

IMPACTO DEL RIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO Y DEL DRENAJE EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD Y SALINIDAD EDÁFICAS Y EN EL RENDIMIENTO DEL TOMATE CULTIVADO BAJO CUBIERTA

Leopoldo Génova, Ricardo Andreau, Pablo Etchevers y Marta Etcheverry

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.
Calles 60 y 119. La Plata. Tel. 0221-423-6758 int. 405
e_mail: hidroagri@agro.unlp.edu.

RESUMEN

Los suelos cultivados bajo cubierta se deterioran por el riego con aguas salinas e inexistencia de lavado. Se evaluaron los efectos del riego por goteo y del drenaje sobre el rendimiento de tomates y las distribuciones de humedad edáfica y sales. En un invernadero se construyeron 6 lomos, en 3 se enterraron a 0.5 m tuberías ranuradas de PVC y tanques de 0.2 m³ en la descarga. Fueron instaladas cintas de goteo en tres profundidades: 0.1 y 0.2 m (T1 y T2) y superficial (T3), estableciendo 6 tratamientos, 3 con drenaje T1CD, T2CD y T3CD y 3 sin drenaje T1SD, T2SD y T3SD. Se determinaron humedad volumétrica Wv en 6 sitios del lomo con sensores Decagon, ubicados a 3 profundidades y 3 distancias desde el eje y pH, CEex y RAS en muestras de suelo extraídas en superficie, fondo y lateral del lomo. Se registraron peso y número de frutos de 10 plantas por tratamiento. Los principales resultados fueron: a) diferencias entre Wv medias dentro del lomo estadísticamente significativas respecto del eje vertical, pero no del eje horizontal; b) el drenaje favoreció el almacenaje y la uniformidad de distribución de la Wv; c) ambos goteos subterráneos produjeron volúmenes drenados, no así el goteo superficial; d) T2CD obtuvo los mayores rendimientos en peso y número de tomates, e) el drenaje prácticamente no varió el pH, disminuyó un 35.8% la CEex y un 17% la RAS, f) la respuesta productiva se asoció más con el riego que con la salinidad.

Palabras clave: tubos dren, rendimiento de tomates, conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio.

ABSTRACT

The grown under cover soils deteriorate by irrigation with saline water and lack of leaching by rain. Drainage effects on tomatoes yield and soil moisture and salts distributions were evaluated. In a greenhouse 6 loins were built, on three of them PVC pipes and tanks of 0.2 m³ were buried 0.5 m in the discharge. In the loins, drip tapes were placed in three depths: 0.1 and 0.2 m (T1 and T2) and surface (T3), setting 6 treatments, 3 with drainage T1CD, T2CD and T3CD and 3 undrained T1SD, T2SD and T3SD. Volumetric water content Wv was determined at 6 sites loin with sensors Decagon, 3 on the vertical axis and 3 on the horizontally axis and pH, electrical conductivity CE and sodium adsorption ratio SAR in soil samples taken at the surface, bottom and side of the loins. Weight and number of fruit over 10 plants per treatment were recorded. The main results were: a) the differences between Wv media were statistically significant on the vertical axis, but not for the horizontally axis; b) drainage favored both the Wv storage and the distribution uniformity; c) the subsurface drip irrigation produced drainage volumes, not the surface drip; d) T2CD took top overall tomatoes yield and fruit number; e) drainage practically unchanged pH, decreased the CE 35.8% and 17% the SAR; f) the productive response was associated more to irrigation than salinity conditions.

Keywords: drain pipes, tomato yield, electrical conductivity, sodium adsorption ratio.

INTRODUCCIÓN

En el cinturón hortícola platense, ubicado en los Partidos de La Plata, F. Varela y Berazategui, se cultivan 2750 ha bajo cubierta plástica, siendo el tomate la principal especie (López Camelo, 2012). La aplicación de altas dosis de riego, fertilizantes, herbicidas y pesticidas, junto a una inadecuada gestión de las labranzas, del riego y la inexistencia de drenaje, disminuyen la calidad edáfica.

La imposibilidad de recibir precipitaciones atmosféricas en los cultivos bajo cubierta, obliga al empleo de aguas provenientes de los acuíferos Pampeano y Puelches, de naturaleza bicarbonatada sódica y entre 0.7 y 1.5 dS.m⁻¹ de conductividad eléctrica (Auge y Hernández, 1983; Génova, 2011). Esto conduce a la sodificación y salinización de los suelos con el consecuente deterioro físico de los mismos. Este hecho conjuntamente con la presencia de horizontes subsuperficiales con altos contenidos de arcilla, dificulta el lavado de las sales acumuladas, agravando la situación (Alconada, 1996; Alconada y Huergo, 1998; Alconada y Minghinelli, 1998; Génova, 2003, 2007, 2009, 2010).

Paralelamente, dosis excesivas y desbalanceadas de fertilizantes, que no pueden percolar en profundidad, estimulan los procesos de salinización y el deterioro químico (Alconada, 1996; Balcaza, 2015).

Esta problemática no ha sido suficientemente estudiada a nivel mundial, debido a que en la mayoría de las regiones donde se cultiva en invernaderos (España, Holanda, Israel, Francia, Marruecos, Canadá, México) se trabaja sobre suelos arenosos o se realizan cultivos sin suelo, utilizando sustratos como arena, la perlita, lana de roca o fibra de coco. Esto justifica la necesidad de realizar investigaciones en riego y drenaje a nivel zonal que tengan en cuenta los diferentes componentes de la calidad del suelo y las tecnologías de cultivo, con el objetivo de mejorar el diseño, implementación y evaluación de estrategias de manejo, acorde a las particularidades de los sistemas productivos.

Maas y Hoffman (1977) y Maas (1990) recopilaron la información existente sobre la tolerancia de los cultivos a las sales. Para el tomate, indicaron que no disminuye el rendimiento cuando se mantiene en la solución del suelo una salinidad en extracto de saturación de CE_{ex} = 2.5 dS.m⁻¹ o se riega con aguas de CE_a = 1.7 dS.m⁻¹, a partir de cuyos valores disminuye el rendimiento hasta hacerse nulo cuando

CE_{ex} = 13dS.m⁻¹ o CE_a = 8.4 dS.m⁻¹. El mejoramiento genético ha logrado, sin embargo, una gran cantidad de cultivares y sobre todo de pies de injerto, con mayor tolerancia. A título de ejemplo, Magán et al. (2008) señalan umbrales de CE_{ex} superiores a 3 dS m⁻¹. La respuesta del crecimiento de las plantas de tomate a la salinidad varía con el nivel y tiempo de exposición al estrés salino, debido al efecto osmótico y tóxico (Munns, 1993; Neumann, 1997).

Costa y Giacomelli (2005) informaron que el déficit de presión de vapor dentro del invernadero puede alcanzar altos niveles y afectar negativamente la producción comercial de tomates, incluso con una salinidad estándar de CE = 2.5 dS.m⁻¹.

El riego localizado por goteo ha sido incorporado en la mayoría de los invernaderos de la región, debido a varias ventajas sobre otros métodos de riego, en especial los gravitacionales, como el logro de mayores eficiencias de aplicación, distribución y uso del agua y las facilidades para ejecutar la fertilización. Pero respecto a la salinidad presenta dos características indeseables. Una de ellas es que se aplican láminas ajustadas a la satisfacción de la demanda evapotranspirativa de los cultivos, sin que ocurran excesos de agua que podrían contribuir al lavado. La otra, es la distribución de las sales en el suelo regado, conformando un bulbo húmedo con acumulación salina dependiendo de múltiples factores, como caudales y espaciamiento de emisores, frecuencia de riego, textura del suelo, salinidad del agua y del suelo, tasa de evapotranspiración, entre otros.

Génova et al. (2014) reportaron que el goteo subterráneo a 12.5 y 25 cm de profundidad en un cultivo de tomate bajo cubierta, generó un rango de humedad óptima dentro del camellón, equivalente al 77% y 87% de la capacidad de campo, respectivamente, superando al goteo superficial, produciendo áreas y volúmenes con humedades óptimas mayores que el goteo superficial. También informaron que este sistema reduce el contenido hídrico superficial impidiendo el desarrollo de malezas y eliminando la necesidad de utilizar cobertura plástica (mulching).

OBJETIVOS

En este trabajo se propuso evaluar los efectos del riego por goteo a diferentes profundidades y del drenaje artificial sobre la distribución de la humedad

y la salinidad del suelo dentro del lomo y el rendimiento del cultivo protegido de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

En un invernadero de madera y cubierta plástica existente en la Estación Experimental J. Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, ubicada en la localidad de Los Hornos, dentro del cinturón hortiflorícola del Partido de La Plata, se condujo un ensayo totalmente al azar con arreglo factorial (2x3) y tres repeticiones. Los factores fueron: condición de drenaje y profundidad del riego por goteo. El drenaje tuvo dos niveles: sin drenaje (SD) y con drenaje (CD), que fue logrado enterrando a 0.5 m de profundidad tubos de PVC ranurado, de 100 mm de diámetro y 35 m de longitud, centrados sobre el lugar donde posteriormente se levantaron los lomos. Cada parcela estuvo constituida por un lomo de 0.8 m de base, 0.5 m de altura y 40 m de longitud, levantados con tierra abonada con $78.9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de cama de pollo, habitual de la región, separados por caminos de 0.5 m de ancho.

La especie utilizada fue tomate injertado (copa Elpida, pie Maxifort). Se trasplantaron plantines, con una densidad de 1 planta. m^{-2} , conducidos a 2 ramas tutoradas con hilo vertical. Fueron instaladas cintas de goteo de 200 μ de espesor de pared y 16 mm de diámetro, con orificios emisores espaciados 0.1 m, con una descarga unitaria de $0.0012 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ a una presión operativa de $0.7 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, totalizando un caudal erogado de $0.006 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. El agua de riego de fuente subterránea, pasó a través de un filtro de anillas de 130 mesh y reguló la presión con una válvula hidráulica tipo Dorot. Las cintas de goteo se dispusieron en los lomos de tres formas: enterradas a dos profundidades, 0.1 m (T1) y 0.2 m (T2) y sobre la superficie (T3). Quedaron conformados 6 tratamientos representando las condiciones de drenaje y profundidades de riego: T1CD, T2CD, T3CD, T1SD, T2SD y T3SD. Las láminas de riego, aplicadas en tiempos variables, oscilaron entre 3.7 y 7.2 $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$, definidas en base a la estimación diaria de la evapotranspiración de referencia con datos agrometeorológicos obtenidos en la Estación Meteorológica Davis Grow Weather existente en el predio y valores locales de coeficientes de cultivo del tomate bajo cubierta (Martínez et al., 2006 a y b).

Al momento de iniciarse la cosecha se extrajeron 3 muestras compuestas de suelo para cada tratamiento,

por separado en la parte superficial, en el lateral y en el fondo del lomo. Se determinaron la capacidad de campo (W_c) y el punto de marchitez permanente (W_m) con el Equipo de Richards (1948); la distribución de la humedad en el lomo con sensores de humedad volumétrica Decagon EC-5, instalados a 5, 20 y 40 cm de profundidad debajo del eje del lomo y a distancias del eje de 0, 10 y 20 cm; el pH con el método potenciométrico (1:2.5); la CEex por conductimetría y la relación de absorción de sodio (RASex) sobre extracto de pasta de saturación; Ca y Mg por complejometría con EDTA y Na por fotometría de llama. Se determinó la densidad aparente del suelo con el método del cilindro. Las muestras de aguas de riego se analizaron con la metodología del SAMLA (2014) determinando pH, CEa y RASa y clasificó la aptitud de las aguas de riego con los métodos US Salinity Lab (1954) y FAO (Ayers y Westcot, 1989). El volumen de agua drenada fue medido semanalmente en tanques de 0.2 m^3 de capacidad, instalados en la descarga de los tubos dren.

Por último se evaluó el rendimiento sobre 10 plantas, registrando peso y número de frutos cosechados, tanto para el total como para los tomates clasificados por categorías comerciales de primera (más de 150 g), segunda (100 a 150 g), tercera (menos de 100 g) y descarte. Los datos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias por test de Tukey para el rendimiento en peso de tomates y prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el número de frutos. La relación entre variables se estudió a través del coeficiente de correlación Pearson (Programa InfoStat, 2011).

RESULTADOS

El agua de riego se caracterizó por poseer: $\text{pH} = 7.57$; $\text{CEa} = 0.89 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; $\text{RASa} = 4.12$ y carbonato de sodio residual $\text{CSR} = 3.31 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$. Se clasificó su aptitud agrícola, resultando de clase C3S1 (bajo peligro de sodio y alto de salinidad) según el US Salinity Lab (1954) y con ligero a moderado grado de restricción de uso según la FAO (Ayers y Westcot, 1989).

Los contenidos hídricos volumétricos referenciales del suelo de los lomos fueron: $W_c = 29.1\%$; $W_m = 13.6\%$, resultando el agua útil $W_{alm} = 15.6\%$, calculados con la densidad aparente medida de $1.15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Utilizando un umbral de riego del 50%, el rango óptimo de humedad volumétrica, por su

condición de fácilmente aprovechable por las plantas, queda establecido entre W_c y el contenido hídrico umbral $W_{ur} = 21.3\%$.

En la Tabla 1 se muestran los valores medios de humedad volumétrica W_v (%) medidos con los sensores ubicados en tres profundidades y a tres distancias desde el centro del camellón, para los tratamientos de riego y drenaje.

Tabla 1. Humedad volumétrica promedio W_v (%) medida en tres profundidades y en tres distancias desde el centro del lomo para los tratamientos de riego y drenaje.

Tratamiento	Profundidad sensor (cm)	Distancia al centro del camellón (cm)		
		0	10	20
T1CD	5	16.5	15.8	17.2
T1CD	20	24.1	22.8	22.4
T1CD	40	26.4	24.5	25.9
T2CD	5	9.5	14.0	11.2
T2CD	20	28.2	26.9	27.2
T2CD	40	26.8	27.9	27.4
T3CD	5	22.2	24.1	22.1
T3CD	20	21.7	21.3	20.3
T3CD	40	20.4	20.1	21.3
T1SD	5	13.3	13.6	12.3
T1SD	20	21.8	22.3	22.1
T1SD	40	23.2	24.3	25.8
T2SD	5	4.8	7.9	10.3
T2SD	20	23.5	25.3	25.8
T2SD	40	27.8	28.9	28.3
T3SD	5	18.0	18.9	16.8
T3SD	20	17.3	17.8	17.9
T3SD	40	19.7	20.1	20.1

Del análisis de varianza de las W_v y la comparación de medias respecto de la ubicación vertical de los sensores de humedad, surge que el goteo superficial generó el menor contenido hídrico, diferenciándose significativamente de los goteos subterráneos y que el drenaje permitió un almacenaje mayor que sin drenaje; siendo significativamente diferentes las W_v medias para cada profundidad del sensor, con la mayor W_v para el sensor enterrado 40 cm, seguido por el enterrado a 20 cm y la menor W_v detectada por el sensor a 5 cm de profundidad. Considerando en conjunto la influencia del riego y el drenaje, las W_v de los tres tratamientos con drenaje superaron significativamente a los carentes de drenaje artificial.

Los mismos análisis estadísticos pero respecto a la ubicación horizontal de los sensores, concluyeron en que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos de riego ni entre la distancia de los sensores desde el eje del

lomo, aunque sí difirieron significativamente a favor de la existencia de drenaje artificial.

En la Tabla 2 constan los valores medios de W_v y sus correspondientes coeficientes de variabilidad (CV). Se puede apreciar que debido a la profundidad del riego por goteo, ocurrieron dos situaciones. La primera es que el goteo superficial con y sin drenaje alcanzó una mayor uniformidad en la distribución de la W_v dentro del lomo que los goteos subterráneos. Entre éstos, el más profundo fue el más desuniforme, aunque CD, todos los tratamientos de riego presentaron menor variabilidad que SD. Estos resultados permiten asumir que el drenaje favoreció la uniformidad de distribución de la W_v dentro del lomo. La segunda consecuencia es que las magnitudes de las W_v cercanas a la superficie, entre 0 y 0.1 m de profundidad, siempre fueron menores sin drenaje, aunque con el goteo subterráneo más profundo, con y sin drenaje, se produjeron las W_v más bajas, incluso inferiores a W_m , en T2CD y T2SD se registraron $W_v = 11.5\%$ y $W_v = 7.7\%$, respectivamente. Esta circunstancia confirma la ocurrencia de una de las ventajas del goteo subterráneo: la sequedad en los primeros 10 cm de espesor del suelo produce un escaso a nulo desarrollo de malezas y una menor presencia de nematodos, tal como reportaron Génova et al. (2014).

Tabla 2. Valores medios de humedad volumétrica W_v y coeficiente de variabilidad CV para los tratamientos de riego y drenaje.

Tratamientos	W_v (%)	CV (%)
T1CD	21.7	26.0
T2CD	22.0	34.8
T3CD	21.5	5.3
T1SD	19.9	24.9
T2SD	20.3	45.1
T3SD	18.5	6.2

Durante 12 semanas fueron medidos los volúmenes drenados, captados en los tanques colectores (Tabla 3), resultando muy homogéneos para los tratamientos de riego subterráneo, con promedios para T1 del 8.0% y para T2 del 8.3% del total semanal aportado por riego, que totalizó 1.512 m³ durante las primeras 7 semanas y 1.764 m³ las siguientes 5 semanas, mientras que el goteo superficial no produjo drenaje, ya que todo el volumen de agua aplicado quedó retenido en el suelo, conformando el bulbo húmedo.

En las Figuras 1 y 2 se observan las curvas de nivel de las Wv medidas dentro del lomo, para el riego subterráneo más profundo, mostrando la incidencia del drenaje en la distribución de la humedad.

Tabla 3. Volúmenes de drenaje.

Sem.	Volumen drenado (m ³)			Volumen regado (m ³)	Drenje/riego (%)		
	T1	T2	T3		T1	T2	T3
1	0.127	0.122	0	1.512	8.4	8.0	0.0
2	0.105	0.122	0	1.512	6.9	8.0	0.0
3	0.124	0.122	0	1.512	8.2	8.0	0.0
4	0.119	0.122	0	1.512	7.9	8.0	0.0
5	0.127	0.124	0	1.512	8.4	8.2	0.0
6	0.105	0.119	0	1.512	6.9	8.4	0.0
7	0.127	0.124	0	1.512	8.4	8.2	0.0
8	0.147	0.150	0	1.764	8.3	8.5	0.0
9	0.141	0.147	0	1.764	8.0	8.3	0.0
10	0.144	0.144	0	1.764	8.2	8.2	0.0
11	0.147	0.153	0	1.764	8.3	8.7	0.0
12	0.144	0.150	0	1.764	8.2	8.5	0.0

En la Figura 3 se observan los resultados de la cosecha expresados como rendimiento total (peso de los tomates recolectados). T2CD registró el mayor rendimiento, superando con significancia estadística a los demás tratamientos, siendo importantes las diferencias, ya que superó en un 34% a T3SD y casi duplicando al tratamiento que registró el menor rinde.

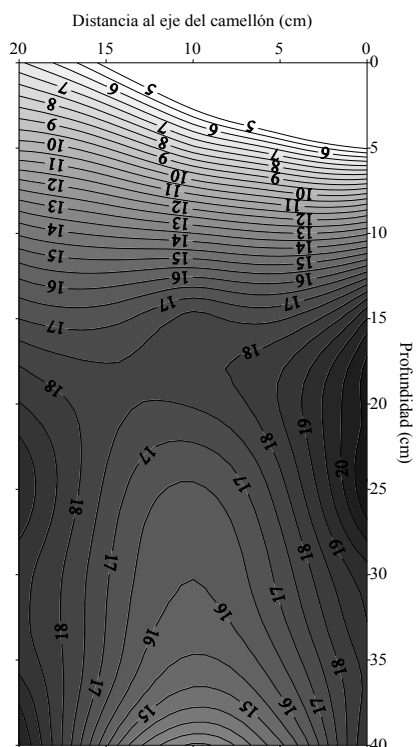


Figura 1. Distribución de la humedad volumétrica dentro del lomo para T2CD.

La Figura 4 muestra los resultados de la cosecha expresados en número de frutos, que evidenciaron una muy alta correlación con el rendimiento total ($r^2 = 0.95$) para las condiciones con y sin drenaje. La comparación de medias no paramétrica arrojó diferencias significativas a favor de T2CD y T3SD respecto de los demás tratamientos, aunque sin significancia entre sí. Son notables las diferencias del número de tomates entre el T2CD y los otros tratamientos, excepto el T3SD, del orden del 38% al 69%.

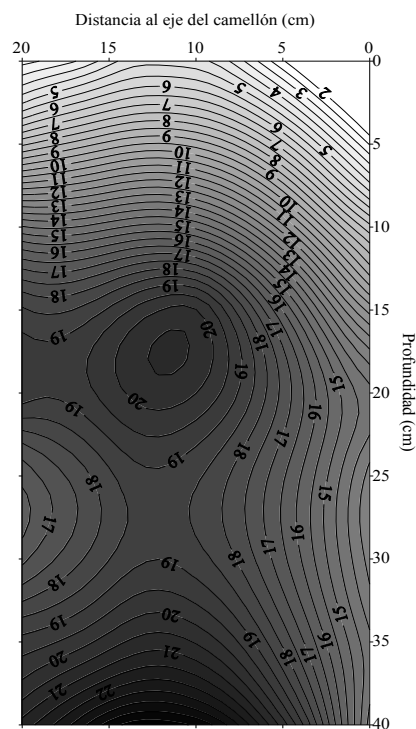
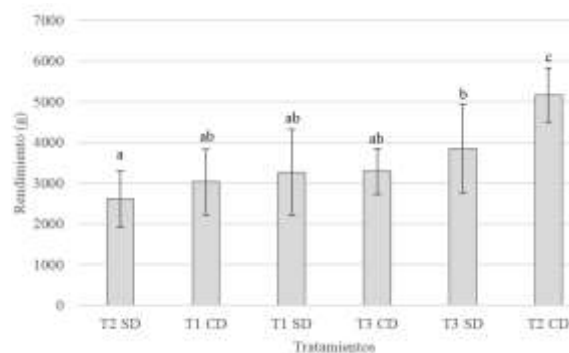


Figura 2. Distribución de la humedad volumétrica dentro del lomo, para T2SD.

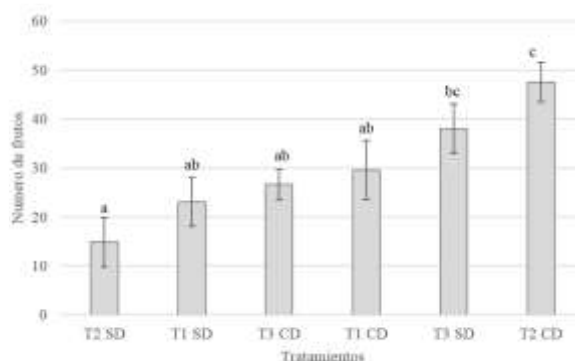


Ref.: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 3. Rendimiento total de tomates.

Clasificados los frutos por su peso de acuerdo con las categorías comerciales, se encontró una altísima correlación ($r^2 = 0.99$) entre el rendimiento total de tomates y la

sumatoria de tomates de primera y segunda categorías, que se observan en la Figura 5. Con drenaje, T2 > T3 un 26%, T2 > T1 un 40% y T3 > T1 un 11%, en cambio sin drenaje, T3 > T1 un 8.3%, T3 > T2 un 45.6% y T1 > T2 un 34.4%.



Ref.: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 4. Número de frutos.

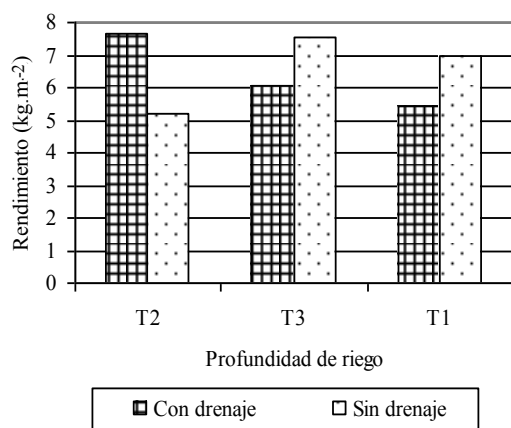


Figura 5. Rendimiento total de tomates de primera y segunda categoría comercial.

También se analizó la precocidad productiva de tomates (Figura 6) recolectados en las primeras cinco cosechas, que tiene una importante incidencia en el precio de mercado, dada su condición de “primicia”. Como ocurrió con los rendimientos totales y las dos primeras categorías comerciales, el rendimiento de tomates primicia correlacionó altamente con los otros rendimientos ($r^2 = 0.95$) pero obteniendo mayores diferencias incrementales, por lo que con drenaje, T2 superó significativamente a T3 un 57% y a T1 un 71%. Sin drenaje, T3 > T2 un 48%.

En la Tabla 4 se presentan los valores de pH, CEx y RAS correspondientes a los sitios muestreados en el camellón: superficial, lateral y fondo, y en la Tabla 5 constan los valores medios para cada tratamiento. El rango del pH medido en los

tratamientos fue 6.19-8.03, con un bajo coeficiente de variabilidad $CV = 3.6\%$. Los valores correspondientes al lateral son menores que los de superficie y fondo, pero con mayor $CV = 78\%$ y en el T2CD se registró el menor pH, seguido por T1CD. En superficie, los menores pH se obtuvieron en T2CD y T2SD, que resultaron iguales, y en el fondo, el pH más bajo ocurrió en T2CD. El menor pH promedio en el lomo se registró en T2CD.

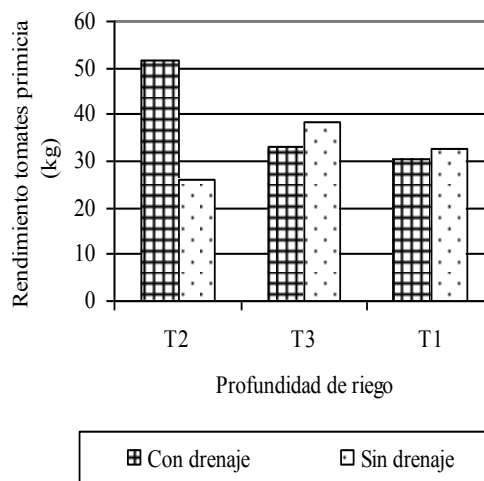


Figura 6. Rendimiento total de tomates primicia.

La salinidad se manifestó en un rango de CEx muy amplio (1.0-10.4 $dS.m^{-1}$), con $CV = 31.6\%$. Las menores CEx se registraron en el fondo del lomo, con menor $CV = 16\%$ y las mayores en el lateral, con $CV = 38.6\%$. Los valores de CEx más bajos en el lateral y en superficie ocurrieron en T3CD y en el fondo en T1CD, seguido de T2CD y T3CD, los tres muy cercanos entre sí. La concentración de sales promedio del lomo fue creciendo en la secuencia T3CD, T1CD, T3SD, T2CD T1SD y T2SD, mostrando que el drenaje contribuyó a mantener una menor salinidad media.

La sodicidad osciló dentro de un rango de RAS de 10.3 a 24.2, con un $CV = 11\%$ y los menores valores de RAS ocurrieron en el fondo del lomo, con un $CV = 21\%$. Las RAS más bajas en el lateral se registraron en T2CD seguido por T3SD y en el fondo, T3CD y luego T1CD. En superficie, también las menores RAS se lograron con drenaje, en una secuencia creciente para T3CD, T1CD y T2CD. Los menores valores promedio de RAS en el lomo correspondieron a los tratamientos T3CD, T2CD y T1CD, en orden creciente. Los registros de cada sitio y su promedio indican que el drenaje favoreció el mantenimiento de los menores índices de sodicidad.

Tabla 4. Valores de los indicadores salinos obtenidos en tres sitios del lomo.

Tratamientos	pH			CE _{ex}			RAS		
	L	F	S	L	F	S	L	F	S
T1CD	6.4	8.0	7.3	6.5	1.0	5.5	23.8	14.9	16.4
T2CD	6.2	7.4	6.8	9.5	1.2	5.1	14.0	15.9	20.1
T3CD	7.8	7.8	7.2	1.6	1.3	2.7	18.3	10.3	15.3
T1SD	6.7	7.5	7.5	9.2	1.7	6.8	17.8	16.4	24.2
T2SD	6.5	7.7	6.8	8.9	1.5	9.9	23.3	15.5	23.4
T3SD	6.5	7.7	7.9	10.4	1.3	3.9	15.9	21.7	21.3

L = lateral; F = fondo; S = superficie; CE_{ex} (dS.m⁻¹)

Tabla 5. Valores medios de los indicadores de salinidad y sodicidad obtenidos en cada tratamiento.

Tratamiento	pH	CE _{ex} (dS.m ⁻¹)	RAS
T1CD	7.2	4.4	18.3
T2CD	6.8	5.3	16.7
T3CD	7.6	1.9	14.6
T1SD	7.2	5.9	19.5
T2SD	7.0	6.8	20.7
T3SD	7.4	5.2	19.6

Tabla 6. Valores de los indicadores ordenados por la condición de drenaje.

Localización en el lomo	Con drenaje			Sin drenaje		
	pH	CE _{ex}	RAS	pH	CE _{ex}	RAS
Lateral	6.8	5.8	18.7	6.5	9.5	19.0
Fondo	7.7	1.2	13.7	7.6	1.5	17.9
Superf.	7.1	4.5	17.3	7.4	6.9	23.0
Prom.	7.2	3.8	16.6	7.2	6.0	19.9

CE_{ex} (dS.m⁻¹); Superf. = Superficie; Prom. = Promedio

Ordenando las magnitudes de los indicadores salinos en función de la presencia de drenes, como se puede observar en la Tabla 6, el pH no varió significativamente con el drenaje, en cambio tanto la salinidad como la sodicidad manifestaron diferencias significativas entre las condiciones de drenaje. La CE_{ex} y la RAS fueron 36% y 17% menores con drenaje que sin drenaje, respectivamente, lo cual evidencia que el impacto principal del drenaje se observó en la salinidad.

Se analizó la relación entre los valores de los indicadores salinos medidos en los sitios del lomo para las dos condiciones de drenaje, encontrando una buena correlación CD-SD con el pH, ($r^2 = 0.76$), casi máxima con la CE_{ex} ($r^2 = 0.99$) y muy baja con la RAS ($r^2 = 0.19$), pudiendo resaltar que el drenaje disminuyó significativamente la salinidad tanto en cada sitio del lomo como en el promedio de los tres sitios.

Por último, del análisis de las relaciones entre las respuestas productivas de los tratamientos de riego con y sin drenaje con los indicadores salinos, se

encontró una altísima correlación entre el rendimiento total de tomates y la condición sin drenaje, con las siguientes tendencias: aumento del rendimiento con aumento del pH y disminución de la CE_{ex} y de la RAS, con r^2 de 0.99; 0.97 y 0.85, respectivamente, en cambio entre el rendimiento total y la condición con drenaje, la correlación es baja para el pH ($r^2 = 0.51$) y prácticamente inexistente para la salinidad y la sodicidad. Puede interpretarse que el rendimiento de tomates responde más a la humedad del suelo que a la salinidad, donde es mayor el efecto del drenaje.

CONCLUSIONES

Considerando en conjunto la influencia del riego y el drenaje, los mayores contenidos hídricos del suelo dentro del lomo ocurrieron en los tres tratamientos con drenaje. El drenaje favoreció la uniformidad de distribución de la W_v dentro del lomo.

Las diferencias entre los promedios de W_v medidas en el lomo fueron estadísticamente significativas en el eje vertical, creciendo las W_v con la profundidad, en cambio no fueron significativas las diferencias de W_v registradas en el eje horizontal.

Las W_v observadas en los primeros 10 cm de profundidad del suelo producidas por el goteo subterráneo más profundo, con y sin drenaje, fueron las más bajas, inferiores a W_m, que confirmó algunas de las ventajas del goteo subterráneo, como el escaso a nulo desarrollo de malezas y la menor presencia de nematodos.

Los volúmenes drenados en los riegos por goteo subterráneo fueron muy cercanos entre sí, del orden del 8% de los volúmenes aportados por el riego, mientras que el riego por goteo superficial no produjo drenaje, quedando toda el agua derivada dentro del bulbo húmedo, que alcanzó unos 0.4 m de profundidad.

El rendimiento total de tomates y el número de frutos se correlacionaron altamente ($r^2 = 0.95$) para las condiciones con y sin drenaje. El riego subterráneo más profundo y con drenaje T2CD logró los mejores resultados de cosecha, tanto en peso como en cantidad de tomates. Resultó altísima la correlación entre el rendimiento total y el de la suma de tomates de primera y segunda categorías, lo mismo sucedió con el rendimiento de tomates primicia.

Respecto a la distribución de sales dentro del camellón, no fueron significativas las diferencias de pH en la superficie, lateral y fondo, con bajo CV = 3.6% y el menor pH promedio del lomo se registró en T2CD. La salinidad fue muy variable (CV = 31.6%), las menores CE_{ex} se registraron en el fondo del lomo y las mayores en el lateral. La sodicidad presentó valores de RAS con un CV = 11% y las menores RAS también ocurrieron en el fondo del lomo. En superficie, las menores RAS se lograron con drenaje. Los registros de cada sitio y su promedio indican que el drenaje favoreció el mantenimiento de los menores índices de sodicidad.

Comparando los valores medios de los tres sitios del lomo, el pH no varió significativamente con el drenaje, en cambio tanto la salinidad como la sodicidad manifestaron diferencias significativas entre las condiciones de drenaje. La CE_{ex} y la RAS fueron 64% y 83% menores con drenaje que sin drenaje, respectivamente. El mayor impacto del drenaje se manifestó en la salinidad, que disminuyó un 35.8% respecto de la ausencia de drenaje.

La existencia de drenaje no incidió en el rendimiento total de tomates, pues sus correlaciones son bajas con el pH ($r^2 = 0.51$) y prácticamente inexistente para CE_{ex} y RAS, en cambio, en ausencia de drenaje, correlacionaron fuertemente el rendimiento total con el pH ($r^2 = 0.99$), con la CE_{ex} ($r^2 = 0.97$) y con la RAS ($r^2 = 0.85$), disminuyendo con decrementos de la CE_{ex} y de la RAS. Se asume que para las condiciones del ensayo, el rendimiento de tomates responde más a la humedad del suelo que a la salinidad, donde los efectos del drenaje son importantes.

BIBLIOGRAFIA

- Alconada, M. 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata, Bs. As., Argentina. *Actas XIII Cong. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindoia*, SP, Brasil.
- Alconada, M. y Huergo, L. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, N.O.A., Univ. Nac. de Tucumán. Versión electrónica.
- Alconada, M. y Minghinelli, F. 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, Argentina, 4-7 de mayo, pp. 229-230.
- Auge, M. y Hernández, M. 1983. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. *Actas del Coloquio de Olavarria*. Vol II. Bs. Aires-París.
- Ayers, R. y Westcot, D. 1989. La calidad del agua en la agricultura. *Serie FAO Riego y Drenaje N° 29 rev.1*. Roma.
- Balcaza, L. 2015. Comunicación personal.
- Costa, P. y Giacomelli, G. 2005. Greenhouse tomato production with high saline nutrient solution simulating a re-circulating irrigation system without environmental discharge. University of Arizona, Tucson.
- Génova, L. 2003. Resistencia y resiliencia de suelos pampeanos a la degradación salina y sódica, disturbados por riego complementario. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 23 (2-3), pp. 119-130. Bs. As.
- Génova, L. 2007. Resiliencia a la degradación salina y sódica de algunos suelos pampeanos, regados complementariamente con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. 195 p. y anexo.
- Génova, L. 2009. Sustentabilidad de agroecosistemas pampeanos bajo riego complementario. Revisión de 20 años. En: *Avances en Ingeniería Rural 2007-2009. Capítulo 2. Suelos, agua y medio ambiente*, pp. 579-586. Eds. responsables: N. Di Leo, S. Montico y G. Nardón. CD Rom ISBN 978-950-673-752-8. Rosario.
- Génova, L. 2010. Sustentabilidad de agroecosistemas pampeanos argentinos regados complementariamente. En: *Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanura. Tomo II. Capítulo Agrohidrología*, pp. 605-612. Editores: M. Varni, I. Entraigas y L. Vives. Azul, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-543-392-2.
- Génova, L. 2011. *Sustentabilidad del riego complementario en la Pampa Húmeda argentina. Resiliencia a la degradación de suelos regados complementariamente con aguas salinas*. Ed. Académica Española. ISBN 978-3-8443-3855-3. pp 256. www.eae-publishing.com.
- Génova, L.; Andreau, R.; Etchevers, P.; Zabala, S.; Chale, W.; Etcheverry, M.; Romay, C. y Salgado, H. 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): pp. 18-26.

- 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. y Hoffman, G. 1977. Crop salt tolerance. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE* 103, pp. 115-134. New York.
- Maas, E. 1990. Crop salt tolerance. En: K.K. Tanji (Ed.). *Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice* No. 71. Am. Soc. Civil Engineers, New York. USA. pp. 262-304.
- Magán, J; Gallardo, M.; Thompson, R. y Lorenzo, P. 2008. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soilless culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*. Volume 95, Issue 9, September 2008, pp. 1041–1055.
- Martínez, S.; Andreau, R.; Morelli, G. y Génova, L. 2006 a. Estimación del cálculo de Ep por el método de Thornthwaite en tomate bajo cubierta. *Actas de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología*. La Plata.
- Martínez, S.; Andreau, R.; Garbi, M. y Génova, L. 2006 b. Estimación de la evapotranspiración del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo cubierta plástica primicia en La Plata, mediante evaporimetría. *Resúmenes del XXIX Congreso Argentino de Horticultura*, pp. 58-59. Catamarca, 20 al 23 de septiembre de 2006.
- Munns, M. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses, *Plant Cell Environ.* 16 (1993) 15/2.
- Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revised, *Plant Cell Environ.* 20 (1997) 1193-1198.
- Programa InfoStat. 2011. Software estadístico. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Richards, L. A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66(2): pp. 105-110.
- SAMLA. 2014. Sistema de Apoyo metodológico a Laboratorios de suelos, agua, vegetales y enmiendas orgánicas. Min. de Agricultura, Ganadería y Pesca. www.miniagri.gob.ar/samla.
- US Salinity Lab. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. *Manual de Agricultura N° 60. Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los EE.UU.* Riverside, Washington. 172 p.

Artículo recibido el 06/2015 y aprobado para su publicación el 12/2015.