

## Avances en Horticultura - Review

# Efecto de la aplicación de enmiendas y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero

M.C. Lang<sup>1</sup>; V. Lipinski<sup>2</sup> y L.F. Balcaza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INTA EEA Anguil. Ruta 5, km 586, Anguil, La Pampa (6326). <sup>2</sup>INTA EEA La Consulta. Ex Ruta 40, km 96, La Consulta, San Carlos, Mendoza (5567). <sup>3</sup>INTA EEA Área Metropolitana de Buenos Aires. Defensa 707, CABA (1065).

Recibido: 5/6/12

Aceptado: 10/7/13

### Resumen

Lang, M.C.; Lipinski, V. y Balcaza, L.F. 2013. Efecto de la aplicación de enmiendas y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. *Horticultura Argentina* 32 (79): 32-43.

La acumulación de sales y sodio en el suelo por el uso continuado de agua de mala calidad afecta la estabilidad estructural, la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración del mismo, causando una reducción de su capacidad productiva. En invernadero, toda el agua se deberá aportar en forma de riego, por ello es importante conocer la calidad del agua con que se riega. Ésta se define en función de la salinidad, sodicidad y toxicidad. Existen antecedentes que reportan cambios en las propiedades químicas de los suelos que fueron regados con agua de calidad dudosa. Según estos, el

uso de este tipo de agua trae aparejado cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo. A mayor RAS, la conductividad hidráulica y la infiltración del suelo disminuyen y aparece costra superficial en donde la germinación y emergencia de los cultivos se ven comprometidas. La lechuga es una especie medianamente resistente a la salinidad; sin embargo, en condiciones de invernáculo, el crecimiento del cultivo se puede ver afectado por el incremento de sales en el perfil del suelo. El manejo de un suelo salino-sódico se realiza mediante la utilización de enmiendas. Éstas contrarrestan el aumento de los niveles de sodio y estabilizan la estructura del suelo.

**Palabras claves adicionales:** Yeso, azufre, arcillas, calidad de agua, infiltración, conductividad hidráulica.

### Abstract

Lang, M.C.; Lipinski, V. and Balcaza, L.F. 2013. Effect of the application of amendments and irrigation management on yield and quality of lettuce under greenhouse conditions. *Horticultura Argentina* 32 (79): 32-43.

Accumulation of salts and sodium in the soil for the continued use of poor quality water affects the structural stability, hydraulic conductivity and infiltration rate of the soil, causing a reduction in their productive capacity. In the greenhouse, all water must be provided in the form of irrigation, so it is important to know the water quality to be used. This is defined in terms of salinity, sodicity and toxicity. There are records reporting changes in the chemical properties of soils irrigated with water of questionable quality. Ac-

cording to these, the use of such water brings about changes in physical and chemical properties of soil. The higher the SAR, the lower is the hydraulic conductivity and decrease soil infiltration and surface crust appears damaging the germination and crop emergence. Lettuce is moderately resistant to salinity, although in greenhouses, the development of the crop can be affected by the increase in soluble salts. Saline-sodic soils can be restored using chemicals amendments. These counteract the increased levels of sodium and stabilize the soil structure.

**Additional keywords:** Gypsum, sulphur, clay, water quality, infiltration, hydraulic conductivity.

## 1. Introducción

La presente revisión bibliográfica tiene como objetivo analizar la importancia de la calidad del agua de riego y la incidencia de la aplicación de enmiendas inorgánicas como el yeso y el azufre, sobre la mejora de las condiciones fisicoquímicas del suelo y la productividad y calidad del cultivo de lechuga bajo cubierta.

Actualmente las superficies cultivadas son limitadas, tienden a reducirse como consecuencia del desarrollo de las zonas urbanas y del deterioro debido a la salinización, alcalinización, erosión y la desertización.

Desde el punto de vista de la conservación de nuestro planeta, no debemos destinar más superficies al cultivo en detrimento de las masas boscosas. También existe preocupación acerca de las posibles variaciones climáticas que puedan afectar los recursos suelo y agua, como consecuencia del denominado cambio climático, y los efectos sobre los actuales sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana. Se prevén posibles aumentos de la temperatura y cambios en el régimen de precipitaciones, que en lo inmediato, se verá reflejado en un balance hídrico negativo (Quiroga & Frassier, 2009).

Teniendo en cuenta estas limitaciones, el aumento de la producción de alimentos solo puede obtenerse como consecuencia de una intensificación de la agricultura, lo que significa obtener un mayor rendimiento por unidad de superficie cultivada. Para obtener mejores rendimientos de los cultivos y una mejora en la calidad de la producción, debemos utilizar de manera más eficiente los recursos naturales, como son la tierra, el agua y los nutrientes que podemos extraer de la naturaleza potenciando, al mismo tiempo, el estudio de nuevas tecnologías que nos permitan obtener productos agrícolas seguros, abundantes y de alta calidad.

Las producciones intensivas de hortalizas, ornamentales, especies florales y frutas mediante el suministro de agua y la aplicación de fertilizante permiten aumentar la producción de alimentos, sin necesidad de aumentar la superficie cultivable. La obtención de hortalizas bajo invernadero ha tenido un amplio crecimiento en el mundo y especialmente, en los últimos años, en nuestro país. La provincia de La Pampa no es la excepción. En casi todas las localidades hay emprendimientos hortícolas en funcionamiento.

El aumento de rendimiento y calidad que es posible lograr con este sistema permitirían una rentabilidad razonable; sin embargo, existen problemas limitantes. Dentro de ellos, uno de los más importantes es la acumulación de sales en la capa superior cultivada del perfil del suelo; pero más grave aún es que dicha acumulación sea preponderantemente de cationes dispersantes como el sodio en la solución del suelo, que afecta negativamente algunas propiedades físicas del mismo tales como la estabilidad estructural, la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración, causando una reducción de su capacidad productiva (Quinteros *et al.*, 2000). La degradación mencionada se ve reflejada en la dispersión de la materia orgánica y preponderancia de un medio alcalino.

La gestión inadecuada del agua trae asociados problemas como menor productividad, menor calidad de producto, mayor incidencia de enfermedades, mayor uso de energía y menor eficiencia en el uso del agua y fertilizantes. Por lo tanto, el manejo adecuado del riego es un factor predominante para el éxito del cultivo (Marouelli *et al.*, 1999).

Al regar, si el agua contiene sales, se hará un aporte extra de las mismas al sistema que deberá ser eliminado por lavado. Según el Laboratorio de Salinidad de suelos USDA “todos los suelos que se riegan se salinizan” (Sainato, 2006). Por ello es fundamental, para el uso sustentable de los recursos suelo y agua, conocer la calidad del agua a utilizar, de manera de mantener y preservar la calidad del suelo sin afectar la producción.

El agua subterránea fue y es de vital importancia

en la provincia de La Pampa, ya que exceptuando la ribera del río Colorado y, hasta la década de 1950, los escurrimientos del río Atuel, toda el agua para consumo humano y la requerida por las actividades productivas, es extraída del subsuelo.

Los distintos trabajos realizados pusieron de manifiesto la existencia de varios acuíferos de cierta importancia, algunos por su extensión y producción potencial, y otros por su ubicación estratégica (Giai & Tullio, 2008). En la Figura 1 puede apreciarse la ubicación espacial de los principales acuíferos reconocidos a la fecha.

Se viene avanzando desde hace algún tiempo en ensayos sobre sistemas de riego aplicados a cultivos tradicionales de la zona y a la producción hortícola. En la Encuesta Hortícola Provincial, realizada en el año 2007 (Valerdi, 2007), se expone que el 91 % de los encuestados considera cubierta la provisión de agua. El mismo porcentaje figura en los que no utilizan ninguna técnica para mejorar la calidad del agua, lo cual no significa que la calidad sea buena, sino refleja el grado de desconocimiento por parte de técnicos y productores del sector sobre las consecuencias de usar aguas de calidad dudosa. En la provincia de La Pampa, el agua de origen subterráneo, que es con la que se riegan todos los emprendimientos productivos, no es de buena calidad. En general, son aguas salinas, bicarbonatadas-sódicas, con pH que rondan valores de 8-8,5 y conductividades eléctricas que van desde 1 a 1,5 mmhos·cm<sup>-1</sup>, superando en algunas zonas estos valores.

## 1.2 Calidad de agua para riego

Antes de emprender un proyecto agrícola bajo riego es imprescindible el estudio de la calidad de agua con la cual se va a regar. El uso continuado de agua de mala o dudosa calidad, sumado a un manejo inadecuado del riego puede ocasionar un deterioro de la productividad de los suelos cuya recuperación puede ser dificultosa de llevar a la práctica, y en algunos casos económicamente inviable (Prieto & Angueira, 1996). Diversos factores influyen cuando se evalúa la calidad de agua para riego: tipo de suelo, cultivo a regar y condiciones climáticas, aunque en algunos casos sólo se pone énfasis en las características químicas de la misma (Bresler *et al.*, 1982). La calidad del agua se evalúa en función de los problemas que potencialmente puede causar su uso sobre los suelos (Alconada & Minghinelli, 1998; Pizarro Cabello, 1990; Prieto & Angueira, 1996).

El problema de las aguas consideradas peligrosas se presenta cuando éstas evolucionan en el suelo al cual fueron aplicadas a través del riego, ya que el con-

tenido de sales que presentan, no son, en sí mismo, un problema de gravedad. En efecto, la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo, pero prácticamente no elimina sales, de forma que la solución del suelo se hace más salina a medida que el mismo se seca (Pizarro Cabello, 1990).

Si el cultivo se realiza en invernáculo todo el agua se deberá aportar en forma de riego, por ello es sumamente importante conocer la calidad del agua con que se riega. En los cultivos bajo cubierta es común que aparezcan altos niveles de sales a causa del agregado de aguas de riego que, aunque originalmente no sean salinas, con la falta de lavado y la ausencia de lluvias, generan acumulación de sales en el suelo (Balcaza, 2000). El problema se agrava aun más cuando las aguas disponibles para el riego son de mala calidad.

Cuando se habla de calidad de agua para riego, se da por supuesto que se hace referencia a la calidad en relación con la salinidad, en el sentido amplio del término. Sin embargo, la calidad se define en función de tres criterios: salinidad en sentido restringido, sodicidad y toxicidad.

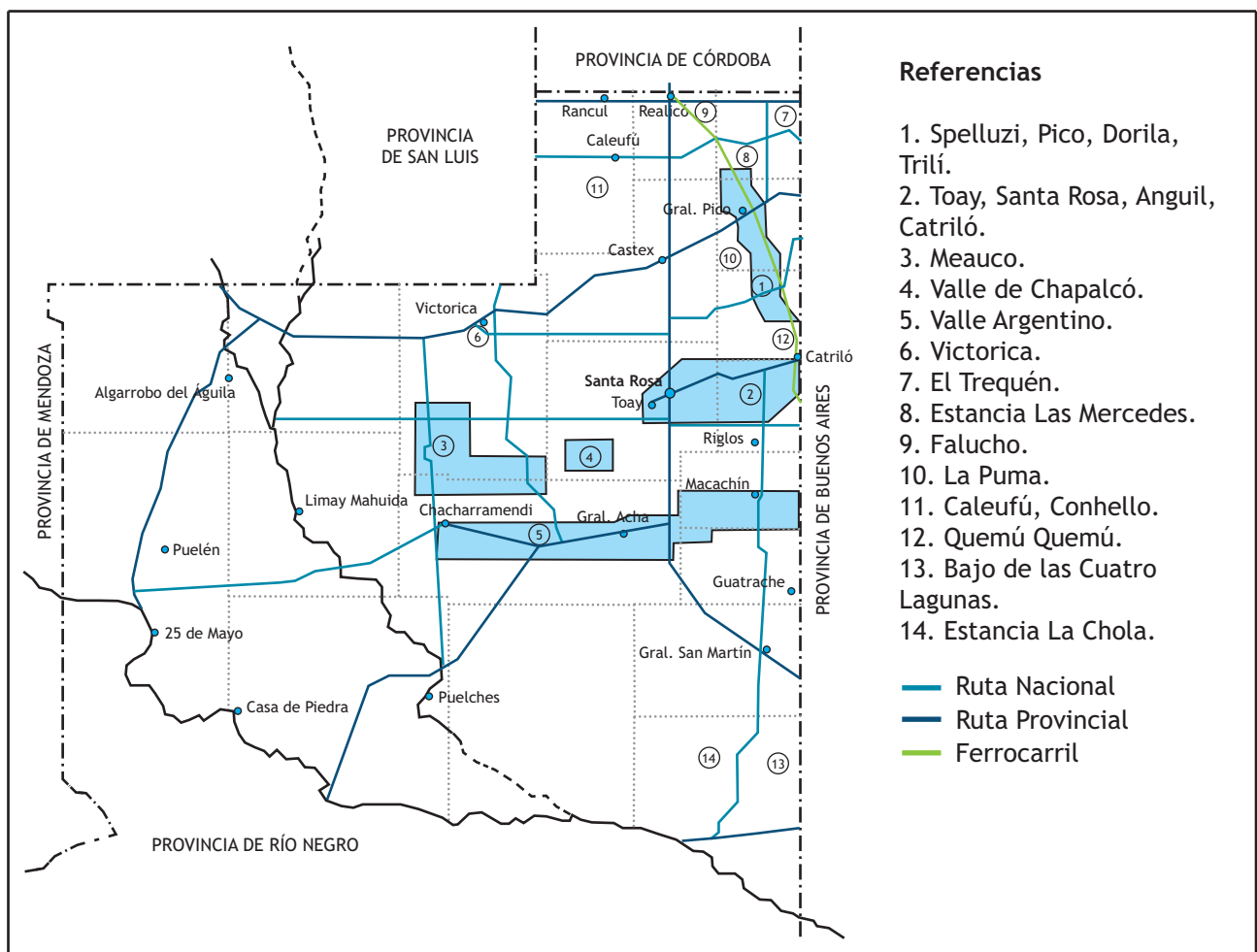
### 1.2.1 Salinidad

El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales en el suelo, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimientos de los cultivos.

Cuando aumenta la concentración de sales en la solución del suelo, las plantas tienen que hacer un gasto extra de energía para absorber el agua, ya que las fuerzas de retención aumentan debido a la afinidad de las sales por el agua. Este efecto acumulativo trae como consecuencia que la disponibilidad de agua para el cultivo disminuya (Fuentes Yagüe, 1995; Prieto & Angueira, 1996).

El esfuerzo mayor que debe realizar la planta para alimentarse de la solución del suelo genera un gasto de energía adicional y, con ello, menores posibilidades de crecimiento, menor rendimiento y calidad de los cultivos. Por eso, cuánto más salina sea la solución del agua del suelo, habrá mayores dificultades para absorber agua por parte de las plantas (Balcaza, 2000).

La concentración de sales en la zona radical varía con la profundidad. Inmediatamente después del riego,



**Figura 1.** Ubicación espacial de los principales acuíferos reconocidos de la provincia de La Pampa. Fuente: Gaii & Tullio (2008).

la mayor cantidad de agua disponible para las plantas se encuentra en la capa superior de la zona radical, pero al aumentar la evapotranspiración, el contenido de agua disminuye y aumenta la concentración salina en esa zona (Armstrong *et al.*, 1996; Fuentes Yagüe, 1995).

Si bien la salinidad reduce la disponibilidad de agua para los cultivos, estos responden de diferentes formas. Algunos cultivos pueden producir rendimientos aceptables a niveles de salinidad relativamente altos.

### 1.2.2 Sodicidad

El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca en el suelo un elevado PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable), con deterioro de su estructura. Esto produce efectos desfavorables sobre la estabilidad estructural debido al hinchamiento y la dispersión coloidal (Ausilio & Colomar, 1998; Armstrong *et al.*, 1996; Pizarro Cabello, 1990). El hinchamiento y la dispersión de arcillas son dos mecanismos que derivan en cambios en las propiedades hidráulicas y la estructura del suelo, lo que ocasiona una reducción en la velocidad de infiltración del agua. Este hinchamiento, que ocurre dentro de un volumen dado de suelo, y que resulta en la ruptura de agregados y el movimiento de partículas de arcilla, contribuye a la obstrucción de los poros y, por ende, reduce la conductividad hidráulica (Oster, 1994).

Una aproximación al PSI es el RAS (Relación de Adsorción de Sodio):

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / 2]^{1/2}$$

Donde  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  son determinados en el extracto de saturación y se expresan en miliequivalentes por litro ( $me \cdot L^{-1}$ ).

Esta ecuación ha dado lugar al nomograma descrito por Richards (1954) y a su clasificación, la cual presentó varios inconvenientes. A partir de la RAS del agua de riego, se puede calcular en la escala del nomograma el valor del PSI del suelo en equilibrio con el agua de riego.

El inconveniente del índice RAS, de no reflejar el efecto de los precipitados, dio lugar a distintos índices

que intentaban subsanar el problema, como el carbonato de sodio residual (CSR) (Eaton, 1950; USDA, 1954). Es un índice que resulta útil, porque no siempre se encuentra una relación establecida entre la RAS del agua y el PSI, debido a que también influye el contenido de carbonatos y bicarbonatos del agua de riego.

Quedó demostrado con los trabajos de Wilcox *et al.* (1953) que cuando se incrementan los valores de bicarbonatos en el agua, se incrementa la cantidad de carbonato de calcio precipitado. El incremento del PSI fue directamente proporcional a la precipitación de esta sal. En la Tabla 1 se presenta la clasificación de la calidad de agua para riego según valores de CSR (carbonato de sodio residual).

En 1965, Bower & Wilcox crearon una modificación del índice RAS, el RAS ad (Relación de Adsorción de Sodio Ajustado), el cual ha sido corregido por Ayers & Westcot (1976), en un trabajo encargado por la FAO. Una detallada evaluación de este índice demostró posteriormente que sobreestima la peligrosidad del sodio.

Actualmente se considera que el índice más adecuado para definir el riesgo de sodicidad de un agua de riego es el  $RAS^{\circ}$  (Relación de Adsorción de Sodio Corregida), definido por Suárez (1981), según la expresión:

$$RAS^{\circ} = Na^+ / [(Ca^{\circ} + Mg^{+2}) / 2]^{1/2}$$

Donde  $Na^+$  y  $Mg^{+2}$  tienen el mismo significado y unidades que en la fórmula anterior y  $Ca^{\circ}$  es la concentración corregida de calcio en el agua de riego, en  $me \cdot L^{-1}$ .

El valor  $Ca^{\circ}$  se puede obtener de una tabla, sugerida por Suárez. Depende de la salinidad del agua de riego y de los factores que afectan la dilución o precipitación de calcio, es decir, el contenido de dióxido de carbono disuelto en el agua del suelo y la relación, en el agua de riego, entre el contenido de bicarbonatos y de calcio en  $me \cdot L^{-1}$ .

Coincidentemente, Ayers & Westcot (1976) atribuyen los problemas de permeabilidad del suelo no sólo al contenido de sodio de las aguas de riego, sino también al contenido de carbonatos y bicarbonatos.

Cuando la salinidad del agua de riego es muy baja, existe alto riesgo de sodicidad, incluso a valores muy bajos del  $RAS^{\circ}$ . De hecho, con conductividades inferiores a  $0,2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , las aguas de riego ocasionan problemas de sodicidad, independientemente del valor de  $RAS^{\circ}$ . Por tal razón, las aguas de lluvia pueden llegar a ser la causa de la dispersión de los coloides en la superficie del suelo, con sus problemas derivados: pérdida de estructura, impermeabilidad, alta escorrentía, erosión, etc. (Pizarro Cabello, 1990).

**Tabla 1.** Clasificación de la calidad de agua para riego según valores de CSR (carbonato de sodio residual) (adaptado de Wilcox *et al.*, 1953).

CSR $\text{mmol(c)} \cdot \text{L}^{-1}$	Clasificación
0-1,25	Buena
1,25-2,50	Marginal
Más de 2,50	No adecuada

Según Costa (1996), para desplazar al sodio del complejo de intercambio del suelo hay que agregar calcio, en cantidad equivalente a la cantidad de sodio a desplazar. Por otra parte concluye que el lavado del suelo con agua de lluvia no es tan efectivo para desplazar al sodio como ocurre con las sales.

Cuando las aguas que se usan para riego son bicarbonatadas sódicas, la concentración de sodio en el suelo aumenta y se induce la precipitación de carbonato de calcio. Esto ocasiona disminución de la permeabilidad y alteración de la estructura del suelo, mayor aun cuando el agua es de baja concentración salina (Costa, 1996).

### 1.2.3 Toxicidad

El criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones. Los iones que más problemas inducen son cloro (Cl) y sodio (Na), aunque otros como el nitrato, el sulfato, el amonio y el boro también son tóxicos. La toxicidad, a diferencia de la salinidad, es un problema interno de la planta que se produce cuando determinados iones, absorbidos principalmente por las raíces, se acumulan en las hojas mediante la transpiración, llegando a alcanzar concentraciones nocivas (Maas, 1984).

Se piensa que la toxicidad por sodio se debe a un problema complejo que incluye deficiencias de calcio y otras interacciones. El grado de daño depende del tiempo, la concentración, la sensibilidad del cultivo y el consumo de agua. Los síntomas de toxicidad por sodio son el quemado y muerte de tejidos en la periferia de la hoja. Las hojas más maduras son las primeras en acusar los síntomas, luego avanza hacia el centro de la planta y finalmente llega a las hojas jóvenes. Se utiliza el RAS como un indicador del riesgo de toxicidad por sodio.

El cloro se mueve fácilmente desde donde es absorbido por la planta hasta acumularse en las hojas. Por este motivo, es común detectar toxicidad producida por cloro. Cuando la concentración sobrepasa la tolerancia del cultivo aparecen claros síntomas de toxicidad: hojas quemadas y necrosis de tejidos (Bernstein, 1974).

## 2. El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

En la Argentina, una de las hortalizas de hoja más cultivadas por su rentabilidad en forma protegida es la lechuga, la cual, bajo sistema de producción en invernadero aumenta su calidad comercial, ya que se obtienen plantas sanas, limpias, tiernas, grandes, de buen aspecto y con larga vida poscosecha, permitiendo una continuidad de la producción durante todo el año no

sólo por el mayor rendimiento sino también por el acortamiento de su ciclo productivo ya que no es afectado por heladas, lluvia, granizo, etc.

En cuanto al crecimiento, la temperatura óptima está alrededor de 18 °C, con un rango que oscila entre 7 y 24 °C. La temperatura del suelo juega un papel importante. El crecimiento y la actividad de las raíces disminuyen cuando la temperatura es inferior a 7 °C. La relación entre temperatura del suelo y temperatura ambiente influye sobre el crecimiento de la planta interviniendo en la relación alimentación hídrica/desarrollo foliar. Asimismo para asegurar un desarrollo vegetativo equilibrado, las necesidades en luz son más elevadas cuando las temperaturas aumentan (Thicoipé, 1997).

Aunque vegeta bien en suelos diversos, prefiere los terrenos francos que no retengan excesivamente la humedad, con abundante contenido de materia orgánica. Resiste niveles moderados de salinidad, aunque en invernaderos, el desarrollo del cultivo puede verse afectado por el incremento de sales solubles. La resistencia a la salinidad en lechugas es muy variable entre cultivos. No resiste la acidez y se adapta bien a terrenos ligeramente alcalinos. El pH óptimo está entre 6,8 y 7,4 (Di Benedetto, 2005).

En el caso particular de la producción de lechuga bajo invernadero en la región Semiárida Pampeana, en donde las aguas que se emplean para riego son en general salinas, bicarbonatadas sódica, se presenta una situación de estrés para el cultivo que tiene varias implicancias fisiológicas sobre el mismo: incremento de la concentración osmótica interna, disminución de la superficie foliar, se modifica la tasa fotosintética y la translocación de fotoasimilados, generando una disminución de los metabolitos necesarios para el crecimiento de los órganos en expansión. Finalmente, en un cultivo como la lechuga, donde lo que se comercializa son las hojas, lo que se ve afectado en última instancia es el rendimiento y la calidad comercial.

El exceso de sodio, por otra parte, provoca déficit de calcio y magnesio. Bajos niveles de calcio, tanto en el suelo como en el agua de riego, entraña riesgos de necrosis marginales de las hojas de lechuga.

La concentración absoluta de calcio y la relación que guarde con otros iones en la solución nutritiva es fundamental para disminuir los desórdenes fisiológicos provocados por la mala distribución de este elemento en los órganos de las plantas. El calcio incrementa la resistencia de las plantas a las enfermedades con base en la protección de la pared celular a la acción de las enzimas desintegradoras secretadas por los patógenos (Villegas-Torres *et al.*, 2007).

El magnesio forma parte de la molécula de cloro-

fila, también activa enzimas, por esta razón tiene gran importancia en el metabolismo energético. Su carencia provoca necrosis internerval con pigmentación antocianica y necrosis final (Thicoipé, 1997).

Zhulong Bie *et al.* (2004) encontraron que el área foliar, peso seco, longitud de hoja, ancho de la hoja, tasa fotosintética y conductancia estomática de la lechuga disminuyeron con crecientes concentraciones de sulfato y bicarbonato de sodio.

La lechuga es sensible a la carencia de boro, cobre, zinc y molibdeno. En la Tabla 2 se detallan los síntomas visuales que se observan en lechuga ante la falta de los mencionados oligoelementos. El molibdeno interviene en los procesos de reducción de los nitratos. Una deficiencia en este elemento, en suelos muy ácidos por ejemplo, produce una acumulación de nitratos en las hojas (Thicoipé, 1997).

### 3. Antecedentes

La utilización del riego en invernaderos no es una opción, sino una necesidad, ya que es el único medio de suministrarle al cultivo el agua y los nutrientes que necesita para su crecimiento y desarrollo. Pero esta práctica puede ocasionar la degradación de las propiedades del suelo si no se tiene en cuenta la calidad del agua y el conocimiento de los procesos que rigen el manejo eficiente del sistema suelo-planta-agua.

Existen muchos antecedentes nacionales e internacionales que reportan cambios en las propiedades químicas de los suelos que fueron regados con agua de mala calidad. En general, se refieren a trabajos realizados en cultivos extensivos con riego suplementario. Bajo invernadero, los antecedentes son pocos, pero se supone que los cambios son de igual o mayor magnitud que en cultivos extensivos, ya que en este caso no existe el efecto de lavado por agua de lluvia.

Andriulo *et al.* (1998) concluyeron que el riego complementario durante 11 años con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas (con  $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  de CE y

RAS de 10,6) produjo cambios de magnitud considerable en algunas de las propiedades evaluadas en un Argiudol típico de la serie Pergamino: se duplicó la Conductividad Eléctrica (CE), el PSI se sextuplicó y el pH del suelo aumentó en una unidad. Los autores destacan que no puede afirmarse que la productividad de los suelos haya disminuido, considerando que la sola medición del pH del suelo es un buen indicador del impacto producido del agua de riego sobre las propiedades del mismo.

En un ensayo realizado por Peinemann *et al.* (1998) con muestras superficiales de suelo extraídas de la llanura pampeana, para evaluar el comportamiento de los mismos al ponerlos en contacto con sus respectivas aguas subterráneas, determinaron que por efecto del riego, el pH aumentó en promedio cerca de una unidad y los PSI aumentaron de un valor medio de 2,6 % a 8,7 %.

En Manfredi, provincia de Córdoba, Salas y Lovera (1998) reportaron como consecuencia de la aplicación de 375 mm de riego en un Haplustol éntico, incrementos de la CE desde 0,8 a  $1,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y del PSI de 0,6 a 7,6 % a una profundidad de entre 0 y 10 cm.

Costa (1999) señala que, regando dos años con aguas de riego de RAS 15, 17 y 19 y CE de 1,3; 1,6 y  $2,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , se produjeron incrementos en el valor del RAS del horizonte superficial de 2,5; 6 y 14 respectivamente. La densidad aparente, la lámina de agua infiltrada y la conductividad hidráulica se vieron afectadas sólo con el máximo RAS. La CE en la superficie del suelo fue de 0,8; 1,3 y  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

En Salto, provincia de Buenos Aires, los trabajos realizados por Irurtia y Mon (1998) en sitios regados durante 5 años registraron leves incrementos del pH (de 5,9 a 6,1) y de la salinidad. En cambio, los parámetros físicos estudiados mostraron claras tendencias de deterioro.

Balcaza (2003) reporta los cambios que se producen en los índices químicos de los suelos de la región del Cinturón Verde del Gran Buenos Aires relacionados con la calidad del agua de riego y el manejo (Tabla 3). Partiendo de un suelo natural con pH 6,2 y conductividad eléctrica de  $0,84 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , el suelo bajo 3 años de invernadero presenta un pH de 7,5 y CE de  $1,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mientras aquel que se mantuvo durante 12 años bajo invernadero presentó un pH de 8,5 y CE de  $9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Todo esto a causa de los aportes de fertilizantes y

Tabla 2. Carencia de oligoelementos en lechuga (Thicoipé, 1997).

Elemento carente	Síntomas visuales para la lechuga	Causa de la carencia
Boro	Hojas duras y quebradizas. Sistema radicular poco desarrollado	Sobreencalado o suelo muy calcáreo
Molibdeno	Necrosis terminales y marginales, sobre todo en las hojas viejas, el borde de la hoja está suavemente sobrelevada.	Suelo ácido
Cobre	Clorosis internerval, sobre todo en hojas jóvenes. Necrosis marginales y terminales sobre las hojas viejas. Las partes necrosadas presentan ampollas y de color marrón blanquecino.	Sobreencalado o suelo muy calcáreo

Fuente: Fertilización CTIFL

el empleo del agua de riego. Los cambios más significativos ocurren en los niveles de fósforo y sobre todo magnesio y sodio; el fósforo se ve incrementado por la fertilización y los abonos orgánicos y los cationes por el riego. Hay una tendencia hacia el desequilibrio entre los cationes con una caída fuerte en los niveles de calcio, esto significa que los suelos bajo estas condiciones tendrán inconvenientes con la formación de agregados estables.

### 3.1 Recuperación de suelos afectados

De acuerdo a los parámetros de calidad del agua y características del suelo que tengamos, será importante evaluar estrategias que permitan el mejoramiento del suelo dentro del invernadero. Una de ellas es la utilización de enmiendas o mejoradores químicos incorporados al mismo para sustituir al sodio intercambiable en exceso y disminuir el pH.

Las enmiendas se pueden clasificar en dos grupos. El primer grupo incluye aquellos mejoradores que funcionan como fuente independiente de calcio, como el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). El segundo grupo está formado por aquellos mejoradores que promueven la disolución del calcio presente en el suelo (suelos calcáreos, principalmente) (Hussain *et al.*, 2001), como el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), el azufre (S) y el sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

Entre las propiedades químicas de los suelos se encuentra la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), que es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas y materia orgánica. Las arcillas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC.

Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas. Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: potasio (K), calcio (Ca), sodio (Na), mag-

nesio (Mg), amonio ( $\text{NH}_4$ ), hidrógeno (H), aluminio (Al), etc. Se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100) o centimoles por kilogramo de suelo (cmoles(+)/Kg). La expresión de la Capacidad de Intercambio Catiónico en valores absolutos no significa un aporte importante a la hora de interpretar un análisis y tomar una decisión. Lo que interesa es conocer qué porcentaje de cada catión ocupa un lugar en el complejo de cambio. Cuando el porcentaje de sodio respecto a la CIC (PSI estimado) supera el 5 % es cuando se debe corregir con yeso (Balcaza, 2001).

El yeso ha sido ampliamente utilizado como fuente de calcio. Comparado con las otras enmiendas disponibles, es relativamente barato, fácil de conseguir y de aplicar (Qadir *et al.*, 2006). Actúa en el complejo de intercambio desplazando al sodio para luego eliminarlo de la zona radical con lavado. De esta manera se mejora la estructura del suelo lo que facilita el drenaje y la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta.

Andreani *et al.* (1999) coinciden en que el yeso es la enmienda más utilizada para reducir el PSI en los suelos, causante de los problemas de infiltración. En el sur de Santa Fe se realizaron experiencias con esta enmienda, las cuales sirvieron para demostrar la efectividad del yeso para disminuir la sodificación.

El lavado de sales no arrastra el sodio adsorbido y hasta puede ser una técnica contraproducente al disminuir la concentración de sales disueltas, lo que fa-

**Tabla 3.** Análisis de suelos en tres situaciones, según antigüedad de manejo (Balcaza, 2003).

	Suelo natural	3 años de invernáculo	12 años de invernáculo
PH (pasta)	6,2	7,5	8,5
CE	0,84	1,8	9,0
Carbono (%)	2,5	1,7	3,0
Materia orgánica (%)	4,3	3,0	5,7
Nitrógeno total (%)	0,24	0,28	0,31
Fósforo asimilable (Bray)	20,7	166,0	196,0
CIC (meq·100 g <sup>-1</sup> )	19,3	23,2	26,2
Potasio (meq·100 g <sup>-1</sup> )	2,4	1,97	3,5
Calcio (meq·100 g <sup>-1</sup> )	12,8	12,6	7,1
Magnesio (meq·100 g <sup>-1</sup> )	2,1	4,5	5,4
Sodio (meq·100 g <sup>-1</sup> )	0,1	2,8	2,8
Porcentaje de Potasio en la CIC	12,4	8,5	13,4
Porcentaje de Calcio en la CIC	66,3	54,3	27,1
Porcentaje de Magnesio en la CIC	10,9	19,2	20,6
Porcentaje de Sodio en la CIC	0,5	12,1	10,7

cilita aún más el efecto dispersante (Pizarro Cabello, 1990; Fuentes Yagüe, 1995). La recuperación de un suelo sódico exige disminuir el PSI hasta valores aceptables, es decir, reemplazar parte del sodio adsorbido por otros cationes. Esto se consigue de diversas formas, pero todas ellas tienen en común la adición de calcio en forma de enmiendas de yeso, cloruro cálcico, etc. (Bohn *et al.*, 1993).

Según Pizarro Cabello (1990), si el suelo es salino-sódico, primero se deberá adicionar el calcio y luego lavar las sales.

En un estudio experimental realizado por Baile Rubinsky (1962) en suelos salinos-sódicos de Israel, en laboratorio e invernáculo, se concluye que el solo lixiviado del suelo no alcanza a liberar la cantidad de calcio suficiente para reemplazar al sodio del complejo. El agregado de yeso al suelo resulta beneficioso, pero si va acompañado de una lixiviación con más de  $10.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Lazovich *et al.* (1985) probaron el efecto de diferentes enmiendas sobre un suelo Natracuol típico en invernadero. Encontraron que el yeso fue la enmienda que mayor eficiencia presentó, en función de los volúmenes de agua requerido para desplazar una cantidad determinada de sodio. Sin embargo, reportaron que el yeso en condiciones de invernáculo, produjo una depresión en los rendimientos, lo cual puede corregirse con el agregado de superfosfato triple.

En suelos de invernáculo la provisión de fósforo, luego de varios años de agregado de materia orgánica y fertilizantes, es suficiente y es difícil que se produzca una depresión en los rendimientos por causa de la deficiente provisión de este elemento.

En el norte de India, Bajwa *et al.* (1983) evaluaron los efectos del riego con agua bicarbonatada sódica sobre el suelo y los rendimientos de trigo y maíz. El rendimiento promedio de maíz disminuyó significativamente con el aumento de los niveles de conductividad eléctrica y RASadj del agua de riego. El rendimiento del trigo no se vio afectado. La aplicación de yeso disminuyó el porcentaje de sodio intercambiable del suelo (PSI) y el pH.

Rengasamy y Olsson (1991) encontraron que la aplicación de yeso a un suelo sódico neutral disminuyó el pH entre 0,5 y 1 unidad, debido a efectos de fuerzas iónicas que favorecen la formación de complejos de cationes con el ión  $\text{SO}_4^{2-}$ , conduciendo a la reducción del pH.

Chorom y Rengasamy (1997), en un ensayo de laboratorio, encontraron que la aplicación directa de yeso en un suelo alcalino redujo el pH del mismo desde 9,38 hasta 7,89.

En un trabajo realizado por Quinteros *et al.* (2000),

cuyo objetivo, entre otros, fue evaluar el efecto del agregado de yeso sobre distintas características físico-químicas de un suelo disperso por sodio en Entre Ríos durante las campañas 1997-1999, se concluyó que la enmienda con yeso representa una alternativa adecuada para corregir problemas de suelos dispersivos. La adición de yeso, mediante la disminución del sodio intercambiable, produjo una recuperación en las condiciones físicas del suelo, repercutiendo en un incremento de la productividad de forraje y posibilitando una mejor utilización del fertilizante por parte del cultivo. La mejora del sistema poroso del suelo por adición de yeso quedó evidenciada en el cambio producido sobre la estabilidad estructural del sistema poroso del suelo y por el aumento en la mineralización de la materia orgánica. Se pudo comprobar que los efectos positivos del yeso en el suelo se mantuvieron a lo largo del tiempo que duró el ensayo (26 meses).

La velocidad con la cual el yeso se incorpora a la solución depende de la finura del material. Aunque su costo es más elevado, el yeso finamente molido (partículas de menos de 0,25 mm de diámetro) se disuelve más rápidamente y es el más indicado para la aplicación en el agua de riego. En el caso de la incorporación en el suelo, puede usarse yeso con un grado de pureza menor y con tamaño de partícula más gruesa (Keren & Shaimberg, 1981).

El yeso es poco soluble. Se estima un valor alrededor de  $0,30 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  de agua a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . La solubilidad del yeso es afectada por el tamaño de las partículas, la temperatura y la salinidad del agua. Cuanto más finas son las partículas, más fácil de disolver (Mater *et al.*, 1990).

El azufre elemental (S) es el acidificante más empleado, y el mecanismo por el cual se transforma en ácido sulfúrico es producto de la oxidación generada por acción de bacterias del género *Thiobacillus*, siendo *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante (Chapman, 1990; Miyamoto, 1998). Sin embargo, Miyamoto (1998) señala que bacterias heterotróficas y autotróficas facultativas del suelo, pueden ser de mayor relevancia, debido a que se encuentran en mayor cantidad que el género *Thiobacillus*.

Para que se produzca la oxidación del azufre en forma eficiente es preciso que existan condiciones favorables, tales como la existencia de bacterias adecuadas, suficiente humedad en el suelo (la óptima es capacidad de campo) y el diámetro de las partículas de azufre lo más finas posible (Magnífico & Ferrari, 1987). La temperatura que debe tener el suelo para la oxidación del azufre se encuentra en el rango de 4 a  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ , con un rango óptimo entre los 25 y  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  para la mayoría de ellos (Miyamoto, 1998).



Asimismo, Atloe y Olson (1966) demostraron que los niveles óptimos de oxidación del azufre se obtuvieron con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo y a una temperatura de 24 °C.

La oxidación del azufre es una reacción exclusivamente superficial y las moléculas del exterior de las partículas están expuestas a una mayor actividad química y biológica. Consecuentemente, la cantidad de sulfato producido por unidad de tiempo es una función total del área superficial del azufre y no de su masa (Sierra *et al.*, 2007).

El azufre, actuando como agente en la oxidación microbiológica, reacciona con los carbonatos naturalmente presentes produciendo sulfato de calcio, fuente de calcio reemplazante del sodio y, además, liberando dióxido de carbono, eficiente reductor del pH edáfico (Baile Rubinsky, 1962).

Lazovich *et al.* (1985) encontraron que el azufre aplicado en combinación con CO<sub>3</sub>Ca actúa mejorando la solubilidad de este último mientras que, cuando se agrega solo, el pH del suelo desciende en forma notable, perjudicando el desarrollo del trébol blanco de las macetas.

Gale *et al.* (2001) sugirieron que el efecto principal del azufre en un suelo sódico no es la acidificación directa, sino la disolución de la cal presente en el suelo y la liberación de cationes Ca<sup>2+</sup> que reemplazan a los cationes Na<sup>+</sup> para luego ser lixiviados.

Las dosis de azufre necesarias para alcanzar un pH de 6,5 varían con la textura del suelo (Tabla 4).

En un trabajo realizado por Longo *et al.* (2005) donde se evaluó el efecto del agregado de enmiendas (yeso y azufre) al suelo de un invernadero se observó que el pH del suelo tratado con azufre disminuyó notablemente (pH inicial de 9,39; pH final 7,31) hasta el tercer muestreo, lo que indicaría la acción lenta del azufre.

Sierra *et al.* (2007) utilizaron el azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de Chile. Reportaron que en todos los suelos analizados hubo una disminución del pH por efecto de la aplicación de azufre, como consecuencia de la transformación a sulfato por oxidación microbiológica. La magnitud de esta caída fue incrementada con el aumento de la dosis de azufre. Además, la conductividad eléctrica de los suelos tuvo un incremento significativo por efecto de la incorporación de azufre elemental, como consecuencia de una mayor solubilidad de las sales presentes. Destacan que aquellos suelos que bajaron en forma significativa su pH por el efecto acidificante del azufre elemental fueron los que más incrementaron los niveles de micronutrientes disponibles; excepto el zinc, cuyos valores aumentaron independientemente de la acidificación de los suelos.

Irurtia y Peinemann (1987), en un trabajo realizado en el extremo inferior del Río Colorado, cuyo objetivo fue la comparación de tratamientos de yeso y azufre con el tratamiento testigo, al que sólo se le aplicaron los lavados correspondientes, determinaron que los tratamientos con yeso y azufre producen importantes reducciones del PSI en las capas más superficiales; en la capa de 0 a 20 cm el yeso y el azufre producen disminuciones del 79 % y 82 % respecto al testigo, mientras que en las capas de 20 a 40 cm la reducción con respecto al testigo es del 50 %. Concluyeron que en los tratamientos con aplicación de yeso y azufre se lograron las mayores reducciones en salinidad y porcentaje de sodio intercambiable.

Zérega y Adams (1991) realizaron un ensayo donde evaluaron los efectos de la cachaza (subproducto de la industrialización de la caña de azúcar) y el azufre sobre un suelo salino-sódico bajo condiciones de invernadero. Determinaron que solamente el azufre, en sus tratamientos principales y en las interacciones con cachaza, ejerció efectos mejoradores sobre las propiedades químicas del suelo. Además, observaron de manera evidente el mejoramiento de la tasa de penetración de agua en el suelo. Recomiendan una dosis de azufre entre 2,5 y 5,0 t·ha<sup>-1</sup>, en suelos con alto contenido de sodio intercambiable y carbonatos de calcio y magnesio precipitados, restringiéndose su uso a suelos regados con aguas con elevado carbonato de sodio residual.

### 3.2 Efecto de la salinidad sobre el cultivo de lechuga

En un experimento realizado por Andriolo *et al.* (2005) se evaluó el crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Vera bajo un sistema hidropónico, en crecientes niveles de salinidad. Determinaron que, para fines comerciales, a niveles superiores de 2,0 mS·m<sup>-1</sup> y 2,6 mS·m<sup>-1</sup> el peso fresco de las plantas y el crecimiento disminuyeron respectivamente.

Oliveira *et al.* (2011) evaluaron el rendimiento de distintos cultivares de lechuga en invernadero regados con agua salina. Determinaron que el número de hojas

**Tabla 4.** Dosis de azufre para alcanzar un pH de 6,5 (Lorenz & Maynard, 1980).

Variación de pH deseada	Azufre (kg·ha <sup>-1</sup> )		
	Tipo de suelo		
	Arenoso	Franco	Arcilloso
8,5 - 6,5	2.250	2.800	3.400
8,0 - 6,5	1.350	1.700	2.250
7,5 - 6,5	550	900	1.100
7,0 - 6,5	110	170	340

fue significativamente afectado por la salinidad, aunque el efecto varió para cada genotipo. Este comportamiento demuestra que el efecto de la sal en el crecimiento de las plantas varía en función del material genético. Concluyeron además que el número de hojas, el área foliar y la biomasa aérea disminuyen linealmente con el incremento de la salinidad. Asimismo, Dias *et al.* (2011), en un ensayo con dos cultivares de lechuga en hidroponía, concluyen que la lechuga es sensible al aumento de la salinidad de la solución nutritiva, lo que reduce el número de hojas, área foliar y el peso fresco y seco de los brotes.

#### 4. Conclusiones

Cuando se dispone de agua de calidad dudosa para regar, ya sea salina, sódica o bicarbonatada sódica, existen varias estrategias que se pueden adoptar para que el uso de la misma no ponga en riesgo la sustentabilidad del emprendimiento productivo.

Según los antecedentes mencionados, el uso continuado de agua de mala calidad trae aparejado cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo. La magnitud de estos cambios está en función de la composición química del agua, la cantidad aplicada, las características del suelo, como textura, contenido de materia orgánica, pH, entre otros.

A mayor RAS, la conductividad hidráulica del suelo disminuye por efecto del hinchamiento y dispersión de las arcillas, generando disminución de la infiltración y suelos encostrados en donde la germinación y emergencia de los cultivos se ven comprometidas.

La lechuga es una de las hortalizas de hoja más cultivadas por su rentabilidad en forma protegida. Bajo este sistema aumenta su calidad comercial, alarga su vida poscosecha y se logra continuidad de la producción durante todo el año. Resiste niveles moderados de salinidad, aunque en invernaderos, el desarrollo del cultivo puede verse afectado por el incremento de sales solubles. Varios autores coinciden en mencionar que a niveles elevados de salinidad la lechuga reduce el número de hojas, área foliar y el peso fresco y seco de los brotes.

El manejo de un suelo salino-sódico se realiza mediante la utilización de enmiendas. Estas se pueden añadir al agua de riego o directamente al suelo. Su efecto deriva en contrarrestar el aumento de los niveles de sodio y estabilizar la estructura del suelo.

#### 5. Bibliografía

Alconada, M. & Minghinelli, F. 1998. Calidad de agua

de riego según diferentes criterios: influencia sobre la salinización-alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el gran La Plata. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 229-230.

Andreani, J.; Pecorari, C. & Ramuno, J. 1999. Evaluación de correctores químicos en el suelo. INTA-Proyecto de Intensificación de la producción de granos (IPG). Novedades en siembra directa, riego y fertilización. Serie Informe de avance N° 6. Pergamino, 15-17.

Andriolo, J.L.; da Luz, G.L.; Witter, M.H.; Godoi, R.; Barros, G.T. & Bortolotto, O.C. 2005. Crescimento e produtividade da alface em condições salinas. Horticultura Brasileira. Vol. 23 N°4.

Andriulo, A.; Galetto, M.L.; Ferreyra, C.; Cordone, G.; Sasal, C.; Abrego, F.; Galina, J. & 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 1998, 247-258.

Armstrong, A.S.B.; Rycroft, D.W. & Tanton, T.W. 1996. Seasonal movement of salts in naturally structured saline-sodic clay soils. Agric. Water Manag. 32:15-27.

Atloe, O.J. & Olson, R.A. 1966. Factor affecting rate of oxidation in soils of elemental sulfur and that added in rock, phosphate-sulfur fusion. Soil Sci. 101: 317-325.

Ausilio, A. & Colomar, P.L. 1998. Evaluación de la calidad del agua utilizada para riego en el cinturón hortícola de Rosario: distritos Pérez y Soldini. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 239-240.

Ayers, R.S. & Westcot, D.W. 1976. Calidad del agua para la agricultura. Estudio FAO. Riego y Drenaje. 29. Roma, 174p.

Baile Rubinsky, D.L. 1962. Estudio Experimental sobre mejoramiento de suelos salino-alcalinos realizado en laboratorio e invernáculo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. Tomo IX, N° 2.

Bajwa, M.S.; Hira, G.S. & Singh, N.T. 1983. Effect of sodium and bicarbonate irrigation waters on sodium accumulation and on maize and wheat yields in Northern India. Irrigation Science. Vol. 4. N° 3. 191-199.

Balcaza, L. 2000. Importancia de la calidad del agua de riego en los cultivos bajo cubierta. Boletín electrónico, EEA INTA San Pedro. [http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/hor/lb\\_001.htm](http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/hor/lb_001.htm)

Balcaza, L. 2001. Aplicación de Yeso en suelos culti-

- vados con hortalizas en invernaderos. Boletín Hortícola Año 9 N° 30.
- Balcaza, L. 2003. Deterioro de los suelos cultivados bajo invernáculo. *Idia XXI* N°4. Ediciones INTA.
- Bernstein, L. 1974. Crop growth and salinity. In: Shilfgaarde J. Van (ed) *Drainage for agriculture*. *Agronomy* 17:39-54.
- Bohn, H.L.; McNeal, B.L. & O'Connor, G.A. 1993. *Química del suelo*. Ediciones Limusa. México.
- Bower, C.A. & Wilcox, L.V. 1965. Precipitation and solution of calcium carbonate in irrigation operations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 93-94.
- Bresler, E.; McNeal, B.L. & Carter, D.L. 1982. *Saline and sodic soils: Principles-Dynamics-Modeling*. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg New York. 236 pp.
- Chapman, S.J. 1990. Thiobacillus populations in some agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 22:479-482.
- Chorom, M. & Rengasamy, P. 1997. Carbonate chemistry, pH, and physical properties of an alkaline sodic soil as affected by various amendments. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 35, N° 1, 149-162.
- Costa, J.L. 1996. Calidad de aguas para riego. En: "Curso de riego suplementario, Sistemas de aspersión". Unidad Integrada Balcarce (INTA- Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce). Tandil 27 de setiembre, 4 y 11 de octubre de 1996.
- Costa, J.L. 1999. Calidad de aguas para riego en el sudeste bonaerense. INTA-Proyecto de Intensificación de la producción de granos. Novedades en siembra directa, riego y fertilización. Serie Informe de avance N°6. Pergamino, 10-12.
- Dias, N.; de Sousa Neto, O.; Cosme, C.R.; Jales, A.O.; Rebouças, J.; & de Oliveira, A.M. 2011. Resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol.15 N°10.
- Di Benedetto, A. 2005. Manejo de Cultivos Hortícolas: bases ecofisiológicas y tecnológicas. Cap. 2. Orientación Gráfica Editora S.R.L. 384 p.
- Eaton, M.F. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69: 123-133.
- Fuentes Yagüe, J.L. 1995. *Técnicas de riego*. Ministerio de Agricultura. España.
- Gale, G.; Koenig, R. & Barnhill, J. 2001. Managing soil pH in Utah, Utah State University, viewed 15 March 2008. <http://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG-SO-07.pdf>
- Giai, S.B & Tullio, J.O. 2008. Características de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 12: 51-68. Buenos Aires.
- Hussain, N.; Hassan, G.; Arshhadullah, M. & Mujeeb, F. 2001. Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soils. *International Journal of Agriculture and Biology*, Vol. 3, N° 3, 319-322.
- Irurtia, C.B. & Peinemann, N. 1987. Ensayo de recuperación a campo de un suelo salino mediante el lavado y el uso de enmiendas. *IDIA*. N° 457-462, 46-59.
- Irurtia, C.B. & 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.
- Keren, R. & Shaimberg, I. 1981. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:103-107.
- Lazovich, M.R.; Costa, J.L. & Godz, P. 1985. Efecto de enmiendas y lavado sobre el desplazamiento catiónico y producción de materia seca de un Natracuol, en invernáculo. *Ciencia del suelo*. Vol. 3. N° 1-2.
- Longo, A.; Ferratto, J.; Mondino, C. & Grasso, R. 2005. Incorporación de yeso y azufre en un suelo salino-sódico: su efecto sobre el rendimiento y calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero. *Revista FAVE, Ciencias Agrarias* Vol. 4. N° 1-2: 31-36.
- Lorenz, O.A. & Maynard, D.N. 1980. *Knott's handbook for vegetable growers*. Second edition. Wiley-Interscience Pub. New York, NY, U.S.A., 390p.
- Magnífico, V. & Ferrari, I. 1987. L'acidificazione dei terreni calcarei: un mezzo per aumentare la disponibilità dei microelementi nelle culture orticole e floricole. *Culture Protette Anno XVI* N° 3.
- Marouelli, W.A.; Pereira, W.; Silva, H.R.; Silva, W.; Carvalho, L. & 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.
- Maas, E.V. 1984. Crop tolerance. *Calif. Agric.* 38 (10): 20-21.
- Mater, A.; Osaman, O.; Sayegh, A. & Boyadgiev, T. 1990. *Characteristics of Gypsiferous Soils*. Food and Agriculture Organisation, Rome.

- Miyamoto, S. 1998. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. In A. Wallace and R.E. Terry (eds.) Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners. Marcel Dekker, New York, USA. 217-255.
- Oliveira, F.; Carrilho, M.J.; Medeiros, J.F.; Maracajá, P.B. & de Oliveira, M.K.T. 2011. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol.15 N°8.
- Oster, J.D. 1994. Irrigation with poor quality water. Agric. Water Manag. 25:271-297.
- Peineman, N.; Díaz Zorita, M.; Villamil, M.B.; Lusa-rrera, H. & 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.
- Pizarro Cabello, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 2da edición. Madrid. Ediciones. Mundi-Prensa. 471 p.
- Prieto, D. & Angueira, C. 1996. Calidad de agua para riego. Módulo II. Curso a distancia de "Métodos de riego". INTA-Procadis. Programa clima y agua. 94 p.
- Qadir, M.; Noble, A.D.; Schubert, S.; Thomas, R.J. & Arslan, A. 2006. Sodicty-induced land degradation and its sustainable management: Problems and prospects. Land Degradation & Development, Vol. 17, N° 6, 661-676.
- Quinteros, C.; Boschetti, N.; Durand Morat, A. & Fetto-olini, S. 2000. Recuperación de suelos dispersivos por medio de enmiendas. <http://www.fertilizando.com/articulos/recuperación%20de%20suelos>
- Quiroga, A. & Frassier, I. 2009. Posibles implicancias del cambio climático sobre los suelos y los sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana. Jornada sobre Cambio Climático y Producción Agropecuaria. Subsecretaría de Asuntos Agrarios, Ministerio de la Producción, Gobierno de La Pampa, INTA, EcoSur, Centro de Estudios Ambientales. 27 Marzo de 2009. Santa Rosa, La Pampa.
- Rengasamy, P. & Olsson, K.A. 1991. Sodicty and Soil Structure. Aust. J. Soil Res. 29:25-32.
- Richards, L.A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de agricultura N°60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 171 pp.
- Sainato, C.M.; Galindo, G. & Heredia, O. 2006. Agua Subterránea. Exploración y utilización agropecuaria. Ed. Facultad de Agronomía UBA. 115 p.
- Salas, H.P. & Lovera, E.F. 1998. Efecto del riego suplementario sobre algunas características del suelo. INTA, EEA Manfredi. Proyecto IPG, 9 p.
- Sierra, C.; Lancelloti, M. & Vidal, P. 2007. Azufre Elemental como Corrector del pH y la Fertilidad de Algunos Suelos de la III y IV Región de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 67(2):173-181.
- Suárez, D.L. 1981. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:469-475.
- Thicoïpé, J.P. 1997. Laitues. Ctifl. Francia. 281 p.
- USDA U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.
- Valerdi, M. 2007. Encuesta Hortícola Provincial 2007. Dirección de Producciones Alternativas. Secretaría Ejecutiva del Instituto de Promoción Productiva. Ministerio de la Producción. Gobierno de La Pampa. 9 p.
- Villegas-Torres, O.G.; Alia-Tejacal, I.; Acosta-Durán, C.M.; Guillén-Sánchez, D. & López-Martínez, V. 2007. Relación del calcio con las enfermedades de los cultivos. Investigación Agropecuaria. 2007. Volumen 4. p. 77-86.
- Wilcox, L.V.; Blair, G.Y. & Bower, C.A. 1953. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. Soil Sci. 77: 259-266.
- Zérega, L. & Adams, M. 1991. Efectos de la cachaza y el azufre sobre un suelo salino-sódico del estado de Carabobo bajo condiciones de invernadero. Caña de azúcar, Vol. 9 N°2, 110-126.
- Zhilong, B.; Tadashi, I.; Shinohara & Yutaka. 2004. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. Scientia Horticulturae, 99: 215-224.