

Respuesta productiva del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial.

Génova, Leopoldo^{1,2,3}; Ricardo Andreau¹; Pablo Etchevers¹; Stella M. Zabala²; Walter Chale^{1,2}; Marta Etcheverry¹; Catalina Romay²; Héctor Salgado^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Avda. 60 y 119. (1900) La Plata.

²Facultad de Agronomía, UBA. Avda. San Martín 4453. (1407) CABA. Tel 011-4524-8006;

³lgenova@agro.uba.ar

Génova, Leopoldo; Ricardo Andreau; Pablo Etchevers; Stella M. Zabala; Walter Chale; M. Etcheverry; Catalina Romay; Héctor Salgado (2013). 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. Agron. Vol 112 (1): 18-26

Para evaluar la respuesta del tomate cultivado bajo cubierta al riego por goteo superficial y subterráneo, se propusieron 3 tratamientos: T1) goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad, T2) goteo subterráneo a 25 cm de profundidad y T3) goteo superficial, regados por dos cintas Aqua-TraXX espaciadas 20 cm, con emisores cada 0,2 m. Se registró la humedad volumétrica Wv dentro del camellón con sensores instalados a 5; 10; 20 y 30 cm de profundidad y a 0, 15 y 30 cm de distancia al lomo. Se analizó la variancia factorial general de los datos y aplicaron técnicas de comparación múltiple de medias observadas a posteriori, de Tukey y Bonferroni. Bajo un diseño estadístico enteramente al azar con 10 repeticiones, se registraron el peso y número de tomates por planta y el peso medio de frutos, analizando la variancia y comparando los promedios con Tukey para rendimiento y peso medio de fruto, y con prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para número de frutos. La distribución de la Wv fue significativamente diferente entre tratamientos, T2 generó el mayor volumen de bulbo húmedo con Wv óptima, superando un 72% a T3 y un 40% a T1. El rendimiento de tomates por planta de T2 se diferenció significativamente de T3, atribuible al incremento del peso medio de frutos, sin observarse diferencias significativas en el número de frutos por planta, aunque clasificados por categorías comerciales, T2 obtuvo un 79% de tomates de primera, seguido por T1 (61,5%) y T3 (56,6%). Resultaron altamente correlacionados los rendimientos totales y pesos medios de tomates con las profundidades de goteo.

Palabras clave: riego localizado, tomate, rendimiento, bulbos húmedos, humedad óptima.

Génova, Leopoldo; Ricardo Andreau; Pablo Etchevers; Stella M. Zabala; Walter Chale; M. Etcheverry; Catalina Romay; Héctor Salgado (2013). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield response to water distribution with subsurface and superficial drip irrigation, grown under greenhouse. Rev. Fac. Agron. Vol 112 (1): 18-26

To evaluate the tomato yield response to surface and subsurface drip irrigation were proposed 3 treatments: T1) subsurface drip 12.5 cm depth, T2) subsurface drip 25 cm depth and T3) surface drip, all irrigated with two tapes Aqua-Traxx spaced 20 cm each, with emitters every 0.2 m. The volumetric soil moisture Wv was measured with sensors installed at 5, 10, 20 and 30 cm deep and at 0, 15 and 30 cm from the spine. We analyzed the general factorial variance of the data and we applied multiple comparison of means after observed with Tukey and Bonferroni techniques. Under a completely randomized statistical design with 10 repetitions, recorded the weight and number of tomatoes per plant and average weight of fruit, analyzing and comparing the average variance with Tukey for yield and mean fruit weight and nonparametric Kruskal Wallis test for number of fruits. The Wv distribution differ significantly between treatments, T2 generated the largest volume of wet bulb with optimal Wv, surpassing by 72% and 40% T3 to T1, respectively. The tomatoes yield per plant differed significantly from T2 to T3, attributable to increased average weight of fruit, no significant differences in the total number of fruits per plant, although classified by trade categories, T2 was 79% of tomatoes first, followed by T1 (61.5%) and T3 (56.6%). Were highly correlated the total yield and average weights of tomatoes with the drip depths and wet bulbs.

Keywords: drip irrigation, tomato yield response, wet bulb, optimal soil moisture.

Recibido: 17/08/2012

Aceptado: 29/03/2013

Disponible on line: 18/06/2013

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCION

El riego localizado o microirrigación, se refiere a la modalidad de aplicación de agua al suelo cultivado en las cercanías del ambiente de raíces, mediante tres tipos de sistemas: microaspersión, goteo superficial (RG) y goteo subsuperficial o subterráneo (RGS). La difusión del RGS se ha incrementado mundialmente en las últimas dos décadas, debido a los promisorios resultados logrados en la producción de numerosos cultivos, basados principalmente en el aumento de la eficiencia en el uso del agua y otras ventajas adicionales debidas a que la superficie del terreno regado se mantiene con muy bajos contenidos hídricos. Las empresas fabricantes de tuberías, goteros y cintas de goteo, por ejemplo Netafim (2009), Bisconer (2010) para Toro Co., divulgan las ventajas y bondades de sus productos, pero si bien principalmente en USA, México e Israel se ha investigado sobre microirrigación y en particular sobre el comportamiento de RG y RGS, en nuestro país la información experimental es escasa.

Las primeras referencias del riego por goteo se encontraron en Alemania en el año 1860, donde se empleó una especie de riego por goteo subterráneo (Marhuenda, 1999). Camp (1998) realizó una revisión exhaustiva de la información publicada sobre riego por goteo subterráneo, para determinar el estado del arte sobre el tema en USA, desde sus inicios en 1960, respondiendo al interés intensificado desde 1980 y concluyó que la respuesta de los rendimientos de más de 30 cultivos regados por goteo subsuperficial fue mayor o igual a la de los otros métodos de irrigación, incluyendo goteo superficial y requiere menos agua en la mayoría de los casos.

Camp et al. (2000) discutieron el pasado, presente y futuro del RGS, acotando que los primitivos dispositivos de goteo no superaban el mayor inconveniente: la obstrucción de los orificios por múltiples causas, con la consecuente pobre uniformidad de distribución del agua. Los avances tecnológicos logrados en la disponibilidad de materiales plásticos (polietileno PE y policloruro de vinilo PVC) y el mejoramiento de los procesos de diseño y fabricación de tuberías, cintas y emisores, incentivaron la adopción de RGS, aunque se mantuvo sin solución el taponamiento de los emisores por intrusión de raíces, hasta que se desarrollaron métodos de control que minimizan esta causa, basados en tres principios: a) uso de sustancias químicas como herbicidas, ácido fosfórico, cloro, b) diseño y construcción de emisores especializados en la entrega subterránea de agua, con barreras al ingreso de raíces y c) manejo óptimo del riego. Concluyeron que los rendimientos de los cultivos son mayores o iguales a los obtenidos por otros métodos de riego, los requerimientos hídricos son iguales o menores a los del goteo superficial y los requerimientos de fertilizantes son menores respecto de otros métodos de riego. Estas características generales, asociadas con otras ventajas como la posibilidad de uso de aguas residuales o aguas de baja calidad y sobre todo la longevidad del sistema enterrado, que disminuye los costos del equipamiento, le confieren al RGS un futuro muy promisorio.

Requena (1998) informó que la práctica del riego por goteo subterráneo, introducida en la década de 1960, cuenta con más de 40 años de experiencia en el

mundo, pero solamente en los últimos quince años se expandió debido a las ventajas comparativas respecto de otros métodos de riego localizado. En un ensayo realizado en la E.E. INTA Alto Valle en un monte de manzanos, con laterales de goteo tipo T-Tape enterrados 10 a 15 cm, reportó que durante el tiempo que duró la experiencia (41 meses), no se observó una disminución importante del caudal del lateral y el cultivo alcanzó rendimientos similares a los obtenidos con riego por goteo superficial durante la misma temporada. Concluyó que si bien el goteo subterráneo puede llegar a presentar interesantes ventajas que apoyen su difusión en la zona, debe experimentarse con mayor profundidad pues requiere, por parte del productor, de un manejo más minucioso que las otras variantes de riego localizado, para evitar problemas graves de funcionamiento.

Comparando el rendimiento y la calidad de tomates regados por RG y RGS, entregando el 50 y 100 % de la evapotranspiración requerida (del Amor, F. y M. del Amor, 2007) demostraron que bajo restricción hídrica, el contenido hídrico del suelo en la zona de raíces fue más alto con RGS y el rendimiento fue 66,5% superior que con RG, en cambio no hubo diferencias significativas en el rendimiento total de frutos entre ambos métodos cuando se regó el 100% de la Etc. Con restricción hídrica, los tomates bajo RG aumentaron el pH y la acidez, mientras que regados con RGS, no existieron diferencias entre los que recibieron el 50 y el 100% de la Etc.

Ben-Asher y Phene (1993) aplicaron mediante RG y RGS la misma cantidad de agua en un suelo francoarcilloso, observando que con RGS el radio de humedecimiento fue un 10 % menor que en RG, en cambio el área y el volumen humedecido fueron un 62 y 46 % mayores que el RG, respectivamente. Evett et al. (1995) hallaron una reducción del 13,9 % de la evapotranspiración del maíz para grano regado con RGS comparado con RG, debido a una reducción de la evaporación directa del suelo.

Rivera et al. (2004) estudiaron la dinámica del flujo hídrico en suelos regados con RGS en alfalfares, deduciendo que los mejores rendimientos se obtuvieron cuando los riegos se suministraron en intervalos cortos de tiempo, resultando el movimiento del agua controlado principalmente por capilaridad. Afirmaron que el RGS constituye una alternativa ecológicamente sustentable, técnicamente factible y económicamente viable, atendiendo a sus principales ventajas: no impedir labores agronómicas durante el riego, reducir la incidencia de plagas, malezas y enfermedades e incrementar los rendimientos y la productividad del agua. Rodríguez et al. (2005) reportaron que el RGS en banano determinó la mayor profundización del sistemas de raíces, comparado con RG, incrementando el área de absorción de agua y nutrientes, con su correlato en el aumento del rendimiento.

Enciso-Medina et al. (2005) establecieron que en algodón regado con RGS, el espaciamiento entre hileras tuvo una mediana influencia en la eficiencia del uso del agua, aunque espaciamientos menores mostraron una tendencia a incrementar dicha eficiencia. Mahabud et al. (2002) recomendaron que la prevención de la obstrucción de los emisores se lograba mediante adecuados sistemas de filtrado y tratamiento químico,

indispensable para el uso exitoso, longevo y económico del RGS. Basándose en 20 años de estudios en Kansas, Rogers y Lamm (2009) describieron las claves para adoptar exitosamente RGS: minimizar los problemas y asegurar la longevidad del equipamiento, enfatizando que para su diseño deben considerarse no solo las características de los suelos y aguas, sino no obviar componentes mínimos del equipo para eficientizar la distribución del agua y la durabilidad. En esta línea de investigación, Wilde et al. (2009) evaluaron la rentabilidad de sistemas de RGS durante 6 años en Texas, usando como indicador el Valor Presente Neto (VPN), considerando la incidencia de 3 niveles de uniformidad de distribución del agua y 2 niveles de riego (60 y 100% del óptimo). El equipo más uniforme, regando el nivel más bajo, obtuvo el mayor VPN, concluyendo que los productores con mayor aversión al riesgo prefieren un diseño más uniforme, dispuestos a pagar su costo más alto, en cambio los productores con menor aversión al riesgo prefieren sistemas menos uniformes, con menor costo inicial.

Arbat et al. (2009) evaluaron el efecto del espaciamiento entre emisores sobre rinde y eficiencia de uso de agua en maíz regado con RGS. Encontraron preferencialmente un movimiento longitudinal del agua, paralelo a la línea de goteo, respecto del flujo perpendicular, interpretando que este fenómeno compensa parcialmente los mayores espaciamientos, en términos de redistribución de agua. El rendimiento del cultivo y la productividad del agua no fueron afectados significativamente por espaciamientos de 0,3, 0,6, 0,9 y 1,2 m.

Kandelous et al. (2011) estudiaron la distribución del contenido hídrico del suelo entre dos emisores de RGS y compararon los datos medidos con los simulados con distintos modelos matemáticos. Los mejores ajustes se lograron con el modelo geométrico tridimensional Hydrus, que describió adecuadamente los datos experimentales tanto antes como después de ocurrida la superposición de los bulbos húmedos de los dos emisores.

En este trabajo se propuso como objetivo evaluar la relación entre el rendimiento del tomate y la distribución de la humedad del suelo regado por goteo superficial y subterráneo, con la siguiente hipótesis: el rendimiento del tomate responde a la cantidad de humedad almacenada en el suelo dentro del rango óptimo.

MATERIALES Y METODOS

En un invernadero de madera y plástico existente en la Estación Experimental J. Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, ubicada en Los Hornos, dentro del cinturón hortiflorícola del Partido de La Plata, se construyeron camellones de tierra abonada con cama de pollo, de 0,8 m de base, 0,4 m de altura y 40 m de longitud, separados por caminos de 0,5 m de trocha.

En cada camellón se instalaron en paralelo y separadas 0,2 m, dos cintas de goteo Aqua-TraXX® de 200 μ de espesor de pared y 16 mm de diámetro, con orificios emisores espaciados 0,2 m, con una descarga unitaria de $0,0012 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a una presión operativa de $0,7 \text{ kg cm}^{-2}$, totalizando un caudal erogado de $0,006 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$. El

agua de riego de fuente subterránea, se filtró con filtro de anillas de 130 mesh y reguló la presión con una válvula hidráulica tipo Dorot. Los pares de cintas de goteo se dispusieron en los camellones de tres formas: sobre la superficie y enterrados 0,125 m y 0,25 m, configurando los siguientes tratamientos: T1) goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad, T2) goteo subterráneo a 25 cm de profundidad y T3) goteo superficial. Las láminas de riego, aplicadas en tiempos variables, oscilaron entre 3,7 y 7,2 mm.día⁻¹ y fueron definidas en base a la estimación diaria de la evapotranspiración de referencia con datos agrometeorológicos obtenidos en la Estación Meteorológica Davis Modelo Grow Weather existente en el predio y valores locales de coeficientes de cultivo del tomate bajo cubierta (Martínez et al., 2006 a y b). Hilerados sobre la cresta del camellón, el 09-09-2011 fueron trasplantados plantines de tomate Elpida (Enza Zaden®) con una densidad de 2 individuos m^{-2} y posteriormente las plantas se condujeron a una rama, tutoradas con hilo vertical.

La estimación de los contenidos hídricos en el bulbo húmedo de los camellones regados en superficie y subterráneamente, se realizó mediante la lectura de tres repeticiones por sitio de sensores de humedad volumétrica del suelo Wv, marca Decagon EC-5, ubicados a 5, 10, 20 y 30 cm de profundidad en el eje vertical y a 0, 15 y 30 cm de distancia a dicho eje. Los datos fueron analizados con el Programa InfoStat (2008), según el modelo de análisis de variancia factorial general, que asume que la humedad volumétrica esta influenciada por dos factores: profundidad y distancia al eje. Además, se aplicaron las técnicas de comparación múltiple de medias observadas a posteriori de Tukey y de Holm-Bonferroni (1979)

Utilizando un diseño estadístico enteramente al azar con diez repeticiones, los datos de cosecha de frutos se clasificaron primero de acuerdo a las siguientes categorías comerciales: primera (más de 150 g), segunda (100 a 150 g), tercera (50 a 100 g) y descarte (menores de 50 g, deformados, rajados) y luego se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias por test de Tukey para rendimiento y peso medio de fruto y prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para número de frutos.

RESULTADOS Y DISCUSION.

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio de humedad volumétrica en el camellón, correspondientes a los tres tratamientos.

Los resultados del análisis de variancia permiten aceptar diferencias significativas ($\alpha=0,05$) tanto de los factores distancia y profundidad como de su interacción con la humedad volumétrica del suelo en los tres tratamientos. Del análisis de comparaciones múltiples a posteriori de las medias de los tratamientos, se observa que, para las condiciones del ensayo, en el T1, la distancia 15 cm del eje a partir de los 10 cm de profundidad, estima la mejor oferta de humedad volumétrica, tal como puede observarse en las Figuras 1, 2 y 3.

Tabla 1. Datos medios de humedad volumétrica (%)

Profundidad (cm)	Distancia al camellón (cm)			% Wv media
	0	15	30	
T1. Goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad				
5	9,8	7,9		8,85
10	12	27	5,5	14,78
20	20	25	15,2	19,93
30	20	25	20,2	21,87
Media general.				16,36
T2. Goteo subterráneo a 25 cm de profundidad				
5	6,6	11		8,53
10	24	24	6,8	18,34
20	25	28	18,9	23,98
30	26	30	25,4	27,02
Media general.				19,47
T3. Goteo superficial				
5	21	25		23,1
10	20	24	23,8	22,39
20	21	22	22	21,42
30	18	17	17	17,37
Media general.				21,07

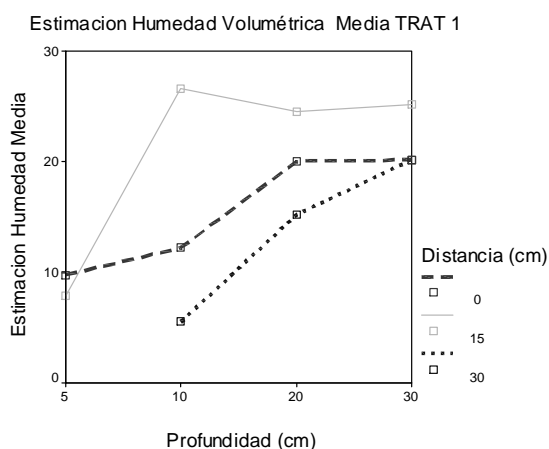


Figura 1. Humedad volumétrica (%) del camellón regado por goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad. Valores promedio de las mediciones correspondientes a la ubicación del sensor en 4 profundidades y 3 distancias al centro.

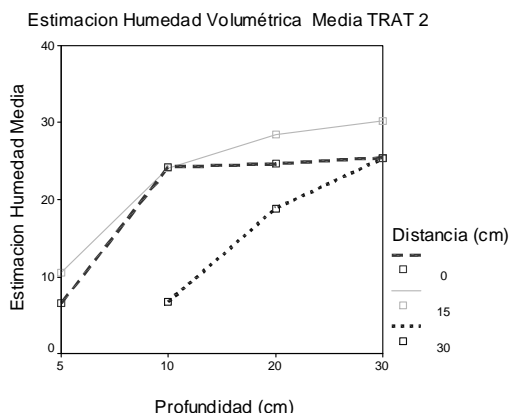


Figura 2. Humedad volumétrica (%) del camellón regado por goteo subterráneo a 25 cm de profundidad. Valores promedio de las mediciones correspondientes a la ubicación del sensor en 4 profundidades y 3 distancias al centro.

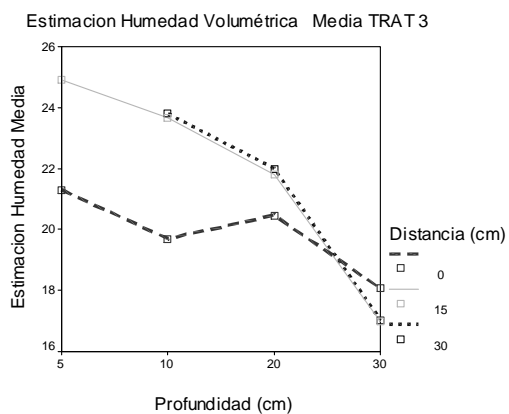


Figura 3. Humedad volumétrica (%) del camellón regado por goteo superficial. Valores promedio de las mediciones correspondientes a la ubicación del sensor en 4 profundidades y 3 distancias al centro.

Con los datos medios de Wv se construyeron las curvas de nivel de isohumedad que se presentan en las Figuras 4, 5 y 6.

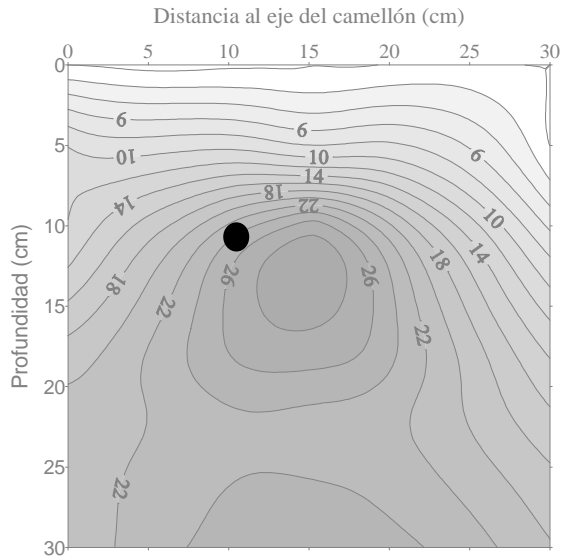


Figura 4. Distribución de la humedad dentro del camellón regado por goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad (T1). ● Ubicación de la cinta de goteo.

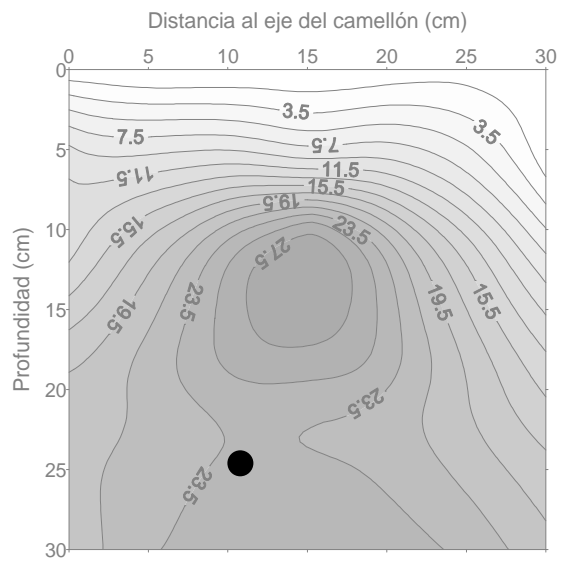


Figura 5. Distribución de la humedad dentro del camellón regado por goteo subterráneo a 25 cm de profundidad (T2). ● Ubicación de la cinta de goteo

El suelo Argiudol típico, disturbado por las labranzas, la incorporación de fertilizante orgánico y la alomada formadora del camellón, presentó una capacidad de campo de $W_c = 29,8\%$ y un contenido hídrico de marchitez permanente $W_m = 17,2\%$, que definen una humedad aprovechable total HAT de $12,6\%$ (todos porcentajes volumétricos), equivalentes a láminas de agua en mm por cada dm de profundidad de suelo. Para cuantificar la cantidad de humedad aprovechable

por las plantas sin disminución del rendimiento fisiológico, se asumió como límite inferior $W_v = 23\%$, que significa un umbral crítico del 50% , con el cual se operó el riego, permitiendo una depleción máxima de la W_v para mantener la humedad dentro del rango óptimo, sin limitar la cosecha. El umbral crítico propuesto desde el cuaje del primer racimo hasta finalizar la cosecha, se asumió atendiendo a las características del cultivo de tomate de superponer etapas fenológicas.

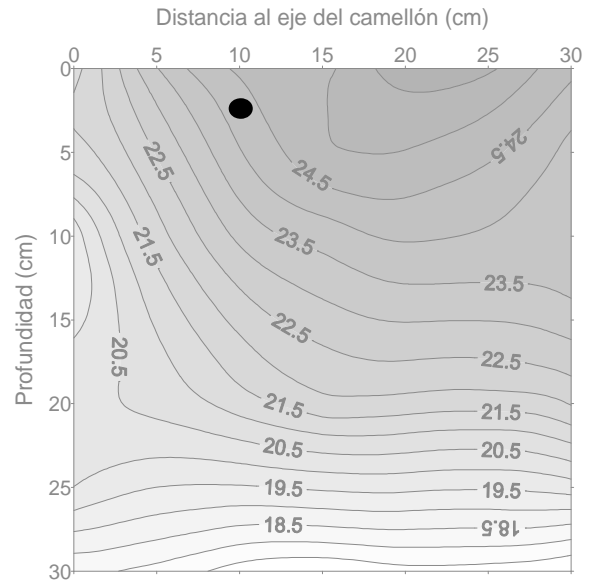


Figura 6. Distribución de la humedad dentro del camellón regado por goteo superficial, (T3). ● Ubicación de la cinta de goteo.

Dentro del camellón se observó una distribución de la W_v diferente entre los tratamientos: con goteo superficial (T3) la máxima W_v ($24,9\%$) se produjo a 5 cm de profundidad, mientras que con goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad (T1), la máxima $W_v = 26,6\%$ se ubicó a 10 cm de profundidad y con goteo subterráneo a 25 cm de profundidad (T2), la W_v máxima fue del $30,2\%$ a 30 cm de profundidad, posiblemente debido a la presencia de un estrato densificado, que limitó la infiltración. El T3 mantuvo un promedio de W_v óptima ($0,73 W_c$) del $21,6\%$ en el estrato de 0 a 18 cm de profundidad, en cambio el T1 generó un promedio de W_v óptima ($0,77 W_c$) del $22,8\%$ en el estrato de 15 a 30 cm de profundidad y T2 una media óptima ($0,87 W_c$) de $W_v = 26,1\%$ en el estrato de 10 a 30 cm de profundidad.

Las mediciones de las áreas planas de los bulbos húmedos de cada tratamiento con humedad óptima, resultaron para T1= 422 cm^2 , T2= 527 cm^2 y T3= 368 cm^2 . En realidad, los bulbos húmedos tienen una configuración geométrica similar a una esfera, por lo que con los datos de áreas se calcularon los volúmenes esféricos, correspondiendo a T1= 815 cm^3 , T2= 1.138

cm³ y T3= 662 cm³. En la Figura 7 se observa que las áreas y los volúmenes de humedecimiento dentro del camellón, en el rango de humedad óptima, con valores extremos de Wv entre 23,0 y 29,8 %, resultaron mayores para el goteo subterráneo. Las superficies húmedas de T1 y T2 superaron a T3 un 15 y 43 % y los volúmenes un 23 y 72 %, respectivamente. El área de T2 superó a T1 un 25% y el volumen un 40%.

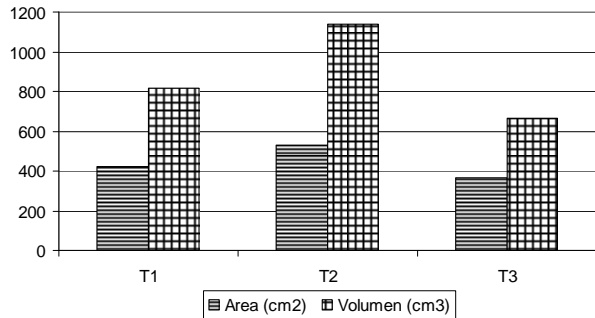


Figura 7. Áreas y volúmenes de humedad óptima dentro del camellón. T1: goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad, T2: goteo subterráneo a 25 cm de profundidad y T3: goteo superficial.

La Tabla 2 presenta los valores medios de la cosecha total de tomates. El riego subterráneo produjo rendimientos superiores al riego superficial, pero estadísticamente significativo resultó el mayor rinde del goteo subterráneo a 25 cm de profundidad respecto al goteo superficial, no siendo significativa la diferencia entre los tratamientos de riego subterráneo entre si, ni entre el goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad y el goteo superficial.

En la Figura 8 se muestra el rendimiento total de tomates por planta, siendo el incremento de T2 respecto de T3 del 40% y de T1 respecto de T3 del 19%, mientras que T2 superó a T1 un 18%.

El rendimiento total de tomates por planta evidenció un alto grado de correlación tanto con las profundidades de goteo como con las áreas de bulbos húmedos, registrando coeficientes de determinación r² de 0,99 y 0,97, respectivamente, como se puede observar en las Figuras 9 y 10.

La Figura 11 muestra la evolución del rendimiento total de tomates por planta, expresado mediante la acumulación de los registros de las sucesivas cosechas realizadas durante los meses de diciembre y enero, donde los valores correspondientes a los tratamientos fueron similares al principio, comenzando a diferenciarse a favor del goteo subterráneo en las últimas dos fechas de cosecha.

Tabla 2. Valores promedio de la cosecha de tomates. Análisis estadístico.

Rendimiento (kg de tomates por planta)			
Tratamiento	Medias	n	
3	5,72	10	a
1	6,78	10	a b
2	7,99	10	b

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Número de frutos por planta.					
Tratamiento	n	Medias	Desv. Stand	Medianas	GL=2
1	10	36,0	6,02	36,5	H= 2,3
2	10	36,6	6,19	36,5	p= 0,3147
3	10	32,9	5,99	30,5	

Peso medio de frutos (g)			
Tratamiento	Medias	n	
3	173,3	10	a
1	187,3	10	a
2	219,1	10	b

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

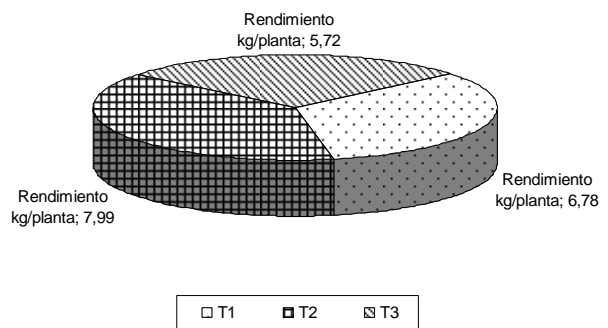


Figura 8. Rendimiento total de tomates por planta. T1: goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad. T2: Goteo subterráneo a 25 cm de profundidad. T3: goteo superficial.

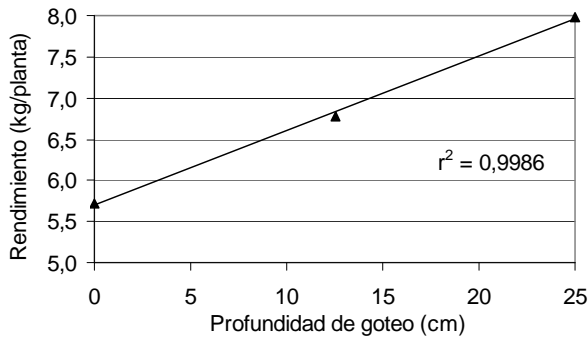


Figura 9. Correlación entre la profundidad del goteo y el rendimiento total de frutos por planta.

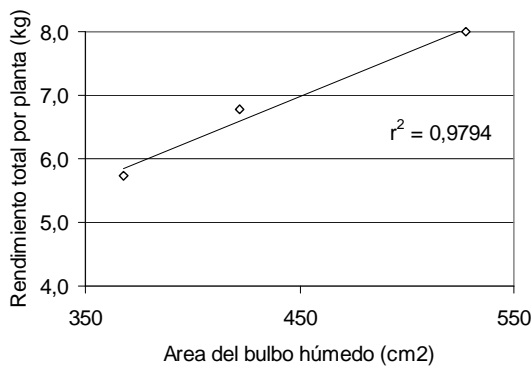


Figura 10. Correlación entre el rendimiento total de tomates por planta y el área del bulbo húmedo

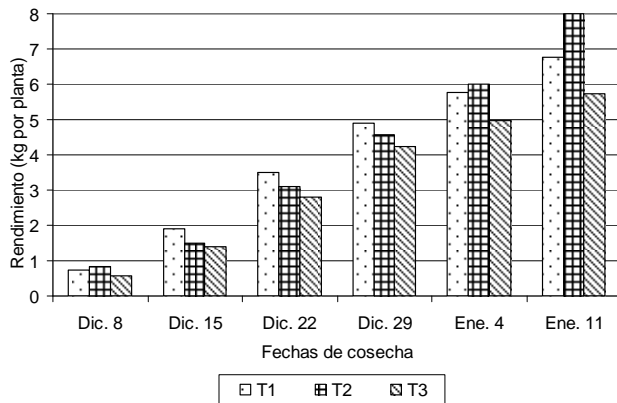


Figura 11. Rendimiento acumulado de tomates por planta. T1: goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad. T2: Goteo subterráneo a 25 cm de profundidad. T3: goteo superficial

El goteo subterráneo a 25 cm de profundidad superó significativamente al goteo superficial en el peso medio de los frutos, no siendo significativas las diferencias

entre el goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad y el goteo superficial. Los valores medios de pesada de los frutos correspondientes a los tratamientos se muestran en la Figura 12.

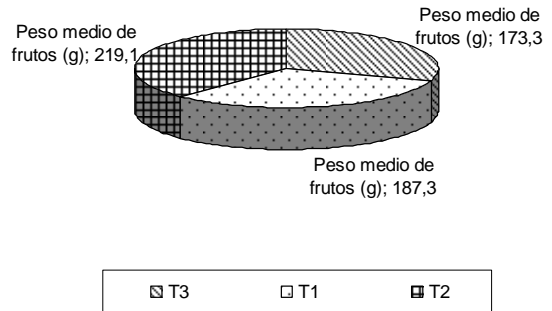


Figura 12. Promedio de peso del total de tomates cosechados por planta. T1: goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad. T2: Goteo subterráneo a 25 cm de profundidad. T3: goteo superficial.

Los promedios de los pesos del total de frutos cosechados se correlacionaron muy fuertemente con las áreas de los bulbos húmedos con óptima cantidad de agua dentro del camellón ($r^2=0,99$), observable en la Figura 13.

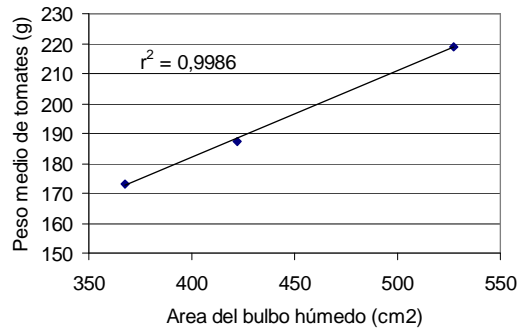


Figura 13. Correlación entre el peso promedio del total de tomates cosechados y el área del bulbo húmedo.

Respecto del número total de tomates por planta, no resultaron significativas las diferencias entre los tratamientos, aunque ambos riegos subterráneos superaron al riego superficial. Sin embargo, al clasificar los tomates cosechados de acuerdo a las categorías comerciales, se observa en la Figura 14 que el riego subterráneo más profundo (T2) produjo el mayor porcentaje de tomates de primera categoría, con un peso superior a 150 g, con un 79%, seguido por T1

(61,5%) y T3 (56,6%). Acumulando el número de tomates cosechados para cada tratamiento de tamaños comerciales de las primeras dos categorías, el T2 obtuvo también el máximo valor porcentual (95,3 %) y consecuentemente, el menor porcentaje de tomates pequeños y de descarte (4,7%), mientras que el goteo superficial obtuvo un 84,3% de tomates de primera y segunda categoría y el 14,1% de tomates de tercera categoría y descarte.

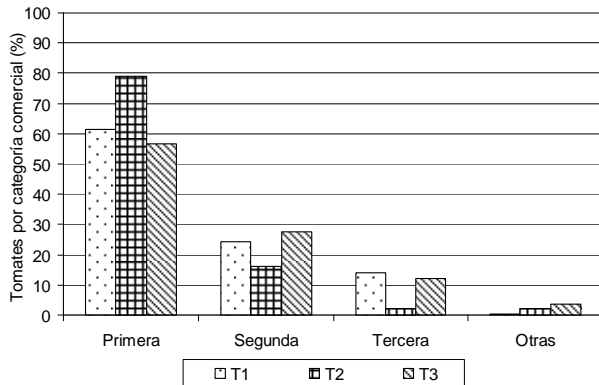


Figura 14. Porcentaje de tomates clasificados por categoría comercial para cada tratamiento. T1: goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad. T2: Goteo subterráneo a 25 cm de profundidad. T3: goteo superficial.

Relacionando las curvas de isohumedad volumétrica dentro del camellón y las áreas de los bulbos húmedos con valores óptimos de Wv con las respuestas productivas del cultivo, aunque no se hayan caracterizado las distribuciones de las raíces de cada tratamiento, pueden atribuirse los mayores valores de rendimiento de tomates por planta, de peso medio de frutos y de porcentaje de tomates de primera categoría alcanzado por el riego subterráneo más profundo, a la generación de bulbos húmedos de mayor área que el goteo superficial y con valores de humedad óptimas más altos.

El mantenimiento con los riegos subterráneos de muy bajos contenidos hídricos en el estrato superficial del camellón, de 0 a 10 cm de profundidad, inferiores al punto de marchitez permanente, durante todo el ciclo del cultivo, se estima que además de disminuir fuertemente la pérdida de agua por evaporación directa del suelo, impidió el desarrollo de malezas, eliminando la necesidad de utilizar cobertura plástica (mulching) u otros métodos de control. También ocurrió otro efecto benéfico del riego subterráneo: la disminución de la población de nematodos, que fue detectada, aunque no cuantificada, mediante la simple observación de las nodulaciones presentes.

En términos generales, los resultados hallados coinciden con lo reportado en la bibliografía. La diferente distribución de los contenidos hídricos volumétricos del goteo superficial y subterráneo formó bulbos húmedos similares a los presentados por Ben-

Asher y Phene (1993), en cuanto a forma y tamaño de área y volumen. Los mayores rendimientos de tomates para el riego subterráneo convalidan los resultados dados por Camp (1998), Camp et al. (2000) y del Amor, M y del Amor, F. (2007).

Concordando con lo manifestado por Camp et al. (2000), evidentemente el avance en la tecnología de fabricación de tuberías y emisores permitió una distribución uniforme de los caudales de goteo erogados, ya que no se registraron obturaciones, que constituían el principal defecto de los sistemas de goteo subterráneo.

La disminución de la incidencia de plagas y enfermedades, conjuntamente con la ausencia de malezas, todo atribuible al mantenimiento de niveles mínimos de humedad edáfica registrados en la capa superficial del camellón, debidos al riego por goteo subterráneo, coincide con lo reportado por Rivera et al. (2004).

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones son: a) El goteo subterráneo a 12,5 y 25 cm de profundidad, generó un rango de humedad volumétrica Wv óptima, equivalente al 77 y 87 % de la capacidad de campo, respectivamente, distribuido irregularmente entre 8-9 y 30 cm de profundidad del camellón, superando al goteo superficial, que logró una Wv óptima de 73 % de Wc, también distribuida en forma desuniforme, entre 0 y 18 cm de profundidad; b) El goteo subterráneo produjo dentro del camellón, áreas y volúmenes con Wv óptima mayores que el goteo superficial. T1 y T2 superaron a T3 un 15 y 43 % en tamaño de áreas mojadas y un 23 y 72 % en los volúmenes, respectivamente; c) El rendimiento de tomates por planta producido por el goteo subterráneo a 25 cm de profundidad superó significativamente al goteo superficial, no existiendo diferencias significativas entre el goteo subterráneo a distintas profundidades; d) El mayor rendimiento de frutos por planta se debió al incremento del peso medio de tomates y no al número de frutos por planta; e) T2 obtuvo el mayor porcentaje de tomates de primera categoría comercial; f) Podría atribuirse la mejor respuesta productiva (7,99 kg de tomates por planta) del riego subterráneo más profundo (T2), a que tanto el área como el volumen del bulbo húmedo, dentro del rango óptimo de agua aprovechable, fueron mayores que en el riego superficial; g) La diferencia no significativa de los rendimientos entre los riegos subterráneos (6,78 kg planta⁻¹ para T1) también se estima que puede deberse a la relación entre áreas y volúmenes de humedad óptima, ya que el área de T2 sólo supera un 25% al área de T1 y un 40% en el volumen.

Los resultados obtenidos en el ensayo se consideran insuficientes para confirmar las ventajas que se le asignan a la modalidad subterránea de riego por goteo, referidas a las mayores eficiencias de aplicación, de distribución y de uso del agua, que deberían evaluarse mediante otros ensayos de campo. Sin embargo, el incremento de los rendimientos cuali-cuantitativos del cultivo, la disminución de los costos de producción debido a la menor aplicación de agroquímicos y la prescindencia de mulching, convalidan los beneficios de

la aplicación subterránea del riego, convirtiéndola en una promisorio tecnología.

BIBLIOGRAFIA

Arbat, G., F. Lamm & A. Abou Kheira. 2009. Subsurface drip irrigation emitter spacing effects on soil water redistribution, corn yield, and water productivity. ASABE Annual Meeting Paper No. 096578. Vol. 26(3): 391-399.

Ben Asher, J. & C. Phene. 1993. Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. In: Subsurface Drip Irrigation-Theory, practice and application. 185-202 CATI. Pub. 92 1001. California State Univ. Fresno. California

Bisconer, I. 2010. Toro microirrigation owner's manual. Toro Co. California. 118 pp.

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

Camp, C., F. Lamm, R. Evans & C. Phene. 2000. Subsurface drip irrigation—past, present, and future. Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium. November 14-16, 2000. Phoenix, Arizona. Pp 363-372. St. Joseph, Mich.:ASAE.

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.

Enciso-Medina, J., B. Unruh, J. Henggeler & W. Multer. 2005. Effect of row pattern and spacing on water use efficiency for subsurface drip irrigated cotton. Transactions of the ASAE, Vol. 45, N° 45. 32 pp.

Evelt, S., T. Howell & A. Schneider. 1995. Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. In Proc. 5th Int. Microirrigation Congress. Ed. F. R. Lamm. 135-140 St. Joseph, Mich. ASAE.

Holm, S. 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. Scandinavian Journal of Statistics 6 (2): 65–70.

Kandelous, M., J. Simunek, M. van Genuchten & K. Malek. 2011. Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. Soil Sci.Soc. Am. J. 75:488-497.

Mahabud, A., T. Trooien, D. Rogers & F. Lamm. 2002. Filtration and Maintenance Considerations for Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service MF-2361 (Revised) January 2002.

Marhuenda, B. 1999. Ventajas y beneficios del riego por goteo subterráneo. Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. Tecnología para el Ahorro del Agua y Energía. León, Guanajuato. México. 8 pp.

Martínez, S., R. Andreau, G. Morelli & L. Génova. 2006 a. Estimación del cálculo de Ep por el método de Thornthwaite en cultivo de tomate bajo cubierta. Actas de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata. 6 al 8 de septiembre de 2006.

Martínez, S., R. Andreau, M. Garbi & L. Génova. 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, pág. 58-59. Catamarca, 20 al 23 de septiembre de 2006.

Netafim (2009). Riego subterráneo: realidad versus ficción. TLB 2009. Fresno. 4 pp.

Programa InfoStat. 2008. Software estadístico. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Requena, A. 1998. Ensayo por goteo en manzanas Gala. La variante subterránea. Rompecabezas 25. Est. Esp. INTA Alto Valle. 14 pp.

Rivera G. M., J. Estrada A., C. Orona & I. Sánchez C. 2004. Producción de alfalfa con riego por goteo subsuperficial. Inst. Nac. de Invest. Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Folleto Científico N° 13. Gómez Palacio, Durango. México. 48 pp.

Rodríguez, M., R. Rey & O. Sarmiento. 2005. Influencia del riego por goteo superficial y subterráneo sobre la distribución radical del banano. Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias (14:2:44-48) Universidad Agropecuaria de La Habana, Cuba.

Rogers, D. & F. Lamm. 2009. Keys to successful adoption of SDI: minimizing problems and ensuring longevity. Proceedings of the 21st Annual Central Plains Irrigation Conference, Colby Kansas, February 24-25, 2009.

Wilde, C., J. Johnson & J. Bordovsky. 2009. Economic analysis of subsurface drip irrigation system uniformity. Applied Engineering in Agriculture 25(3):357-361.