



## FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO  
AMBIENTE

“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL MANEJO EN LA EVOLUCIÓN  
DEL PERFIL DE SALINIDAD EN HUERTAS BAJO CUBIERTA DE LA  
LOCALIDAD DE SANTA ROSA, PROVINCIA DE LA PAMPA.”

MALENA SOLEDAD SPEDALETTI

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2015

## **PREFACIO**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Unidad Demostrativa de Producción Hortícola, en la Huerta de la Facultad de Agronomía y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional de La Pampa. Las actividades se realizaron durante el período comprendido entre Agosto de 2014 y Septiembre de 2015, bajo la dirección de la Dra. Andrea Bartel y bajo la codirección del Dr. Luciano Carassay.

16 Octubre 2015

Spedaletti, Malena Soledad

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## RESUMEN

El avance de la producción agrícola en regiones donde las condiciones climáticas no son óptimas para el cultivo y la creciente demanda de productos hortícolas, ha provocado un crecimiento de la producción de hortalizas bajo cubierta. En este tipo de producciones, pueden incorporarse al suelo diferentes sales solubles con el agua de riego, algunas de ellas sódicas, provocando procesos de alcalinización, salinización y sodificación, con consecuentes reducciones en el rendimiento de los cultivos. Con el propósito de evaluar el efecto acumulado en el corto plazo del manejo en suelos bajo cubierta sobre el perfil de salinidad y otras propiedades químicas, se compararon perfiles de suelo con distinto manejo.

El estudio se realizó en el campo de la Facultad de Agronomía UNLPam sobre un Haplustol éntico. Se trabajó con 5 situaciones distintas de manejo, las cuales presentaron diferentes características en cuanto lo que se refiere a riego y al abono, T1: suelo sin abonar regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T2: abonado con estiércol vacuno compostado regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T3: abonado con compost, regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T4: abonado con cama de pollo, regado con agua clasificada como C<sub>3</sub>S<sub>2</sub> y SN: suelo natural sin riego (Testigo). Luego de un año de ciclos consecutivos de lechuga se midió pH en pasta, CE, Sodio, Calcio + Magnesio, RAS y PSI en todo el perfil del suelo, a intervalos de 10 cm, desde la superficie hasta los 90 cm de profundidad y se comparó el cambio en las propiedades respecto a la condición natural.

Los resultados obtenidos indicaron incrementos entre 1 y 1,5 unidades en el pH, salinización ( $CE > 4 \text{dSm}^{-1}$ ) y sodificación ( $RAS > 13$ ) en todos los tratamientos, fundamentalmente en los primeros 20 cm de profundidad.

Comparativamente, la magnitud de los procesos de degradación fue menor cuando en el manejo se utilizó agua de mejor calidad relativa, sin embargo, los valores de CE y PSI registrados podrían no satisfacer a mediano/largo plazo una producción sustentable.

*Palabras claves: propiedades edáficas, riego, salinidad, sodicidad, alcalinidad.*

## INDICE

### Contenidos

<u>INTRODUCCION</u> .....	1
<u>Objetivo e Hipótesis</u> .....	8
<u>Alcance del presente estudio:</u> .....	8
<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	8
<u>Ubicación del área de estudio</u> .....	8
<u>Descripción del área de estudio:</u> .....	10
<u>Características de los suelos:</u> .....	10
<u>Características climáticas:</u> .....	10
<u>Características hidrológicas:</u> .....	11
<u>Características del ensayo</u> .....	12
<u>Características del agua de riego:</u> .....	15
<u>Muestreo de suelo y Determinaciones de laboratorio:</u> .....	16
<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	18
<u>pH:</u> .....	18
<u>Conductividad eléctrica:</u> .....	20
<u>Sodio:</u> .....	24
<u>Calcio y Magnesio:</u> .....	26
<u>RAS:</u> .....	29
<u>PSI:</u> .....	31
<u>DISCUSIÓN GENERAL:</u> .....	32
<u>CONCLUSIONES</u> .....	35
<u>BIBLIOGRAFÍA CITADA</u> .....	37
<u>ANEXOS</u> .....	43
<u>Anexo N° 1: Análisis de las propiedades físico-químicas de los suelos</u> .....	43
<u>Anexo N° 2: Análisis estadístico</u> .....	45

## Figuras

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	9
Figura 2: Climodiagrama Santa Rosa, Distrito del Caldén.....	11
Figura 3: Plano del diseño del ensayo. a) Huerta facultad: T1: suelo sin abonar regado con agua clasificada como C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T2: abonado con estiércol vacuno, dosis de 3 kg/m <sup>2</sup> regado con agua clasificada como C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y T3: abonado con compost dosis de 3 kg/m <sup>2</sup> regado con agua clasificada como C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; b) Unidad demostrativa T4: abonado con cama de pollo, dosis de 1,5 kg/m <sup>2</sup> regado con agua clasificada como C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> .....	15
Figura 4: Comportamiento de la variable pH en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T3: abonado con compost, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> . Línea punteada: límite para desarrollo óptimo del cultivo.....	18
Figura 5: Comportamiento de la variable CE en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T3: abonado con compost, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> . Línea punteada: valor límite para clasificar suelos salinos.....	21
Figura 6: Esquema y foto de la distribución de sales en un bulbo de riego por goteo.....	22
Figura 7: Comportamiento de la variable Sodio en el perfil del suelo en los tratamientos analizados; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T3: abonado con compost, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> .....	25
Figura 8: Comportamiento de la variable Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T3: abonado con compost, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> .....	27
Figura 9: Efecto de la variable Sodio sobre la Conductividad Eléctrica.....	28
Figura 10: Comportamiento de la variable RAS en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> ; T3: abonado con compost, regado con C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> . Línea punteada: valor límite para clasificar suelos sódicos.....	29

Figura 11: Comportamiento de la variable PSI en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con  $C_4S_3$ ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con  $C_4S_3$ ; T3: abonado con compost, regado con  $C_4S_3$  y T4:abonado con cama de pollo, regado con  $C_3S_2$ .....32

### **Tablas**

Tabla 1: Análisis actualizado de Agua: Huerta Facultad y Unidad Demostrativa de Producción Hortícola.....	16
Tabla 2: Comparación de las variables en T1 y T4 respecto a SN.....	34
Tabla A1: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en SN.....	43
Tabla A2: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T1.....	43
Tabla A3: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T2.....	44
Tabla A4: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T3.....	44
Tabla A5: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T4.....	44

### **Fotos**

Foto1: Foto del macro-túnel donde se realizó la experiencia con plantación de lechuga (T1, T2, T3). Huerta Facultad de Agronomía, UNLPam.....	13
Foto 2: Foto del macro-túnel donde se realizó la experiencia con plantación de lechuga (T4). Invernáculo N° 13 de la Unidad Demostrativa de Producción Hortícola.....	13

## INTRODUCCIÓN

El avance de la producción agrícola en regiones donde las condiciones climáticas no son óptimas para el cultivo y la creciente demanda del mercado de productos hortícolas, ha provocado que la producción de hortalizas bajo invernadero tenga un amplio crecimiento en el mundo y especialmente en nuestro país (Ferratto *et al.*, 2006). La producción hortícola bajo cubierta surge como alternativa de los productores agropecuarios. Fenómenos como lluvias intensas, granizos, vientos y bajas temperaturas son algunos de los factores limitantes que son controlados en los cultivos protegidos (Szczesny *et al.*, 2014). Los cultivos bajo cubierta se caracterizan por el uso de una elevada cantidad de prácticas y tecnologías, entre las que se pueden mencionar la incorporación de material genético, fertilizantes, riego, fertirriego y utilización de productos fitosanitarios que permiten incrementar los rendimientos, con mayor número de ciclos y una mayor calidad del producto. En cuanto a la fertilidad del suelo, se destaca el uso de abonos o enmiendas orgánicas por su influencia sobre la fertilidad física y química de los suelos, aunque su composición química, aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo varía según las características del material utilizado y su manejo.

En suelos cultivados bajo cubierta pueden incorporarse sales y/o sodio con el agua de riego, provocando procesos de salinización y sodificación, los que se observan fundamentalmente en los primeros centímetros del perfil del suelo. Según el tipo de sales y el efecto que tienen en el suelo, se pueden clasificar a los suelos en cuatro categorías: **1- suelo salino**: con un límite inferior de salinidad establecido convencionalmente en una conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  (a  $25^\circ\text{C}$ ), **2- suelo sódico**: aquel que presenta un bajo contenido de sales, y contiene una cantidad de sodio intercambiable suficiente como para afectar adversamente a la producción de cultivos y a la estructura del suelo. Actualmente el parámetro utilizado es la relación de adsorción de sodio (RAS) del extracto de saturación del suelo que en suelos sódicos es mayor a 13, **3-suelo alcalino**: suele ser nombrado como suelo sódico, pero debe tenerse en cuenta que aunque todos los suelos alcalinos son sódicos, no todos los suelos sódicos son alcalinos. El criterio para definir a un suelo como alcalino es que posea un valor de pH muy elevado, mayor a 8,5, y por último **4-suelo salino – sódico**: esta categoría no es usada actualmente pero se refiere a un suelo donde el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor a 15, y la  $\text{CE} > 4 \text{ dS m}^{-1}$  (a  $25^\circ\text{C}$ ), el pH del suelo saturado es usualmente 8,5 o menor (Taboada y Lavado, 2009).

El efecto de la salinidad en las plantas usualmente se relaciona con reducciones en el rendimiento que dependen de las condiciones climáticas, edáficas y de las prácticas culturales. El estrés alcalino ocurre cuando el pH en el medio supera al neutro (pH 7), y es originado en general por la presencia de aniones  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , y también origina una reducción en el rendimiento (Mass, 1986).

La acción dispersante del  $\text{Na}^+$  sobre los coloides del suelo, arcillas y materia orgánica, produce la degradación del mismo, afectando negativamente propiedades físicas como estabilidad estructural, conductividad hidráulica y tasa de infiltración, causando una reducción de su capacidad productiva (Quinteros *et al.*, 2000). Elevados contenidos de cationes sodio asociado a la presencia de aniones carbonatos y bicarbonatos, presentes en el agua de riego, incrementan el pH, la CE y el PSI del suelo, afectando el crecimiento de los cultivos y plantas no tolerantes (Choudhary *et al.*, 2004). La alteración que produce el aumento de la concentración de sales en el suelo sobre el crecimiento del vegetal depende de varios factores, tales como la distribución de las sales en el perfil, condiciones físicas del suelo, tipo de sales y la sensibilidad al exceso de sales y sodio de las diferentes especies implantadas (Conti, 1998). Estos aspectos mencionados pueden ocasionar por ejemplo, en el cultivo de lechuga baja germinación, achaparramiento y clorosis de las hojas, provocando importantes pérdidas en la producción y/o en su calidad (Maroto Borrego *et al.*, 2000).

Sin embargo, otros autores que han trabajado en suelos de la región pampeana húmeda, demostraron que a pesar de corroborar el deterioro de propiedades químicas asociadas a la salinidad del suelo tales como el incremento del PSI, consideran que los valores máximos alcanzados no invalidarían la incorporación del riego bajo adecuadas condiciones de monitoreo y manejo (Génova, 2006; Génova, 2005 y Andriulo *et al.*, 1998).

Por lo tanto, la calidad del agua de riego y el manejo adecuado son esenciales para la continuidad de una producción exitosa de los cultivos (Sainato *et al.*, 2006; Marouelli *et al.*, 1999). Es necesario realizar análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir, incluso, dentro del mismo sitio, en diferentes épocas del año (época seca / época de lluvias), siendo recomendable tomar más de una muestra, en distintos períodos de tiempo.

Dentro de las características químicas del agua de riego que determinan la calidad, se encuentran el contenido de sales totales, y parámetros derivados de la composición de sales, como conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, relación de adsorción de sodio,

alcalinidad y dureza. Un nivel alto de sales en el agua de riego provoca el aumento de la presión osmótica del suelo, generando en las plantas dificultad para absorber agua del suelo produciendo incluso la “sequía fisiológica” de la misma.

Existen tecnologías que permiten reducir el contenido de sales del agua, como por ejemplo el sistema de ósmosis inversa. Este proceso se basa en la eliminación de sales a partir del paso del agua por membranas selectivas que no permiten el pasaje de iones. Las membranas que se utilizan en el proceso rechazan directamente las sales, dejando en cambio pasar el agua que las contiene. Una desventaja de esta técnica de desalinización es su alto costo de implementación, dificultando la posibilidad de tal inversión para pequeños productores.

En nuestro país, existen numerosas publicaciones en las que se muestran los efectos del manejo sobre las propiedades del suelo, tanto en sistemas de producciones a campo como bajo cubierta, siendo el agua de riego y los fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, las variables principalmente evaluadas. Andriulo *et al.* (1998) concluyeron que el riego complementario durante 11 años con aguas bicarbonatadas sódicas, en un Argiudol típico de Pergamino en la provincia de Buenos Aires, duplicó la CE, sextuplicó el PSI e incrementó el pH del suelo en una unidad. En Córdoba, Salas y Lovera (1998) reportaron, como consecuencia de la aplicación de 375 mm de lámina de riego en un Haplustol éntico, incrementos de la CE desde 0,8 a 1,7 dS m<sup>-1</sup> y del PSI de 0,6 a 7,6 % a una profundidad de 0-10 cm. En un ensayo realizado en suelos Hapludoles y Argiudoles de la Región Pampeana, Peinemann *et al.* (1998) determinaron que por efecto del riego, el pH aumentó en promedio cerca de una unidad y el PSI aumentó de un valor medio de 2,6 a 8,7 % en el horizonte superficial. En Salto, provincia de Buenos Aires, Irurtia y Mon (1998) detectaron en sitios regados durante 5 años leves incrementos del pH y de la salinidad y claras tendencias de deterioro en los parámetros físicos de los suelos estudiados. Génova (2006) comparó datos de salinidad y sodicidad en horizontes superficiales y subsuperficiales de suelos Argiudoles y Hapludoles de la Región Pampeana Húmeda sometidos a sucesivos ciclos agrícolas, regados en forma complementaria durante 19 años y luego de analizar las variables pH, CE y PSI observó que éstas no se incrementaron de manera indefinida y progresiva, sino que alcanzaron máximos inmediatamente finalizada la temporada de riego y luego decrecieron hasta el siguiente riego, alternancia que se repitió durante las sucesivas campañas. Por otra parte, el autor observó que el riego con agua de elevada RAS produjo los mayores valores de PSI, pero

no ocurrió lo mismo con el pH y la salinidad de los suelos regados. A partir de este estudio el autor concluyó que los suelos pampeanos regados poseen capacidad de recuperación a cambios en la salinidad y sodicidad a través de los mecanismos de lavado e intercambio catiónico. Andriani (2009) contrastó perfiles de suelos de 5 localidades del sur de Santa Fe (Argiudol típico, Argiudol vértico y Hapludol típico), y luego de medir CE, pH y PSI, analizó que el riego en todos los perfiles de suelo produjo un incremento en los valores de pH y de PSI en los horizontes superficiales y subsuperficiales, y de la CE en los horizontes superficiales de todos los sitios, mientras que en los horizontes más profundos no aumentó en todos los casos. En Rafaela (Santa Fe), Marano y Pilatti (2000) midieron la evolución de propiedades físico-químicas de los horizontes superficiales de un lote irrigado con agua bicarbonatada sódica durante cinco años sucesivos; evaluaron CE, pH y CIC y observaron incrementos de las variables medidas en el suelo irrigado en comparación con el tratamiento sin riego. Vázquez *et al.* (2006) evaluaron la sustentabilidad del riego complementario en suelos del Centro-E y NO de la provincia de Buenos Aires, analizando la influencia del riego sobre el pH, CE, RAS y Sodio del suelo. Hallaron incrementos de las variables analizadas a 0-20, 20-40, 40-60 cm de profundidad y comprobaron aumentos de salinidad/sodicidad variables de acuerdo a cada situación, demostrando que la sustentabilidad del sistema productivo también depende de las prácticas de manejo y de las características propias de cada agroecosistema.

En cuanto a la influencia del riego sobre el suelo en sistemas de producción bajo cubierta, la mayoría de los trabajos están vinculados a los cinturones verdes hortícolas del Gran Buenos Aires, La Plata y Rosario. Alconada *et al.* (2001) estudiaron la relación entre degradación físico-química de los suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo, y la calidad de agua subterránea usada para riego en la localidad de La Plata. Analizaron pH en pasta, CE, cationes solubles y RAS de 0-15 cm y de 15-30 cm de profundidad, registrando en el invernáculo un aumento de las variables principalmente en la primera profundidad. Balcaza (2003) observó cambios en los índices químicos de suelos bajo invernadero en la región del Cinturón Verde del Gran Buenos Aires relacionados con la calidad del agua de riego y con el manejo; registró que el pH aumentó una unidad y que la conductividad eléctrica se incrementó 9 veces en los primeros centímetros del perfil. Andreau *et al.* (2012) evaluaron, en La Plata, el impacto progresivo de uso intensivo bajo cubierta sobre propiedades físico-químicas en dos suelos del área y el efecto de enmiendas sobre variables físico-químicas; hallaron que según la antigüedad del invernáculo, se incrementó

significativamente el pH, la CE y la RAS en la profundidad de 0 a 20 cm, y en menor magnitud en la profundidad de 20 a 40 cm. Por otra parte, también evaluaron enmiendas y concluyeron que el agregado de cama de pollo y cáscara de arroz evita la pérdida de materia orgánica y evita la degradación de las propiedades físicas del suelo, y que la adición de yeso fue efectiva en la disminución de la salinidad, pero no en el control de la sodicidad. Rotondo *et al.* (2009) evaluaron en un Argiudol vértico de Rosario el efecto de la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas sobre propiedades fisicoquímicas del suelo. Entre las enmiendas utilizadas incluyeron abono a base de estiércol de pollo en dosis de 2 kg/m<sup>2</sup> y concluyeron que luego de un ciclo de cultivo de brócoli, el pH y la conductividad eléctrica no manifestaron diferencias entre enmiendas. Aparicio *et al.* (2014), en Balcarce y Tres arroyos cuantificaron el efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades químicas en suelos bajo invernadero, utilizando agua de calidad C<sub>3</sub>S<sub>2</sub> y C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; hallaron que el pH y la CE se incrementaron en los primeros 10 cm respecto del testigo.

En la Provincia de La Pampa, la producción hortícola representó históricamente una actividad de escasa importancia, pero en los últimos años se ha incrementado el cultivo en forma sostenida, tanto bajo cubierta como al aire libre (Siliquini *et al.*, 2001). Según un informe elaborado por el Ministerio de Producción de La Pampa (2011), en la provincia hay una superficie cultivada total de aproximadamente 32 has a campo y 86.441 m<sup>2</sup> bajo cubierta. El 52% bajo cubierta se utiliza para la producción de lechuga, el 21% para la de acelga y 11% para la de tomate. Cerca del 90% de la superficie bajo cubierta posee riego por goteo, mientras que en los cultivos extensivos el método más utilizado es riego por surco, luego por secano, y finalmente en menor medida por goteo. Por otro lado, es destacable que la provincia tiene una demanda insatisfecha en calidad y cantidad de hortalizas, debido a que la producción local no supera al 5% del consumo provincial, con escasa tecnología y productividad, al tiempo que es creciente la tendencia del consumidor de adquirir hortalizas frescas, de calidad y sanitariamente seguras.

La lechuga es una de las hortalizas de hoja más cultivada bajo cubierta a causa de la rentabilidad que genera y la calidad que se obtiene del producto, además permite una continuidad en la producción durante todo el año, no sólo por el mayor rendimiento sino también por el acortamiento de su ciclo productivo. El cultivo de lechuga requiere de suelos ligeros, con buenos contenidos de materia orgánica, buena capacidad de retención de agua, buen drenaje y adecuada estructura, de modo de permitir el óptimo desarrollo del sistema

radicular. El pH ideal del suelo se encuentra en el rango de 6,6 a 7,8 (Balcaza, 2000); es un cultivo poco tolerante al exceso de sales, lo que provoca una disminución en sus rendimientos. Sainato *et al.* (2006) sostienen que cuando la CE del agua de riego es de  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$  y la CE del suelo en saturación es de  $2,7 \text{ dS m}^{-1}$  se obtienen rendimientos óptimos, mientras que cuando las CE respectivas ascienden a  $2,1$  y  $6,3 \text{ dS m}^{-1}$  su rendimiento disminuye un 25%. En general, la conductividad eléctrica del agua de riego para lechuga debería mantenerse en valores menores a  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$  ya que con una CE de  $1,4 \text{ dSm}^{-1}$  el rendimiento potencial del cultivo disminuye un 10 %.

En la provincia de La Pampa, el agua utilizada para riego en los emprendimientos productivos es mayormente de origen subterráneo (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011). En general, la calidad no es buena, son aguas salinas, bicarbonatadas-sódicas, con pH que rondan valores de 8-8,5 y conductividades eléctricas que van desde 1 a  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ , superando incluso en algunas zonas estos valores (Lang *et al.*, 2013). No obstante a esto, la mayoría de los productores, a pesar de realizar análisis de calidad del agua, no utilizan ninguna técnica para mejorar la aptitud del agua (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011)

Existen pocos trabajos en La Pampa que muestren el efecto que pueda llegar a tener el manejo, fundamentalmente del agua de riego, sobre las propiedades del suelo bajo invernadero. Estos hacen referencia principalmente al efecto del riego y del agregado de enmiendas sobre el rendimiento de los cultivos, entre los que se destacan Muguero *et al.* (2012), quienes evaluaron el efecto acumulado de la utilización de enmiendas incorporadas en suelos bajo cubierta, sobre el pH, la CE del suelo y el rendimiento del cultivo de lechuga. El ensayo se llevó a cabo en la localidad de Caleufú, sobre un suelo Haplustol éntico, con presencia de tosca a 80 cm. Luego de 3 ciclos de cultivo regados con aguas bicarbonatadas sódicas, los autores indicaron que el pH no se modificó en el tiempo evaluado, la CE disminuyó a partir del segundo ciclo de producción y la productividad del cultivo mejoró, confirmando el efecto positivo de las prácticas de manejo. También Collazo (2012) y Collazo *et al.* (2014), realizaron un estudio referido al efecto de dos abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo y sobre el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa L.* var. *brisa*) en un Haplustol éntico bajo cubierta, en el predio de la Facultad de Agronomía (UNLPam), utilizando para el riego el agua subterránea de la zona, clasificada como agua de mala calidad (C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>). Utilizaron un diseño experimental de tres tratamientos: T1: testigo sin

abonar, T2: suelo abonado con estiércol vacuno, T3: suelo abonado con compost, ambos con dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ . Al cabo de dos ciclos consecutivos de cultivo, concluyeron que el agregado de enmiendas no produjo diferencias significativas en las propiedades físicas y químicas (densidad aparente, materia orgánica, pH y CE) medidas en los primeros 20 cm del suelo. Estos resultados preliminares, fueron atribuidos al corto período de evaluación y a las condiciones edáficas óptimas al inicio del ensayo. Rebollo (2014) continuó con el ensayo realizando dos ciclos consecutivos más de cultivo de lechuga bajo cubierta y tampoco encontró diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo en ninguno de los ciclos analizados individualmente. Sin embargo entre ciclos, registró un incremento de P, MO y CE en T3, un incremento del rendimiento en T2, y un incremento de pH en T1 en el ciclo 4 respecto al ciclo 3, mostrando una dinámica compleja en la influencia de las diferentes variables del suelo analizadas en el rendimiento del cultivo. Analizando los cuatro ciclos en conjunto, la autora registró un proceso de salinización edáfico como consecuencia fundamentalmente del riego con agua de mala calidad, que podría incluso acentuarse con la aplicación continua de enmiendas, especialmente en las de tipo T3.

En cuanto a la influencia del riego con aguas bicarbonatadas sódicas sobre el cultivo, Carassay *et al.* (2013) evaluaron el efecto de la salinidad sobre las variables de crecimiento en la variedad de lechuga crespa más cultivada en La Pampa, analizando peso fresco y seco, curvas de crecimiento y número de hojas. Luego de un ciclo de 48 días registraron que las variables mencionadas fueron superiores en el invernadero (control) en el que se regó con agua tratada a través de ósmosis inversa respecto al invernadero donde se aplicó tratamiento salino.

Finalmente, es destacable que, como se deduce de los trabajos mencionados, en general se estudian los cambios en las propiedades de los primeros centímetros del suelo y se presta menos atención al estudio de sectores más profundos del mismo, que pueden ayudar a explicar cómo la dinámica de sales, nutrientes y/o propiedades físicas del suelo pueden también ser afectadas por el uso y manejo del suelo.

En base a lo anteriormente citado, dada la escasez de estudios que evalúan el impacto del riego sobre propiedades de suelos en producciones intensivas de invernadero en nuestra provincia, es importante realizar localmente estudios para desarrollar estrategias de manejo y recuperación de suelos, y en vistas de un aumento potencial de la actividad hortícola en la provincia, es relevante analizar los cambios producidos en el suelo en el mediano-largo plazo.

## Objetivos e Hipótesis

En base a lo expuesto, en este trabajo se plantea evaluar el efecto acumulado en el corto plazo del manejo sobre el perfil de salinidad y otras propiedades químicas relacionadas en suelos bajo cubierta, bajo la hipótesis de que el riego y otras prácticas de manejo modificarán las propiedades químicas (pH, CE, Na, Ca y Mg, RAS y PSI) del perfil de suelo respecto al suelo natural.

## Alcances del presente estudio

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se podrán complementar los resultados previos realizados por Collazo (2012) y Rebollo (2014), los que se abocaron solamente a los primeros centímetros del suelo. Por otro lado, se podrá comparar el impacto de diferentes manejos, que incluyen fundamentalmente diferentes calidades de agua y diferentes abonos, sobre el mismo suelo y con el mismo cultivo, luego de un tiempo de uso muy similar. Así también se pretende evaluar preliminarmente el alcance de tecnologías aplicadas como es en este caso el uso del sistema de ósmosis inversa como herramienta de mejoramiento de la calidad del agua e indirectamente de mantenimiento del sistema productivo sostenible para la región.

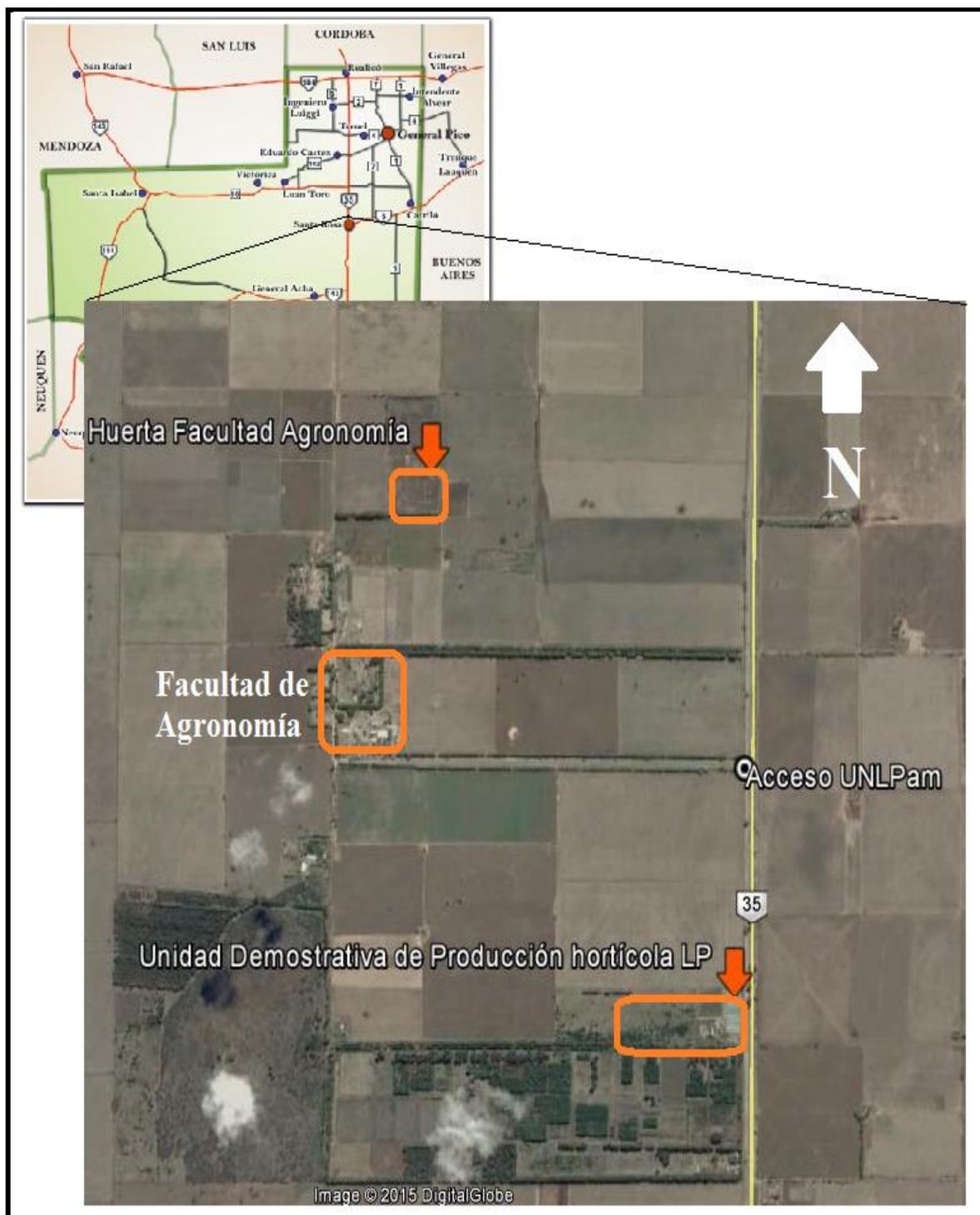
Se espera aportar conocimiento aplicable a mejorar la sustentabilidad de los sistemas hortícolas, a partir de conocer el grado de degradación de los mismos por el uso actual y desde allí poder “ajustar” un manejo más adecuado, considerando que en el área de estudio existen emprendimientos y huertas familiares que llevan a cabo esta actividad.

## MATERIALES Y METODOS

### *Ubicación del área de estudio*

El estudio se llevó a cabo en la Huerta de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, ubicada sobre la Ruta Nacional N° 35, km 334; y en la Unidad Demostrativa de Producción Hortícola ubicada también sobre la Ruta Nacional N°35, a 10 km al norte de la Ciudad de Santa Rosa en el departamento Capital de la provincia de La Pampa.

De acuerdo a Cano *et al.*, (1980), el área de estudio se enmarca en la Unidad Cartográfica de la planicie con tosca de Castex y Winifreda (Figura 1).



**Figura 1:** Ubicación del área de estudio. (UNLPam: Universidad Nacional de La Pampa).

## ***Descripción del área de estudio***

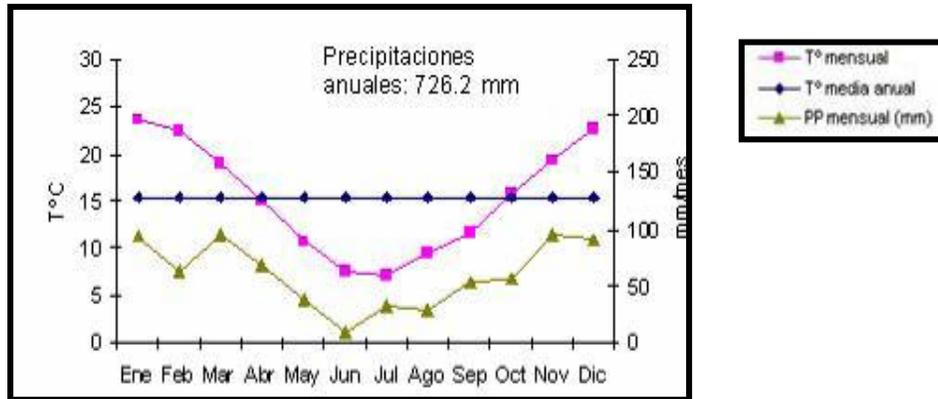
### **-Características de los suelos**

El suelo dominante, en casi un 80 % de la Unidad cartográfica, es un Haplustol éntico, familia franco gruesa, mixta, térmica con una secuencia de horizontes típica A-AC-Ck-2Ckm. Se desarrolla en una planicie de relieve subnormal con muy bajo gradiente. Pequeñas depresiones y lagunas salinizadas se encuentran dispersas en todo el área. El manto de tosca se encuentra cubierto por sedimentos de origen eólico y textura franco arenosa, de profundidad variable entre 60 y 120 cm. En algunos casos la tosca incluso puede aflorar. Más específicamente, en el Departamento Capital los suelos presentan en el horizonte superficial pH ligeramente ácido, un contenido de materia orgánica que oscila, en promedio, entre 1,5 % y 2 %, y un contenido promedio de nitrógeno de 0,10 % (Martínez *et al.*, 1972). El carbonato de calcio no aparece en superficie, sino a mayor profundidad diseminado en la masa. El contenido de sales solubles es bajo y no representa ninguna limitación para el normal desarrollo de las especies vegetales. En cuanto al uso actual de la tierra, las mismas se destinan a la explotación agropecuaria con predominio de la agricultura.

### **-Características climáticas**

El clima es templado y semiárido, con precipitaciones estacionales y grandes amplitudes térmicas a lo largo del año, con una época de heladas que se extiende de abril a noviembre. La temperatura media anual varía de 16 a 15° C de norte a sur, siendo enero el mes más cálido con una temperatura media entre 23 y 25° C, y julio el mes más riguroso con una temperatura media entre 7° y 9° C (Figura 2).

Las mayores precipitaciones se producen de octubre a marzo siendo la precipitación media anual de 726 mm, existiendo un importante déficit hídrico de noviembre a febrero (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación, 2007).



**Figura2:** Climodiagrama Santa Rosa, Distrito del Caldén.

Fuente: Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación, 2007.

### -Características hidrológicas

Respecto al agua subterránea utilizada para riego, esta es captada del acuífero Toay-Santa Rosa-Anguil-Catriló que se desarrolla entre las localidades mencionadas y tiene un ancho medio de 10 Km (Giai y Tullio, 1998). El basamento hidrológico se ha alcanzado en Santa Rosa, donde es de carácter granítico y se encuentra a 144 m de profundidad. La hidráulica se restringe a los 100 m superiores, que contienen al acuífero apto para los usos más restrictivos. Los caudales específicos extremos alcanzan a 5,8 y 0,2 m<sup>3</sup>/hm, pero puede generalizarse que varían entre 0,4 y 1,1 m<sup>3</sup>/hm (Cavalié, 1979). También puede mencionarse que por lo general son superiores en el tramo más superficial, como consecuencia de la menor compactación de la roca almacén. Los niveles estáticos se encuentran entre 6,5 y 11 m en la parte cercana a Anguil, notándose una tendencia a hacerse menos profundos hacia el este, donde típicamente se lo encuentra entre 4 y 6 m. En el entorno de Santa Rosa se presenta bastante más profundo, llegando hasta 45 m en el área urbana, consecuencia de la sobreexplotación. En las cercanías de las baterías de perforaciones, aunque no puedan considerarse sobreexplotadas, los niveles estáticos suelen encontrarse más profundos.

La conformación de la superficie freática condiciona el contenido salino, de manera que se alternan zonas de baja salinidad coincidentes con aquellas de buena infiltración, con otras de alto contenido salino (hasta 10 g/l), en zonas de descarga local. Valores típicos para áreas de buena calidad, muestran valores de 0,84 g/l en los 30 m superiores, para llegar a los 2,3 g/l

sobre la base de la intercalación arcillosa. Por debajo de la misma el contenido salino es muy superior (Giai y Tullio, 1998).

El agua utilizada en la huerta de la facultad se caracteriza según el diagrama de Riverside como de tipo  $C_4S_3$ , es decir de alta salinidad y sodicidad, por lo que no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, aunque puede utilizarse ocasionalmente en cultivos tolerantes. En la Unidad Demostrativa de Producción Hortícola de la Provincia de la Pampa el agua subterránea se mezcla con agua tratada en una planta de ósmosis inversa que permite mejorar la calidad del agua de riego, obteniendo un agua de tipo  $C_3S_2$ .

### ***Características del ensayo***

El ensayo se llevó a cabo en dos macro-túneles, uno dentro de las instalaciones de la Huerta de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, y el otro dentro de la Unidad Demostrativa de Producción Hortícola, también perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Este último se incorporó al estudio a fin de poder evaluar el impacto del riego en el mismo suelo pero con agua de diferente calidad, en virtud de contar con un tratamiento de la misma por el proceso de ósmosis inversa.

En el primer túnel se distribuyeron tres platabandas de 1 m de ancho por 25 m de largo, ubicadas en dirección Norte-Sur, en las que se implantó un cultivo de Lechuga crespa (*Lactuca sativa* L. var *crispa* cv *Brisa*) como se observa en la Foto 1.



**Foto1:** Foto del macro-túnel donde se realizó la experiencia con plantación de lechuga. Huerta Facultad de Agronomía, UNLPam.

En el segundo túnel se distribuyeron tres platabandas de 1 m de ancho por 50 m de largo, ubicadas en dirección Este-Oeste, en las que se implantó el mismo cultivo de Lechuga cresa (*Lactuca sativa* L. var *crispa* cv *Brisa*) como se observa en la Foto 2.



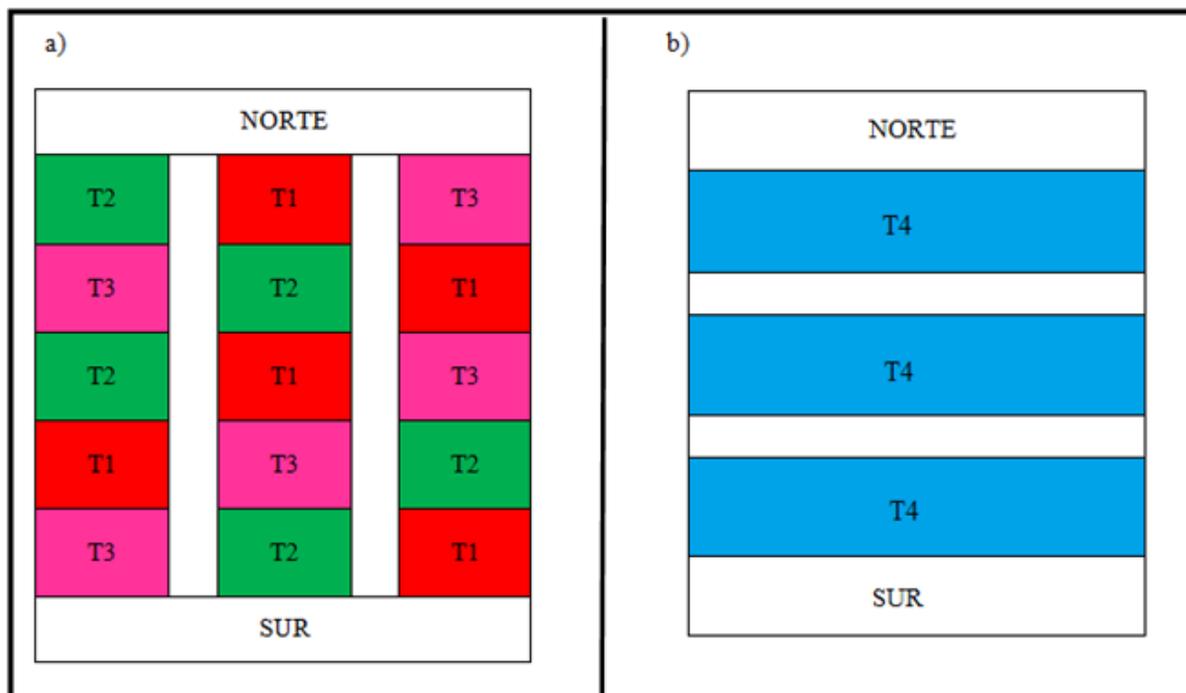
**Foto 2:** Foto del macro-túnel donde se realizó la experiencia con plantación de lechuga. Invernáculo N° 13 de la Unidad Demostrativa de Producción Hortícola.

Para el riego se utilizó un sistema de riego por goteo. Se colocaron dos cintas de riego por platabanda separadas entre sí 0,50 m. El riego se aplicó en forma manual y a criterio del productor, aproximadamente una vez al día durante 15 minutos de riego, equivalente a un volumen de 2,6 l/m<sup>2</sup>. Para el caso de la Huerta Facultad, estos volúmenes de riego se ajustaron al último ciclo de cultivo, siendo inferior el volumen aportado en los ciclos anteriores, es decir que las láminas de riego fueron comparables sólo en el último ciclo.

En el túnel de la huerta facultad, se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con 3 tratamientos; T1: suelo sin abonar regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T2: suelo abonado con estiércol vacuno, dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> y T3: abonado con compost, dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>. En el túnel de la unidad demostrativa se incluyó un cuarto tratamiento: T4: abonado con cama de pollo, dosis de 1,5 kg/m<sup>2</sup> regado con agua clasificada como C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>. A los mismos se suma el suelo natural (SN) como testigo.

En la Figura 3 se muestra un esquema de la distribución de los tratamientos en la huerta de la facultad (Figura 3a), en donde cada tratamiento contempló 5 repeticiones; y en la unidad demostrativa (Figura 3b). Cada parcela constó de 5 m de largo por 1 m de ancho. Se diferenciaron los tratamientos colocando estacas que indicaban el inicio y la finalización de cada uno de ellos.

Los abonos utilizados en T2 y T3 fueron compostados previamente por Collazo (2012). En cuanto a T2, el abono estuvo conformado por estiércol de vaca recolectado del tambo de la Facultad de Agronomía, mientras que el abono utilizado en T3 estuvo conformado por desechos orgánicos domiciliarios y estiércol de vaca en partes iguales. El abono utilizado en T4 estuvo conformado por estiércol de gallina (cama de pollo) estacionado a la intemperie durante aproximadamente 6 meses.



**Figura 3:** Plano del diseño del ensayo. **a) Huerta facultad:** T1: suelo sin abonar regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T2: abonado con estiércol vacuno, dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> y T3: abonado con compost, dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> regado con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; **b) Unidad demostrativa** T4: abonado con cama de pollo, dosis de 1,5 kg/m<sup>2</sup> regado con agua clasificada como C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>.

### *Características del agua de riego*

El agua utilizada para el riego en ambos casos, es agua subterránea. En el caso del sitio Huerta Facultad se utiliza sin tratamiento alguno y en el caso del sitio Unidad Demostrativa, se realizó tratamiento de ósmosis inversa. En la Tabla 1 se muestran las características fisicoquímicas del agua utilizada en ambos sitios.

**Tabla 1.** Análisis actualizado de Agua: Huerta Facultad y Unidad Demostrativa de Producción Hortícola. Obtenido de Sánchez *et al.* (2013).

	Huerta Facultad	Unidad Demostrativa
<b>Total de sólidos disueltos 100-105 °C</b>	1500 mg dm <sup>-3</sup>	650 mg dm <sup>-3</sup>
<b>Aniones</b>		
<b>Cloruros</b>	261 mg dm <sup>-3</sup>	174 mg dm <sup>-3</sup>
<b>Sulfatos</b>	480 mg dm <sup>-3</sup>	288 mg dm <sup>-3</sup>
<b>Carbonatos</b>	No detectados	No detectados
<b>Bicarbonatos</b>	463 mg dm <sup>-3</sup>	4,20 mg dm <sup>-3</sup>
<b>Cationes</b>		
<b>Calcio</b>	17 mg dm <sup>-3</sup>	16 mg dm <sup>-3</sup>
<b>Magnesio</b>	30,4 mg dm <sup>-3</sup>	19 mg dm <sup>-3</sup>
<b>Sodio</b>	477 mg dm <sup>-3</sup>	195 mg dm <sup>-3</sup>
<b>pH (25°C)</b>	7,81	6,61
<b>C.E (Conductividad Eléctrica) 25 °C</b>	2,09 dS m <sup>-1</sup> /2,37dS m <sup>-1</sup> *	1.00 dS m <sup>-1</sup>
<b>Valor RAS</b>		
<b>(Relación de adsorción de sodio)</b>	16,1	7,8
<b>Valor RAS (corregido)</b>	13,9	----
<b>CSR (carbonato de sodio residual)</b>	4,21	----

\*(Datos tomados de Belcher y Ponce, 2011).

Para la clasificación de agua de riego se utilizó el diagrama de Riverside propuesto por Richards (1977) que tiene en cuenta los parámetros CE y RAS. En base al mismo, el agua utilizada se clasificó como: C<sub>4</sub> S<sub>3</sub> en la Huerta Facultad y como C<sub>3</sub>S<sub>2</sub> en la Unidad Demostrativa con las siguientes caracterizaciones: C<sub>4</sub>: “No apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede utilizarse ocasionalmente. Se deben seleccionar cultivos tolerantes a sales; S<sub>3</sub>: Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que estos requerirán prácticas especiales de manejo como buen drenaje y adiciones de materia orgánica. C<sub>3</sub>: agua de salinidad media; S<sub>2</sub>: agua con mediano peligro de sodificación, aptas para suelos de textura gruesa o suelos orgánicos con buena permeabilidad”.

### ***Muestreo de suelo y determinaciones de laboratorio***

A fin de evaluar el efecto acumulado del manejo en el perfil del suelo, el muestreo del mismo se realizó luego de un año de uso de ambos túneles, inmediatamente después de la

cosecha de lechuga, en cada uno de los tratamientos, es decir al finalizar el ensayo de Rebollo (2014). Se tomaron muestras compuestas del suelo integradas cada una por 5 submuestras, utilizando un barreno-muestreador. Las muestras se tomaron desde la superficie hacia la base de perfil hasta 90 cm de profundidad, cada 10 cm (de 0-10; 10-20; 20-30;...; y 80-90 cm) y se colocaron en bolsas plásticas debidamente identificadas para el posterior análisis en el laboratorio. Este mismo muestreo se realizó además en el suelo prístino, en el predio aledaño a los invernaderos ensayados.

Las muestras, previamente secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm, se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. A continuación se describen las determinaciones fisicoquímicas realizadas y las técnicas empleadas.

- 1- pH en pasta: por el método potenciométrico.
- 2- Conductividad Eléctrica en extracto de pasta saturada. Se utilizó conductímetro y se corrigió el valor de CE a 25°C (CEc).
- 3- Determinación de Sodio del extracto de saturación mediante medición por fotometría de llama.
- 4- Determinación de Calcio y Magnesio del extracto de saturación, por titulación con EDTA.
- 5- Determinación de la Relación de adsorción de sodio (RAS) del extracto de saturación del suelo.
- 6- Determinación del Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) a partir de la fórmula empírica de Gapon.

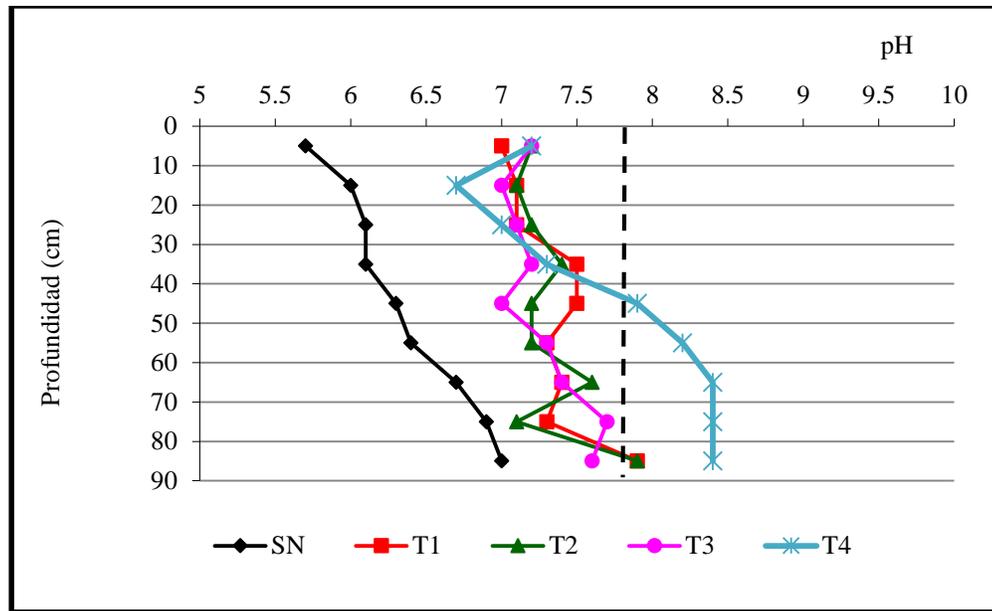
$$\text{PSI} = [100(-0,0126 + 0,01475 X)] / [1+(-0,0126 + 0,01475 X)];$$

donde X = RAS

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ❖ pH

Cuando fue analizado el pH se observó que el suelo natural presentó rangos moderadamente ácidos a neutros en todo el perfil con valores entre 5,7 y 7 registrándose un incremento gradual desde los primeros centímetros hasta la base del perfil (Figura 4).



**Figura 4:** Comportamiento de la variable pH en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T3: abonado con compost, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>. Línea punteada: límite para desarrollo óptimo del cultivo.

En los tratamientos bajo riego con agua clasificada como C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> se observaron valores de pH claramente superiores en todo el perfil, variando desde rangos neutros en los primeros 30 cm a alcalinos en la base del perfil. Dichos incrementos de pH correspondieron a 1,5 y 0,9 unidades respectivamente. En T1 se registró pH neutro en los primeros 30 cm, a partir de los 40 cm se incrementa a pH ligeramente alcalinos (7,5) y a alcalinos en profundidad (7,9). T2 en los primeros 30 cm registró pH neutro (7,1-7,2) y alcalino en profundidad (7,9). T2 en los primeros 30 cm registró pH neutro (7,1-7,2) y alcalino en profundidad (7,9). En T3 el pH fue más estable, con valores neutros (cerca de 7,2) hasta 60 cm de profundidad, y un ligero incremento hasta pH moderadamente alcalino (7,4 a 7,7) a mayores profundidades.

En comparación con los tratamientos anteriores, T4 también registró pH neutro (7,2) en los primeros 50 cm del perfil, aunque con una disminución relativa de pH a valores de 6,7 a 20 cm de profundidad. En profundidad, en cambio, se registraron pH alcalinos (7,9-8,4), destacándose un mayor incremento en este sector del perfil respecto al suelo natural. Teniendo en cuenta que el cultivo de lechuga presenta un desarrollo óptimo en rangos de pH del suelo entre 6,6 y 7,8 (Balcaza, 2000), se observó en todos los tratamientos que en los primeros 40 cm de profundidad los valores determinados estaban situados dentro de los valores deseados. Si bien a partir de 50 cm se observó un aumento de la variable, superando los rangos de pH ideales para el desarrollo del cultivo, este efecto no se considera importante ya que estaría fuera de la zona de influencia radicular del cultivo de lechuga. No obstante, otros cultivos que forman parte de la rotación de cultivos de invernadero, podrían verse afectados.

En la Figura 4 se puede apreciar el efecto de la calidad del agua de riego y del abonado sobre el pH del suelo. Se evidencia que la mala calidad del agua de riego es responsable del incremento del pH. Al mismo tiempo, como se muestra más adelante, el aumento de pH estaría relacionado a la influencia del  $\text{Na}^+$  y del bicarbonato aportados por el agua de riego que en base a sus características químicas es considerada bicarbonatada sódica (Balcaza, 2003). El agregado de abonos en cambio, habría provocado un efecto mínimo. Al respecto, Rebollo (2014) registró en este mismo suelo, en los primeros 20 cm de profundidad, un incremento de pH por efecto del riego en T1, variando de 6,8 en el tercer ciclo de cultivo a 7,4 en el cuarto ciclo, mientras que T2 y T3 no registraron diferencias entre ciclos. La autora interpretó que el agregado de abonos habría contrarrestado el cambio en el pH del suelo.

Alconada *et al.* (2001) relacionaron la degradación físico-química del suelo bajo producción en invernáculo con la calidad de agua subterránea utilizada para riego. El estudio se realizó sobre un Haplacuert de la localidad de La Plata utilizando agua clasificada como  $\text{C}_2\text{S}_2$  durante diez años de cultivo de tomate. Hallaron incrementos de pH de 2,3 unidades (4,95 a 7,3) entre 0-15 cm, y de 1,7 unidades (4,95 a 6,7) entre 15-30 cm.

Incluso en situaciones de riego complementario, se registraron similares resultados al analizar el comportamiento del pH del suelo por ejemplo, Génova (2006), estudió el efecto sobre suelos Argiudoles y Hapludoles pampeanos regados complementariamente entre 1986 y 2005 con aguas bicarbonatadas sódicas, y concluyó que los valores de pH en los horizontes superficial y sub superficial registraron un aumento de 5,9 a 6,24 y de 6,2 a 6,43 respectivamente. Además, Andriani (2009) estudió el impacto del riego complementario con

agua subterránea durante 4 años sobre las propiedades edáficas de un Hapludol típico en la provincia de Santa Fe y concluyó que la utilización de agua subterránea para riego con un RAS entre 16 y 25 produjo un aumento en los valores de pH actual de hasta 1,2 unidades (5 a 6,1) en los primeros 20 cm del suelo.

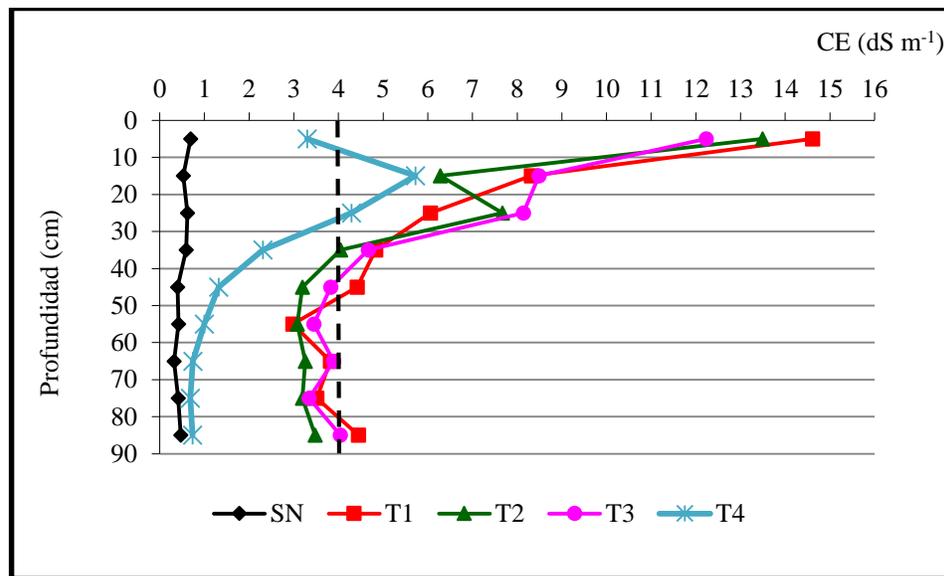
#### ❖ Conductividad Eléctrica (CE)

La salinidad del suelo se evaluó a través de la conductividad eléctrica. En la Figura 5 se observa el comportamiento de la CE en profundidad, en el suelo natural y en los suelos bajo tratamiento. SN registró valores similares y muy bajos a lo largo del perfil, inferiores a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ . En cambio, en todos los tratamientos regados con  $\text{C}_4\text{S}_3$  la CE fue muy alta en los primeros centímetros y luego disminuyó hacia la base del perfil pudiendo diferenciarse claramente tres sectores: el primero, de 0 a 10 cm de profundidad, caracterizado por muy altos valores de CE que oscilaron entre 12 y  $14 \text{ dS m}^{-1}$ ; el segundo, de 10 a 30 cm, con valores de alta CE entre 6 y  $8 \text{ dS m}^{-1}$  y el tercer sector, de 40 a 90 cm, con valores normales (no salinos) de alrededor de  $3 \text{ dS m}^{-1}$ . Un rasgo particular de la curva de CE se insinúa hacia la base del perfil, donde se observa un leve incremento de los valores que podría indicar una acumulación relativa de sales asociada a la presencia de la “tosca”, que obstaculiza el lixiviado natural. En este sentido, se hipotetizó que en algún momento previo a la colocación del invernadero habría existido un lavado natural, por agua de lluvia, de las sales del suelo acumuladas por el riego.

En T1 la CE varió entre  $2,98 \text{ dS m}^{-1}$  y  $14,61 \text{ dS m}^{-1}$ , en T2 entre  $3,08 \text{ dS m}^{-1}$  y  $13,49 \text{ dS m}^{-1}$  y en T3 entre  $3,34 \text{ dS m}^{-1}$  y  $12,23 \text{ dS m}^{-1}$ . En cuanto a las diferencias porcentuales respecto al suelo natural, se destacan diferencias máximas que alcanzaron a 2017 % en T1, es decir que la CE aumentó más de 20 veces respecto a SN en los primeros 10 cm de profundidad.

Entre tratamientos con riego con agua  $\text{C}_4\text{S}_3$ , se observó una ligera disminución de los valores de CE en los suelos abonados respecto al suelo sin abonar, particularmente en T2, tal como se observa en la Figura 5. Rebollo (2014) registró, en este mismo suelo, que la CE alcanzó máximos de  $10 \text{ dS m}^{-1}$  en los primeros 20 cm como consecuencia del efecto acumulado del riego de 4 ciclos consecutivos de cultivo. Estos valores si bien son inferiores a los máximos aquí registrados se relacionan con un efecto de “dilución” de los valores producto de considerar diferentes rangos de profundidades. Por otro lado destacó que T2 poseería un efecto amortiguador del aumento de la CE influenciado por el agregado de abono.

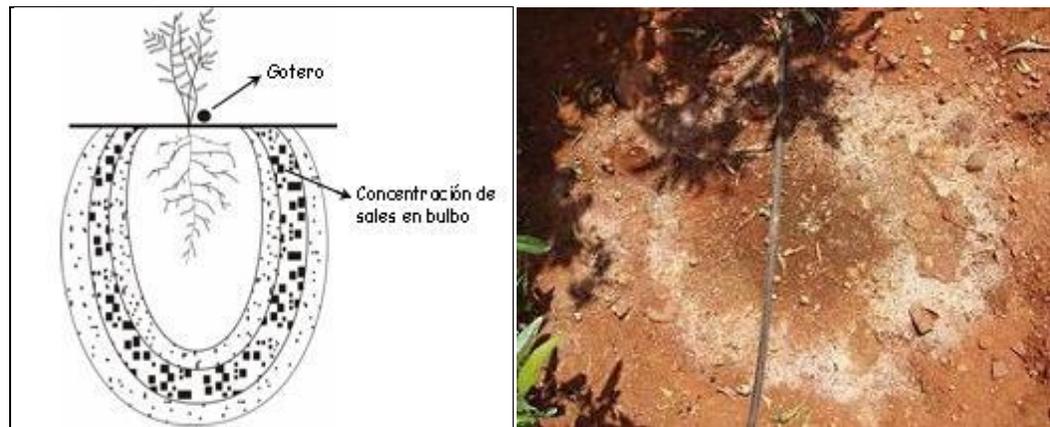
En T4 se observaron valores de CE claramente inferiores a los registrados en los tratamientos T1, T2 y T3, a lo largo de todo el perfil del suelo, mostrando la influencia positiva del riego con agua tratada con ósmosis respecto al riego con agua sin tratar. Los valores máximos no superaron los 6 dS m<sup>-1</sup> y se asociaron a los primeros 30 cm de profundidad. A partir de esta profundidad los valores registrados fueron inferiores a 2 dS m<sup>-1</sup> y se atenuaron gradualmente hacia la base del perfil asemejándose a los valores de SN.



**Figura 5:** Comportamiento de la variable CE en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T3: abonado con compost, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>. Línea punteada: valor límite para clasificar suelos salinos.

Cabe destacar en T4 un marcado aumento de la CE de 10 a 20 cm de profundidad. Este mismo comportamiento se observó además con la variable pH, podría estar vinculado a la existencia del bulbo de riego que mantiene una humedad uniforme cercano a la capacidad de campo. Como se observa en la Figura 6, el efecto que produce el bulbo húmedo es mantener las sales del suelo y las aportadas por el agua de riego disueltas en el agua del suelo distanciadas de las raíces para evitar el contacto. La concentración de sales va aumentando progresivamente hacia la periferia del bulbo y la planta desarrolla sus raíces sin dificultad en el centro, donde la concentración es menor. En cambio, la acumulación de sales en T1 en los primeros centímetros podría obedecer a que el bulbo de riego no se haya formado

adecuadamente producto de una baja frecuencia de riego, lo que ocasiona un ascenso de sales por evaporación.



**Figura 6:** Esquema y foto de la distribución de sales en un bulbo de riego por goteo.

Fuente: [ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal).

En T4 la CE aumentó 5 veces respecto a SN en los primeros 10 cm, sin embargo fue un valor claramente menor en comparación al de T1. Teniendo en cuenta que otros autores no encontraron diferencias en la CE del suelo luego de aplicar abono a base de estiércol de pollo en dosis de  $2 \text{ kg/m}^2$  (Rotondo *et al.*, 2009), estos resultados se asociarían a la conductividad eléctrica del agua de riego utilizada en cada sitio, es decir  $2,09 \text{ dS m}^{-1}$  en T1 y  $1 \text{ dS m}^{-1}$  en T4, equivalente a un contenido de sales totales de  $1500$  y  $650 \text{ mg/dm}^3$  respectivamente. Considerando estos valores, se estarían agregando  $1,5 \text{ g}$  de sales por litro en T1, es decir que en un promedio de  $2,6 \text{ l/m}^2/\text{día}$ , se aportarían un total de  $3,9 \text{ g/m}^2/\text{día}$  de sales y un total de  $1,4 \text{ kg/m}^2$  al año. En cambio, en T4 se agregarían  $0,650 \text{ g}$  de sales totales por litro, que aportarían con el mismo volumen de agua  $1,7 \text{ g/m}^2/\text{día}$  de sales y en el año un total de  $0,62 \text{ kg/m}^2$ .

Estos valores nos llevan a la importancia de la sistematización del riego como técnica de manejo del agua, tendiente a minimizar el impacto negativo del riego sobre el suelo, y a una utilización más eficiente del recurso. En este caso, la aplicación de menos volumen de agua también beneficia al suelo ya que se reduce la incorporación de sales en el perfil.

Teniendo en cuenta que el valor de CE límite para considerar a un suelo salino es de  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , se comprobó que todos los tratamientos regados con  $\text{C}_4\text{S}_3$  estuvieron por encima de ese valor hasta inclusive una profundidad de  $40 \text{ cm}$ , mostrando un proceso de salinización notorio del suelo producto del uso de agua de mala calidad.

Claramente el efecto del manejo en la salinización del suelo se asoció a los primeros 40 cm de profundidad, y particularmente a los primeros 10 cm de profundidad, extendiéndose este efecto a todo el perfil del suelo cuando el agua de riego fue más limitante (T1).

Por otro lado, considerando que a partir de valores de CE en el suelo de  $2,7 \text{ dS m}^{-1}$  declina el rendimiento de lechuga (Sainato *et al.*, 2006), los valores aquí registrados implicarían disminuciones en el mismo de más de 25 % ( $\text{CE} > 6,3$ ). No obstante, aunque el rendimiento del cultivo no se vio particularmente afectado, teniendo en cuenta que los rendimientos obtenidos en T1 fueron similares a los valores medios obtenidos en la región (Rebollo, 2014) debe destacarse que cuando se evaluaron parámetros del cultivo (curvas de crecimiento), sí se encontraron diferencias significativas en T1 respecto de T4 (Carassay *et al.*, 2013).

En base a los resultados, se infiere que conductividad estaría básicamente relacionada con la calidad del agua de riego notándose esta diferencia en los mayores valores arrojados en T1, en el cual el agua utilizada para riego no contó con tratamiento de ósmosis.

Estos resultados coinciden con los de Aparicio *et al.* (2014), quienes cuantificaron el efecto de la calidad del agua de riego sobre propiedades químicas en suelos bajo invernadero en Balcarce y Tres arroyos. Utilizaron agua de calidad  $\text{C}_3\text{S}_2$  y  $\text{C}_4\text{S}_3$  y hallaron que la CE varió entre diferentes profundidades, detectándose siempre la mayor CE entre 0-10 cm de profundidad ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ). También Alconada *et al.* (2001) al relacionar la degradación físico-química del suelo con producción en invernáculo y la calidad del agua subterránea utilizada para riego, hallaron un aumento significativo de la CE respecto a la condición natural. Partiendo de valores de  $0,88 \text{ dS m}^{-1}$ , la variable se incrementó a  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$  en los primeros 15 cm y a  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$  de 15 a 30 cm de profundidad en un Haplacuert de La Plata donde se utilizó agua clasificada como  $\text{C}_2\text{S}_2$  para regar durante diez años un cultivo de tomate.

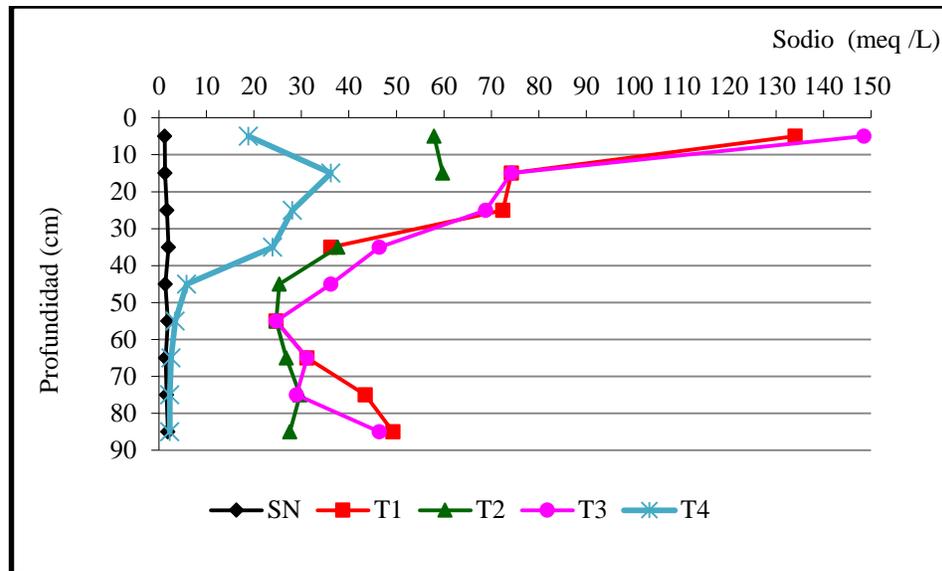
Por otro lado, Balcaza (2003) analizó dos situaciones de suelos bajo riego en invernadero: 3 años y 12 años de riego con agua bicarbonatada sódica, comparadas con el suelo natural. Evidenció que la CE en los primeros 20 cm de suelo se incrementó de  $0,84$  a  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  luego de 3 años de riego y a  $9 \text{ dS m}^{-1}$  luego de 12 años de riego a causa de los aportes de fertilizantes y el empleo del agua de riego.

## ❖ Sodio

Los valores de  $\text{Na}^+$  fueron muy similares y extremadamente bajos en el perfil correspondiente a SN (Figura 7). Los mismos no superaron los 2 meq/L, en cambio, todos los tratamientos bajo riego con  $\text{C}_4\text{S}_3$  presentaron un marcado incremento de los valores de  $\text{Na}^+$  en todo el perfil del suelo, particularmente en los primeros 10 cm, en los que T1 y T3 registraron valores máximos de 138,06 meq/L y 148,55 meq/L respectivamente. Estos valores corresponden a incrementos de hasta 120 veces respecto a SN. Por debajo de 10 cm y hasta 30 cm de profundidad se registraron valores relativamente más bajos, aunque aún elevados, cercanos a 70 meq/L y valores de alrededor de 25 meq/L desde 30 cm de profundidad hasta la base del perfil. En los últimos 10 cm del perfil, al igual que lo observado en la curva de CE, se registró un incremento de  $\text{Na}^+$  que alcanza a 50 meq/L, que podría ser producto del efecto de la presencia de tosca, que obstaculiza el lavado.

Entre tratamientos abonados, se destacan los menores valores de  $\text{Na}^+$  registrados en T2 en los primeros 20 cm del perfil particularmente en los primeros 10 cm donde alcanzaron a 57,97 meq/L.

En cambio, cuando el suelo fue regado con agua de mejor calidad relativa, en T4, se constató un incremento de los valores de sodio en los primeros 40 cm del perfil de suelo, con máximos que no se asociaron a los primeros 10 cm del suelo sino a 20 cm de profundidad producto de la influencia del bulbo de riego. Hacia la base del perfil, por debajo de 40 cm los valores de  $\text{Na}^+$  fueron muy similares a los del perfil natural (Figura 7). En cuanto a los valores, también se destaca de la comparación con T1, T2 y T3, que los valores de  $\text{Na}^+$  fueron relativamente más bajos, con máximos de 36,23 meq/L en los primeros 40 cm del suelo y valores inferiores a 6 meq/L a mayores profundidades. No obstante los menores valores relativos registrados, debe considerarse que los mismos son altos teniendo en cuenta el corto período de riego acumulado.



**Figura 7:** Comportamiento de la variable Sodio en el perfil del suelo en los tratamientos analizados; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con  $C_4S_3$ ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con  $C_4S_3$ ; T3: abonado con compost, regado con  $C_4S_3$  y T4: abonado con cama de pollo, regado con  $C_3S_2$ .

Estos resultados coinciden con los hallados por Alconada *et al.* (2001), quienes estudiaron el efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades físico-químicas del suelo bajo invernáculo utilizando agua clasificada como  $C_2S_2$  durante 10 años de cultivo de tomate y hallaron valores máximos de  $Na^+$  de 16,3 meq/L y de 8,2 meq/L a 0-15 y 15-30 cm de profundidad respectivamente, que provocaron un aumento significativo de la RAS respecto a la condición natural.

Balcaza (2003) observó que la concentración de  $Na^+$  en los primeros 20 cm del suelo incrementó de 0,1 meq/100g a 2,8 meq/100g luego de 3 años de uso bajo invernáculo regado con agua bicarbonatada sódica, manteniéndose este valor máximo luego de 12 años de uso acumulado.

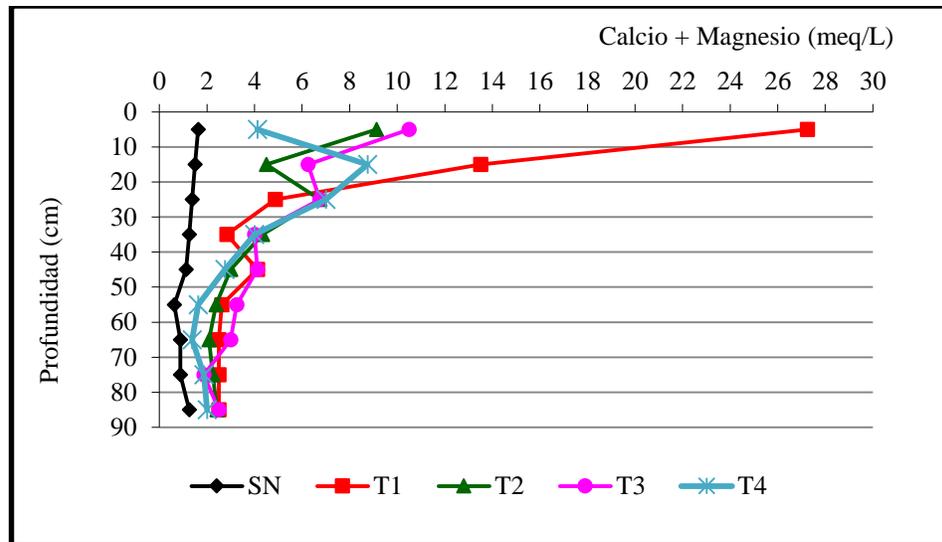
También Vázquez *et al.* (2006), comprobaron en un Udipsament típico de la provincia de Buenos Aires, el incremento de sodio en el suelo regado durante tres años con agua clasificada como  $C_2/C_3S_1$  respecto del suelo testigo. El análisis se realizó a 3 profundidades diferentes 0-20 cm; 20-40 cm y 40-60 cm en las cuales los valores de  $Na^+$  registrados en la solución del suelo rondaron 1,6 meq/L respecto del testigo que registró 0,8 meq/L. En otro trabajo más reciente Vázquez *et al.* (2008) simularon sobre el mismo suelo el efecto del riego

durante 10 años con agua clasificada como  $C_1/C_2S_2$  y hallaron un fuerte incremento de  $Na^+$ , variando de 0,3 meq/L a 4,5 meq/L. De igual manera, Marano y Pilatti (2000) quienes evaluaron efectos sobre un Argiudol con cinco años de riego suplementario en Santa Fe utilizando aguas bicarbonatadas sódicas, hallaron que en el horizonte superficial y subsuperficial el  $Na^+$  acumulado fue 1,4 y 1,6 meq/100g respectivamente, comparado con la condición de secano que registró 0,4 meq/100g para el horizonte superficial y 0,3 meq/100g para el horizonte subsuperficial.

#### ❖ Calcio y Magnesio

En la Figura 8 se observa la concentración de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  a lo largo del perfil de suelo para los diferentes tratamientos analizados. En el suelo natural, los valores registrados no varían prácticamente con la profundidad, manteniéndose cercanos a los 2 meq/L en todo el perfil. En cambio, todos los tratamientos bajo riego registraron un incremento de estos cationes, respecto a SN, principalmente T1. El mismo fue de 17 veces en los primeros 10 centímetros, y de 9 veces de 10 a 20 cm de profundidad. A profundidades por debajo de 20 cm las concentraciones de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  descienden a valores muy similares a SN, entre 3 y 5 meq/L. Por otro lado, respecto a los tratamientos abonados, se observó que si bien T2 y T3 presentaron una tendencia similar a T1, es decir de una disminución de la concentración de cationes con la profundidad, los valores fueron claramente menores en los primeros 20 cm del perfil, los cuales se incrementaron 6 veces en los primeros 10 cm y 4 veces de 10 a 20 cm con respecto a SN.

En relación a T4, la concentración de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  presentó una tendencia similar a la del catión  $Na^+$ , con valores máximos de 8,75 meq/L a 20 cm de profundidad y valores relativamente más bajos en los primeros 10 cm. Como se explicó anteriormente, este efecto es producido por el bulbo de irrigación. Comparativamente, los valores son claramente más bajos que T1, y similares a T2 y T3, superando en 6 veces a SN.



**Figura 8:** Comportamiento de la variable  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con  $\text{C}_4\text{S}_3$ ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con  $\text{C}_4\text{S}_3$ ; T3: abonado con compost, regado con  $\text{C}_4\text{S}_3$  y T4: abonado con cama de pollo, regado con  $\text{C}_3\text{S}_2$ .

Estos resultados coinciden con Balcaza (2003) quién al analizar dos situaciones de suelos con 3 y 12 años de invernáculo con riego, registró que la concentración de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  incrementó de 14,1 meq/100ga 17,1 meq/100g en el suelo con 3 años de invernáculo y disminuyó a 12,5 meq/100g a los 12 años de invernáculo regados con agua bicarbonatada sódica.

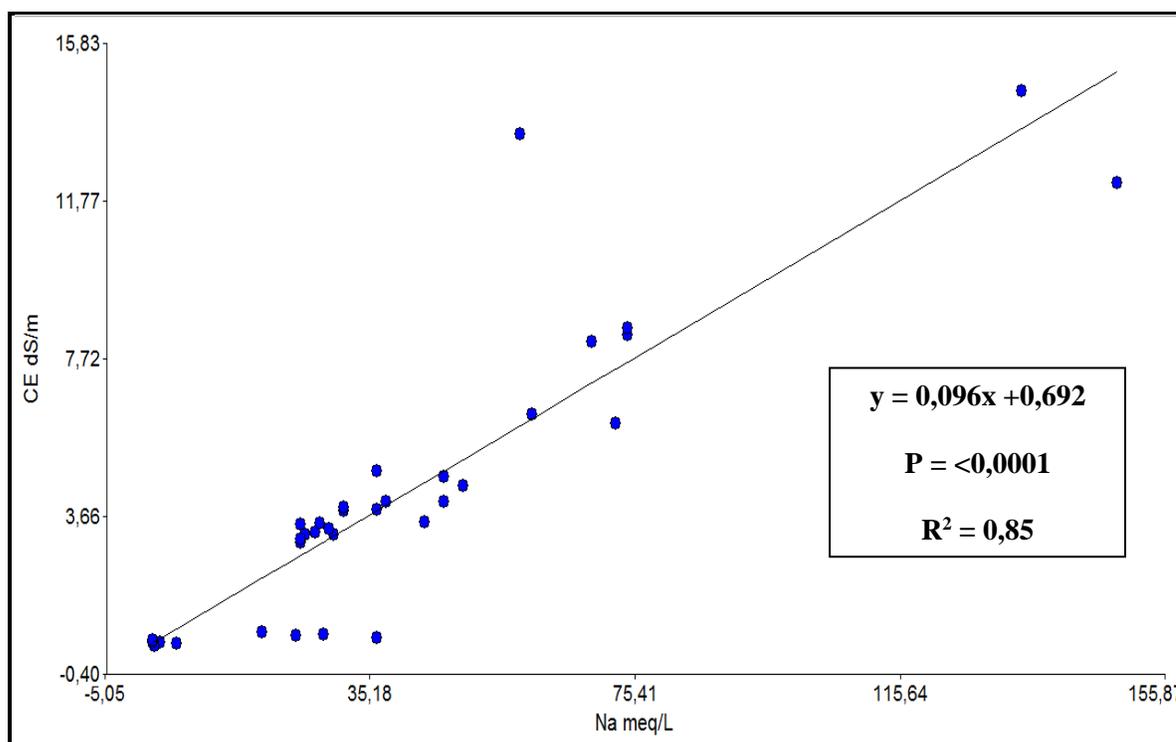
Marano y Pilatti (2000) en su estudio de riego suplementario en un Argiudol de Santa Fe con aguas bicarbonatadas sódicas hallaron un incremento ponderado de 0,22 meq/100g de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , registrando valores acumulados de 12,3 y 13,1 meq/100g en los horizontes superficial y sub superficial, respectivamente aunque no se correspondieron con los cambios introducidos por el agua de riego.

En virtud de los resultados analizados de cationes en el extracto de saturación, los incrementos de calcio y magnesio se podrían atribuir al aporte del agua de riego, mientras que los incrementos de sodio se deberían en mayor medida al aporte del agua de riego, y en menor proporción al aporte de los abonados.

Además, en relación al comportamiento de los cationes se considera que el aumento del pH podría relacionarse al incremento de bases, principalmente de sodio, y/o a la disminución de la acidez de cambio. En tal sentido, Aparicio *et al.* (2014), indicaron que el aumento de pH

estaría relacionado a la saturación del complejo de intercambio y confirmaron que el riego incrementó el porcentaje de saturación de bases (PSB) por el aporte de sodio ya que registraron que a un pH de 8 el PSB superó el 95%. Marano *et al.* (2008), atribuyeron el aumento de pH de suelos bajo riego a la disminución de la acidez de cambio en el complejo de intercambio. Encontraron una alta correlación entre la disminución de la acidez de cambio y el aumento de sodio, indicando que la acidez de cambio fue el principal catión desplazado por el sodio, provocando de este modo un aumento de pH. Por otro lado, Balcaza (2003), asoció que el aumento de 2,3 unidades de pH se debe al alto nivel de bicarbonatos que aporta el agua utilizada para riego.

Con el objetivo de analizar el efecto del aumento de la concentración de los cationes sodio y calcio + magnesio sobre la CE del suelo, se realizó un análisis de regresión lineal entre ambas variables. El mismo resultó positivo y altamente significativo cuando se consideró el efecto del  $\text{Na}^+$  sobre la CE (Figura 9), mientras que cuando se analizó la relación entre las variables  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  y CE el coeficiente de regresión fue menor ( $R^2=0,69$ ). Esto implicaría que los incrementos de  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo tendrían mayor efecto en el comportamiento de la variable CE.

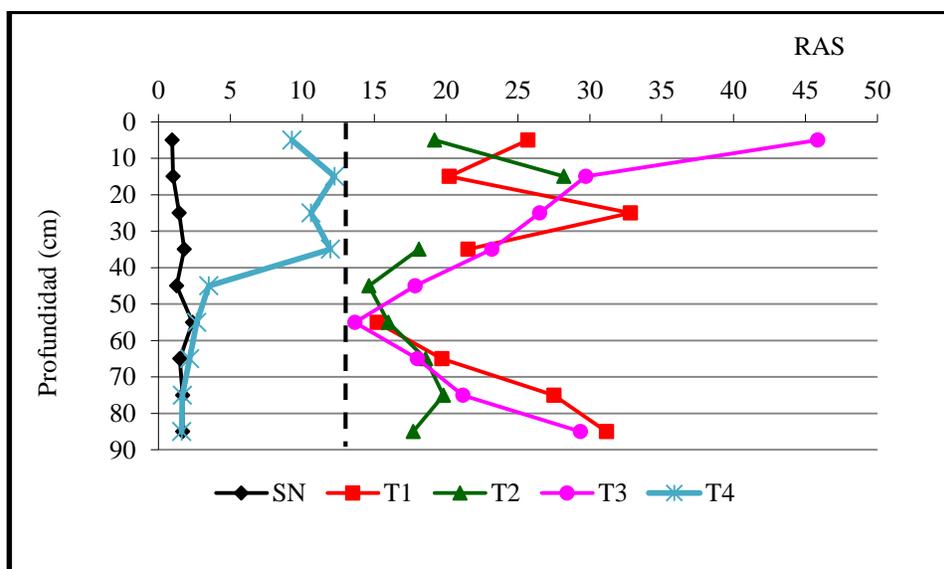


**Figura 9:** Efecto de la variable Sodio sobre la Conductividad Eléctrica.

## ❖ Relación de adsorción de sodio (RAS)

El peligro de sodificación del suelo también puede ser evaluado a través de la relación de adsorción de sodio, RAS. Los valores de RAS registrados para cada tratamiento se observan en la Figura 10. SN presentó valores muy bajos en todo el perfil, inferiores a 2,37. Los tratamientos bajo riego con  $C_4S_3$ , mostraron incrementos relativos respecto a SN en todos los casos y en todas las profundidades analizadas, particularmente en T3 donde se registraron valores máximos de 45,84 en los primeros 10 centímetros del suelo. T1 y T2 mostraron un comportamiento similar, con valores máximos entre 20 y 25 en los primeros 10 cm del suelo. Por debajo de los 30 cm, los valores fueron muy similares en los tres tratamientos, destacándose valores de RAS siempre por encima del valor crítico 13, a partir del cual los suelos se consideran sódico (Taboada y Lavado, 2009).

Entre tratamientos, la efectividad de las enmiendas a base de estiércol vacuno sobre la sodicidad es poco clara. Mientras que ambos tratamientos abonados presentaron menores valores de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  respecto a T1, sólo T2 arrojó menores concentraciones de  $Na^+$  respecto a T1. Por lo tanto, en los primeros centímetros del perfil, T3 fue el tratamiento que más afectó negativamente la RAS del suelo, arrojando valores incluso más elevados que los del suelo regado con agua de mala calidad (Figura 10).



**Figura 10:** Comportamiento de la variable RAS en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con  $C_4S_3$ ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con

C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; T3: abonado con compost, regado con C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> y T4: abonado con cama de pollo, regado con C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>. Línea punteada: valor límite para clasificar suelos sódicos.

Estos resultados podrían asociarse a Hipótesis 1: ambos abonos adsorben en igual medida Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Na<sup>+</sup> aportados por el agua de riego, pero T3 aporta más Na<sup>+</sup> que T2 producto de una mineralización diferencial (mayor en T3), y como consecuencia T3 presenta valores más elevados de sodio que T2; o a Hipótesis 2: T2 posee mayor capacidad de adsorción de sodio que T3; o a Hipótesis 3: T3 constitutivamente poseía más Na<sup>+</sup> que T2.

Por otro lado, T4 también mostró valores más elevados de RAS respecto a SN en los primeros 40 cm del perfil, aunque éstos fueron claramente inferiores a los registrados en T1, T2 y T3. Como se observa en la Figura 10, T4 presentó valores cercanos a 12 entre 0 y 40 cm de profundidad, e inferiores a 5 hasta la base del perfil, con incrementos que alcanzaron a 12 veces los valores de SN.

Entre tratamientos, si bien los valores de RAS fueron en T4 comparativamente inferiores, los mismos estuvieron muy próximos al valor umbral crítico a partir del cual se considera a un suelo como sódico, por lo que resulta evidente que el tratamiento del agua no es suficientemente eficiente en el control del proceso de sodificación por lo que sería esperable la manifestación de tal proceso en el corto plazo, el cual podría requerir de medidas de manejo tendientes a corregir estos valores a fin de no afectar la productividad del recurso.

Debe señalarse que los suelos bajo estudio no han recibido en el pasado enmiendas para el tratamiento de la sodicidad.

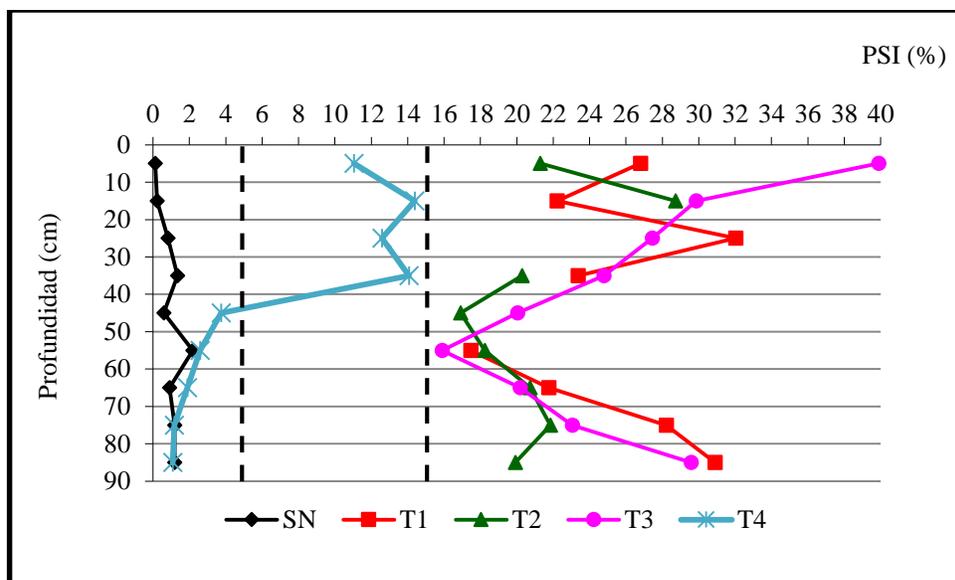
Estos resultados son similares a los encontrados por Vásquez *et al.* (2008) quienes simularon sobre un Udipsament típico de la provincia de Buenos Aires el efecto de riego durante 10 años con agua clasificada como C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>. Hallaron un aumento de RAS de 0,4 a 6,1, el cual estaría relacionado a la naturaleza bicarbonatada sódica del agua empleada.

Asimismo, Andreau *et al.* (2012) confirmaron el deterioro progresivo de productividad en los suelos al utilizar agua bicarbonatada sódica para riego en cultivos bajo cubierta en la Región del Gran La Plata luego de 14 años de producción. Hallaron un aumento en la sodicidad del suelo, con valores de RAS que variaron de 8,1 a 12,1 en el tratamiento testigo (solo riego) y a 13 y 14,1 en los tratamientos con abonos orgánicos. También concluyeron que ninguno de los tratamientos abonados resultó efectivo para el control de la sodicidad en el plazo evaluado.

Del mismo modo Alconada *et al.* (2001) estudiaron el efecto de la calidad de agua de riego clasificada como C<sub>2</sub>S<sub>2</sub> durante diez años de cultivo de tomate en invernáculo y hallaron incrementos significativos de RAS respecto a la condición natural, de 1,8 a 8,8 en los primeros 15 cm del suelo y a 5,4 hasta los 30 cm de profundidad.

A partir de la RAS se puede calcular el porcentaje de sodio en el complejo de intercambio, PSI. Este parámetro se utiliza para referirse a suelos salinos-sódicos cuando superan el 15%. Valores superiores a este límite, tiene consecuencias tanto en la estabilidad del suelo como en el desarrollo de los cultivos. La influencia del sodio sobre las propiedades físicas del suelo está determinada por fenómenos de dispersión de las arcillas y de coloides orgánicos. El movimiento de estas arcillas y el consecuente bloqueo de los poros, son las principales causas de la reducción de la permeabilidad y alteración de la estructura del suelo que afecta el normal crecimiento de las plantas. Además, el exceso de sodio en el suelo provoca una situación de estrés para el cultivo que tiene implicancias fisiológicas (disminución de la superficie foliar, disminución del metabolismo, riesgos de necrosis marginales de las hojas y de enfermedades provocadas por patógenos) como también reducciones en el rendimiento y en la calidad comercial. Según Balcaza (2001), cuando el PSI supera valores de 5% se debe corregir con enmiendas (yeso) para evitar los daños mencionados en el cultivo.

En la Figura 11 se observa la variación del PSI calculado a lo largo del perfil del suelo. Al igual que lo observado en la variable RAS, el análisis del PSI en los diferentes perfiles de suelo analizados arrojó valores similares e igual tendencia, disminuyendo con la profundidad. Sin embargo, el PSI fue superior a 15% en todo el perfil de todos los tratamientos bajo riego con agua C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>, indicando de este modo un claro proceso de sodificación en T1, T2 y T3, mientras que en T4 si bien los valores también fueron superiores respecto a los registrados en SN, los mismos estuvieron por debajo del 15%. No obstante, si se tienen en cuenta valores más bajos como valor límite, debe destacarse que T4 supera a lo largo de los primeros 40 cm el 5 % de PSI que Balcaza (2001) considera restrictivo al desarrollo del cultivo, aconsejando su corrección con enmiendas cálcicas.



**Figura 11:** Comportamiento de la variable PSI en el perfil del suelo; donde SN: suelo natural (testigo); T1: suelo sin abonar, regado con  $C_4S_3$ ; T2: abonado con estiércol vacuno, regado con  $C_4S_3$ ; T3: abonado con compost, regado con  $C_4S_3$  y T4: abonado con cama de pollo regado con  $C_3S_2$ . Líneas punteadas: valores límites para considerar desarrollo restrictivo del cultivo (5%) y clasificar suelos salinos-sódicos (15%).

## DISCUSIÓN GENERAL

A modo de resumen, el corto tiempo de experimento fue suficiente para confirmar la ocurrencia de procesos de salinización, sodificación y aumentos de pH del suelo respecto a la condición natural. La magnitud de los mismos fue diferente según el manejo realizado. En base a los resultados obtenidos se asume que la calidad de agua utilizada sería la variable de mayor impacto en el manejo teniendo en cuenta que las variables suelo, cultivo y tiempo de uso fueron las mismas en ambos sitios y que los abonos utilizados en T2 y T3 no mostraron diferencias con T1. Por otro lado, si bien el efecto del abono a base de estiércol de pollo no fue evaluado en este trabajo, existe en la bibliografía evidencia de que éste no modifica los valores de CE y pH del suelo en el corto plazo.

Para mostrar más claramente este efecto se compararon conjuntamente las distintas variables analizadas en los tratamientos más contrastantes de este estudio, es decir T1 y T4 (Tabla 2). Se destacan los mayores incrementos de los valores de pH, CE, cationes, RAS y PSI en T1, producto de la utilización de agua de inferior calidad.

En cuanto al pH, se constataron en los primeros 40 cm del perfil incrementos variables entre 1 y 1,5 unidades en ambos tratamientos. Los mismos provocaron un cambio en la categoría de pH, pasando de Ligeramente ácido en la condición natural, a Neutro en ambos tratamientos. No obstante, el proceso de alcalinización propiamente dicho, interpretado en este estudio como el cambio a pHs de categorías alcalinas ( $\text{pH} > 7,3$ ), no se verificó en los primeros 40 centímetros del perfil.

Los procesos de salinización ( $\text{CE} > 4 \text{dSm}^{-1}$ ) y sodificación ( $\text{RAS} > 13$ ) se comprobaron en T1 en todo el perfil del suelo, particularmente en los primeros 10 cm, con incrementos de 21 veces la CE, 27 veces la RAS y 220 veces el PSI de SN. En cambio, en T4 ambos procesos afectaron a los primeros 40 cm del suelo, y se asociaron particularmente con la profundidad 10 a 20 cm, con incrementos de hasta 10 veces la CE y 12 veces la RAS de SN. A estas mismas profundidades se asociaron los máximos incrementos en la solución del suelo de  $\text{Na}^+$ .

La dinámica de sales fue diferente en ambos sitios, a pesar de que el sistema de riego aplicado fue el mismo, es decir riego por goteo. El hecho de que las sales se hayan concentrado en los primeros 10 cm en T1 y a mayor profundidad, a 20 cm, en T4, muestra que en T1 el riego no tuvo la frecuencia necesaria como para mantener constantemente el bulbo de riego húmedo y de este modo garantizar que las sales de la solución del suelo se mantengan alejadas de las raíces de las plantas, tal como sí ocurrió en T4. Concretamente este aumento de la concentración salina en los primeros 10 cm se asoció a una menor frecuencia de riego que permitió el ascenso de sales por evaporación. En cambio, el aumento a los 20 cm en T4 se debió a la acumulación de sales en el borde del bulbo producto del lavado en los primeros centímetros.

Estos valores indican un fuerte deterioro de las condiciones químicas naturales y superan ampliamente los límites críticos de CE, RAS y PSI que se asocian a condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos. En el caso de T4, si bien los incrementos en las propiedades del suelo analizadas fueron menores, alcanzaron valores preocupantes desde el punto de vista de la conservación del suelo y la sostenibilidad del sistema a mediano largo plazo. Esto, implicaría en ambas situaciones, la necesidad de replantear su manejo en pos de revertir la situación y de mantener en el mediano y largo plazo adecuados rendimientos de los cultivos.

Tabla 2: Comparación de las variables en T1 y T4 respecto a SN.

Variable/ profundidad	SN	T1	Cambio (T1/SN)	Proceso	T4	Cambio (T4/SN)	Proceso	
pH	0-10	<b>5,7</b>	<b>7</b>	1,3	S/A	<b>7,2</b>	1,5	S/A
	10-20	<b>6</b>	<b>7,1</b>	1,1	S/A	<b>6,7</b>	0,7	S/A
	20-30	<b>6,1</b>	<b>7,1</b>	1	S/A	<b>7</b>	0,9	S/A
	30-40	<b>6,1</b>	<b>7,5</b>	1,4	<b>Alcalinización</b>	<b>7,3</b>	1,2	S/A
CE	0-10	<b>0,69</b>	<b>14,61</b>	+ 21 veces	<b>Salinización</b>	<b>3,3</b>	+ 4 veces	<b>Salinización</b>
	10-20	<b>0,53</b>	<b>8,32</b>	+ 15 veces	<b>Salinización</b>	<b>5,72</b>	+ 10 veces	<b>Salinización</b>
	20-30	<b>0,62</b>	<b>6,06</b>	+9 veces	<b>Salinización</b>	<b>4,29</b>	+6 veces	<b>Salinización</b>
	30-40	<b>0,59</b>	<b>4,32</b>	+7 veces	<b>Salinización</b>	<b>2,31</b>	+3 veces	<b>Salinización</b>
RAS	0-10	<b>0,94</b>	<b>25,68</b>	+ 27 veces	<b>Sodificación</b>	<b>9,28</b>	+ 9 veces	<b>Sodificación</b>
	10-20	<b>1,01</b>	<b>20,22</b>	+ 20 veces	<b>Sodificación</b>	<b>12,25</b>	+ 12 veces	<b>Sodificación</b>
	20-30	<b>1,42</b>	<b>32,82</b>	+23 veces	<b>Sodificación</b>	<b>10,61</b>	+7 veces	<b>Sodificación</b>
	30-40	<b>1,78</b>	<b>21,52</b>	+12 veces	<b>Sodificación</b>	<b>11,96</b>	+6 veces	<b>Sodificación</b>
PSI	0-10	<b>0,12</b>	<b>26,8</b>	+ 220 veces	<b>Sodificación</b>	<b>11,05</b>	+ 92 veces	<b>Sodificación</b>
	10-20	<b>0,22</b>	<b>20,21</b>	+ 90 veces	<b>Sodificación</b>	<b>14,39</b>	+ 65 veces	<b>Sodificación</b>
	20-30	<b>0,83</b>	<b>32,37</b>	+39 veces	<b>Sodificación</b>	<b>12,58</b>	+15 veces	<b>Sodificación</b>
	30-40	<b>1,35</b>	<b>23,37</b>	+17 veces	<b>Sodificación</b>	<b>14,07</b>	+10 veces	<b>Sodificación</b>
Na	0-10	<b>1,20</b>	<b>134,06</b>	+ 112 veces		<b>18,84</b>	+ 15 veces	
	10-20	<b>1,23</b>	<b>74,28</b>	+ 60 veces		<b>36,23</b>	+ 29 veces	
	20-30	<b>1,67</b>	<b>72,46</b>	+43 veces		<b>28,08</b>	+16 veces	
	30-40	<b>1,99</b>	<b>36,23</b>	+18 veces		<b>23,91</b>	+12 veces	
Ca + Mg	0-10	<b>1,63</b>	<b>27,5</b>	+ 16 veces		<b>4,13</b>	+ 2 veces	
	10-20	<b>1,50</b>	<b>13,5</b>	+ 9 veces		<b>8,75</b>	+ 5 veces	
	20-30	<b>1,38</b>	<b>4,88</b>	+3,5 veces		<b>7,00</b>	+5 veces	
	30-40	<b>1,25</b>	<b>2,83</b>	+2 veces		<b>4,00</b>	+3,2 veces	

Referencias:	Alcalinización	Salinización	Sodificación																		
	<table border="1"> <tr><td>leve</td><td>7,4 - 7,8</td></tr> <tr><td>mod</td><td>7,9 - 8,5</td></tr> <tr><td>fuerte</td><td>&gt; 8,5</td></tr> <tr><td>S/A</td><td>Sin alcalinización</td></tr> </table>	leve	7,4 - 7,8	mod	7,9 - 8,5	fuerte	> 8,5	S/A	Sin alcalinización	<table border="1"> <tr><td>leve</td><td>&lt; 4 dS/m</td></tr> <tr><td>mod</td><td>4-8 dS/m</td></tr> <tr><td>fuerte</td><td>&gt;8 dS/m</td></tr> </table>	leve	< 4 dS/m	mod	4-8 dS/m	fuerte	>8 dS/m	<table border="1"> <tr><td>mod</td><td>RAS&lt; 13 PSI&lt;15</td></tr> <tr><td>fuerte</td><td>RAS&gt;13 PSI&gt;15</td></tr> </table>	mod	RAS< 13 PSI<15	fuerte	RAS>13 PSI>15
leve	7,4 - 7,8																				
mod	7,9 - 8,5																				
fuerte	> 8,5																				
S/A	Sin alcalinización																				
leve	< 4 dS/m																				
mod	4-8 dS/m																				
fuerte	>8 dS/m																				
mod	RAS< 13 PSI<15																				
fuerte	RAS>13 PSI>15																				

Si bien los resultados obtenidos en este trabajo muestran que cuando en el manejo se incluyó agua de mala calidad se obtuvieron mayores niveles de degradación respecto a la

condición natural, se desconoce el efecto del abono a base de cama de pollo, por lo que debería evaluarse su impacto en estos suelos a fin de poder establecer la combinación de manejo (riego-abono) más eficiente.

## CONCLUSIONES

Como conclusión general, los resultados de este estudio permitieron demostrar que:

En los suelos estudiados (Haplustoles énticos) cultivados bajo invernáculo, el manejo basado en el riego con aguas de regular y de mala calidad, produjo moderados a fuertes procesos de degradación del suelo, en un periodo de tiempo relativamente corto. Se detectaron procesos de salinización, sodificación y aumentos de pH del suelo, respecto a la condición natural.

Comparativamente, la magnitud de los procesos de degradación fue menor cuando en el manejo se utilizó agua de mejor calidad relativa. Con respecto al perfil del suelo, si bien los procesos se atenuaron fuertemente con la profundidad en ambos casos, se afectó todo el perfil cuando el agua utilizada fue de peor calidad, evidenciando lavados anteriores al ensayo.

En cuanto al pH, todos los tratamientos registraron aumentos respecto a SN, aunque no pueden asociarse a procesos de alcalinización.

Con respecto a la conductividad eléctrica, el mayor incremento se registró en todos los tratamientos en los primeros 20 centímetros del suelo, es decir, en la zona de influencia radicular, relacionado principalmente al incremento de  $\text{Na}^+$ .

Ambos procesos, salinización y sodificación constituyen el mayor deterioro registrado en relación a la condición natural, superando ampliamente los valores adecuados para el normal desarrollo de los cultivos.

Es necesario seguir monitoreando en el mediano y en lo posible, largo plazo, la respuesta de las propiedades del suelo en condiciones de uso más intensivo con sucesivos ciclos de cultivos a fin de poder establecer una recomendación de mayor sustento dirigida a los productores hortícolas de la zona.

A modo de recomendación, son destacables dos aspectos del manejo que podrían contribuir a mejorar la sustentabilidad productiva de estos sistemas: por un lado la importancia de la sistematización del riego como herramienta para controlar el volumen de agua aplicada y así también las sales; y por otro, la incorporación de otros cultivos de rotación sumado al

mantenimiento de buenos contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial del suelo, los que al intervenir en el equilibrio químico del suelo contribuyen a contrarrestar el impacto negativo del uso de aguas de riego de mala calidad.

Además, sería interesante evaluar el impacto sobre propiedades físicas del suelo, tales como problemas de estructuración y compactación del suelo que complementen el estado de deterioro químico detectado a fin de direccionar más adecuadamente la elección de prácticas de manejo que contribuyan a disminuir el deterioro que indefectiblemente se produce con la producción de cultivos en invernáculos.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alconada, M. M.; Zembo, J. C. y Mórtola N. (2001). Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. First Joint World Congress on Groundwater. 17 pp.

- Andreau, R.; Gelati, P.; Provaza, M.; Bennardi, D.; Fernandez, D. y Vázquez, M. (2012). Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense. Alternativas de tratamiento. Ciencia del Suelo 30 (2): 107-117.

- Andriani, J. (2009). Impacto del agua de riego sobre las propiedades químicas del suelo. Para mejorar la producción 41. INTA, EEA Oliveros, 55-59.

- Andriulo, A.; Galetto, M. L.; Ferreyra, C.; Cordone, G.; Sasal, C.; Abrego, F.; Galina, J. y Rimatori, F. (1998). Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. I: Propiedades físico- Químicas. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Villa Carlos Paz, Mayo de 1998, 247-258.

- Aparicio, V.; Barbacone, A. y Costa, J. (2014). Efecto de la calidad de agua para riego complementario sobre algunas propiedades químicas edáficas. Ciencia del Suelo 32(1): 95-104.

- Balcaza, L. F. (2000). Importancia de la calidad de agua de riego en los cultivos bajo cubierta. Consultado en [http://anterior.inta.sanpedro/info/doc/hor/lb\\_001.htm](http://anterior.inta.sanpedro/info/doc/hor/lb_001.htm), consultado el 10 de diciembre de 2013.

- Balcaza, L. F. (2001). Aplicación de yeso en suelos cultivados con hortalizas en invernaderos. Boletín Hortícola Año 9 N° 30.

- Balcaza, L. F. (2003). Deterioro de los suelos cultivados bajo invernáculo. Idia XXI N° 4. Ediciones INTA. 196-200.

- Belcher, B. J. y Ponce, J. P. (2011). Producción, contenido de nitratos y proteína bruta en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) crespa y mantecosa, con dos dosis de fertilizante y cuatro épocas de cultivo. Trabajo Final de Graduación para alcanzar el grado de Ingeniero Agrónomo. UNLPam. 40 pp.

- Cano, E.; Casagrande, G.; Conti, H.; Salazar Lea Plaza, J.; Peña Zubiato, C.; Maldonado Pinedo, D.; Martínez, H.; Hevia, R.; Scoppa, C.; Fernández, B.; Montes, M.; Musto, J. y Pittaluga, A. (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de La Pampa, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 493 pp.

- Carassay, L.; Siliquini, O.; Bartel, A.; Rebollo, A.; Ponce, J.; Collazo, M.; y Baudino, E. (2013). Efecto de la salinidad sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero en la provincia de La Pampa. Asociación Argentina de horticultura. Libro de resúmenes XXXVI Congreso Argentino de Horticultura. Tucumán. ISSN de la edición on line 1851-9342. R 53.

- Cavalié, C. (1979). Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea potable a la ciudad de Santa Rosa. Acuíferos Santa Rosa-Anguil y Santa Rosa-Toay. 42 pp.

- Choudhary, O.; Josan, A.; Bajwa, M. y Kapurb, M. (2004). Effect of sustained sodic and saline sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semiarid conditions. Field Crops Research, 87; (2-3): 103-116.

- Collazo, M. (2012). Efecto de dos abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* l. var. brisa), en un Haplustol éntico, Santa Rosa, La Pampa. UNLPAM. Santa Rosa. La Pampa. Trabajo Final de Graduación para alcanzar el grado de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente. UNLPam. 53 pp.

- Collazo, M.; Bartel, A. y Velmonte, V. (2014). Efecto de abonos orgánicos sobre propiedades edáficas y rendimiento de *lactuca sativa* L. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014: 5 pp.
- Conti, M. (1998). Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. Orientación Gráfica. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. 430 pp.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. W. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Ferratto, J.; Longo, A. y Scaglia, E. (2006). Análisis económico de los principales cultivos de hortalizas. Revista Agro mensajes. Facultad de Ciencias Agrarias de Rosario.
- Génova, L. (2005). Resistencia y resiliencia edáfica a la degradación salina y sódica en agroecosistemas regados complementariamente en la Pampa Húmeda Argentina. Resúmenes del II Congreso Internacional de Riego y Drenaje, pág 41. Trabajo completo en CD-ROM. La Habana, Cuba. 25 al 29 de octubre de 2005.
- Génova, L. (2006). Salinidad y sodicidad de suelos regados complementariamente en la región pampeana. UNLP. Buenos Aires.
- Giai, S. y Tullio, J. (1998). Características de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa. UNLPAM y Dirección de Aguas de La Pampa. 24 pp.
- Irurtia, C. B. y Mon, R. (1998). Cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la región pampeana después de 5 años de riego suplementario. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Villa Carlos Paz, Mayo 1998: 241- 242.
- Lang, M.; Lipinski, V. y Balcaza, L. (2013). Efecto de la aplicación de enmienda y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. Horticultura Argentina 32 (79): 32-42.

- Marano, R. P. y Pilatti, M. A. (2000). Evaluación de efectos físico-químicos sobre un Argiudol con cinco años de riego suplementario en el centro santafesino. INTA. 7 pp.

-Marano, R. P; Pilatti, M. A y Molfino, J. (2008). Reversibilidad de la sodificación provocada por riego con aguas bicarbonatadas sódicas en el centro santafesino. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis, 2008. 7 pp.

- Maroto Borrego, J.; Gómez, A. M. y Baixauli Soria, C. (2000). La lechuga y la Escarola. Fundación Caja Rural Valencia. Ediciones Mundiprensa. España.

- Marouelli, W.; Pereira, W.; Silva, H.; Silva, W.; Souza, A. (1999). Resposta da abóbora híbrida tipo tetsukabuto a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999. Pelotas. A Engenharia Agrícola, Tendências e Inovações. Pelotas: SBEA, Vol. 1.

- Martínez, H. M., Sighel, R. R. y Calamari, N. (1972). Contribución al conocimiento de los suelos del departamento capital, Provincia de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa. 51 pp

- Mass, E. (1986). Salt tolerance of plant. Applied Agricultural Research. 1: 12-26.

- Ministerio de la Producción del Gobierno de La Pampa. (2011). Encuesta hortícola provincial. 5 pp.

- Muguiro, A.; Álvarez, C.; Marano, R.; Pechin, C.; Ascencio, W. y Grasso, R. (2012). Rehabilitación de tierras de uso hortícolas degradadas por riego con aguas bicarbonatadas sódicas, en suelos con impedimentos físicos de La Pampa. 9 pp.

- Open Course Ware de la Universidad de Sevilla. (2007). <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo>. Visitado el 7 de mayo de 2015.

- Peineman, N.; Díaz Zorita, M.; Villamil, M. B.; Lusarreta, H. y Grunewald, D. (1998). Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Villa Carlos Paz, mayo de 1998, 7-8.

- Quinteros, C.; Boschetti, N.; Durand Morat, A. y Fettolini, S. (2000). Recuperación de suelos dispersivos por medio de enmiendas. Consultado en <http://www.fertilizando.com/articulos/recuperación%20de%20suelos>.

- Rebollo, M.A. (2014). Efecto acumulado de dos abonos orgánicos sobre el suelo y rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Brisa) en un Haplustoléntico, Santa Rosa La Pampa. Trabajo Final de Graduación para alcanzar el grado de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente. UNLPam. 84 pp.

- Richards, L. A. (1977). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. México. 172 pp.

Rotondo, R., Firpo, I., Ferreras, L., Toresani, S., Fernandez, E. y Gómez E. (2009). Uso de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado en sistemas de cultivos hortícolas. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/27/8AM27.htm>, visitado el 10 Octubre 2014

- Sainato, C. M.; Galindo, G. y Heredia, O. (2006). Agua Subterránea. Exploración y utilización agropecuaria. Ed. Facultad de Agronomía UBA. 115 pp.

- Salas, H. P. y Lovera, E. F. (1998). Efecto del riego suplementario sobre algunas características del suelo. INTA, EEA - Manfredi. 9 pp.

- Sánchez, T.; Gili, A.; Siliquini, O.; Baudino, E.; Olivieri, P.; Morazzo, G.; Reinaudi, N. y Sánchez, F. (2013). Efecto de dos calidades de agua diferentes y dosis de fertilizantes, sobre el rendimiento de lechuga y amaranto. Libro IV Congreso Pampeano del Agua. 263-271.

- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación (SAyDS). (2007). Primer inventario nacional de bosques nativos: informe regional espinal, segunda parte.

Primera edición: Buenos Aires, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación. 154 pp.

- Siliquini, O.; Gregoire, H. y Scarone, J. (2001). Evolución de la producción hortícola en la provincia de La Pampa. XXIV Congreso Argentino de Horticultura. Jujuy 2001. Resúmenes. 20 (48).

- Szczesny, A.; Adlercreutz, E; Huarte, R.; López Camelo, A.; Manzo, E. y Viglianchino, L. (2014). Producción hortícola bajo cubierta. Ediciones INTA. Buenos Aires.

- Taboada, M. y Lavado, R. (2009). Alteraciones de la fertilidad de los suelos: El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Ed. Facultad de Agronomía. UBA. 163 pp.

- Vázquez, M.; Millán, G. y Gelati, P. (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. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 11 pp.

- Vázquez, M.; Millán, G. y Gelati, P. (2008). Simulación del efecto del riego complementario en un suelo Udipsament típico. Ciencia del Suelo 26 (2): 195-203.

## ANEXO

Anexo N° 1: Análisis de las propiedades físico-químicas de los suelos

Tabla A 1: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en SN.

	Muestra prof cm	pH pasta	C.E dS/m	C.E. c (25°C) dS/m	Sodio			Calcio + Magnesio			RAS	PSI (%)
					Sodio (Lect )	Dilución	meqNa /L	Ca + Mg (Lect)	Dilución	Ca + Mg meq/L		
SN	5	5,7	0,65	0,69	33	(5:25)	1,20	1,3	(2 ml)	1,63	0,94	0,12
	15	6	0,5	0,53	34	(5:25)	1,23	1,2	(2 ml)	1,50	1,01	0,22
	25	6,1	0,58	0,62	46	(5:25)	1,67	1,1	(2 ml)	1,38	1,42	0,83
	35	6,1	0,56	0,59	33	(3:25)	1,99	1	(2 ml)	1,25	1,78	1,35
	45	6,3	0,38	0,4	37	(5:25)	1,34	0,9	(2 ml)	1,13	1,26	0,60
	55	6,4	0,4	0,42	31	(3:25)	1,87	0,5	(2 ml)	0,63	2,37	2,18
	65	6,7	0,3	0,32	38	(5:25)	1,38	0,7	(2 ml)	0,88	1,47	0,90
	75	6,9	0,39	0,41	43	(5:25)	1,56	0,7	(2 ml)	0,88	1,67	1,18
	85	7	0,44	0,47	31	(3:25)	1,87	1	(2 ml)	1,25	1,67	1,20

Tabla A 2: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T1.

	Muestra cm prof	pH pasta	C.E dS/m	C.E. c (25°C) dS/m	Sodio			Calcio + Magnesio			RAS	PSI (%)
					Sodio (Lect)	Dilución	meqNa/ L	Ca + Mg (Lect)	Dilución	Ca + Mg meq/L		
T1	5	7	13	14,61	37	(1:500)	134,06	10,9	(1ml)	27,25	25,68	26,80
	15	7,1	7,4	8,32	41	(1:250)	74,28	5,4	(1ml)	13,50	20,22	22,21
	25	7,1	5,7	6,06	25	(0,5:200)	72,46	3,9	(2ml)	4,88	32,82	32,04
	35	7,5	4,3	4,83	20	(1:250)	36,23	3,4	(3ml)	2,83	21,52	23,37
	45	7,5	3,8	4,42				3,3	(2 ml)	4,13		
	55	7,3	2,8	2,98	34	(1:100)	24,64	2,1	(2ml)	2,63	15,21	17,47
	65	7,4	3,4	3,82	43	(1:100)	31,16	3	(3ml)	2,50	19,71	21,76
	75	7,3	3,3	3,51	30	(0,5:100)	43,48	2	(2ml)	2,50	27,50	28,21
	85	7,9	4	4,45	34	(0,5:100)	49,28	2	(2ml)	2,50	31,16	30,90

Tabla A 3: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T2.

	Muestra cm prof	pH pasta	C.E dS/m	C.E. c (25°C) dS/m	Sodio			Calcio + Magnesio			RAS	PSI (%)
					Sodio (Lect)	Dilución	meqNa/ L	Ca + Mg (Lect)	Dilución	Ca + Mg meq/L		
<b>T2</b>	5	7,2	12	13,49	16	(1:500)	57,97	36,5	(10ml)	9,13	19,19	21,29
	15	7,1	5,9	6,28	33	(1:250)	59,78	3,6	(2ml)	4,50	28,18	28,73
	25	7,2	6,6	7,67				2,7	(1 ml)	6,75		
	35	7,4	3,6	4,05	26	(1:200)	37,68	5,2	(3ml)	4,33	18,10	20,28
	45	7,2	3	3,19	35	(1:100)	25,36	2,4	(2ml)	3,00	14,64	16,90
	55	7,2	2,9	3,08	34	(1:100)	24,64	1,9	(2ml)	2,38	15,99	18,25
	65	7,6	2,9	3,26	37	(1:100)	26,81	2,5	(3 ml)	2,08	18,58	20,72
	75	7,1	3	3,19	41	(1:100)	29,71	1,8	(2ml)	2,25	19,81	21,85
	85	7,9	3,1	3,48	38	(1:100)	27,54	2,9	(3ml)	2,42	17,71	19,91

Tabla A 4: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T3.

	Muestra cm prof	pH pasta	C.E dS/m	C.E. c (25°C) dS/m	Sodio			Calcio + Magnesio			RAS	PSI (%)
					Sodio (Lect)	Dilución	meqNa/ L	Ca + Mg (Lect)	Dilución	Ca + Mg meq/L		
<b>T3</b>	5	7,2	11	12,23	41	(0,5:250)	148,55	8,4	(2ml)	10,50	45,84	39,89
	15	7	7,3	8,49	41	(1:250)	74,28	2,5	(1ml)	6,25	29,71	29,86
	25	7,1	7	8,14	38	(1:250)	68,84	2,7	(1ml)	6,75	26,50	27,44
	35	7,2	4,2	4,67	32	(0,5:100)	46,38	3,2	(2ml)	4,00	23,19	24,78
	45	7	3,6	3,83	25	(0,5:100)	36,23	3,3	(2ml)	4,13	17,84	20,03
	55	7,3	3,1	3,45	34	(1:100)	24,64	2,6	(2ml)	3,25	13,67	15,89
	65	7,4	3,5	3,89	43	(1:100)	31,16	2,4	(2ml)	3,00	17,99	20,18
	75	7,7	3	3,34	40	(1:100)	28,99	1,5	(2ml)	1,88	21,17	23,05
	85	7,6	3,8	4,04	32	(0,5:100)	46,38	2	(2ml)	2,50	29,33	29,58

Tabla A 5: pH en pasta, CE, CEC, Sodio, Calcio+Magnesio, RAS y PSI en T4

	Muestra cm prof	pH pasta	C.E dS/m	C.E. c (25°C) dS/m	Sodio			Calcio + Magnesio			RAS	PSI (%)
					Sodio (Lect)	Dilución	meqN a/ L	Ca + Mg (Lect)	Dilución	Ca + Mg meq/L		
<b>T4</b>	5	7,2	3	3,3	26	(1:100)	18,84	3,3	(2 ml)	4,13	9,28	11,05
	15	6,7	5,2	5,72	20	(1:250)	36,23	7	(2 ml)	8,75	12,25	14,39
	25	7	3,9	4,29	31	(2:250)	28,08	5,6	(2 ml)	7,00	10,61	12,58
	35	7,3	2,1	2,31	33	(1:100)	23,91	3,2	(2 ml)	4,00	11,96	14,07
	45	7,9	1,2	1,32	32	(2:50)	5,80	2,2	(2 ml)	2,75	3,50	3,75
	55	8,2	0,91	1	28	(3:50)	3,38	1,3	(2 ml)	1,63	2,65	2,58
	65	8,4	0,67	0,74	28	(2:25)	2,54	1,1	(2 ml)	1,38	2,16	1,89
	75	8,4	0,62	0,68	25	(2:25)	2,26	1,5	(2 ml)	1,88	1,65	1,17
	85	8,4	0,66	0,73	25	(2:25)	2,26	1,6	(2 ml)	2,00	1,60	1,09

## Anexo N° 2 Análisis estadístico.

### Regresión lineal CE-Na

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CE	43	0,85	0,85	2,21	152,29	157,57

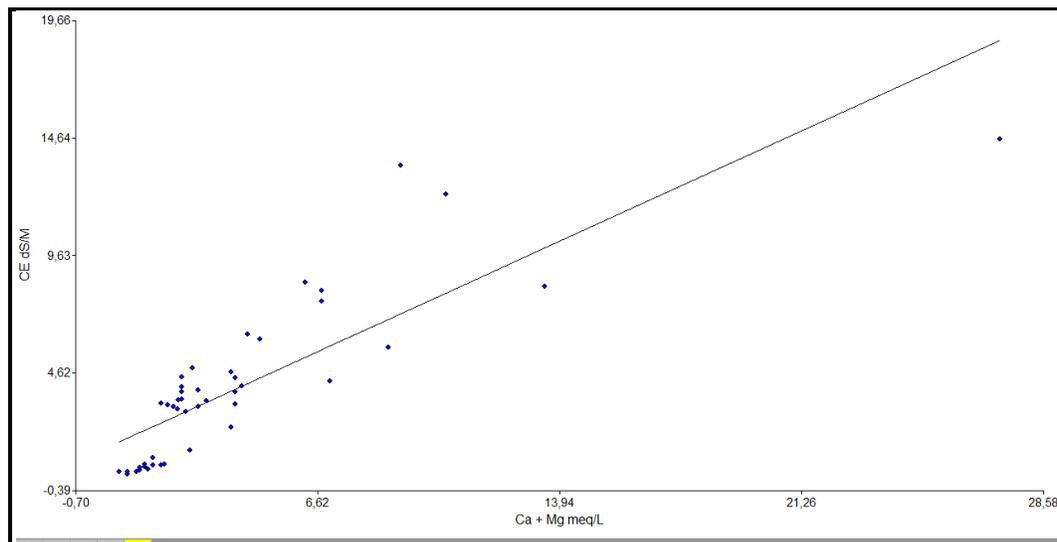
Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0,69	0,29	0,10	1,28	2,37	0,0225		
Na	0,10	0,01	0,08	0,11	15,29	<0,0001	229,30	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	431,15	1	431,15	233,85	<0,0001
Na	431,15	1	431,15	233,85	<0,0001
Error	75,59	41	1,84		
Total	506,74	42			

### Regresión lineal CE-Ca+Mg



## Regresión lineal CE-Ca+Mg

Análisis de regresión lineal							
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC	
CE	45	0,70	0,69	6,57	190,35	195,77	

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows VIF
const	1,29	0,39	0,50	2,08	3,28	0,0021	
Ca + Mg	0,64	0,06	0,51	0,77	9,92	<0,0001	97,25 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	362,84	1	362,84	98,46	<0,0001	
Ca + Mg	362,84	1	362,84	98,46	<0,0001	
Error	158,46	43	3,69			
Total	521,30	44				