. A review. *Australian Journal Soil Research, Victoria, v.32, n.1, p.13-44,* 1994.
- 35.- **KIM, J. AND P. JI.** 2014. Significance Testing in Empirical Finance: A Critical Review and Assessment. *Journal of Empirical Finance.* 34, 1-14.
- 36.- **LARNEY, F. J. Y H. H. JANZEN.** 1996. Restoration of productivity to a desurfaced soil with livestock manure, crop residue and fertilizer amendments. *Agron. J.* 88: 921-927.
- 37.- **LAZOVICH, M. R.; J. L. COSTA Y P. GODZ.** 1985. Efecto de enmiendas y lavado sobre el desplazamiento catiónico y sobre la producción de materia seca de un Natracuol, en invernáculo. *Ciencia del Suelo* 3:95-101.
- 38.- **LEBRON, I.; D.L. SUÁREZ Y T. YOSHIDA.** 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 92-98.

- 39.- **LONGO, A., FERRATTO, J., MONDINO, M. Y R. GRASSO.** 2005. Incorporación de azufre y yeso en suelo Salino-sódico: su efecto sobre el rendimiento y calidad de lechuga bajo invernáculo. *Ciencias Agrarias* 4 (1-2): 32-36.
- 40.- **LÓPEZ-AGUILAR, R., RODRÍGUEZ-QUEZADA, G., NARANJO-MURILLO, A., BELTRÁN-MORALES, L., TROYO-DIÉGUEZ, E., CASANOVA-CRUZ, A. Y O. PERALTA-PATRÓN.** 2012. Uso de yeso para una agricultura orgánica sustentable en zonas áridas y semiáridas. Vol 37. N°8. pp 594-601.
- 41.- **MAAS, E. Y G. HOFFMAN.** 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *J Irrig and drainage, division ASCE* 103(IRZ): 115-134.
- 42.- **MACHADO, S.** 2006. Symposium-analysis of unreplicated experiments. *Crop Sci.* 46: 2474-2475.
- 43.- **MAKOI, JHJR. Y H. VERPLANCHE.** 2010. Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil. *Aust. J. CropSci.* 4: 556-563.
- 44.- **MARANO, R. P.** 2000. Posibles efectos de la calidad de las aguas subterráneas con fines de riego suplementario en suelos de la región centro-este santafesina. Tesis de Ms. Sc. Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. Cuyo. 135 pp.
- 45.- **MAROTO BORREGO, J.; A. MIGUEL GÓMEZ Y C. BAIXAULI SORIA.** 2000. La lechuga y la Escarola. Fundación Caja Rural Valencia. Ediciones Mundiprensa. España. Pág. 208-214.
- 46.- **MARTÍNEZ, R.; F. MARGIOTTA; L. TAMBURO Y L. CASAMIQUELA.** 1994. Evaluación de tres sistemas productivos en tomate. Resumen de actas XVII Congreso Argentino de Horticultura. VI Congreso Latinoamericano 158.
- 47.- **MENDOZA, R. E. Y L. A. BARBERIS.** 1980. Efecto del agregado de yeso y el lavado a un suelo sódico de la depresión del Río Salado y su repercusión sobre la producción de "Lolium perenne" L. *RIA* 2: 304-397.
- 48.- **METCALF Y EDDY.** 1995. Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra ed. McGraw-Hill. España. Capítulo 8. pp. 478-488.
- 49.- **MINHAS, P. S. ; V. K. SHARMA Y Y. P. SINGH.** 1995. Response to paddy and wheat to applied gypsum and FYM on an alkali water irrigated soil. *J. Indian Soc. SoilSci.* 43: 452-455.
- 50.- **MURTAZA, G.; A. GHAFUOR Y M. QADIR.** 2006. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cottonwheat rotation. *Agric. WaterManag.* 81: 98-114.
- 51.- **ORELLANA, J. Y M. A. PILATTI.** 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Revista Asoc. Arg. Ciencia del Suelo* 12-2:75-80.
- 52.- **OSTER, J. D.** 1993. Sodic soil reclamation. En: *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, Vol. I: 485-490.
- 53.- **PERRETT, J. J. Y J. HIGGINS.** 2006. A Method for Analyzing Unreplicated Agricultural Experiments. Published in *Crop Sci.* 46:2482-2485.
- 54.- **QUIROGA, A.; D. FUNARO; E. NOELLEMAYER Y N. PEINEMANN.** 2005. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil y Tillage Research.* 90-(1): 63-68.
- 55.- **RAZA, Z. I.; M. S. RAFIQ YA. RAUF.** 2001. Gypsum application in slots for reclamation of saline-sodic soils. *Int. J. Agric. Biol.* 3: 281-285.
- 56.- **RHOADES, J. D.** 1972. Quality of water for irrigation. *Soil Sci.* 113: 277-284.
- 57.- **RICHARDS, L. A.** 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.

- 58.- RODRIGUES DA SILVEIRA, K.; M. ROSAS RIBEIRO; BEZERRA DE OLIVEIRA L.; HECK, R. J. Y R. RODRIGUES DA SILVEIRA.** 2008 Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. *Sci. Agric.* 65: 69-76.
- 59.- ROTONDO, R; IT FIRPO; L FERRE-RAS; S TORESANI; S FERNÁNDEZ Y E GÓMEZ.** 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66): 18-25.
- 60.- SAS INSTITUTE, INC.** 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 5136 pp.
- 61.- SASAL, C.; A. ANDRIULO; J. ULLÉ; F. ABREGO Y M. BUENO.** 2000. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 18: 95-104.
- 62.- SCHOLLENBERGER, C. J. Y SIMON, R.H.** 1945. Determination of Exchange capacity and exchangeable bases in soil. Ammonium acetate Method. *Soil Science*. Vol. 59, pp. 13-24.
- 63.- TESTER, C.** 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 827-831.
- 64.- TOOGOOD, J. A. Y R. R. CAIRNS** (Eds.). 1978. Solonchic soils technology and management. Bull. B-78- 1, Univ. Alberta, Edmonton Canadá, Second Edition. Reprint Number 546.
- 65.- WALKLEY, A. Y I. A. BLACK.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- 66.- WILSON, M.; QUINTERO, C.; BOSCHETTI, N.; BENAVIDEZ, R. Y W. MANCUSO.** 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía UBA* 20(1): 23-30.