

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DE RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA EN FERRASOLES.

MSC.Manuel Reinaldo Rodríguez García^{1*}, Dr. Teresa López Seijas, Dr. Reynaldo Rey García.

Resumen.

Las investigaciones efectuadas en Cuba, han demostrado que el empleo de técnicas de Riego Localizado de Alta Frecuencia con emplazamiento superficial de la red, especialmente en suelos Ferrasoles, mantienen altos valores de humedad volumétrica y conductividad hidráulica en el perfil del suelo, que conllevan a pérdidas de agua considerables por el proceso de redistribución. En el presente trabajo se exponen los resultados de tres años de experimentación con distintas profundidades de soterramiento del lateral de goteo en el cultivo del banano, plantado sobre un suelo Orthic Ferrasol en el Sur del municipio de Alquizar provincia de Artemisa. Los resultados muestran la influencia de la profundidad de soterramiento en la reducción del flujo del agua por debajo de la zona radical, invirtiéndose en muchos casos el sentido del movimiento del agua hacia las profundidades superiores. Se selecciona la profundidad de soterramiento de 0.3 m, por poseer las mejores condiciones de humedad en el bulbo húmedo y reducción de pérdidas de agua por precolación profunda.

Introducción.

En el mundo actual tienden a disminuir las tierras dedicadas a la agricultura; se observa un deterioro en la calidad de las mismas, el agua y el suelo que constituyen la base de los recursos naturales en la agricultura reflejan un detrimento de su calidad dado en lo fundamental por su uso desmedido en busca de la disponibilidad de alimentos cada vez mas necesaria.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) calcula que de aquí al año 2027, aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo sufrirá escasez de agua seria. Las razones para ello son evidentes: la mayor demanda sobre los recursos de agua dulce provocada por las crecientes poblaciones humanas; el empeoramiento de la calidad de los recursos acuíferos existentes debido a la contaminación y las necesidades creadas por la dinámica expansión industrial y agrícola.

La actividad del riego pilar fundamental en el incremento y sostenibilidad de los rendimientos agrícolas, ha sufrido fuertes ataques por parte de los medio ambientalistas, basándolos en el hecho de que con la creación y modernización de agro ecosistemas, los principios agro ecológicos son frecuentemente desestimados, siendo como consecuencia inestables y no sostenibles a largo plazo y sus quiebras se manifiestan en forma de salinización, erosión del suelo, contaminación de aguas, etc.

Por tanto en la agricultura nos encontramos con la necesidad de contar con un conocimiento tecnológico, cuyo manejo permita conservar los recursos naturales al mismo tiempo que aumente las posibilidades de rentabilidad de la producción agropecuaria.

Cuba no está ajena a esta problemática, de ahí que desde hace varios años se venga pensando en como resolverla, y se ha venido trabajando en el uso eficiente de los recursos hídricos

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.. La Habana. E-mail: reinaldo@iagric.cu

disponibles y en la introducción de técnicas de riego modernas con mayor eficiencia en el uso del agua.

Siguiendo estas líneas se han emprendido acciones como el fomento paulatino de áreas bajo riego localizado. Este método según coinciden diversos autores aplica el agua en bajos volúmenes en la zona radicular con una alta frecuencia aportando el agua a la planta con bajas tensiones sin saturarse.

Sin embargo las investigaciones efectuadas en Cuba, han demostrado que el empleo de técnicas de Riego Localizado de Alta Frecuencia con emplazamiento superficial de la red, especialmente en suelos Ferrasoles, mantienen altos valores de humedad volumétrica y conductividad hidráulica en el perfil del suelo, que conllevan a pérdidas de agua considerables por el proceso de redistribución.

La cantidad variable de agua contenida en una unidad de masa o de volumen del suelo y el estado de energía del agua en el mismo son factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Debido a su importancia para las mismas, el conocimiento de la cantidad, disponibilidad y movimiento del agua en el suelo es vital para la producción agrícola por lo que el presente trabajo tiene como objetivo establecer balances de agua en el suelo para cuantificar la variación de la humedad en el perfil considerado y las posibles pérdidas de agua que ocurren fuera de la zona de raíces activas del banano, tanto en el riego por goteo superficial como sub superficial, con vista a determinar sus eficiencias en el uso del agua de riego.

Materiales y Métodos.

1. Ubicación.

El trabajo se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje en el municipio Alquizar de la provincia de La Habana, situado a los 22° 47' de latitud Norte y los 82° 36' de longitud Oeste, a 6 m sobre el nivel del mar, en el período de 1997 a 1999.

2. Descripción del perfil del suelo.

El suelo de la Estación de Riego y Drenaje está clasificado como Ferralítico Rojo compactado (Rhodic Ferralsol según la clasificación FAO/UNESCO) (Instituto de Suelos, 1996 a y b), y el mismo ha sido ampliamente estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas (Cid, 1995 y López, 2002).

Los datos de la Tabla 1 reflejan la homogeneidad del perfil de suelo Ferralítico Rojo compactado en cuanto a sus características texturales y su densidad hasta la profundidad analizada (100 cm). Por su alto contenido de arcilla el suelo se clasifica como arcilloso (Cid, 1995).

Tabla 1. Análisis granulométrico, capacidad de campo (Cc), densidad real (Dr), densidad aparente (Da) para la Cc y porosidad total (Pt) en el perfil del suelo Ferralítico Rojo compactado (Cid, 1995).

Prof. (cm)	Cc (g/g)	Da a Cc (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Pt (%)
0-30	0,338	1,18	2,55	59,17	22,39	18,50	53,71
31-80	0,342	1,21	2,52	64,12	13,78	22,10	52,05
80-100	0,337	1,26	2,48	51,78	23,50	24,71	49,08

Las **propiedades hidráulicas** del perfil del suelo, imprescindibles para la caracterización hidrodinámica del mismo, se resumen en las **tablas 2 y 3** según los resultados reportados por López (2002) en los cuales se siguieron los siguientes métodos:

Curvas características o de retención. Para construir estas curvas en cada caso de estudio, se tomaron 3 muestras por profundidad con anillos (de volumen =100 cm³). Las muestras fueron sometidas a las tensiones de 0; 1; 3; 5; 10; 30; 50; 100; 1200 y 1500 kPa utilizando los métodos de la Caja de Arena (Eijkelpamp, 1983) y la Olla de Richards (Richards, 1949). Los valores obtenidos se ajustaron al modelo de van Genuchten (1980), a partir del software RETC (van Genuchten, 1991):

$$\theta = \frac{I}{1 + (\alpha h)^n} I^m$$

donde $\theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ siendo θ_r y θ_s las humedades residual y de saturación respectivamente;
 α y n parámetros a determinar y $m = 1 - \frac{1}{n}$.

Tabla 2. Valores de los coeficientes y estadígrafos de las curvas de retención ajustadas al modelo de van Genuchten para el suelo estudiado (López, 2002).

Prof. (cm)	Suelo Ferralítico Rojo compactado			
	α	Error Std.	n	Error Std.
0-20	0.397	0.352	1.083	0.015
20-40	1.031	0.120	1.092	0.073
40-60	0.608	0.497	1.102	0.017
60-80	0.917	0.860	1.092	0.016
80-100	0.442	0.399	1.084	0.016

Nota: Todos los coeficientes resultaron significativos para $p < 0.001$.

Conductividad hidráulica no saturada. La función conductividad hidráulica - humedad volumétrica del suelo, $K(\theta)$, se determinó en condiciones de campo a partir del método del Drenaje Interno (definido por Hillel et al., 1972; según lo presenta López, 2002).

Los valores de K y θ obtenidos se ajustaron a un modelo exponencial (López, 2002):

$$K = e^{(a+b\theta)}$$

donde a y b coeficientes del ajuste.

Tabla 3. Valores de los coeficientes y estadígrafos de las regresiones efectuadas para la conductividad hidráulica no saturada y la humedad volumétrica ($K = e^{(a+b\theta)}$) del suelo Ferralítico Rojo compactado (López, 2002).

Prof. (cm)	Coef.	Valor	Error	MODELO	
		Estimado	Estándar	Coef. Correlación	Error Estándar
20	a	-17.790	1.993	0.895	1.438
	b	40.400	4.874		
30	a	-22.292	2.413	0.9050	1.243
	b	48.854	5.565		
40	a	-28.909	4.632	0.819	1.754
	b	60.194	10.228		
60	a	-38.211	6.367	0.811	1.783
	b	81.109	14.178		
80	a	-44.945	8.722	0.770	1.960
	b	97.268	19.517		
100	a	-48.530	9.436	0.771	1.878
	b	104.924	21.029		

Nota: Todos los coeficientes obtenidos así como el análisis de varianza de los modelos resultaron significativos para $p < 0.0001$.

La disponibilidad del agua en el suelo para las plantas, se determinó según los criterios planteados por Gardner (1988), que fijan como Límite superior del agua disponible en el suelo (LSAD), el valor que cuantifica *in situ* la humedad volumétrica correspondiente a un flujo de redistribución de 1 mm/día; Límite inferior del agua disponible en el suelo (LIAD), valor de la humedad volumétrica correspondiente a la tensión de 1500 kPa (15 atm.) y Lámina de agua disponible para las plantas. Diferencia entre las láminas almacenadas al límite máximo y al mínimo del agua disponible, integrada hasta la profundidad de la zona radical. Los resultados de estas determinaciones se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de ADSP y sus Límites LSAD y LIAD para cada profundidad analizada en el suelo de estudio (López, 2002).

Prof. (cm)	LSAD (cm ³ /cm ³)	LIAD (cm ³ /cm ³)	ADSP (mm)
20	0,38	0,280	21,0
40	0,419	0,288	52,4
60	0,426	0,274	91,2
80	0,421	0,285	108,8
100	0,432	0,286	146,0

3. Cultivo.

El cultivo con que se trabajó fue el banano FHIAT 18 plantado en doble hilera y con marco de plantación de 2,4 m de narigón, 2 m de camellón y 4 m de calle, que constituye un área vital por plantón de 7.2 m².

4. Características del sistema de riego utilizado.

Se utilizó el sistema de riego localizado por goteo, con goteros autocompensantes VIP de la firma española MONDRAGON, con caudal medio de 3.6 l/h, dispuestos en franja continua de humedecimiento y espaciados a 0.6 m, en laterales de PEBD de 16x13 mm, dispuestos uno por hilera de plantas.

5. Diseño experimental y tratamientos.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, las parcelas experimentales estuvieron conformadas por veinte plantas, de las cuales se utilizaron seis plantas como área de cálculo y las demás fueron áreas de bordes.

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- A- Riego por goteo superficial
- B- Riego por goteo subsuperficial a 15 cm de profundidad
- C- Riego por goteo subsuperficial a 30 cm de profundidad
- D- Riego por goteo subsuperficial a 45 cm de profundidad

Durante el período de investigación, las plantas recibieron el mismo volumen de agua de riego, éste se efectuó de acuerdo con la estrategia de intervalo fijo (cada dos días) y dosis variable en función del coeficiente bioclimático (kb) expuesto por (Martínez, 1996) y la evaporación promedio de los dos días anteriores al riego, obtenida del tanque evaporímetro clase A ubicado en la estación agro meteorológica de la finca experimental.

6. Determinaciones realizadas.

Para la cuantificación de los flujos de agua en la zona radical, en cada tratamiento analizado se instalaron 4 baterías de tensiómetros para el seguimiento de las variaciones de la tensión del agua en el suelo, a las profundidades de 20, 40, 60, 80, y 100 cm. Los registros de los tensiómetros se llevaron diarios y se hicieron determinaciones de humedad por gravimetría semanales.

En el trabajo se analizan los resultados del balance hídrico efectuado entre dos riegos consecutivos, efectuados en el mes de mayo de 1999, en los cuales no ocurren ingresos por lluvia.

Los perfiles de humedad registrados en cada tratamiento en estudio, permitieron obtener el almacenamiento del agua del suelo para cada momento de tiempo como:

$$A = \int_0^z \theta dz \cong \bar{\theta} \cdot Z$$

donde **A** es el almacenamiento de agua del suelo; θ y $\bar{\theta}$ las humedades volumétricas en cada profundidad y media respectivamente y **Z** es la profundidad en estudio.

La cuantificación de los balances hídricos se realizaron por el método de Balance de Masas, utilizando la ecuación general de balance definida originalmente por Hillel. (1972), según la presenta López (2002):

$$\Delta A = P + I - (DI + DS + Et)$$

Donde:

ΔA.- Variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance.

P.- Precipitación en mm.

I.- Agua aplicada durante el riego (mm), correspondiente a la dosis de riego aplicada de acuerdo a la frecuencia empleada.

DS.- Escorrentamiento superficial, que fue despreciado por ser un área pequeña y relativamente plana, además los ingresos (P+I) no sobrepasaron en ningún momento la lámina correspondiente a la saturación del suelo.

DI- Drenaje interno, determinado como la integral del flujo de drenaje a la profundidad de la zona considerada para el balance (q_z), en un intervalo de tiempo determinado ($\Delta t = t_2 - t_1$):

$$DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} \cdot z) \Delta t$$

Donde q es el flujo en cm/día, determinado por la ley de Darcy para un suelo no saturado como (Reidhardt, 1996):

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ};$$

Donde $K(\theta)$ es la conductividad hidráulica no saturada (cm/día) en función de la humedad volumétrica (cm^3/cm^3) y dH/dZ es la variación de potencial total calculada numéricamente como:

$$\frac{dH}{dZ} = \frac{(h+z)_{z+i} - (h+z)_{z-i}}{(Z+i) - (Z-i)};$$

Donde " i " es el intervalo de medición de la humedad.

Et.- Evapotranspiración del cultivo que se calcula por despeje.

Resultados y discusión.

Un ejemplo representativo de una secuencia de dos riegos, se resume en la figura 1 y corresponde al período del 8 al 12 de mayo del año 1999, sin ingresos por lluvia en el período. En la figura se puede observar que el riego se efectúa con alta frecuencia e intervalo de dos días.

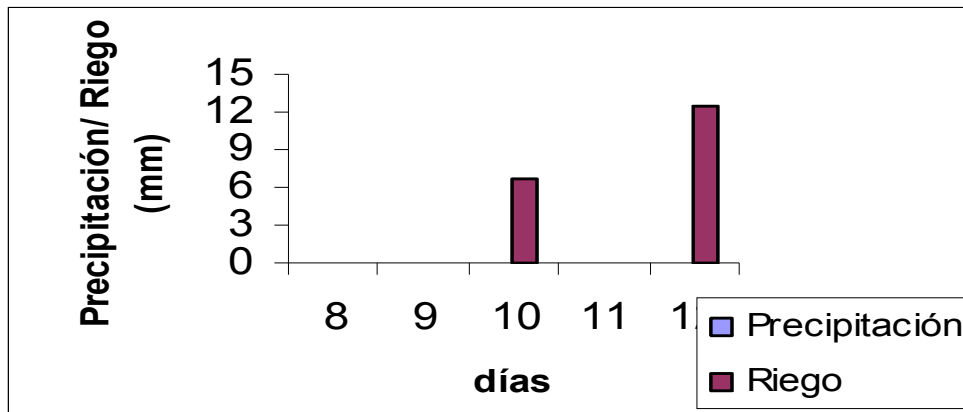


Figura 1. Secuencia representativa de dos riegos (8 al 12 de mayo) del año 1999.

En la figura 2, puede apreciarse el proceso de redistribución de la humedad del suelo en el caso del riego por goteo superficial.

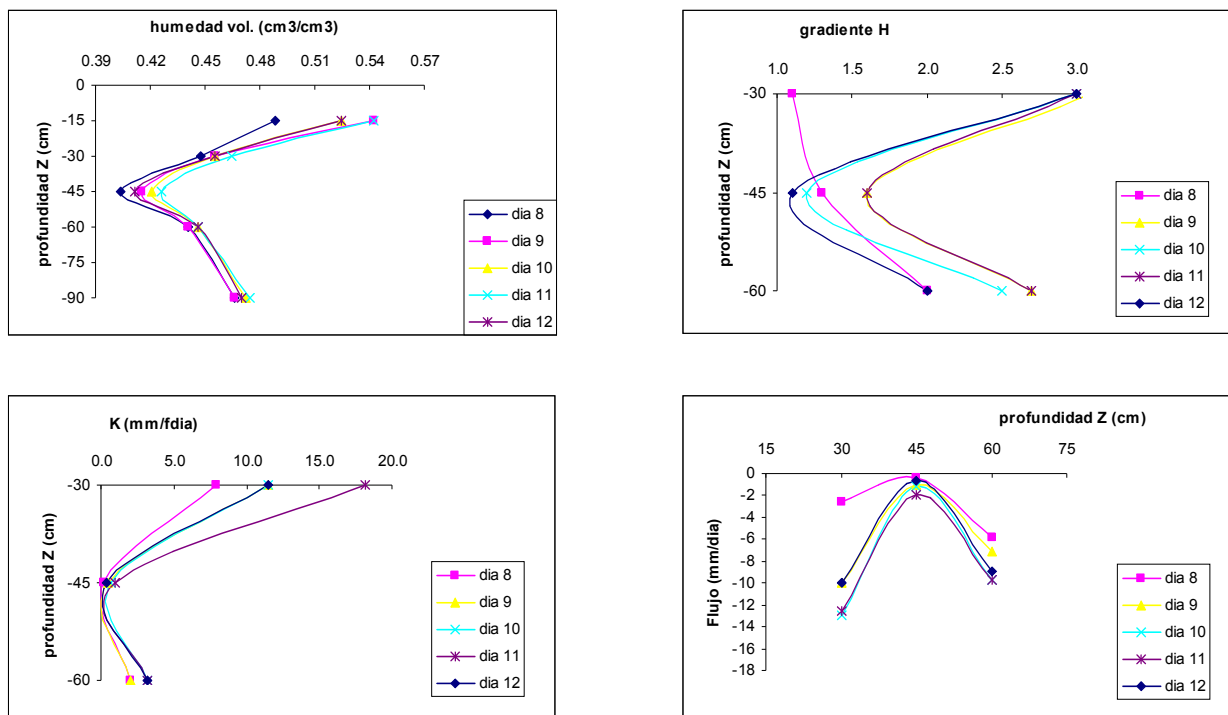


Figura 2. Comportamiento de los distintos parámetros en el tratamiento A.

La misma refleja en sentido general pérdidas diarias de agua entre **2 mm – 14 mm**, por debajo de las profundidades de **30 cm.** y **60 cm.** Esta situación se corresponde con los altos valores de humedad volumétrica y conductividad hidráulica que se registran en el perfil del suelo a esas profundidades.

Podemos concluir que este tratamiento es ineficiente en cuanto al aprovechamiento de los recursos hídricos, pues existen altas pérdidas de agua por debajo de donde se encuentra la zona de raíces activas del cultivo, además la alta humedad presente en estas capas superficiales proporciona poco sitio para el aire, e incrementa la tasa de evaporación desde la superficie del suelo, pues según Bonachela et al, (2001) la evaporación de agua desde los bulbos húmedos en un riego por goteo superficial dependen cuantitativamente de la superficie total de suelo mojada.

Para el caso del gotero ubicado a la profundidad de **15 cm** por debajo de la superficie del suelo, el comportamiento del flujo del agua refleja también grandes pérdidas de agua (**>10 mm**) en los días en que se produce el riego a las profundidades de **30cm** y **60 cm**, lo que se corresponde con los altos valores de humedad volumétrica y conductividad hidráulica que se registran en el perfil del suelo (**Figura 3**).

En este caso, no obstante, en los días anteriores al riego se presenta una zona superficial más seca, de menor potencial total del agua; el gradiente de potencial por tanto se invierte y el flujo es de ascenso capilar hacia las capas superiores con valores entre **2 – 10 mm**

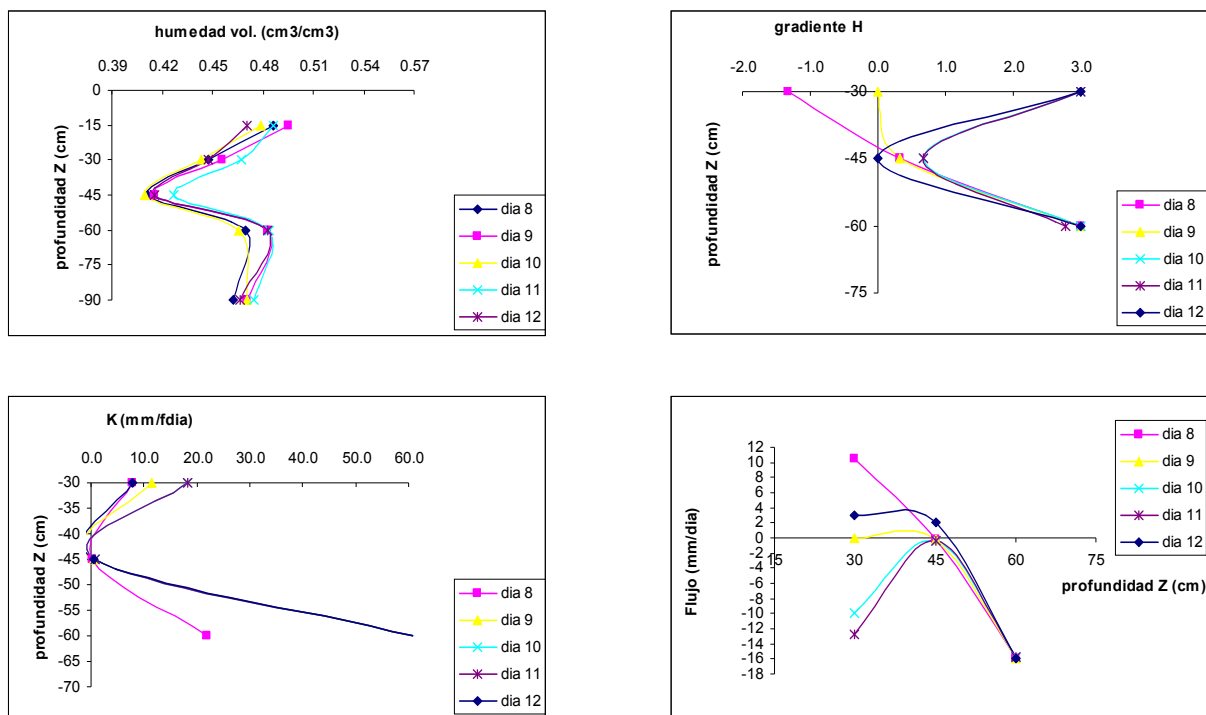


Figura 3. Comportamiento de los distintos parámetros en el tratamiento B.

Para el gotero ubicado a la profundidad de **30 cm** por debajo de la superficie del suelo, puede apreciarse que el flujo del agua a la profundidad del gotero es de ascenso capilar, con valores entre **1 mm - 5 mm**. Esto se corresponde con la disminución de la humedad volumétrica y el potencial total del agua en la capa superficial, que invierte el sentido del gradiente (**Figura 4**).

En este caso aunque aumenta el movimiento del agua a la profundidad de **45 cm**, en general, se reducen considerablemente las pérdidas totales de agua en las capas inferiores del perfil (menos de **2 mm**).

En resumen en el bulbo húmedo, disminuye la saturación del suelo, y proporciona sitio para más aire, mejorando también el movimiento capilar del agua y disminuyendo el agua perdida por filtración profunda. Al respecto Phene, (1999), expresa que dada la misma cantidad de agua, el patrón esférico del goteo subsuperficial cubre un 46 % de volumen suelo mojado más, que un sistema superficial del goteo lo que disminuye la saturación del suelo. El Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, (2004) plantea que la zona mojada del suelo con goteros situados a 30 cm de profundidad alcanzó capas menos profundas que con el riego por goteo superficial y que esto conllevó a un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y menos lavados de los nutrientes. Similares resultados son reportados igualmente por Pastor e Hidalgo, (2003). Del Amor, (1999); Botia et al, (2000); Romero, (2002) y Romero y Botia, (2003).

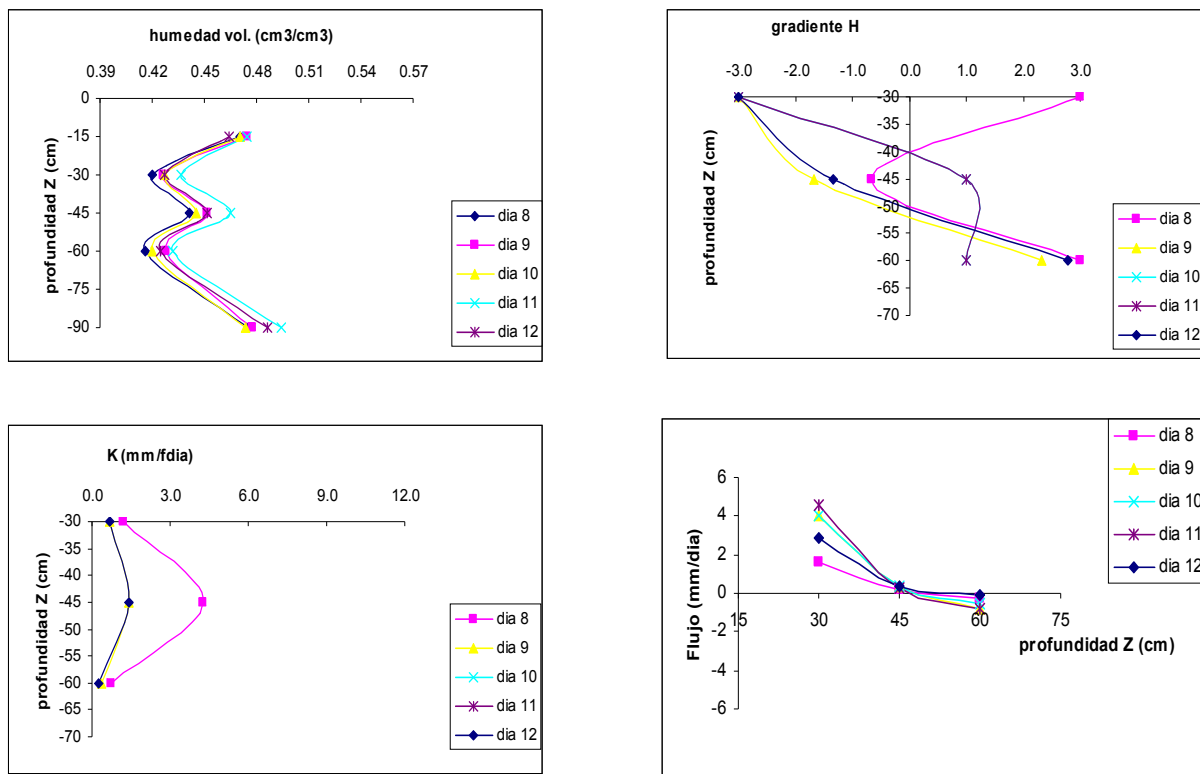


Figura 4. Comportamiento de los distintos parámetros en el tratamiento C.

Finalmente en el caso del gotero ubicado a la profundidad de **45 cm** por debajo de la superficie del suelo, se puede observar como se mantiene el movimiento de ascenso capilar a la profundidad de **30 cm**, con valores (entre **5 mm - 14 mm**). En este caso aumenta el movimiento del agua a la profundidad de **45 cm**, con pérdidas totales de agua en las capas inferiores del

perfil (entre 0 mm -8 mm), excepto en el momento posterior al segundo riego (día 12) que se produce sobre un perfil más húmedo que el inicial y en este caso se duplican las pérdidas a 16 mm (Figura 8).

Al respecto los trabajos de Jorgenson y Norum, (1993), refieren que las instalaciones más profundas pueden limitar la efectividad del sistema de riego subterráneo en la germinación de semillas, restringiendo la disponibilidad de agua y nutrientes hacia la superficie, pudiendo provocar salinidad cuando se riega con agua con sales y acrecentando en general, el agua perdida por filtración profunda y la lixiviación de nutrientes.

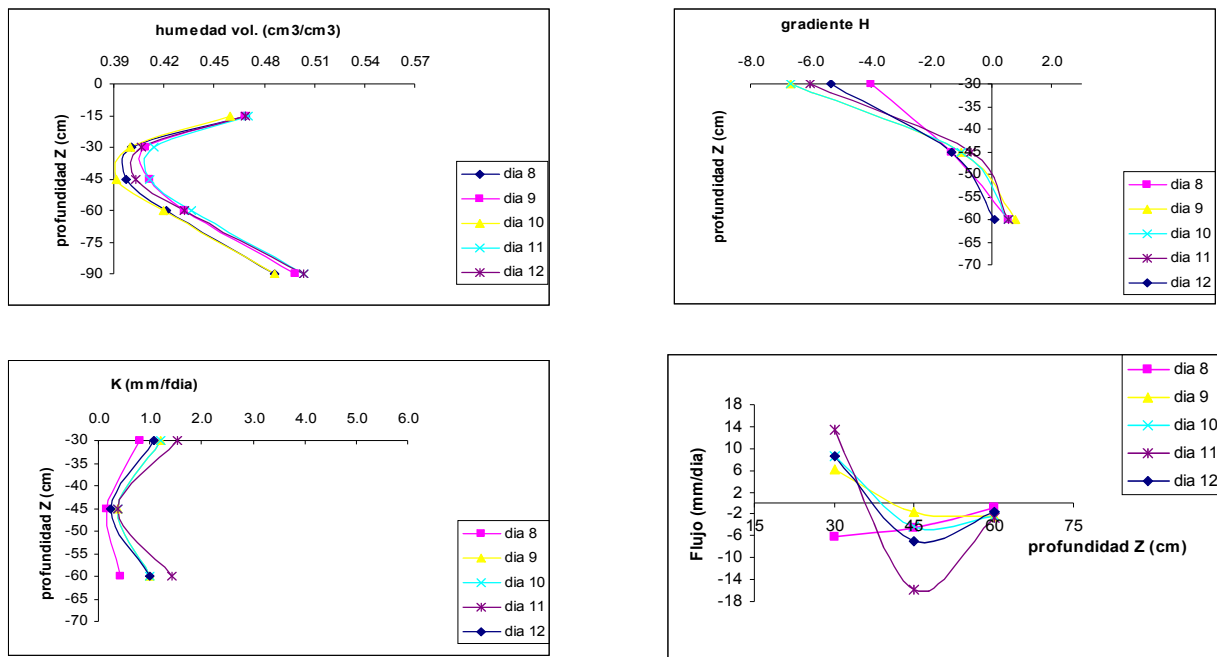


Figura 5. Comportamiento de los distintos parámetros en el tratamiento D.

Conclusiones.

1. El tratamiento de riego por goteo superficial, mantiene altos valores de humedad volumétrica y conductividad hidráulica en las capas superficiales e importantes pérdidas de agua hacia los estratos inferiores del suelo.
2. En el tratamiento con emisores soterrados a 15 cm de profundidad, el comportamiento del flujo del agua refleja también grandes pérdidas de agua en los días en que se produce el riego.
3. En el tratamiento con gotero ubicado a la profundidad de 30 cm por debajo de la superficie del suelo, el flujo del agua a la profundidad del gotero es de ascenso capilar, correspondiéndose con la disminución de la humedad volumétrica y el potencial total del agua en la capa superficial, que invierte el sentido del gradiente y hace que se produzcan muy pocas pérdidas de agua en profundidad.
4. En el tratamiento con emisores soterrados a 45 cm de profundidad se mantiene el movimiento de ascenso capilar hacia las capas superiores más secas, pero en este caso

aumenta el movimiento del agua a la profundidad de **45 cm**, con pérdidas importantes de agua en las capas inferiores del perfil de suelo.

Bibliografía.

1. **Bonachela. S, Orgas. F, Villalobos F, Fereres. E.** 2001. Soil Evaporation from drip irrigated olive orchards. *Irrig. Sci*, 20, p: 65-71.
2. **Botia. P, García. F, Romero. P, García. A.** 2000. Respuesta productiva del almendro a diferentes estrategias de riego deficitario en condiciones de riego localizado subterráneo y superficial. *Actas del XVII Congreso Nacional de Riegos*. 20 – 22 de Junio de 2000. Huelva: 10 P.
3. **Cid, G.** 1995. Introducción de métodos y metodologías para la caracterización de las propiedades hidrofísicas así como, las variaciones espacio temporales. Informe del Contrato 004-17 IIRD-MTCMA.
4. **Del Amor. F. M.** 1999. Riego por Goteo Subterráneo en almendro. Aspectos de manejo y respuesta del cultivo. *Fruticultura Profesional*. No 104. P: 61 – 66.
5. **Dorel, M.; H. Ozier Lafontaine.** 1998. Pilotage de l'irrigation des bananeraies sur sols ferrallitiques et sols vertiques en Guadeloupe: recherche d'indicateurs de l'état hydrique de la culture. *Fruits (FRA)*, vol. 53, (1), P. 17-26,
6. **Eijkelkamp.** 1983. Equipment for determining moisture characteristic curves of soil samples [pF-Equipment] pF 0-4, 2[0-15 bar]. The Netherlands, 40 pp.
7. **Garcia. F, Botia. P, Romero. P, Garcia. A.** 1999. Evaluación de una instalación de riego localizado subterráneo después de 2 años de funcionamiento. *XVII Congreso Nacional de Riegos*, Murcia. 11 – 13 de Mayo de 1999. P: 374 – 381.
8. **Gardner, E. A.** 1988. Understanding Soils and Soil Data. Chapter 10, Soil Water. Soil Conservation Research Branch, Queensland. pp 153-184.
9. **Hillel, D.** 1972. The field water balance and water use efficiency.(T. T. Kozlowski, ed.). 100pp. Academic Press, New York.
10. **Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.** 2005. La [Conselleria](http://WWW.Orihueladigital.es) de Agricultura está investigando nuevos sistemas de riego subterráneo. Trabajo consultado el 29 de marzo de 2006 y disponible en <http://WWW.Orihueladigital.es>
11. **Jorgensen, G; Norum, K.** 1993. Subsurface drip irrigation: Theory, practices and application conference. California, EE.UU. Edited by G. Jorgensen and K. Norum. 216p
12. **López, María Teresa.** Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los Balances Hídricos. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana, 2002.
13. **PASTOR. M, HIDALGO. J.** 2003. Riego Subterráneo en Olivar: Primeros Resultados de un Ensayo de Larga Duración. *Fruticultura Profesional*. No 138. P: 5-15.
14. **Phene, C. J.** 1999. **Irrigación con Goteo Subsuperficial. Volumen VI del V Curso Internacional de Sistemas de Riego. Organizado por el Departamento de Irrigación de La Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.**
15. **Reidhardt K.** 1996. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. Dept Física e Meteorologia. Escola Sup. Agricultura "Luiz de Queiroz". Univ São Paulo. Brasil.
16. **Richards, L.** 1949. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* 68:95-112.
17. **Romero. P, Botia. P.** 2003. Mejora de la eficiencia en el uso del agua en almendros: estrategias de Riego Deficitario Controlado en condiciones de Riego Subterráneo. *Rev. Fruticultura Profesional* No 132. Enero – Febrero 2003. P: 5 – 12.

18. **Romero, P.** 2002. Respuesta del almendro al riego deficitario controlado (RDC) en condiciones de riego localizado subterráneo. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. 288 p.
19. **Van Genuchten, M.** 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am.J. 44:892-898.
20. **Van Genuchten, M., F. Leij and S. Yates.** 1991. The RETC Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Sal. Lab., California.
21. **Yitayew, M. and Ali Khan, A.** 1995. Field evaluation of water and solute movement from a point source. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. April 2-6, 1995. Orlando, Florida, USA. pp 609-614
22. **Zazueta, F.S., Clark, G.A., Smajstrla, A.G. and Carrillo, M.** 1995. A simple equation to estimate soil-water movement from a drip irrigation source. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. April 2-6, 1995. Orlando, Florida, USA. pp