

# Diseño y operación de tres modalidades de riego por goteo de tomate y sus respuestas productivas

**Resumen:** Fueron diseñados y operados sistemas de riego por goteo superficial y subterráneo para comparar la respuesta productiva de tomate conducido bajo cubierta. Se realizó un ensayo trasplantando en camellones dos plantines.m-2.

Los tratamientos fueron: T1) goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad, T2) goteo subterráneo a 25 cm de profundidad y T3) goteo superficial. Se estimó la humedad volumétrica del suelo Wv con sensores Decagon EC-5, instalados a 5, 10, 20 y 30 cm de profundidad y a 0, 15 y 30 cm desde el centro del camellón.

Se registró el peso total y el número de tomates por planta y el peso promedio de frutos. La distribución de Wv fue diferente entre tratamientos. El T3 alcanzó un promedio de Wv óptima del 21,6% en el estrato de 0 a 20 cm de profundidad, el T1 del 22,8% a los 15-30 cm y el T2 del 25,3% a los 10-30 cm.

Las áreas con rango óptimo de humedad de T1 y T2 superaron a T3 un 14 y 42 %, respectivamente. T2 y T3 difirieron significativamente en el rendimiento por planta, atribuible a un mayor peso promedio de frutos, pero no hubo diferencias significativas en el número de frutos por planta.

**Palabras clave:** goteo subterráneo y superficial, tomate bajo cubierta, distribución de humedad, rendimientos.

## 1. Introducción

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 (drip irrigation DI) y goteo subsuperficial o subterráneo (subsurface drip irrigation SDI). La difusión del SDI 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

Leopoldo Génova<sup>1,2</sup>, Ricardo Andreau<sup>1</sup>, Pablo Etchevers<sup>1</sup>, Marta Etcheverry<sup>1</sup>, W. Chale<sup>1</sup>, Stella M. Zabala<sup>2</sup> y Catalina Romay<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

**Email:**hidroagri@agro.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, UBA. lgenova@agro.uba.ar

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 [1] Netafim (2009), [2] 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 DI y SDI, 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 [3] (Marhuenda, 1999). [4] 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 superficie

y requiere menos agua en la mayoría de los casos.

[5] Camp et al (2000) discutieron el pasado, presente y futuro del SDI, 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 SDI, 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 SDI un futuro muy promisorio.

[6] 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 TTape 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 DI y SDI, entregando el 50 y 100 % de la evapotranspiración requerida Etc., [7] (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 SDI y el rendimiento fue 66,5% superior que con DI, 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 DI aumentaron el pH y la acidez, mientras que regados con SDI, no existieron diferencias entre los que recibieron el 50 y el 100% de la Etc.

[8] Ben-Asher y Phene (1993) aplicaron mediante DI y SDI la misma cantidad de agua en un suelo francoarcilloso, observando que con SDI el radio de humedecimiento fue un 10 % menor que en DI, en cambio el área y el volumen humedecido fueron un 62 y 46 % mayores que el DI, respectivamente.

[9] Evett et al (1995) hallaron una reducción del 13,9 % de la evapotranspiración del maíz para grano regado con SDI comparado con DI, debido a una reducción de la evaporación directa del suelo.

[10] Rivera et al (2004) estudiaron la dinámica del flujo hídrico en suelos regados con SDI 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 SDI 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. [11] Rodríguez et al (2005) reportaron que el SDI en banano determinó la mayor profundización del sistemas de raíces, comparado con DI, incrementando el área de absorción de agua y nutrientes, con su correlato en el aumento del rendimiento. [12] Enciso-Medina et al (2005)

establecieron que en algodón regado con SDI, el espaciamiento entre hileras tuvo una mediana influencia en la eficiencia del uso del agua, aunque espaciamentos menores mostraron una tendencia a incrementar dicha eficiencia.

[13] Mahabud et al (2002) recomendaron que la prevención de la obstrucción de los emisores mediante adecuados sistemas de filtrado y tratamiento químico es indispensable para el uso exitoso, longevo y económico del SDI. Basándose en 20 años de estudios en Kansas, [14] Rogers y Lamm (2009) describieron las claves para adoptar exitosamente SDI: minimizar los problemas y asegurar la longevidad del equipamiento, enfatizando que para su diseño deben considerarse no solo las características de suelos y aguas, sino no obviar componentes mínimos del equipo para eficientizar la distribución del agua y la durabilidad.

[15] Arbat et al (2009) evaluaron el efecto del espaciamiento entre emisores sobre rinde y eficiencia de uso de agua en maíz regado con SDI. 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 espaciamentos, en términos de redistribución de agua. El rendimiento del cultivo y la productividad del agua no fueron afectados significativamente por espaciamentos de 0,3, 0,6, 0,9 y 1,2 m.

[16] Kandelous et al (2011) estudiaron la distribución del contenido hídrico del suelo entre dos emisores de SDI 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.

## 2. Materiales y métodos

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® PC de 200  $\mu$  de espesor de pared y 22 mm de diámetro, con orificios emisores espaciados 0,2 m, con una descarga de 0,009 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>. Los pares de cintas de goteo se dispusieron en los camellones de tres formas: sobre la superficie y enterrados a 0,125 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<sup>-1</sup> y fueron definidas en base a la estimación diaria de la evapotranspiración de referencia con datos agrometeorológicos obtenidos en la Estación Meteorológica Davis existente en el predio y valores locales de coeficientes de cultivo del tomate bajo cubierta [17] (Martínez et al, 2006), [18] (Martínez et al, 2006). 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<sup>-2</sup> 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. Se analizó la varianza de los datos y los promedios se testearon con Tukey.

Utilizando un diseño estadístico enteramente al azar con diez repeticiones, los datos de cosecha de frutos primero se clasificaron de acuerdo a las siguientes categorías comerciales: primera (más de 150 g), segunda (100 a 150 g), tercera (menos de 100 g) y descarte 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.

## 3. Resultados

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio

de humedad volumétrica en el camellón, correspondientes a los tratamientos, con los cuales se construyeron las curvas de nivel de isohumedad que se presentan en las Figuras 1, 2 y 3.

El suelo Argiudol típico, disturbado por las labranzas, la incorporación de fertilizante orgánico y la alomada formadora del camellón, presentó una capacidad de campo en volumen de  $W_c = 29,8\%$ . 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 %) ocurrió a 5 cm de profundidad, mientras que con goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad (T1), la máxima  $W_v$  fue del 26,6 % se ubicó a 10 cm de profundizando 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 20 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.

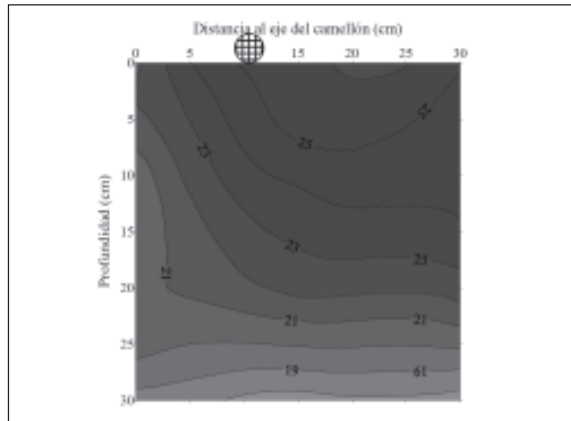
**Tabla 1**

Distribución de la humedad volumétrica media (%) dentro del camellón, para goteo superficial y subterráneo a 12,5 y 25 cm de profundidad.

Profundidad (cm)	Distancia al centro del camellón		
	0	15	30
<b>a) Goteo superficial</b>			
5	21,3	24,9	23,8
10	19,7	23,7	22,0
20	20,5	21,8	17,0
30	18,1	17,0	
<b>b) Goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad</b>			
5	9,8	10,5	5,5
10	12,2	26,6	15,2
20	20,0	24,6	20,2
30	20,2	25,2	
<b>c) Goteo subterráneo a 25 cm de profundidad</b>			
5	6,6	10,5	6,8
10	24,2	24,0	18,9
20	24,7	28,4	25,4
30	25,5	30,2	

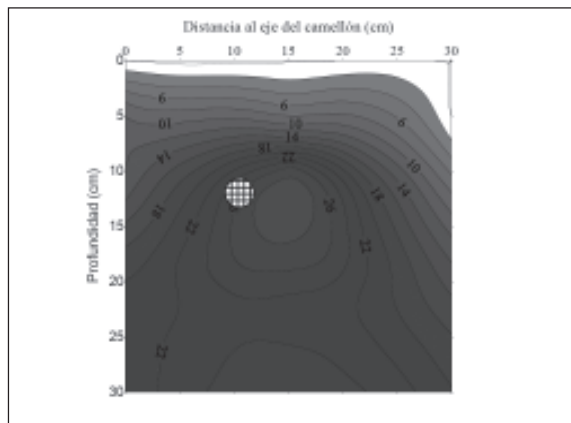
**Figura 1.**

Distribución de la humedad dentro del camellón regado por goteo superficial, (T3).



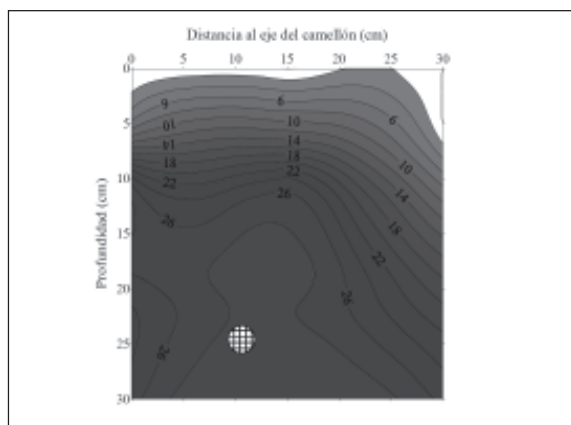
**Figura 2.**

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



**Figura 3.**

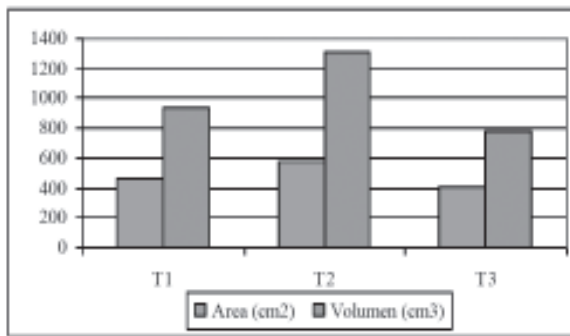
Distribución de la humedad dentro del camellón regado por goteo subterráneo a 25 cm de profundidad (T2).



En la Figura 4 se puede observar que las áreas y volúmenes de humedecimiento dentro del camellón, en el rango de humedad óptima, con

**Figura 4.**

Area y volumen de humedad óptima dentro del camellón. T1: goteo subterráneo a 12,5 cm de profundidad. T2: goteo subterráneo a 25 cm de profundidad. T3: goteo superficial.



extremos en  $Wv= 20,0\%$  y  $Wv= 29,8\%$ , resultaron mayores en los tratamientos de goteo subterráneo. Las superficies húmedas de T1 y T2 superaron a T3 un 14 y 42 % y los volúmenes, obtenidos mediante la transformación de las áreas planas en esferas, más representativas de los cuerpos formados por los bulbos húmedos, un 21 y 69 %, respectivamente.

La Tabla 2 presenta los valores medios de la cosecha 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.

**Tabla 2.**

Datos de rendimiento, número de tomates por planta y peso medio de tomates.

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

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

<b>b. Número de frutos por planta (Kruskall Wallis)</b>					
Trat.	n	Medias	Des.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	

<b>c. Peso medio de frutos (g) (ANOVA)</b>					
Tratamiento	Medias	n			
3	173,3	10	a		
1	187,3	10	a		
2	219,1	10		b	

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Respecto del número de tomates por planta, no resultaron significativas las diferencias, aunque también el riego subterráneo superó al superficial. Por último, 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.

#### 4 Discusión y conclusiones

Observando las curvas de isohumedad volumétrica en el camellón de las Figuras 1, 2 y 3, aunque no ha sido medida la distribución del sistema de raíces del cultivo, la emisión de agua de los dos tratamientos de goteo subterráneo, generó bulbos húmedos de mayor área y volumen que el goteo superficial y con valores de humedad óptimas más altos. A esta circunstancia podría atribuirse el mayor rendimiento de tomates por planta alcanzado por el riego subterráneo.

El mantenimiento durante todo el ciclo del cultivo de un muy bajo contenido hídrico volumétrico en el estrato superficial del camellón, de 0 a 8-9 cm de profundidad, del orden de  $Wv=14$  a  $16\%$ , cercanas al punto de marchitez permanente, con los riegos subterráneos, se estima además de disminuir fuertemente la pérdida de agua por evaporación, impidió el desarrollo de malezas, eliminando la necesidad de utilizar cobertura plástica (mulching) u otros métodos de control. Otro efecto colateral benéfico observado en el goteo subterráneo fue la disminución de la población de nematodos.

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 [8], en cuanto a forma y tamaño de área y volumen. Los mayores rendimientos de tomates para el riego subterráneo convalidan los resultados dados por [4], [5] y [7].

Las principales conclusiones son: a) El goteo subterráneo produjo niveles óptimos de humedad volumétrica equivalentes al 74 y 85 % de la capacidad de campo, en el estrato del camellón entre 8-9 y 30 cm de profundidad, superiores al 73 % del goteo superficial, distribuido en el estrato de 0 a 15-18 cm de profundidad. b) Las áreas y los volúmenes de humedecimiento dentro del

camellón en el rango de humedad óptima, resultaron mayores en los dos tratamientos de goteo subterráneo, T1 y T2 superaron a T3 un 14 y 42 % en área y 21 y 69 %, respectivamente; c) El rendimiento de tomates por planta producido por el T2 superó significativamente al goteo superficial, no existiendo diferencias significativas entre el goteo subterráneo a distintas profundidades y 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.

Los resultados obtenidos en el ensayo se consideran insuficientes para confirmar las ventajas que se le asignan a la modalidad subterránea, referidas a las mayores eficiencias de aplicación, de distribución y de uso del agua, que deberían evaluarse mediante nuevos ensayos de campo.

## 5. Bibliografía

1. Netafim.: Riego subterráneo: realidad versus ficción. TLB 2009. (2009) Fresno. 4 pp.
2. Bisconer, I.: Toro microirrigation owner's manual. Toro Co. California. (2010) 118 pp.
3. Marhuenda, B.: 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. (1999) 8 pp.
4. Camp, C.: Subsurface drip irrigation: a review. *Trans of the ASAE* (1998) (41:5:1353-1367)
5. Camp, C., Lamm, F., Evans, R., Phene, C.: 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.
6. Requena, A.: Ensayo por goteo en manzanas Gala. La variante subterránea. Rompecabezas 25. Est. Esp. INTA Alto Valle. (1998) 14 pp.
7. del Amor, M., del Amor, F.: subsurface drip irrigation. *Journal of Applied Horticulture*. (2207) 9(2): 97-100. 8. Ben Asher, J., Phene, C.: Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. In: *Subsurface Drip Irrigation—Theory, practice and application*. (1993) 185-202 CATI. Pub. 92 1001. California State Univ. Fresno. California
9. Evett, S., Howell, T., Schneider, A.: Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. In *Proc. 5th Int. Microirrigation Congress*. Ed. F. R. Lamm. (1995) 135-140 St. Joseph, Mich. ASAE.
10. Rivera G. M., Estrada A., J., Orona C., I., Sánchez C., I.: 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*. (2004) Folleto Científico N° 13. Gómez Palacio, Durango. México. 48 pp.
11. Rodríguez, M., Rey, R., Sarmiento, O.: Influencia del riego por goteo superficial y subterráneo sobre la distribución radical del banano. *Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias* (2005) (14:2:44-48) Universidad Agropecuaria de La Habana, Cuba.
12. Enciso-Medina, J., Unruh, B., Henggeler, J., Multer, W.: Effect of row pattern and spacing on water use efficiency for subsurface drip irrigated cotton. *Transactions of the ASAE*, (2005)Vol. 45, N° 45. 32 pp.
13. Mahabud, A., Trooien, T., Rogers, D., Lamm, F.: Filtration and Maintenance Considerations for Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems. *Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service* (2002) MF-2361.
14. Rogers, D., Lamm, F.: 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.
15. Arbat, G., Lamm, F., Abou Kheira, A.: Subsurface drip irrigation emitter spacing effects on soil water redistribution, corn yield, and water productivity. *ASABE Annual Meet. Paper No. 096578*. (2009).Vol. 26(3): 391-399.
16. Kandelous, M., Simunek, J., van Genuchten, M., Malek, K.: Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. *Soil Sci.Soc. Am. J.* (2011) 75:488-497.
17. Martínez, S, Andreau, R., Morelli, G., Génova, L.: Estimación del cálculo de Ep por el método de Thornthwaite en cultivo de tomate bajo cubierta. *Actas de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología*. (2006) La Plata. 6 al 8 de setiembre de 2006.
18. Martínez, S, Andreau, R., Garbi, M., Génova, L.: Estimación de la evapotranspiración del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo cubierta plástica primicia en La Plata, mediante evaporimetría. *Resúmenes del XXIX Cong. Arg. de Horticultura*. (2006). 58-59 pp. Catamarca. 20 al 23 de setiembre de 2006.