

Drenes subsuperficiales: control de la salinización edáfica en producciones intensivas bajo cubierta

CUELLAS, M.¹; ALCONADA MAGLIANO, A.^{2*}

RESUMEN

La actividad productiva del Cinturón Hortícola del Gran La Plata, con características comunes a todo el cinturón metropolitano, se desarrolla en suelos con restricciones de permeabilidad. El manejo productivo junto con el riego con agua de baja calidad y con las características de los suelos provoca degradaciones por salinización, alcalinización y anegamiento, favoreciendo la incidencia de plagas y enfermedades y afectando el desarrollo del cultivo. Se estudió la eficiencia de drenes subsuperficiales para controlar la salinización de un suelo Hapludert típico degradado con cultivos protegidos. Se compararon drenes con dos diámetros (10 y 15 cm) instalados sobre el techo del Bt, distanciados entre sí a 5 m, respecto a un tratamiento con yeso. Se siguió la evolución del suelo y cultivo en tres ciclos productivos. Los drenes disminuyeron marcadamente la salinidad sin diferencias atribuibles al diámetro. El yeso solo tuvo mejoras temporales. Se observó hacia el segundo y tercer ciclo productivo, el efecto de los drenes en todo el sitio, incluido el testigo (CE inicial promedio del sitio 4,5 dS.m⁻¹ vs. CE final 1,77 dS.m⁻¹). La alcalinización no se modificó con ningún tratamiento. El rendimiento del cultivo aumentó con el uso de drenes, cubriendo el costo adicional de instalación, y mejorando el resultado económico del sistema.

Palabras clave: suelo Hapludert, alcalinización, yeso.

ABSTRACT

The productive activity of the horticulture belt of Gran La Plata region, with common features throughout the metropolitan's belt, develops in soils with restricted permeability. The production management, along with irrigation using poor quality water and the characteristics of the soil, cause degradation by salinization, alkalization and waterlogging, favoring the incidence of pests and diseases and affecting crop development. The subsurface drainage efficiency was studied to control soil salinization of a Typic Hapludert soil degraded for protected crops. Drains of two diameters (10 and 15 cm) installed on the roof of Bt, spaced to 5 m, about gypsum application were compared. Soil evolution and cultivation was evaluated during three production cycles. Drains markedly decreased soil salinity, independently to the diameter of them. The use of gypsum only showed temporary improvements. It was noted to the second and third production cycle, the effect of the drains around the site, including the control (average initial site CE 4.5 dS.m⁻¹ vs 1.77 dS.m⁻¹ end CE). Alkalization was unchanged with any treatment. Crop yield increases with the use of drains, covering the additional cost of installation, and improving the economic performance of the system.

Keywords: Hapludert soil, alkalization, gypsum.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Área Metropolitana de Buenos Aires (EEA) (AMBA), Agencia de Extensión Rural (AER) La Plata. Ruta 36 Km 44,5 (1900 La Plata). Correo electrónico: cuellas.marisol@inta.gov.ar
²Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Calle 60 y 119 s/n (1900), La Plata, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La importancia socioeconómica, productiva y ambiental de la horticultura intensiva es ampliamente conocida y analizada en diferentes ámbitos públicos y privados. Desde el punto de vista socioeconómico genera alrededor de dos millones de puestos de trabajo, y representa aproximadamente el 11% del PB agrícola nacional (Fernández Lozano, 2012). La producción se concentra en los denominados "Cinturones hortícolas" (ubicados alrededor de las grandes ciudades); el Metropolitano (CHM) es el de mayor importancia, debido a que provee de alimentos frescos aproximadamente a 13 millones de habitantes. Dentro del CHM, el área de mayor importancia es la del Gran La Plata, con una superficie cercana a las 4641 ha bajo cubierta (Miranda, 2017).

Las condiciones productivas de cultivo, suelo y agua de la región del Gran La Plata, así como sus consecuencias ambientales y socioeconómicas, en términos generales son comunes al resto de las áreas hortícolas que integran el CHM, e incluso semejante a otros cinturones hortícolas del país, donde el manejo determina en relación con los suelos, problemáticas vinculadas principalmente a su salinización y alcalinización. La magnitud de la ocurrencia de estos procesos degradativos resulta de las relaciones entre el tipo de suelo, manejo del cultivo (agroquímicos, enmiendas químicas y orgánicas) y manejo del agua de riego (calidad y cantidad).

Específicamente en la región de estudio (Gran La Plata), los suelos destinados a la producción hortícola son clasificados como *Hapludert típico* (Serie Gorina) y *Argiudol vértico* (Series Estancia Chica y Seguí) (Hurtado *et al.*, 2006). En su condición natural estos suelos presentan un fuerte desarrollo con un horizonte A bien provisto en materia orgánica (>5%) relacionado con un pH ligeramente ácido y a una adecuada provisión y proporción de cationes (principalmente Ca^{+2}). El nivel de Na^+ es muy bajo y el perfil se encuentra libre de sales. Como única limitante química se destaca el bajo contenido de fósforo (<10ppm BK1). La propiedad que condiciona el manejo de estos suelos es la permeabilidad moderadamente baja a baja y la elevada plasticidad debido al alto contenido de arcillas desde superficie que se incrementa en profundidad. Específicamente en el Vertisol (Hapludert típico) el contenido de arcillas en superficie es de aproximadamente un 30-40%, y en el horizonte Bt subyacente aumenta a un 50-65%. Se destaca una elevada proporción de esta arcilla, de tipo expansiva, que se manifiesta en grietas y abundantes slickensides. Estos suelos son regados con agua bicarbonatada sódica (la que prevalece en la región) (Alconada y Zembo, 2000) y son manejados intensivamente (laboreos, aplicación de agroquímicos, abonos orgánicos, fertilizantes, etc.) (Guiffre *et al.*, 2004). Consecuentemente, se favorece la ocurrencia de degradaciones edáficas (físicas, químicas y biológicas) de variada magnitud, pero asociadas en todos los casos a procesos de salinización y alcalinización (Alconada y Huergo, 1998; Alconada *et al.*, 2006; González y Amma, 1976; Poncetta *et al.*, 2006).

Alconada y Huergo (1998) y Alconada y Zembo (2000) encuentran vinculaciones entre la calidad del agua de riego, tipo de suelo, manejo, y rendimientos en sistemas de producción hortícola intensiva, con el nivel de salinización y alcalinización. Se indica para el horizonte A (0-20 cm) valores de hasta 7-8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de conductividad eléctrica (CE, salinización) y 9-10 de RAS (alcalinización), destacándose en los primeros 2 cm de suelo concentraciones de sales que conducen a valores de hasta más de 50 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de CE, y 25 de RAS. Alconada *et al.*, (2011) señalan la asociación entre la salinización con la aplicación elevada de fertilizantes, sin un criterio ajustado a los requerimientos del cultivo y nutrición edáfica.

Como consecuencia de lo indicado, se restringe aún más la baja permeabilidad natural de los suelos, generando acumulaciones de agua en superficie (encharcamiento) y subsuperficialmente en el techo del horizonte Bt (pudiendo formarse un horizonte E). Asociado a esto, se observa una mayor incidencia de enfermedades, plagas, con drásticas disminuciones del rendimiento, y en casos extremos hasta abandono del sitio productivo (Alconada *et al.*, 2000b, Alconada, 2005). A fin de revertir la situación planteada, en la región de estudio se incrementa la aplicación de biocidas, abonos, fertilizantes, y consecuentemente los costos, sin lograr mejorar los rendimientos, por lo cual disminuyen los márgenes brutos (Alconada *et al.*, 2011). Asimismo, se registra una contaminación del agua subterránea, principalmente con nitratos (Auge y Nagy, 1999; Minghinelli, 1995) y de los productos de cosecha.

Resulta entonces necesario controlar el aporte de sales al suelo, y evitar su concentración, especialmente de las sales con Na^+ , manteniendo una adecuada permeabilidad en el área de influencia de las raíces, evitando su ascenso por capilaridad (Pla Sentís, 1983). Esto podría lograrse mediante la instalación de drenes en la parte superior del horizonte Bt, al disminuir el encharcamiento, la acumulación de sales e interrumpir el ascenso capilar. Otra técnica de efectividad probada en otros sistemas productivos y suelos es la aplicación de yeso que presenta resultados inciertos en la región e incluso contraproducentes en el objetivo buscado debido posiblemente a la dosis ensayada, drenaje altamente restringido y manejo implementado (Alconada *et al.*, 2000a). En general en la región se recomiendan dosis muy bajas e insuficientes (Balcaza, 2001b).

En el presente trabajo se tuvo como objetivo estudiar la evolución de las sales en un suelo *Hapludert típico*, con cultivo de pimiento (*Capsicum annum L.*) protegido con drenes subsuperficiales de dos diámetros, respecto a la aplicación de enmienda cálcica, estableciendo la factibilidad técnica, productiva y económica de dichas prácticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características productivas

El estudio se realizó en un invernáculo (460 m^2), de un establecimiento productivo de la zona hortícola del Gran La Plata, provincia de Buenos Aires. Durante tres ciclos pro-

ductivos (2009-2011) de un cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.). El manejo implementado fue de tipo tradicional, conforme recomendaciones frecuentes para la región: densidad de plantación 20.000 plantas.ha⁻¹, fertirriego con riego por goteo (20 cm entre goteros) con dos mangueras de riego por lomo, lámina de riego promedio de 100-200 cc por día cada gotero. Fertilización por ciclo de cultivo: 360 kg.ha⁻¹ de nitrato de calcio, 540 kg.ha⁻¹ de nitrato de potasio y 240 l.ha⁻¹ de ácido fosfórico; y abonos orgánicos en general cama de pollo, en dosis variables entre 20 a 40 t.ha⁻¹.

Caracterización inicial del sitio

Descripción del suelo dentro del invernadero, según normas de reconocimiento de suelos de uso frecuente (Etcheverehere, 1976). Las propiedades analíticas se analizaron por procedimientos estándares (Page *et al.*, 1982) y el P asimilable por el método de Bray Kurtz 1, clasificando el suelo por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006). La calidad del agua para riego fue evaluada en su composición química según procedimientos estándares (APHA, AWWA, WPCF, 1989), definido a través de los diagramas de Piper-Hill y evaluada en su aptitud para riego según los criterios de Ayres y Wescott (1987).

Ensayos

Se compararon los siguientes tratamientos: T1 dren corrugado de PVC de 10 cm de diámetro, T2 dren corrugado de PVC de 15 cm de diámetro y T3 enmienda cálcica (yeso), respecto a un testigo (T4).

Tratamientos con drenes

Se instalaron los drenes en una zanja de 0,4 m de ancho realizada sobre el techo del horizonte Bt, de 30 m de longitud y con pendiente del 0,3%. La profundidad a la cual quedaron instalados los drenes para esta pendiente fue de 0,50 m y 0,59 m para un extremo y otro de dichos drenes. La distancia entre tratamientos (T1 y T2) fue de 5 m, debido a que en trabajos previos se obtuvo que distanciamiento de 3 m resultaba muy próximo (Alconada *et al.*, 2000a). Los drenes presentaban orificios de 3-4 mm distribuidos en forma helicoidal, por lo cual, para evitar su taponamiento se cubrieron con material filtrante de piedra granítica de 1-2 cm de diámetro, en un espesor de 5 cm en todo el perímetro. Una vez instalados los drenes, se cubrió con tierra del horizonte A, desechando la parte extraída del horizonte Bt.

Tratamiento con yeso

Se aplicó yeso en el ciclo del año 2009 y se repitió en el año 2011. Se distribuyó al voleo, y se incorporó mediante una rotativa. La dosis aplicada fue de 6,7 t.ha⁻¹, y se calculó sobre la base de Na⁺ intercambiable para reemplazar (aproximadamente 3 cmolc.kg⁻¹) (Cadahia, 1998).

Luego de instalados los tratamientos, se prepararon los lomos de plantación conforme se realiza en los sistemas productivos de la región para el cultivo de pimiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue un arreglo factorial, completamente al azar con 6 repeticiones, en donde los factores fueron dos: años y tratamientos. Se analizaron los resultados por ANVA según diseño el experimental indicado, con Prueba de F test unilateral (P 0,05 y 0,01), comparación de tratamientos por test de Duncan, y correlación de tipo lineal entre variables químicas mediante el programa InfoStat (Infostat, 2004).

Evolución de las variables edáficas

Se efectuó un total de 12 muestreos, en todos los casos las muestras de suelo fueron tomadas a 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad.

Muestreo inicial previo a los tratamientos

F0 (diciembre 2008). Muestreo compuesto en cada uno de los sectores en los que se instalaron los tratamientos y el testigo.

Muestreos durante el desarrollo del cultivo

Luego de instalados los tratamientos, se efectúan 4 muestreos: antes de implantación del cultivo (AI), en estado vegetativo (EV), reproductivo (ER), y al final del ciclo (FC). Esto se realizó durante los tres ciclos del cultivo estudiado, resultando las siguientes fechas de muestreo: F1 (marzo 2009, EV), F2 (junio 2009, ER), F3 (agosto 2009, FC), F4 (enero 2010, AI), F5 (marzo 2010, EV), F6 (junio 2010, ER), F7 (agosto 2010, FC), F8 (enero 2011, AI), F9 (marzo 2011, EV), F10 (junio 2011, ER), F11 (agosto 2011, FC). Las muestras correspondientes al desarrollo del cultivo, EV y ER, se tomaron por repetición (6 submuestras) en los tratamientos y el testigo. En los muestreos realizados al inicio (AI) y al final (FC) del ciclo del cultivo se tomó una muestra compuesta de cada tratamiento y del testigo.

Determinaciones efectuadas

Sobre todas las muestras de suelo extraídas en los tres ciclos de cultivo (total 480 muestras) se midió pH en pasta y en el extracto a saturación, la conductividad eléctrica (CE) y cationes solubles, calculando con estos la relación de adsorción sodio (RAS), según procedimientos estándares de evaluación (Page *et al.*, 1982).

Estudios en el cultivo

Se midió al inicio de cada uno de los ciclos, en etapa vegetativa (F1, F5 y F9) las siguientes variables: altura de planta, calibre del tallo, estimación del área foliar y número de frutos por planta. Estas fueron evaluadas sobre 6 plantas de cada repetición correspondientes a los tratamientos y al testigo. Al finalizar el periodo productivo (F3, F7 y F11) se midió: peso fresco de las plantas y rendimiento del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelo inicial

El suelo descrito en el sitio de trabajo (dentro del invernáculo) se lo clasificó como Hapludert típico. Presentó un horizonte A de 20 cm de espesor y 30% de arcilla, inmediatamente debajo se observó un Bt con alto contenido de arcillas (47,7%), donde la proporción de tipo expansiva resulta suficiente como para generar slickensides. Se midió en superficie una elevada salinidad, alcalinidad, pH y P asimilable: pH 8,3, CE 4,5 dS.m⁻¹, RAS 20,3, PSI 23,3 y P 131 ppm, que revela un proceso manifiesto de degradación, coincidente con lo indicado para la región en estos esquemas productivos por el uso excesivo de agroquímicos, abonos, manejo del suelo y agua de riego (Alconada *et al.*, 20011; Guiffre *et al.*, 2004). Este suelo dista marcadamente de la condición natural descrita por Hurtado *et al.* (2006) donde, como se comentó, presenta como limitantes un drenaje imperfecto y bajo contenido de P, pero sin sales ni álcali, bajo pH y una elevada fertilidad química.

Agua de riego

Se caracterizó como de tipo bicarbonatada sódica (HCO₃⁻ 7,8 me.l⁻¹, Na⁺ 7,3 me.l⁻¹), con bajo contenido de Ca²⁺ (1,1 me.l⁻¹) y Mg²⁺ (0,7 me.l⁻¹), pH 7,7, de relativamente baja salinidad (CE 820 uS.m⁻¹) y alta alcalinidad (RAS 7,7). Esto define un agua de riesgo de ligero a moderado por la CE y la RAS (Ayers y Wescott, 1987).

Evolución de la salinidad, conductividad eléctrica

Primer ciclo de cultivo

En la tabla 1 se presentan los valores de conductividad eléctrica (CE, dS.m⁻¹) a 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad en los cuatro sitios, en las 12 fechas muestreadas (enero 2009-agosto 2011). En superficie (0-20 cm), en F0 (previo a la instalación del ensayo) se parte, al igual que lo indicado precedentemente al caracterizar el tipo de suelo, de una elevada salinidad (CE) con variaciones importantes según sector (entre 3,1 a 5,9 dS.m⁻¹, sitio de T4 y T2 respectivamente). Los niveles de salinidad y variabilidad aquí obtenidos fueron del mismo orden que los reportados en la región en suelos con cultivos protegidos (Alconada y Huergo, 1998) y pueden explicarse por las relaciones que resultan entre el tipo de suelo, su manejo, calidad del agua de riego y aplicación de fertilizantes (Alconada y Zembo, 2000). En todos los casos, la salinidad obtenida superó el nivel óptimo de 2,2 dS.m⁻¹ para máximos rendimientos y calidad del cultivo de pimiento (Nuez *et al.*, 1996). En la tabla 1 se aprecian las fechas donde se produjeron diferencias significativas, destacándose durante el desarrollo del cultivo (F1 y F2), entre los tratamientos y el testigo (T4). Así, en F1 (EV) la salinidad para los T1 y T2 disminuyó marcadamente respecto del testigo, el cual aumentó significativamente (P<0,01) respecto de F0 (de 3,1 a 9,8 dS.m⁻¹). En el estado reproductivo (F2), si bien esta diferencia entre tratamientos y testigo continúa siendo significativa,

fue menos acentuada. El tratamiento con yeso (T3) presentó un comportamiento respecto de T4 semejante a los T1 y T2 (drenes).

Sin embargo, se aprecia una diferencia para destacar en el comportamiento entre fechas del T3 respecto a los tratamientos con drenes. Durante F1 y F2, en T1 y T2 disminuye significativamente (P<0,05) la concentración salina respecto de F0 (A1), mientras que en T3 (yeso) no varió entre fechas. En el testigo (T4) también se producen diferencias entre fechas, pero aumentando significativamente (P<0,01) llegando hasta duplicarse respecto a F0. Esto último es lo que normalmente se reporta para condiciones de manejo tradicional en la región de estudio, donde se producen picos salinos asociados principalmente a las dosis de fertilización, al momento fenológico del cultivo y a la estación climática (Alconada *et al.*, 2004a; 2004b). Al final del primer ciclo estudiado (F3 FC) todos los tratamientos disminuyeron la salinidad significativamente (P<0,05) respecto del inicio del ensayo (F0) y por el contrario el testigo (T4) se mantuvo en el mismo orden de valores.

Subsuperficialmente (20-40 cm) (tabla 1), al igual que en superficie, hubo al inicio (F0) una alta variabilidad entre sitios, siendo también la CE mayor en el sitio donde luego se instaló el T2. En F1 (EV) en todos los sitios, aumentó significativamente (P<0,05) la CE. Hacia F2 (ER) y F3 (FC) la salinidad disminuyó significativamente para los tratamientos, y por el contrario el testigo (T4) mantuvo la concentración salina elevada, diferenciándose así significativamente (P<0,05) de los tratamientos.

Segundo ciclo de cultivo

Tal como se observa en la tabla 1, no hubo diferencias significativas en ninguna situación ni profundidad. Se aprecia una disminución de la salinidad en todas las fechas respecto al año anterior (2009) para igual sitio. Así por ejemplo, se destaca que en superficie en F5 (EV) la CE varió entre 2,4 y 3,9 dS.m⁻¹ y en F6 (ER) entre 2,3 y 3,3 dS.m⁻¹. Subsuperficialmente la CE para todas las fechas y sitios fue como máximo de 2,2 dS.m⁻¹ (tabla 1), no produciéndose en ningún caso los típicos picos salinos que se mencionaron precedentemente como habituales en la región de estudio (Alconada *et al.*, 2004a, 2004b). Puede indicarse entonces que la instalación de los drenes tuvo un efecto en todo el sitio de estudio provocando un descenso generalizado de la salinidad, esto coincide con lo señalado en otro estudio con drenes instalados a 3 m entre sí (Alconada *et al.*, 2000a). No obstante, los niveles de salinidad en superficie se mantuvieron superiores a lo indicado como óptimo para el cultivo de pimiento (Nuez *et al.*, 1996).

Tercer ciclo de cultivo

En superficie (tabla 1) se produjo nuevamente una elevación de la salinidad en F8 (A1), aunque menos acentuada que en el primer año de estudio, destacándose que además aumentó en el tratamiento con yeso (T3). Hacia F9

(EV) desaparecen las diferencias significativas y al final del ciclo (F11) se presentaron nuevamente diferencia entre sitios, siendo las concentraciones menores en los tratamientos con drenes (promedios 1,5 y 1,4 dS.m⁻¹), si bien en T3 y T4 se mantuvo también en valores relativamente bajos de CE (promedio 2,2 dS.m⁻¹). A mayor profundidad (20-40 cm) no hubo diferencias significativas entre sitios en ninguna de las fechas, manteniéndose en concentraciones bajas no superiores a 2,6 dS.m⁻¹, valor que se presentó en el testigo (tabla 1). Se aprecia nuevamente la tendencia del ciclo anterior, donde el efecto de los drenes se manifestó en todo el sitio de estudio, y en ningún caso se llegan a extremos salinos como los que fueron descriptos en el 2009 y los que se observan en forma habitual en la región de estudio.

Evolución de la Sodicidad (RAS) en suelos

En la tabla 2 se presentan los valores de RAS a 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente, para todos los sitios y periodo evaluado (2009-2011). Al igual que la CE, se inició el ensayo con una mayor alcalinidad donde se instaló el T2, asimismo se presentó una situación de alta variabilidad (coeficiente de variabilidad, CV en tabla 2) en todo el sector de estudio que continuó en las fechas siguientes (F0 a F3). Se destaca que los niveles de RAS observados fueron similares a los valores medidos en la región (Alconada y Huergo, 1998).

En F1 (EV) hubo diferencia entre los tratamientos (P<0,05), siendo menor la RAS en el T1. En la fecha

siguiente F2 (ER) el T1 continúa siendo menor, pero incluyéndose también al otro tratamiento con drenes T2, ambos se diferencian del testigo (P<0,05), el tratamiento con yeso no se diferenció de los tratamientos con drenes ni del testigo. Subsuperficialmente (tabla 2) en ambas fechas, el T2 se diferenció significativamente (P<0,05) del resto de los sitios. En fecha siguiente F3 solo en superficie se presentó diferencia significativa entre los tratamientos con drenes, T1 menor y T2 mayor valor. Durante el 2010 y 2011 para las dos profundidades estudiadas, no hubo diferencia significativa entre sitios, destacándose que, si bien disminuyó respecto al inicio del ensayo en todos los sitios, se mantuvo en valores elevados próximos a 19 (tabla 2).

Se aprecia entonces que los drenes no condujeron a una disminución significativa de la alcalinidad. Lo obtenido puede ser atribuido a la elevada RAS del agua de riego y a volúmenes de agua insuficientes que se aplican en el riego por goteo como para permitir la liberación del Na⁺ del suelo, el cual, además, es adicionado permanentemente con el riego. El agua de riego con elevado contenido de bicarbonatos y Na⁺ y bajo de Ca²⁺ y Mg²⁺ genera un empobrecimiento paulatino de dichos cationes en el suelo y un enriquecimiento de Na⁺, por precipitación como carbonato de calcio (CaCO₃) y carbonato de magnesio (MgCO₃) edáfico, conduciendo a su alcalinización (RAS) (Pla Sentís, 1983).

CE dS.m ⁻¹										
	T1	T2	T3	T4	cv	T1	T2	T3	T4	cv
	Superficial				2009	Subsuperficial				
F0	4,6 a	5,9 a	4,1 a	3,1 a		1,9 b	3,5 ab	2,1 ab	1,8 a	
F1	2,7 bA	4,0 bAB	4,4 aB	9,8 bC	24	2,6 cA	4,3 bB	2,5 bA	4,5 bB	40
F2	3,1 bA	3,1 bA	3,8 aA	7,5 bB	42	1,2 aA	1,2 cA	1,6 aA	3,1 abB	57
F3	2,2 cA	3,2 bAB	2,1 bA	4,1 aB	35	2,0 bA	2,5 dA	1,8 abA	3,5 abB	32
cv	31	15	15	30		18	19	33	52	
	Superficial				2010	Subsuperficial				
F4	2,5	2,5	2,5	3,1		1,9	2,1	2,4	3,0	
F5	3,4 aA	2,4 aA	3,6 aA	3,9 aA	63	1,0 aA	1,2 aA	1,7 aA	2,1 aA	64
F6	2,8 aA	2,5 aA	2,3 aA	3,3 aA	35	1,4 aA	2,2 aA	1,6 aA	1,8 aA	49
F7	1,2	1,2	1,6	1,6		0,9	1,0	1,0	1,2	
cv	51	36	58	51		36	46	51	72	
	Superficial				2011	Subsuperficial				
F8	2,7	1,7	3,6	3,9		1,7	1,6	2,1	2,6	
F9	1,5 aA	1,4 aA	1,5 aA	1,6 aA	30	1,3 aA	1,6 aA	1,3 aA	1,4 aA	28
F10	1,2 bAB	2,2 bAB	2,5 bB	1,6 aA	24	1,9 bA	1,7 aA	1,9 bA	1,5 aA	23
F11	1,5 a	1,4 a	2,0 ab	2,2 b		1,0 c	0,8 b	0,8 c	1,3 a	
cv	14	14	25	25		17	30	25	20	

Tabla 1. Evolución de la conductividad eléctrica (dS.m⁻¹), a dos profundidades de muestreo: superficial (0-20 cm) y subsuperficial (20-40 cm), entre enero 2009 y agosto de 2011 para los tratamientos y el testigo.

RAS										
T1	T2	T3	T4	cv	T1	T2	T3	T4	cv	
Superficial					Subsuperficial					
2009										
F0	13,0 a	31,6 a	18,9 a	24,7 a		15,7 a	20,6 a	19,2 a	21,0 a	
F1	12,8 aA	16,1 bcB	16,4 aB	13,7 bAB	15	12,4 bA	19,0 abB	13,7 bA	13,0 bA	19
F2	12,3 aA	14,3 cA	17,4 aAB	21,4 aB	25	12,0 bA	18,0 abB	14,0 bA	13,7 bA	15
F3	14,1 aA	19,8 bB	16,1 aAB	15,4 bAB	25	12,3 bA	15,5 bA	12,8 bA	15,4 bA	19
cv	19	16	15	18		13	15	14	12	
Superficial					Subsuperficial					
2010										
F4	17,5	12,4	15,6	12,6		14,0	14,6	16,0	15,3	
F5	14,0 aA	13,7 aA	15,0 aA	14,0 aA	43	10,7 aA	14,4 aA	13,1 aA	13,5 aA	55
F6	16,3 aA	19,6 aA	18,4 aA	19,4 bA	16	16,0 aA	19,7 aA	15,7 aA	21,0 aA	29
F7	13,0	9,4	13,6	10,8		9,6	9,6	10,3	10,1	
cv	34	38	26	17		46	28	52	38	
Superficial					Subsuperficial					
2011										
F8	14,4	15,7	10,7	13,7		12,3	13,6	12,0	12,0	
F9	14,2 aA	14,7 aA	14,6 aA	16,2 aA	27	15,0 aA	13,8 aA	12,7 aA	15,6 aA	18
F10	17,1 bA	16,8 abA	18,5 aA	15,7 aA	25	14,9 aA	14,1 aA	16,6 bA	12,7 aA	25
F11	16,3 b	18,7 b	19,6 a	17,2 a		11,2 b	14,0 a	13,5 a	13,9 a	
cv	8	13	35	28		18	15	13	18	

Tabla 2. Valores de RAS superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales, entre enero 2009 y agosto de 2011 para los tratamientos y el testigo.

Reacción del suelo, pH

En la tabla 3 se presentan los valores de pH para todos los sitios y fechas de estudio (enero 2009-agosto 2011), en las dos profundidades de muestreo (0-20 cm y 20-40 cm). Se observa un comportamiento similar en todos los ciclos evaluados. Así, en ambas profundidades, al inicio de cada ciclo previo a la implantación del cultivo (F0, F4, F8 AI), el pH reveló una alcalinidad generalizada con extremos de 7,5 y 8,6. Durante el desarrollo del cultivo (EV y ER) en los tres ciclos, el pH disminuyó significativamente ($P < 0,05$) a valores próximos a 7, atribuible al consumo de nutrientes y fertilización de carácter ácida. Al final de los tres ciclos (F3, F7 y F11 FC) el pH se eleva a valores próximos al inicio. Cabe destacar, que aunque hubo en algunas fechas diferencias estadísticas entre sitios, agrónomicamente no tendrían un efecto diferencial en el cultivo. Por consiguiente, si bien la aplicación de los fertilizantes incide en el descenso del pH, no se alcanzan valores considerados óptimos (pH 5,5 a 6,5) para el crecimiento del cultivo (Nuez *et al.*, 1996), por lo cual puede indicarse que el agregado de ácido fosfórico, tal como se recomienda en la región con la finalidad de disminuir el pH (Balcaza, 2001a), no provoca un efecto mejorador del pH que se mantenga en el tiempo y por el contrario, genera un efecto negativo por la acumulación excesiva de P (>150 ppm, con extremos de hasta 300 ppm) conducente a desequilibrios nutricionales y contaminación (Cadahia, 1998). Esto se corresponde con lo reportado en otros sitios del mundo

(INPOFOS, 2004) y específicamente en la región de estudio (Alconada *et al.*, 1999; 2004a; 2004b).

Evaluación fenológica y rendimiento

Evaluación fenológica

En la tabla 4 se presentan los valores correspondientes a la fenología (altura de planta, calibre del tallo y estimación del área foliar), peso fresco y rendimiento del cultivo, en los tres ciclos evaluados (2009-2011). Las diferencias entre tratamientos y el testigo (T4) se registraron desde el primer año en que se inició el ensayo. Así en el 2009, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) con un mejor desarrollo fenológico de los tratamientos respecto al testigo en todas las variables analizadas. Dentro de los tratamientos, se destaca el T1 que se diferenció significativamente ($P < 0,05$) del T2 y T3. El peor estado fenológico del testigo (T4) se correlacionó con la salinidad del suelo ($r > 0,75$ $P < 0,05$), la cual como se indicó presentó picos salinos de hasta 9,8 dS.m⁻¹ (tabla 1). Estos resultados se corresponden con los de Goykovic Cortés y Saavedra del Real (2007) para el cultivo de tomate, donde la salinidad afectó el número de hojas, el área foliar y la altura de la planta. Marschner (1995) atribuye este tipo de efectos sobre la vegetación a la presencia elevada de Na⁺ en el suelo por inducir a deficiencias de otros cationes como del K⁺ y asociado a esto, a alteraciones en el funcionamiento de las células estomática, con disminución de la fijación neta de

pH										
	T1	T2	T3	T4	cv	T1	T2	T3	T4	cv
Superficial					2009	Subsuperficial				
F0	7,50 a	7,90 a	8,10 a	8,06 a		8,20 a	8,60 a	8,60 a	8,80 a	
F1	7,02 bA	7,10 bA	7,17 bA	7,49 bB	2,04	7,04 bA	7,26 bAB	7,27 bAB	7,34 bB	3,0
F2	7,14 bA	7,32 cA	7,34 bcA	7,30 bA	2,75	7,28 cA	7,26 bA	7,42 bA	7,24 bA	3,5
F3	7,04 bA	7,36 cAB	7,43 cB	7,41 bB	3,72	7,21 bcAB	7,47 cB	7,06 bA	7,41 bAB	3,0
cv	3,2	2,0	2,2	2,5		1,9	1,65	3,3	2,6	
Superficial					2010	Subsuperficial				
F4	7,75	8,19	8,17	7,83		7,68	8,08	8,00	7,79	
F5	7,36 aA	7,33 aA	7,35 aA	7,42 aA	2,03	7,37 aA	7,37 aA	7,29 aA	7,39 aA	2,5
F6	7,46 aA	7,48 aA	7,63 bA	7,61 aA	1,32	7,03 aA	7,40 aA	7,10 aA	7,14 aA	4,0
F7	8,37	8,53	8,54	8,54		8,16	8,16	8,09	8,41	
cv	1,5	1,7	1,4	2,6		3,6	2,8	3,6	3,5	
Superficial					2011	Subsuperficial				
F8	8,47	8,77	8,41	8,56		8,50	8,58	8,42	8,57	
F9	7,51 aA	7,59 aA	7,61 aA	7,62 aA	2,30	7,30 aA	7,59 aBC	7,42 aAB	7,69 aC	1,9
F10	7,55 aA	7,66 aA	7,54 aA	7,70 aA	2,40	7,68 bA	7,64 aA	7,70 bA	7,66 aA	2,3
F11	8,17 b	8,80 b	8,50 b	8,57 b		8,05 b	8,63 b	8,50 c	8,78 b	
cv	2,1	2,2	2,2	2,3		1,6	1,5	2,0	2,0	

Tabla 3. Valores de pH superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-40 cm), entre enero 2009 y agosto de 2011 para los tratamientos y el testigo.

	HP(cm)	CT (cm)	AF (cm ²)	PF (g)	Rend. (t.ha ⁻¹)
2009					
T1	122,5	A	0,6	A	135,6
T2	114,8	B	0,5	B	118,0
T3	113,1	B	0,5	B	113,1
T4	99,5	C	0,5	C	97,7
2010					
T1	145,1	C	0,5	B	79,3
T2	134,6	BC	0,4	B	72,5
T3	128,2	AB	0,4	A	71,5
T4	116,1	A	0,3	A	61,0
2011					
T1	100,8	BC	0,5	A	137,3
T2	110,5	C	0,5	A	126,5
T3	90,0	A	0,5	B	113,6
T4	97,6	AB	0,4	B	100,8

Tabla 4. Valores de fenología (altura de planta, calibre de tallo y estimación del área foliar), peso fresco y rendimiento del cultivo, en los tres ciclos evaluados (2009-2011) para los tratamientos y el testigo.

CO₂ por unidad de área, menor fotosíntesis y crecimiento de la planta. Nuez *et al.* (1996) también mencionan alteraciones en las funciones metabólicas del cultivo por me-

nor absorción de agua debida a la salinidad, con menor producción de biomasa fresca. En el presente estudio se registró un menor peso fresco de las plantas en el testigo

(T4) y el tratamiento con yeso (T3), que se diferencian significativamente ($P < 0,05$) de los dos tratamientos con drenes (tabla 4).

En el ciclo siguiente (2010) las diferencias a favor de los drenes respecto al testigo ($P < 0,05$) se mantuvieron, destacándose la mayor altura de planta, el calibre de tallo. El tratamiento (T3) con yeso no se diferenció del testigo y solo en calibre de tallo se diferenció de los drenes. Respecto al PF (peso fresco) el T2 resultó significativamente mayor ($P < 0,05$) que el resto de los tratamientos y el testigo (tabla 4). Igualmente, en el tercer año de estudio (2011), los drenes continuaron presentando un mejor desarrollo fenológico y un mayor peso fresco (PF). Se destaca que el T3 (yeso) en ningún caso se diferenció del testigo.

Rendimiento

En el primer año (2009) de instalado el ensayo, los rendimientos del cultivo fueron mayores en los tratamientos con drenes, diferenciándose significativamente ($P < 0,05$) del tratamiento con yeso (T3) y del testigo (T4) (tabla 4). En los tratamientos con drenes los rendimientos fueron superiores a $100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ mientras que en el T3 y el T4 fueron relativamente bajos para estos suelos y sistema productivo (T3, $76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y T4, $62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). En los dos ciclos siguientes, los tratamientos no difieren entre sí en sus rendimientos, y si bien se diferencian del testigo ($P < 0,05$), en este último aumenta dicho rendimiento respecto al inicio del estudio.

Se aprecia entonces que la mejora en la salinidad comentada, atribuible a la instalación de los drenes en un distanciamiento próximo como para afectar más allá del sector tratado, se produjo en todo el sitio y condujo a un aumento general del rendimiento incluso del testigo (62 a $102 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (tabla 4). Consecuentemente, el aumento de producción obtenido ya en el primer año resultó suficiente como para cubrir los costos de instalación de drenes.

CONCLUSIONES

El uso de drenes en el techo del horizonte Bt condujo a una disminución de la salinidad, aumento del rendimiento del cultivo de pimiento protegido, con independencia del diámetro del dren utilizado.

El tratamiento con yeso presentó un comportamiento variable que en ocasiones se asemejó a lo observado en drenes y en otras, al testigo.

El efecto de drenes se manifestó incluso en el testigo, hacia el final del ensayo se produjo una mejora general de la salinidad.

En otras variables, pH, RAS, no hubo mejoras en ningún caso, se mantuvo en un mismo orden de valores asociado a la calidad del agua de riego.

BIBLIOGRAFÍA

ALCONADA, M.; HUERGO, L. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua

de riego. I Reunión de Producción Vegetal, NOA, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

ALCONADA, M.; GIUFFRÉ, L.; HUERGO, L.; PASCALE, C. 1999. Suelos hiperfertilizados con fósforo. Cultivo de tomate en invernáculos. Actas XIV Congreso Latinoamericano de C. Suelo, Chile.

ALCONADA, M.; ZEMBO, J. 2000. Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. 1.º Joint World Congresson Groundwater. Brasil.

ALCONADA, M.; RONCO, M.; BIONDINI, L.; BELTRANO, J. 2000a. Recuperación de suelos vérticos salinizados-alcalinizados con cultivos protegidos mediante drenes y enmiendas cálcicas. XXIII Congreso Argentino. X Congreso Latinoamericano de Horticultura.

ALCONADA, M.; WISNER, V.; MÓRTOLA, N.; ZEMBO, J.; GAMBOA, S.; QUINTEROS, C. 2000b. Chemical alternatives to the use of methyl bromide. I. Influence on edaphic salinity in tomato crops. En: ZEMBO, J.C. (coord.). Alternatives to Methyl Bromide in Strawberries, Tomato and Cut Flowers. Final Report Project Editorial Grafica Sur Editora SRL. 44–46 pp.

ALCONADA, M.; GIUFFRÉ, L.; PONCETTA, P.; BARRAGÁN, S.; INDA, E. CUELLAS, M. 2004a. Fósforo en suelo, su efecto en la productividad del cultivo de tomate protegido. II Simposio Nacional sobre suelos vertisólicos. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina.

ALCONADA, M.; MITIDIERI, A.; BARRAGÁN, S.; PONCETTA, P.; INDA, E. CUELLAS, M. 2004b. Tomate protegido: efecto de la nutrición nitrogenada sobre el suelo y el rendimiento. XVI Congreso Latinoamericano. XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Cartagena de India, Colombia.

ALCONADA, M. 2005. Desinfección del suelo con vapor. Efectos sobre la nutrición de los cultivos. Ediciones INTA. 124 p.

ALCONADA, M.; PONCETTA, P.; CUELLAS, M.; BARRAGÁN, S.; INDA, E.; MITIDIERI, A. 2006. La fertirrigación en cultivo de tomate protegido (*Lycopersicon esculentum*): consecuencias ambientales, productivas y económicas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de Suelos de la región Andina. Salta, Argentina.

ALCONADA, M.; CUELLAS, M.; PONCETTA, P.; BARRAGÁN, S.; INDA, E.; MITIDIERI, A. 2011. Fertirrigación en un cultivo de tomate protegido: I-Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. Revista Horticultura Argentina. Vol 30 N.º 72.

APHA; AWWA; WPCF. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. Vol. 17. Washington, DC.

AUGE, M.; NAGY, M. 1999. Estado del agua subterránea respecto a la contaminación con agroquímicos en La Plata, prov. de Buenos Aires. Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica. V. 13: 203–211 pp.

AYERS, R.S.; WESCOTT, D.W. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO Riego y Drenaje 29. 174 p.

BALCAZA, L. 2001a. Utilización de ácidos en fertirriego. Boletín Hortícola, F.C.A, UNLP-INTA, Gran Bs. As. N.º 26:13–15.

BALCAZA, L. 2001b. Aplicación de yeso en suelos de invernáculo cultivados con hortalizas. Boletín Hortícola. F.C.A, UNLP-INTA, Gran Bs As. Año 9. N.º 30: 4–6 pp.

CADAHIA LÓPEZ, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi Prensa. 475 p.

ETCHEVEHERE, P.H. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. Publicación N.º 152. INTA Castelar. 222 p.

FERNÁNDEZ LOZANO, J. 2012. La producción de hortalizas en Argentina. Gerencia de Calidad y Tecnología. Mercado Central de Bs. As. 29 p.

- GIUFFRÉ, L.; ALCONADA, M.; PASCALE, C.; RATTO, S. 2004. Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. *Journal Applied Horticulture* V6 (1):58–61 pp.
- GONZÁLEZ, J.; AMMA, A. 1976. Manejo de suelos para producción de hortalizas. EEA INTA San Pedro. Tirada interna hortícola N.º 10 y 11.
- GOYKOVIC CORTÉS, V.; SAAVEDRA DEL REAL, G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA Chile*. Vol. 25, N.º 3; 47–58 pp.
- HURTADO, M.; GIMÉNEZ, J.; CABRAL, M. 2006. Análisis Ambiental del partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento territorial. Ed.1.ª Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. 134 p.
- INFOSTAT. 2004. Manual del usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera edición, versión 2004, Editorial Brujas Argentina. 318 p.
- INPOFOS. 2004. El fósforo y el potasio en los sistemas de fertilización. La calidad del agua para riego en los sistemas de goteo. México & Northern Central America. Potash & Phosphate Institute. (Disponible: <http://www.ppi-far.org/ppiweb/mexnca.ns/> verificado: agosto de 2015).
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2.ª Edición. Academic Press, San Diego. 889 p.
- MINGHINELLI, F. 1995. Geohidrología ambiental del acuífero freático en las Cuencas de los arroyos Martín y Carnaval, La Plata. Evaluación impacto ambiental. CIC. 193 p.
- MIRANDA, M. 2017. Riesgos ambientales al cultivo bajo cubierta en el cinturón hortícola del gran La Plata. iii Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental, Santa Fe, Argentina. Del 31 de julio al 3 de agosto.
- NUEZ, F.; ORTEGA, G. COSTA, J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi prensa. 607 p. PAGE, A.; A.H. MILLER y D.R. KEENEY. 1982. *Methods of Soils Analysis*. AMER. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. AMER, Madison, Wisconsin.
- PLA SENTÍS, I. 1983. Sistema integrado agua-cultivo-suelo. Manejo para evaluar la calidad de agua de riego. International Atomic Energy Agency. Vienna: 192–206 p.
- PLA SENTÍS, I. 1993. Soil Salinization and Land Desertification. College on Soil Physics. International Centre for Theoretical Physics. Trieste, Italia. 35 p.
- PONCETTA, P.; ALCONADA, M.; LAVADO, R. 2006. Producción de tomate protegido en suelos decapitados con diferentes planes de fertilización. xx Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de Suelos de la región Andina. Salta, Argentina. Trabajo N.º 481. 6 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 2006. Claves para la Taxonomía de suelos. USDA, Departamento de Agricultura USA. Traducción 2007. Ortiz, C.; Gutiérrez, M.C. 331 p.