



V Reunión de la Red Argentina de Salinidad

Salinidad: un desafío para el semiárido.
Análisis de un problema que asume nuevas formas de expansión.

4 al 6 de octubre de 2017

Villa Mercedes (San Luis)



RECUPERACION DE UN SUELO SALINIZADO DE INVERNADERO PARA LA PRODUCCION DE LECHUGA CON RIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y SUBTERRANEO

Andreau R., L. Calvo, W. Chale, M. Etcheverry, P. Etchevers, L. Génova

Cátedra de Riego y Drenaje, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Calles 60 y 119 (1900) La Plata - hidroagri@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN: Los suelos cultivados bajo cubierta se deterioran a causa del riego con aguas salinas, fertilización excesiva, drenaje limitado y ausencia de lixiviación de sales por lluvia. Los objetivos fueron recuperar un suelo salinizado mediante hidromejoramiento y evaluar los rendimientos de lechuga al riego por goteo superficial (RG) y subterráneo (RGS). En un invernáculo se enterraron a 50 cm tubos-dren, espaciados 2 m y tanques de 0,2 m³ en la descarga. Se pronosticaron láminas de lavado aplicando 6 modelos matemáticos y en piletas de 10 m² se midieron las conductividades eléctricas (CE) inicial y residuales del suelo y del agua drenada luego de aplicar 3 láminas de lavado, totalizando 320 mm. Dos tratamientos de riego por goteo, uno superficial y otro subterráneo a 10 cm de profundidad, regaron en 3 oportunidades lechugas trasplantadas con densidad de 8 plantas m². Con sensores Decagon se registró la humedad volumétrica (%Wv) a 5, 10 y 20 cm de profundidad antes y 2 días después de cada riego. Fueron pesadas 10 plantas por tratamiento. Los principales resultados fueron: las láminas de lavado pronosticadas promediaron 594 mm; la salinidad inicial media del suelo de 4,69 dS m⁻¹ se redujo a 0,81 dS m⁻¹ luego del último lavado; la disminución de sales del primer lavado respecto de la salinidad inicial fue del 74,1%, la del segundo lavado del 31% y la del tercer lavado un 3,7%; la salinidad del agua drenada fue de 0,97 dS m⁻¹, 0,91 dS m⁻¹ y 0,88 dS m⁻¹ después de cada lavado; el %Wv medio del RGS fue del 29,4% y del RG del 22,4%, registrándose un mayor %Wv con RG a 5 cm de profundidad y mayores %Wv con RGS a 10 y 20 cm de profundidad; el rendimiento de lechuga del RGS superó un 24,5% al RG.

PALABRAS CLAVE: pronóstico de láminas de lavado, lavado de sales, humedad del suelo.

INTRODUCCION:

En el cinturón hortícola platense (CHP), integrado por los partidos de La Plata, F. Varela y Berazategui, existen 2.750 ha de invernáculos (López Camelo, 2012), el tomate ocupa el 40% del total cultivado, el pimiento (24%) y la lechuga (13%) (López Camelo, 2007).

En los invernaderos se riega con agua subterránea bicarbonatada sódica, con rangos de salinidad de 0,75 a 1,5 dS m⁻¹ y relación de adsorción de sodio RAS=4 a 8, que sumado al uso de suelos finamente texturados, el inadecuado manejo de las dosis de riego que no satisfacen los requerimientos de lixiviación, la carencia de estructuras adecuadas de drenaje y la fertilización excesiva, favorecen el desarrollo de procesos degradativos en los suelos como salinización, sodificación, desbalance de nutrientes y pérdida de la fertilidad física (Alconada, 1996; Alconada & Minghinelli, 1998; Andreau *et al.*, 2012). Otro factor de deterioro edáfico es la roturación intensa de los suelos, que van generando alteraciones físicas (Marrare *et al.*, 2011). Este conjunto de factores degradativos ha sido poco estudiada a nivel mundial, pues la mayoría de las regiones que cultivan en invernaderos trabajan sobre

suelos arenosos o sin suelo. En la Argentina es escasa la bibliografía referente a estas causas de deterioro edáfico.

En el CHP el método más frecuente de riego en invernadero es el goteo superficial (RG) y recientemente se está incorporando el goteo subterráneo (RGS). Ambos incrementan la salinidad y alcalinidad edáfica, superando los límites adecuados para el normal desarrollo de los mismos (Alconada *et al.*, 2000), por lo que los rendimientos actuales se alejan de los máximos potenciales. La tolerancia salina de la lechuga es de 0,9 dS m⁻¹ para no reducir su rendimiento por el efecto osmótico, de 1,4 dS m⁻¹ reduciendo el rendimiento un 10% y 2,1 dS m⁻¹ disminuyendo el rendimiento un 25 % (Maas, 1990)

Varios autores (Camp *et al.*, 1998); Rivera *et al.*, 2004; del Amor & del Amor, 2007; Génova *et al.*, 2014) informaron que los rendimientos de los cultivos con RGS son mayores o iguales a los obtenidos por otros métodos de riego. La mayor eficiencia de aplicación y la ubicación profunda del bulbo húmedo en el RGS podrían incidir favorablemente en la reducción de la salinidad y sodicidad del suelo causada por el RG (Andreau *et al.*, 2012), debido a que, al derivar menores láminas de riego, el aporte salino disminuye, aunque Hanson & May (2004) alertan que el desarrollo del bulbo húmedo más profundo provoca una acumulación de sales por encima de la cinta de riego que debería ser lixiviada periódicamente.

Pérez *et al.*, (2011) plantean la posibilidad de instalar drenes para mejorar la relación aire-agua del suelo, aumentar el volumen de suelo a explorar por las raíces, incrementar la actividad microbiana y lavar sustancias tóxicas y sales. Estudiando las condiciones salinas de algunos suelos de invernáculos, Andreau *et al.*, (2012) reportaron que se encontraron en un sitio representativo del uso del suelo en el CHP, salinidades de 5,26, 8,67 y 5,77 dS m⁻¹ para 7, 14 y 21 años de cultivos sucesivos, respectivamente y en otro sitio salinidades de 8,43, 4,92 y 3,64 dS m⁻¹ en 10, 16 y 20 años de sucesión de cultivos, respectivamente.

La práctica más habitual para recuperar suelos salinos es el hidromejoramiento, que consiste en el lavado del perfil del suelo en la zona de raíces mediante la aplicación de agua, que diluye y arrastra en profundidad del exceso de sales solubles (Bower *et al.*, 1968). Las principales condiciones que favorecen el lavado son la alta drenabilidad de los suelos, la lejanía del nivel freático y/o la existencia de sistemas de drenaje en buen estado de funcionamiento (Halitim *et al.*, 1995). Existen modelos de pronóstico de láminas de lavado, que consideran principalmente la salinidad del agua de riego (CE_a), la profundidad, textura y salinidades inicial (Si) y residual objetivo (So) del perfil de suelo a lavar (FAO-UNESCO, 1973; Sejas *et al.*, 1979; Ortega Escobar, 1982 y Palacios Vélez, 1983).

Los objetivos de este trabajo fueron pronosticar láminas de lavado, instalar tubos dren, lavar el suelo para disminuir la salinidad a valores que no reduzcan el rendimiento del cultivo de lechuga y evaluar la producción bajo riego por goteo superficial y subterráneo.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Durante la campaña agrícola 2017 se condujo un ensayo en un invernáculo de madera con 10 años de uso perteneciente a la E.E. Hirschhorn, ubicada en el CHP, que cuenta con tubos de drenaje de PVC ranurado a 50 cm de profundidad con descarga en tanques de 0,2 m³. Fueron establecidas la capacidad de campo (Wc) con el método de Richards (1948) y la humedad actual Wact por gravimetría, la densidad aparente (dap) con el cilindro densitométrico y la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_{ex}) indicando la salinidad inicial (Si) del suelo por conductimetría.

Para pronosticar láminas de lavado se utilizaron los modelos matemáticos de Sejas, dado por Sejas *et al.*, (1979); de Rozov, de Kovda y de Volobuev, informados por FAO-UNESCO, (1973); de Panin y de Safanov, reportados por González *et al.*, (1985). Las ecuaciones son: Ec. de Rozov: $M=Wc-Wact+n Wc$ (ec. 1) donde: M=cantidad de agua en m³ ha⁻¹, Wc en m³ ha⁻¹, Wact antes de lavar, en m³ ha⁻¹, n=coeficiente entre 0,5 y 2 en función de la salinidad y la textura del suelo. Ec. de Kovda: $y=n_1 n_2 n_3 400 x +/-100$ (ec. 2) donde: y=lamina de lavado, en mm, x=So en 2 m del perfil, en %, n₁=coeficiente dependiente de la textura del suelo, entre 0,5 y 2,0, n₂=coeficiente dependiente de la profundidad de la capa freática entre 1,0 y 3,0, n₃=coeficiente dependiente de la CE_a, entre 1,0 y 3,0. Ec. de Volobuev: $N=K \log (Si/So)^a$ (ec. 3) donde: N=dosis de lavado, en m³ ha⁻¹, Si en % o t ha⁻¹, So en % o t ha⁻¹,

K =coeficiente de proporcionalidad, usando $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ es 10.000, a =parámetro dependiente de la S_i y su proporción de cloruros. Ec. de Panin: $Qa = \psi \ln (S_i/S_o)$ (ec. 4) donde: Q =lámina de lavado, en cm, ψ =volumen poroso del suelo, en cm, S_i en %, S_o en %. Ec. de Sejas: $L = 9 P^{0,75} (70 - CE_a / CE_i - CE_a)^{0,39} \log(CE_i / CE_f)$ (ec. 6) donde: L =lámina de lavado, en cm, P =profundidad de lavado en cm, CE_a en dS m^{-1} , CE_i =conductividad eléctrica inicial del suelo, en dS m^{-1} , CE_f =conductividad eléctrica final del suelo, en dS m^{-1} . Ec. de Safanov: $Q = v(100/a)^{1/b} ((S_i/S_o)/S_i)^{1/b}$ (ec. 5) donde: Q =lámina de lavado, en cm, V =volumen poroso del suelo, en cm, a y b = parámetros $a=70$ y $b=0,97$, S_i en %, S_o en %.

Se construyeron en el suelo 3 piletas de 10 m^2 cada una donde se aplicó una lámina total de lavado de 320 mm en forma fraccionada de 120, 100 y 100 mm con un intervalo semanal, midiendo la CE_{ex} después de cada lavado y la CE_d (conductividad eléctrica del agua de drenaje) después de cada lavado. Fueron instaladas cintas de goteo Aqua-TTraxx® de 16 mm de diámetro, con emisores espaciados 0,1 m y caudal unitario de $0,0012 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, una enterrada a 0,1 m y otra superficial, proponiendo dos tratamientos de riego RGS y RG, donde se derivaron 3 láminas de riego de 29,5; 32,2 y 26,8 mm en líneas dobles de lechuga tipo mantecosa variedad Amarillo, con una densidad de 8 plantas m^2 . La distribución de la humedad volumétrica (%Wv) fue medida antes y 2 días después de cada riego con sensores Decagon EC-5, instalados a 5, 10 y 20 cm de profundidad debajo de cada línea de cultivo. Se evaluó el rendimiento del cultivo registrando el peso de 10 plantas y tanto los datos de rendimiento como de humedad y salinidad se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias con el test de Tukey, utilizando el Programa Infostat (2011).

RESULTADOS Y DISCUSION:

Pronóstico de láminas de lavado.

Los datos utilizados para el pronóstico fueron: $CE_a=0,85 \text{ dS m}^{-1}$, profundidad del lavado 40 cm, $Wc=28\%$, $Wact=19\%$, $dap=1,1 \text{ g cm}^{-3}$, $S_i=4,69 \text{ dS m}^{-1}$, $S_o=1,0 \text{ dS m}^{-1}$, volumen poroso 58 cm. Las láminas calculadas conformaron dos grupos de valores, los modelos de Sejas, de Rozov y de Kovda pronosticaron láminas de 330, 336 y 343 mm, respectivamente, mientras que los modelos de Volobuev, de Safanov y de Panin generaron láminas de 818, 840 y 896 mm, respectivamente. El promedio de láminas pronosticadas fue de 594 mm.

Lavado de sales.

Siguiendo las recomendaciones de Palacios Vélez (1983) y de Ortega Escobar (1982) y considerando que la literatura sobre experiencias de lavados (Gardner & Brooks, 1957) aconseja fraccionar la lámina total de lavado, sobre todo en suelos arcillosos, debido a que la efectividad del lavado es muy superior en las primeras aplicaciones y va decreciendo con la derivación de láminas sucesivas, se asumió lavar el suelo dando una lámina total de 320 mm, fraccionada en 3 riegos, de 120, 100 y 100 mm. En la Fig. 1 se observa la salinidad previa y posterior a cada lavado en los 3 sitios medidos. Las reducciones de la salinidad inicial fueron de un 74,1% con el primer lavado, un 31% con el segundo lavado y un 3,7% con el tercer lavado, alcanzándose una salinidad residual final de $0,81 \text{ dS m}^{-1}$, menor que la tolerancia salina de la lechuga, de $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ para no reducir su rendimiento.

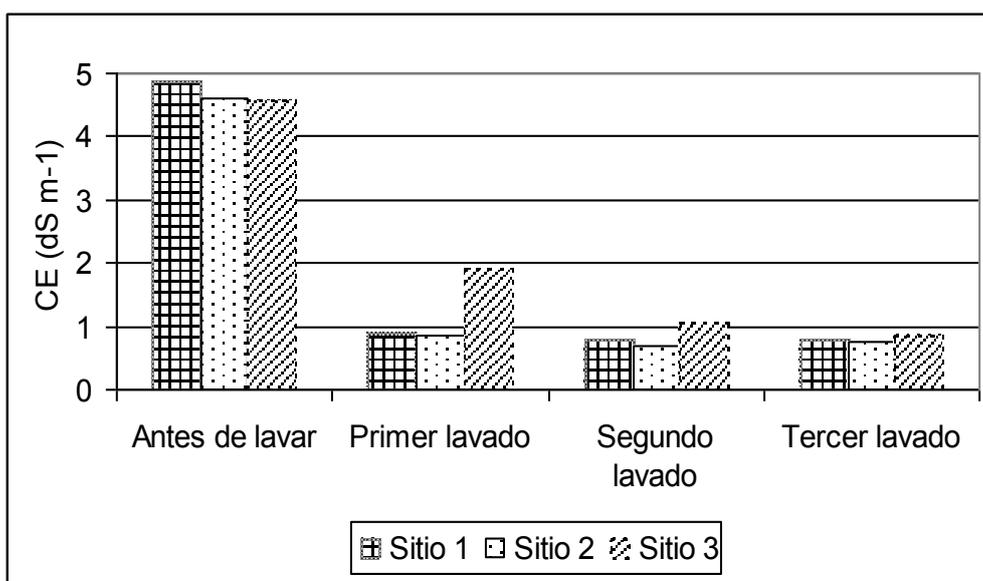


Figura 1. Salinidad del suelo previa y posterior a cada lavado.

La Tabla 1 presenta los tenores salinos del agua drenada colectada en los tanques, mostrando la decreciente salinidad media de las aguas de drenaje, con valores finales cercanos a la salinidad del agua de riego.

Tabla 1. Salinidad del agua drenada.

Lamina mm	Tanque	CE dS.m ⁻¹	CE media dS.m ⁻¹
120	1	0,93	
	2	0,97	
	3	1,00	0,97
100	1	0,90	
	2	0,91	
	3	0,91	0,91
100	1	0,88	
	2	0,88	
	3	0,89	0,88

Monitoreo de la humedad del suelo regado.

La Fig. 4 muestra los %Wv medios de los tratamientos de riego en 3 profundidades del suelo, observándose que, en el estrato cercano a superficie, la %Wv del RG es levemente superior a la del RGS, mientras que, a profundidades de 10 y 20 cm, son mayores los %Wv del RGS que el RG. El promedio de %Wv total del perfil de suelo del RGS fue del 29,4% y 24,2% del RG.

Rendimiento del cultivo de lechuga

La Fig. 5 muestra los rendimientos de lechuga de los tratamientos de riego, con diferencias significativas ($p=0,01$) para el rendimiento generado por el RGS, que superó un 24,1 % al del RG, confirmando que el RGS permite alcanzar mayores rendimientos de cultivos que otros métodos de riego, reportado por varios autores (Camp *et al.*, 1998; Rivera *et al.*, 2004; del Amor & del Amor, 2007; Andreau *et al.*, 2012; Génova *et al.*, 2014).

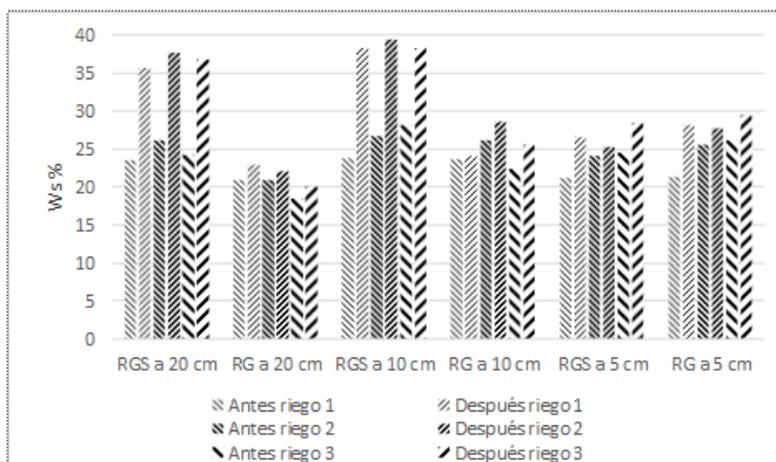


Figura 4. %Wv del RGS y el RG antes y después de cada riego

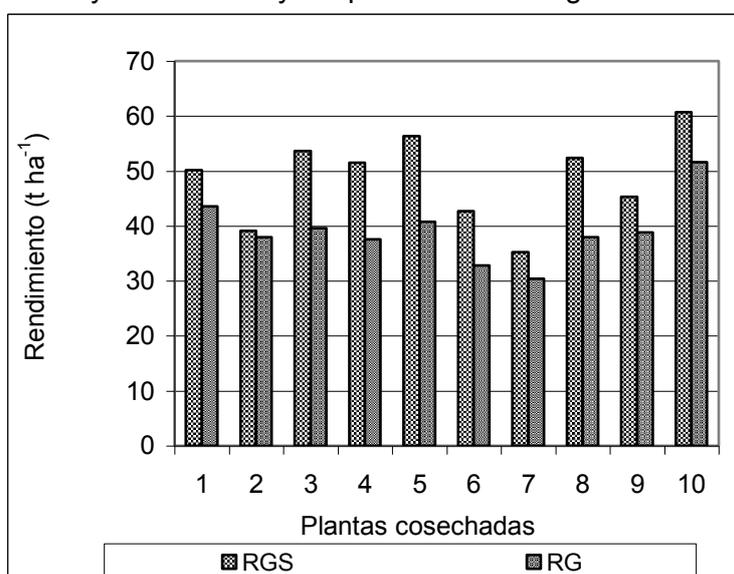


Figura 5. Rendimiento de lechuga con goteo subterráneo (RGS) y goteo superficial (RG)

CONCLUSIONES:

Las láminas de lavado pronosticadas con los 6 modelos utilizados promediaron 594 mm, pero dada la heterogeneidad de las láminas calculadas y asumiendo recomendaciones de varios investigadores, se lavó el suelo con una lámina total de 320 mm, fraccionada en 3 aplicaciones, resultando que la $S_i = 4,69 \text{ dS m}^{-1}$ se redujo a $0,81 \text{ dS m}^{-1}$ luego del tercer lavado, alcanzando una salinidad tolerable por la lechuga sin decremento del rendimiento por efecto osmótico. La disminución de sales del primer lavado respecto de la S_i fue del 74,1%, la del segundo lavado del 31% y la del tercer lavado un 3,7%. La salinidad del agua drenada fue de $0,97 \text{ dS m}^{-1}$, $0,91 \text{ dS m}^{-1}$ y $0,88 \text{ dS m}^{-1}$ después de cada lavado, siendo este último cercano a la CE_a . El %Wv medio del RGS fue del 29,4% y del RG del 22,4%, registrándose un mayor %Wv con RG a 5 cm de profundidad y mayores %Wv con goteo subterráneo a 10 y 20 cm de profundidad. El rendimiento de lechuga del RGS superó un 24,5% al RG. Los resultados de esta investigación permiten recomendar la instalación de tubos dren en los invernáculos para favorecer la lixiviación de sales, lavar el suelo cuando su salinidad supera las tolerancias salinas de los cultivos para no reducir sus rendimientos potenciales y utilizar sistemas de goteo subterráneo.

BIBLIOGRAFIA:

Alconada M. 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata. XIII Cong. Latin. de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindoia, SP, Brasil.

Alconada M y F Minghinelli. 1998. Calidad del agua de riego según diferentes criterios: su influencia sobre la salinización–alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el Gran La Plata. XVI° Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, 4-7 de mayo, p. 229:230.

Alconada M, J Zembo & N Mórtoła. 2000. Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernaderos. 1st Joint World Congress on Groundwater ALHSUD-AIH.

Andreau R, P Etchevers, W Chale & L Génova. 2012. Riego por goteo superficial y subterráneo de tomate cultivado bajo cubierta: distribución de la humedad edáfica y rendimiento cuali-cuantitativo. VI Jor. de Riego y Fertirriego. FCA, UN Cuyo. Mendoza.

Bower C, G Ogata & J Tucker. 1968. Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. *Soil Sci.* 106:29-34.

Camp C. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Trans. of the ASAE* (41:5:1353-1367)

del Amor M & F del Amor. 2007. Response of tomato plants to deficit irrigation under surface or subsurface drip irrigation. *Journal of Applied Horticulture*, 9(2): 97-100.

FAO-UNESCO. 1973. *Irrigation, Drainage and Salinity*. Kovda, V; Hagan, R. & C. van den Berg eds. Ed. Hutchinson, London.

Gardner W & R Brooks. 1957. A descriptive theory of leaching. *Soil Sci.* 83:295-304.

Génova L, R Andreau, P Etchevers, SM Zabala W Chale M Etcheverry, C Romay & H Salgado. 2014. Respuesta productiva del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial. *Rev. Fac. de Agronomía, La Plata*. Vol. 112 (1):18-26.

González González R, M Ortega Escobar, C Ramírez Ayala & J Rone Puello. 1985. Establecimiento de relaciones funcionales entre láminas de lavado, sales desplazadas y sales residuales en suelos los salinos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Hanson, B & D May. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*, 68(1):1-17.

Halitim A, D Tesseier & M Robert 1995. Influence of SAR and salt concentration on dispersión, swelling and hydraulic conductivity of clay minerals. *Actas del 15 th World Congress of Soil Science*. México. Vol 2b:230-231.

López Camelo A. 2007. Situación de los cultivos protegidos en la Argentina. En: 1er. Simposio Internacional de Cultivos Protegidos, La Plata, Argentina. Septiembre 25-28, 2007.

López Camelo A. 2012. La utilización del Google Earth para el relevamiento de la superficie bajo cubierta en el Gran Buenos Aires. *Rev. Horticultura Argentina* 31(76): pp 22.

Maas E. 1990. Crop salt tolerance. *Manuals and Reports on Engineering Practice* No. 71. Am. Soc. Civil Engineers, New York. USA. pp. 262-304.

Marrare A, L Draghi, T Palancar, R Andreau S Martínez, G Sarli & C Cerisola. 2011. Fertilidad física de un suelo bajo invernadero: evaluación y manejo. *Hortic. Arg.* 30.

Ortega Escobar M. 1982. Curso de salinidad. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Palacios Vélez O. 1983. Apuntes sobre algunos problemas de drenaje y ensaltramiento de terrenos agrícolas. RyD. Serie N°14. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Pérez R, M Sánchez, J Rodríguez, M Guevara, E Mompíe, M Arrebató & L López. 2011. Principales beneficios que se alcanzan con la práctica adecuada del drenaje agrícola. *Cultivos Tropicales*, 32(2):52-60.

Programa InfoStat. 2011. Fac. Cs. Agropecuarias, U. N. de Córdoba, Argentina.

Richards, LA. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66(2):105-110

Rivera G, J Estrada, C Orona & I Sánchez. 2004. Producción de alfalfa con riego por goteo subsuperficial. *Inst. Nac. de Invest. Folleto Científico* N° 13. Durango. México. 48 pp.

Sejas J, E Aceves Navarro & O Palacios Vélez. 1979. Comportamiento físico y químico de suelos ensaltrados sometidos a lavado con diluciones graduales. *Agrociencia* 38:35-52. Chapingo, México.