

REHABILITACIÓN DE TIERRAS DE USO HORTÍCOLA DEGRADADAS POR RIEGO CON AGUAS BICARBONATADAS SÓDICAS, EN SUELOS CON IMPEDIMENTOS FÍSICOS DE LA PAMPA

Muguiro, Alberto ¹; Cristian Álvarez ¹; Roberto Marano ²; Carlos Pechin ³;
Walter Ascencio ⁴, Rodolfo Grasso ⁵

¹ AE y DT Gral. Pico, CC, 6630, Gral Pico, Pcia de La Pampa; albertomuguiro@hotmail.com

² UNL Facultad de Agronomía Esperanza Sta Fé

³ CERET, Área de producción intensiva

⁴ Asesor privado

⁵ UNR Facultad de Ciencias agrarias Zavalla Sta Fé

RESUMEN

El exceso de cationes como el sodio y aniones como carbonatos y bicarbonatos, presentes en el agua de riego, incrementan en el suelo el pH, la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable y la mayoría de las veces, afecta el crecimiento de los cultivos. El objetivo del ensayo fue recuperar tierras degradadas de los productores de lechuga regadas con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas. Se compararon durante 325 días, 4 tratamientos, en dos sistemas de producción diferenciados por años de producción, utilizando un diseño de parcelas divididas. Se trabajó el suelo con motocultivador, luego se incorporó yeso en los túneles (2=A y 4=B años), resultando los siguientes tratamientos: 1) To, testigo sin tratar; 2) T1, 3.5 tn ha⁻¹ de yeso agrícola de composición granulada, 3) T2, 3.5 Tn ha⁻¹ de yeso agrícola + drenaje y 4) T3, drenaje. La producción de lechuga varió entre 1,7 y 8,5 y 1,9 y 10,4 kg m⁻² en el ciclo de producción para A y B respectivamente. Sólo se comprobó respuesta significativa al tratamiento T1 y T2 sobre T3 y To para el primer ciclo de producción. La CE del suelo con los diferentes tratamientos disminuyó notablemente a partir del 2º ciclo de producción posiblemente a consecuencia de aplicación de una lámina mayor de riego que provocó un mejor lavado de sales de la superficie y a la activación del yeso. Esta variable se correlacionó con el rendimiento del cultivo de lechuga ($r = -0.81$).

Palabras clave: salinidad, lechuga, enmienda

INTRODUCCIÓN

Una de las características distintivas de la agricultura intensiva bajo riego en la Argentina es el empleo de importantes cantidades de productos químicos como: herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes con una alta frecuencia de laboreos y cultivos. Estos sistemas de producción han provocado, en el tiempo, un deterioro del recurso productivo y de las condiciones ambientales.

La producción de hortalizas bajo invernadero ha tenido un amplio crecimiento en el mundo y especialmente en nuestro país (Ferratto *et al.*, 2006). En La Pampa la producción de lechuga bajo invernadero es una alternativa para pequeños productores hortícolas, pero requiere sostenibilidad. Los suelos de esta región muestran actualmente una tendencia a la degradación debido a los sucesivos ciclos de horticultura intensiva. Esta degradación se manifiesta en sus propiedades físicas y químicas, materia orgánica, actividad microbiológica, disminución de la estabilidad estructural, menor capacidad de infiltración, mayores necesidades de fertilizantes e incremento de los problemas halomórficos (Martínez *et al.*, 1994).

En suelos bajo invernadero pueden incorporarse sales y/o sodio con el agua de riego. El exceso de cationes como el sodio y aniones como carbonatos y bicarbonatos, presentes en el agua de riego, incrementan el pH del suelo, la conductividad eléctrica (Ces), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y por ende se afecta el crecimiento de los cultivos (Choudhary *et al.*, 2004).

La alteración que produce este fenómeno 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 sal y la sensibilidad al exceso de sales y sodio de las diferentes especies implantadas (Conti, 1998). Estos aspectos mencionados pueden provocar en el suelo problemas de infiltración (Marano, 2000) y, 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). Debido a lo mencionado anteriormente, es importante evaluar estrategias que permitan el mejoramiento del suelo dentro del invernadero, siendo una de ellas la utilización de los mejoradores químicos o enmiendas incorporados al suelo, para sustituir al sodio intercambiable y así disminuir el pH y la CEs.

Objetivo: Mejorar la sustentabilidad de los productores de lechuga recuperando tierras degradadas por riego con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas, en suelos petrocálcicos de La Pampa.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Módulo Demostrativo hortícola de la municipalidad de Caleufú, LP (35° 40'S; 63° 46'W), utilizando una estructura con las siguientes dimensiones: 32 m de largo, 6,0 m de ancho y 2,5 m de alto. Fue construido con caños estructurales y cubierto con polietileno térmico de 150 micrones de espesor.

Según Casagrande (comunicación pers.) el clima en la región corresponde a semiárido con precipitaciones anuales que oscilan entre 600 y 800 mm. El ensayo se llevó a cabo en un suelo

Haplustol entico, con presencia de tosca a 80 cm, totalmente modificado desde el punto de vista químico, dado que tenía más de cuatro años destinado a la horticultura y entre dos y cuatro años bajo cubierta con túnel alto, respecto al original (suelo prístino, monte nativo, con pH 5,13 y CEs de 2,06 dS m⁻¹). Los valores de pH oscilaron entre 8,11 a 8,38 según años de producción (túnel de 2 y 4 años respectivamente) y CEs también variable entre 1,96 a 2,61 dS m⁻¹. El agua utilizada para el riego presentó una CEs al momento de iniciar el trabajo de 1,31 dS m⁻¹; RAS de 28,2, pH de 8,3, Carbonato de Sodio Residual (CSR) de 9,3 cmol_ckg⁻¹ y concentración de Na⁺ cercana a 260 cmol/kg (Tabla 3). El 1/05/10 se laborearon con motocultivador los túneles (A=2 años y B=4 años) y se realizaron los siguientes tratamientos: 1) Testigo sin tratar (T0); 2) 3,5 Tn ha⁻¹ de yeso agrícola de composición granulada (T1), 3) 3,5 Tn ha⁻¹ de yeso agrícola + drenaje (T2) y 4) drenaje (T3). La determinación de la cantidad de enmienda a aplicar en los tratamientos 2) y 3) se realizó en función al PSI al inicio del experimento (Richards, 1973) Tabla 1.

El ensayo se diseñó como un experimento en bloques completamente aleatorizados con parcela dividida, correspondiendo a la parcela principal la cantidad de años de cultivo bajo riego (A y B) y las sub-parcelas a los tratamientos (T0,T1,T2 y T3), con cuatro repeticiones. Los resultados se evaluaron con ANOVA y se determinó diferencias de medias entre tratamientos según Test de LSD. Las variables analizadas fueron: rendimiento (kg m⁻²), pH y CEs. Las muestras de suelo fueron extraídas de 0 – 20 cm a ambos lados de la tubería de riego por goteo, previo y posterior a cada ciclo de producción. Fueron analizadas según los siguientes métodos: *pH actual por potenciometría con relación suelo: agua destilada* (1: 2,5); *Conductividad eléctrica: Relación suelo: Agua destilada* (1: 2,5). *Conductimetría. Bases solubles: Extractante: Acetato de Amonio 1N pH 7.* *Sodio: medición por fotometría de llama. Capacidad de Intercambio Catiónico: Método de tren de extracción automatizado de Ritcher por fotometría de llama.* Para la incorporación del yeso al suelo se realizaron dos pasadas de rotovator, inmediatamente después de un riego de 10 mm, para favorecer la reacción de las enmiendas con el suelo. El drenaje consistió en excavar una zanja trapezoidal hasta la profundidad de la barrera (tosca) y distanciada 5 m de las platabandas con cultivo. El experimento se continuó durante tres ciclos sucesivos de lechuga, cv “Brisa”. Las fechas de siembra, trasplante y cosecha se presentan en la (Tabla 2). Los plantines fueron sembrados en bandejas plásticas de 288 celdas con pan de tierra (20 cm³). El terreno fue sistematizado en platabanda, distanciados a 120 cm y la plantación se realizó en doble hilera sobre cada lomo de cada platabanda; los trasplantes fueron realizados en forma manual con una densidad de plantación de 12,5 pl m⁻². La reposición de plantas se efectuó a los cinco días del trasplante para todos los tratamientos y cultivos. Las labores culturales fueron: carpida, fertilización (cama de gallina de base 1 kg m⁻²), aplicación de insecticidas y funguicidas de acuerdo a las necesidades del cultivo. El sistema de riego utilizado fue por goteo (Tabla 3). Las cosechas se realizaron en forma manual, eliminando las hojas inferiores que no presentaban calidad comercial.

Tabla 1: Caracterización de los sitios bajo estudio. Materia orgánica (%), pH, conductividad eléctrica (CE,dSm-1), capacidad de intercambio catiónico (CIC, meq 100 gr suelo-1), porcentaje de sodio intercambiable (PSI, %).

Sitio	Materia orgánica	pH	CE	CIC	PSI
Suelo virgen	3,57	5,13	2,06	14,5	<1
Túnel B	3,46	8,11	1,96	17,0	22
Túnel A	2,08	8,38	2,61	15,2	27

Tabla 2: Ciclos de producción y fechas de siembra, trasplante y cosecha del cultivo de lechuga cv “Brisa”

Ciclo	Fecha de siembra	Fecha de trasplante	Fecha de cosecha
1°	19/03/10	19/04/10	02/07/10
2°	20/07/10	20/08/10	26/10/10
3°	5/12/10	05/01/11	11/02/11

Tabla 3: Manejo de riego por ciclo de producción del cultivo de lechuga

Manejo de riego	Ciclo		
	I	II	III
Caudal de goteros (L h ⁻¹)	1,5	1,5	1,5
Pluviometría (mm h ⁻¹)	8,5	8,5	8,5
Dosis bruta (mm)	18	18	18
Tiempo de riego (h)	2	2	2
Eficiencia de riego (%)	85	85	85
Dosis neta (mm)*	10	15	15
Necesidad de riego(mm día ⁻¹)	5	10	10
Lixiviación (%)	15	15	15

* la lamina de riego se determinó en función de la evapotranspiración y demanda del cultivo. Además se tuvo en cuenta el agua necesaria para provocar lavado de sales.

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos de los parámetros evaluados para caracterización inicial del agua de riego subterráneo.

Tabla 4: Parámetros de calidad de agua de riego subterránea.

Análisis agua de riego	Valores	
pH	8,3	
CE (dS m ⁻¹)	1,31	
Dureza	34	
RAS	28,2	RAS ajustado: 31,2 calculado (RAS*[1+(8,4-pH)])
CSR	9,3	Cuando se superan los 2,50 meq l ⁻¹ las aguas son consideradas de mala calidad. (USSL Staff, 1954).
Bicarbonato (ppm)/ (meq l ⁻¹)	612 *	10
Sulfatos (ppm)/ (meq l ⁻¹)	74	1,54
Cloruros (ppm)/ (meq l ⁻¹)	23,5	0,66
Carbonatos (ppm)/ (meq l ⁻¹)	8,0	0,13
Calcio (ppm)/ (meq l ⁻¹)	5,6	0,29
Magnesio (ppm)/ (meq l ⁻¹)	4,88	0,41
Sodio (ppm)/ (meq l ⁻¹)	376,5	16,4

* valores superiores a 500 ppm son consideradas restrictivas para el riego. Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ANOVA se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5: Fuente de variación, producción del cultivo de lechuga (kg m⁻²), pH y conductividad del extracto de saturación (CEs, dS m⁻¹)

FV	1 ^{er} ciclo			2 ^{do} ciclo			3 ^{er} ciclo		
	Prod	pH	Cond	Prod	pH	Cond	Prod	pH	Cond
Modelo	*	**	*	**	ns	ns	**	ns	ns
Tratamiento	*	**	*	**	ns	ns	ns	ns	ns
Años	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*
Interacción	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns

ns: no significativo; * diferencia significativa ($p < 0,05$); ** diferencias significativas ($p < 0,01$)

La producción acumulada de lechuga en el tratamiento testigo fue menor para el túnel A respecto al B, indicando que el túnel de 4 años presentó condiciones de mayor degradación del suelo. Sus valores variaron de 1,7 a 3,6 kg m⁻² y de 1,9 a 4,6 kg m⁻² por corte para los túneles A y B respectivamente; y de 1,7 kg m⁻² a 8,5 kg m⁻² y 1,9 kg m⁻² a 10,4 kg m⁻² en todo el ciclo de producción para A y B respectivamente. Hubo diferencias significativas en ambos túneles para los tratamientos evaluados en la producción acumulada ($p < 0.05$).

Con respecto a los tratamientos realizados, en la respuesta productiva sólo hubo interacción años por tratamiento en el tercer ciclo (Tabla 5), por lo que pueden analizarse individualmente los factores (Tratamiento y Año) en los ciclos 1 y 2 y la interacción en el ciclo 3.

Analizando el factor año, comenzó con mayor productividad el túnel de 2 años (A), a continuación se estabilizaron los rendimientos y finalmente en el tercer ciclo aumentó la productividad del túnel de 4 años (B, Tabla 6)

Tabla 6: Rendimientos medios de lechuga (kg m⁻²) según factor año por ciclo de cultivo

Factor Año	1 ^{er} ciclo	2 ^{do} ciclo	3 ^{er} ciclo
A	3.07 b	3.07 a	1.73 a
B	2.52 a	3.46 a	2.9 b

Letras distintas en columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos según Test de LSD ($p < 0.05$)

Cabe aclarar que no puede compararse la producción de un ciclo y otro ya que las condiciones ambientales fueron muy diferentes.

Al nivel de los tratamientos las diferencias fueron a favor de aquellos con enmiendas (T1 y T2), respecto al testigo. El tratamiento con drenaje (T3) no tuvo efectividad, posiblemente debido a que estuvo siempre trabajando en condiciones de flujo no saturado. De igual modo la utilización de la combinación de enmienda mas drenaje no parecería ser necesaria de utilizar

En el 2^{do} ciclo fue más evidente la respuesta de todos los tratamientos respecto al testigo, (Tabla 7).

Para el tercer ciclo el análisis se complejiza porque la interacción año tratamiento fue significativa (Tabla 5). Para este caso se analizaron los tratamientos de los diferentes años (Figura 1). En el túnel de 4 años se observa mayor productividad que en el túnel de 2 años, presentando diferencias significativas en T1 y T2

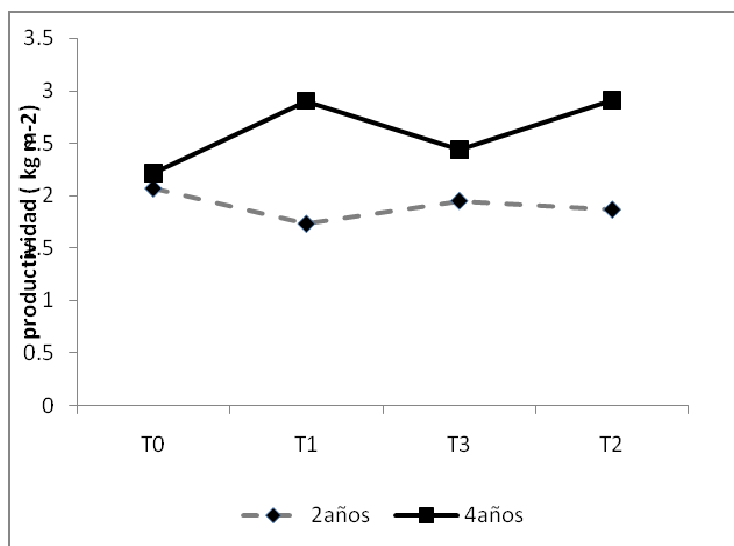


Figura 1: Evolución de la productividad para el 3^{er} ciclo para los distintos tratamientos y según años de cultivo

Tabla 7: Rendimiento medio de lechuga (kg m⁻²) según diferentes tratamientos para cada ciclo de cultivo

Factor Tratamiento	1 ^{er} ciclo	2 ^{do} ciclo	3 ^{er} ciclo
To	2,38 a	2,02 a	2,14 a
T1	3,02 b	4,12 b	2,32 a
T2	3,2 b	3,53 b	2,39 a
T3	2,65 ab	3,35 b	2,19 a

Letras distintas en columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos según Test de LSD ($p < 0.05$)

Tabla 8: pH del suelo promedio según diferentes tratamientos para cada ciclo de cultivo

Factor Tratamiento	1 ^{er} ciclo	2 ^{do} ciclo	3 ^{er} ciclo
To	9,03 c	8,38 a	8,35 a
T1	8,78 ab	8,15 a	8,35 a
T2	8,72 a	8,25 a	8,30 a
T3	8,9 bc	8,25 a	8,23 a

Letras distintas en columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos según Test de LSD ($p < 0.05$)

Tabla 9: Conductividad (dS m⁻¹) del extracto de saturación promedio según diferentes tratamientos para cada ciclo de cultivo.

Factor Tratamiento	1 ^{er} ciclo	2 ^{do} ciclo	3 ^{er} ciclo
To	1,94 a	1,03 a	0,53 a
T1	2,72 ab	0,84 a	0,78 a
T2	3,12 b	0,95 a	0,53 a
T3	2,14 a	0,85 a	0,78 a

Letras distintas en columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos según Test de LSD ($p < 0.05$)

En el primer ciclo la CE fue mayor en T2 (tratamiento con enmienda más drenaje) debido a la salinidad aportada por la aplicación de yeso (Tabla 9). El pH en cambio fue significativamente menor T2 respecto a T0, debido a la formación de ácido y consecuente disminución de la alcalinidad (Tabla 8)

La CE de los diferentes tratamientos disminuyó notablemente a partir del 2^o ciclo de producción, (Tabla 9, Figuras 2 a y b) posiblemente a consecuencia de la aplicación de una lámina mayor de riego a partir del II ciclo (Tabla 3). Wilson et al., (2004) entraron efectos iniciales y en tiempo con similares efectos por la aplicación de yeso. La CE estuvo muy ligada a cantidad de yeso aplicado y agua de riego utilizada. Según Cerana et al. (2000), la evolución de la concentración de sales en los suelos regados depende de la calidad de las aguas empleadas, el volumen requerido en concordancia con la demanda ambiental y las pérdidas por lavado. Si bien el túnel A comenzó con un valor mayor de CE, con el paso del tiempo se puede observar que en el 3 ciclo de producción ésta es menor que el túnel B. Al comparar cual fue la variación de la CE entre tratamientos se puede observar que el túnel A se registraron diferencias significativas en el 1^o ciclo de producción, en tanto que en el túnel B se comprobó diferencias significativas en el 1^o y 3^o ciclo de producción. Esta variable se correlacionó con el rendimiento del cultivo de lechuga ($r = -0,81$) Figura 2:

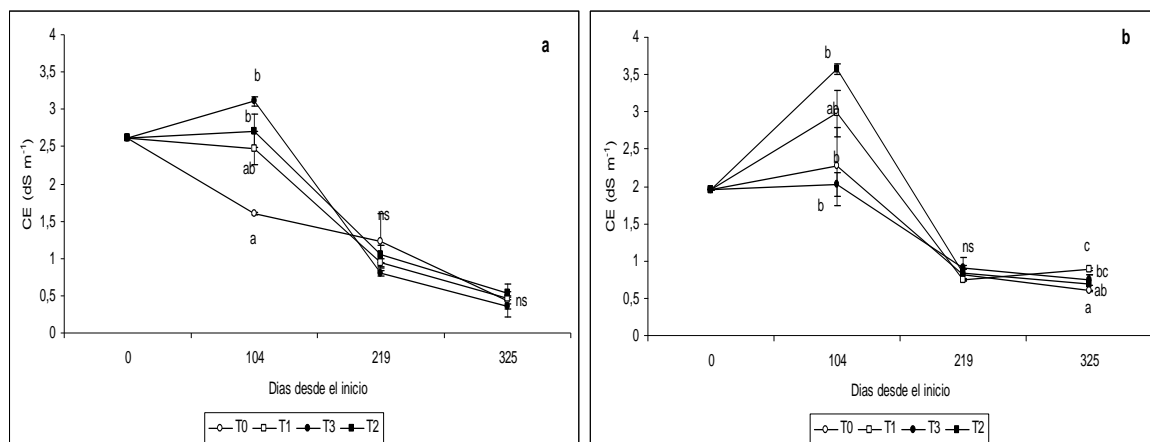


Figura 2 a y b: Evolución de la conductividad eléctrica por ciclo de producción del cultivo de lechuga bajo cubierta, tanto para 2 años (izquierda) como para 4 años (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento ($p < 0.05$). Las barras indican el error estándar de las medias ($n=4$) de cada tratamiento.

El aumento de pH 1^{er} ciclo (Tabla 8) pudo deberse al RAS del agua de riego (Tabla 4) que junto a una baja lámina de agua de riego, provocaron un aumento de esta variable. Wilson et al. (2004) encontraron que aún con altos niveles de yeso aplicado en ensayos en maseta, la calidad de agua permitió bajar el PSI del suelo tratado con enmienda. Las experiencias de Marano *et al.* (2000), han demostrado que aguas bicarbonatadas sódicas producen sodificación creciente en los suelos (Tabla 4). Cuando en la clasificación del agua para riego se considera el contenido en bicarbonatos (RAS aj. y CSR), la calidad de la misma cambia la interpretación, aumentando al rango de peligrosidad superior. El pH del suelo tratado con yeso disminuyó notablemente a partir del 2^o ciclo de producción, posiblemente a consecuencia de la activación de la enmienda por aplicación de una lámina mayor de riego provocando lavado de sales de Na a profundidad. Si bien la condición de dos años el A comenzó con un valor mayor de pH que para cuatro años, al comparar cual fue la variación de pH entre tratamientos se puede observar que sólo se registraron diferencias significativas entre tratamientos en el 1^{er} ciclo de producción (Tabla 8):

CONCLUSIONES

La productividad del cultivo de lechuga durante 3^{er} ciclos de producción mejoró significativamente respecto del testigo. El pH no se modificó significativamente en el tiempo evaluado. La CE disminuyó a través de los ciclos de producción modificando el rendimiento del cultivo de lechuga. Esta variable se correlacionó con el rendimiento del cultivo de lechuga ($r = -0,81$). Estos resultados preliminares confirman que el efecto de las prácticas de manejo introducidas es relevante sobre la productividad del cultivo de lechuga. Futuros estudios permitirán comprobar en el tiempo el impacto de estas prácticas sobre el cambio en las propiedades físico/químicas de este tipo de suelo y sistema de producción bajo cubierta.

BIBLIOGRAFIA

- Cerana J., M. Wilson y R Benavidez. 2000. Sodificación de suelos arroceros de Entre Ríos. CD
- Choudhary, O.; A. Josan; M. Bajwa & M. Kapurb. 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*. Volume 87, Issues 2-3, 10, Pages 103-116
- Conti, M. 1998. Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. Orientación Gráfica. Buenos Aires, p.....
- Ferratto, J.; A. Longo & E. Scaglia. 2006. Análisis económico de los principales cultivos de hortalizas. *Revista Agro mensajes*. Facultad de Ciencias Agrarias de Rosario.

Ferratto, J.; A. Longo; R. Grasso & M. Mondino. 2006. Diagnóstico Agronómico del Proyecto Hortícola de Rosario 2005/2010. INTA. Publicación Miscelánea N° 38, ISSN 0326-256.

INTA. 1974. Carta de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires.

Marano R., Pilatti M. y J. de Orellana (2000). Efectos físico – químicos de aguas bicarbonatadas sódicas sobre Argiudoles del centro este santafecino. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. CD 7 p.

Maroto Borrego, J.; A. Miguel Gó- Mez & C. Baixauli Soria. 2000. La lechuga y la Escarola. Fundación Caja Rural Valencia. Ediciones Mundiprensa. España.

Martinez R., Margiotta F., Tamburo L., Casamiquela L. 1994. Evaluación de tres sistemas productivos en tomate. Resumen de actas XVII Congreso Argentino de Horticultura. VI Congreso Latinoamericano 158.

Page, A.; R. Miller & D. Keeney. (Eds.). 1982. Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties. Agronomy 9, Part 2, Second Edition. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin. pp 1159.

Richards, L. (Ed). 1973. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Limusa. 173 pp. México.

USSL Staff (1954). US Salinity Lab. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook N° 60.

Wilson, M.G.; Zino, L.; Cerana, J.; Boschetti, N. y C. Quintero (2004). Efecto del agregado de yeso sobre las características físicas y químicas de un suelo degradado por el uso arrocero. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/suelos/congreso/yeso_arroz.htm