

Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo superficial y sub superficial

Hydraulic behaviour of the superficial and sub superficial drip irrigation system

Manuel Reinaldo Rodríguez García¹ y Omar Puig Estrada¹

RESUMEN. Para su evaluación el sistema de riego fue montado con un diseño experimental completamente aleatorizado, con cuatro tratamientos, uno con el sistema de riego por goteo superficial y tres con sistemas de riego por goteo sub superficiales con emisores soterrados a 15, 30 y 45 centímetros de profundidad. Se realizaron evaluaciones de laboratorio y de campo de los principales parámetros hidráulicos del sistema, al inicio de la primera campaña de riego y al final de la tercera, obteniéndose en el tratamiento superficial una apreciable disminución del caudal medio del emisor (q_{med}), un aumento de la desviación de dicho caudal con relación al caudal nominal (Dq_{nom}) y aumento del coeficiente de variación por obturación (CV_{obt}), que permite inferir un aumento del taponamiento de estos emisores debido a precipitados de carbonato de calcio, fosfatos e hidróxidos que se forman a la salida de los emisores al entrar en contacto directo con los agentes atmosféricos. En cuanto al comportamiento del Coeficiente de Uniformidad Estadístico (CU_{Est}) y el Coeficiente de Uniformidad del cuarto más bajo (CU_{25}), los valores obtenidos para este índice fueron siempre elevados, estando comprendidos entre 97 y 98 %.

Palabras clave: evaluación de sistema de riego, coeficiente de uniformidad

ABSTRACT. For their evaluation the irrigation system was mounted with a totally randomized experimental design, with four treatments, one with superficial drip irrigation and three with sub superficial drip irrigation with emitters buried to 15, 30 and 45 centimeters deep. Were carried out laboratory and field evaluations of the main hydraulic parameters of the system, to the beginning of the first irrigation campaign and the end of third year, being obtained in the superficial treatment an appreciable decrease of the emitter half flow (q_{med}), an increase of the deviation of this flow with relationship to the nominal flow (Dq_{nom}) and increase of the variation coefficient for obstruction (CV_{obt}) that allows to infer an increase of the emitter obstruction due to precipitate of carbonate of calcium, phosphates and hidróxidos that are formed to the exit from the emitter when entering in direct contact with the atmospheric agents. The Statistical Coefficient of Uniformity (CU_{Est}) and the Coefficient of Uniformity of the lowest 4th (CU_{25}), the values obtained for this index were always high, being understood between 97 and 98%.

Keywords: evaluation irrigation system, Coefficient of Uniformity, emitter obstruction.

INTRODUCCIÓN

Entre los métodos existentes, los riegos localizados goteo y micro aspersión se consideran los de mayor eficiencia. Como una alternativa al riego por goteo tradicional, las tuberías pueden enterrarse a una determinada profundidad, lo que se conoce como riego por goteo sub superficial.

La uniformidad necesaria en un sistema de riego localizado de alta frecuencia es superior a los límites establecidos en otros sistemas de riego, al estar el volumen radicular mas concentrado en los bulbos húmedos.

Diversos son los factores que inciden en el funcionamiento hidráulico de un sistema de riego localizado y dentro de los

fundamentales podemos citar: variabilidad de funcionamiento tanto espacial (uniformidad de fabricación de sus emisores), como temporalmente (envejecimiento), exactitud en su diseño y montaje y factores químicos, físicos y biológicos que contribuyen al taponamiento de los emisores. En el caso concreto del riego por goteo sub superficial se adiciona la influencia de una presión positiva del suelo que puede producir la disminución del caudal del emisor y la obstrucción de los emisores por instrucción de raíces en el interior de sus laberintos, (Shani et al., 1996; Gil et al., 2007; Gil et al., 2008).

Reportes de Pizarro (1990), indican que la variación por manufactura y el taponamiento son los factores más importantes que afectan la uniformidad de la irrigación por goteo. Al

Recibido 27/06/10, aprobado 10/09/11, trabajo 55/11, investigación.

¹ MSc., Ing., Inv., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Apdo. postal 6090. La Habana, Cuba, Telefax: 6911038, E-✉: direccion.general@iagric.cu

respecto Nakayama et al. (1981), encontró que un porcentaje pequeño de emisores obturados puede reducir la uniformidad de aplicación de agua y Bralts et al. (19812), informaron que esa obstrucción reduce el flujo total en la línea lateral y hace más alta la descarga de los emisores no obstruidos. Por su parte, Sietan y Ali (2003), concluyen que la uniformidad y eficacia son muy afectados por el daño y taponado de los emisores.

Para la obtención de los parámetros que definen el comportamiento hidráulico de un sistema de riego localizado, se realizan evaluaciones de laboratorio y campo que en la actualidad además de determinar el coeficiente de uniformidad de riego, establecen otros parámetros que miden el grado de obturación de los goteros y ayudan a definir las causas que lo provocan, (Martín et al., 2002 y 2003).

El presente trabajo tiene como objetivo la determinación de los parámetros que definen el comportamiento hidráulico de un sistema de riego por goteo con emisores colocados en superficie y a distintas profundidades de soterramiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones fueron realizadas en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola,

situada en el municipio Alquizar, Provincia Artemisa (Latitud 22°46' N y Longitud 82° 37' W) a seis metros sobre el nivel del mar.

El suelo del área de estudio está clasificado como Ferralítico Rojo compactado (Instituto de Suelos, 1999).

El agua utilizada para el riego es de origen subterráneo cálcica, característica de la zona sur de la provincia. La misma según Duarte (2003), presenta contenido relativamente alto de carbonato que forma sales incrustantes de calcio de elevado valor, que por su inestabilidad provoca precipitaciones de éstas sales en los sistemas de riego.

Para ser evaluado, el sistema de riego fue montado con un Diseño Experimental Completamente Aleatorizado, con cuatro tratamientos, uno con el sistema de riego por goteo superficial y tres con sistemas de riego por goteo sub superficiales con emisores soterrados a 15, 30 y 45 centímetros de profundidad. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, las parcelas experimentales estuvieron conformadas por tres doble hileras de plantas, de las cuales se utilizó la doble hilera central para la realización de las evaluaciones, las mismas tenían una longitud de 100 m. (Figura 1).

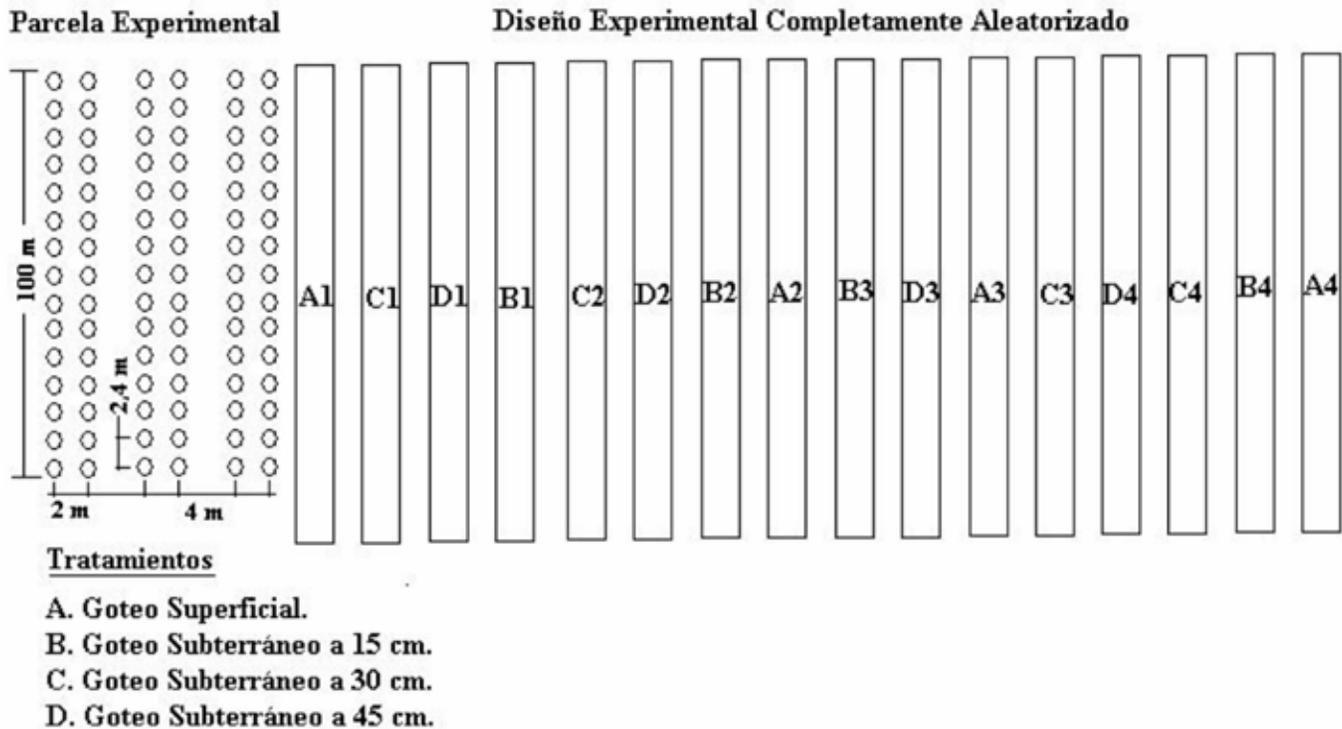


FIGURA 1. Diseño experimental y tratamientos.

Evaluaciones realizadas

Primeramente se determinaron mediante evaluaciones hidráulicas, las relaciones caudal presión y el coeficiente de variación de fabricación de los goteros nuevos a ser usados en el sistema de riego.

La metodología de ensayo utilizada es la descrita en la norma UNE 68-075 (1986). En cada ensayo se sometía una muestra de 25 goteros, secuencialmente a las posiciones de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 kPa. Para cada posición se midió volumétricamente el caudal individual de cada gotero. Como se trata de goteros autocompensantes, se trabajó con presiones ascendentes y descendentes en un mismo ensayo según lo indicado en la citada norma.

Con los datos obtenidos, mediante un análisis de regresión estadístico, se determinó la ecuación de gasto del gotero:

$$q = K \cdot h^x$$

Donde: q es el gasto de gotero en $l \cdot h^{-1}$, h es la presión de trabajo en kPa, K el coeficiente de gasto y x el exponente hidráulico.

Para determinar la homogeneidad de funcionamiento de los goteros se calculó el Coeficiente de Variación de Fabricación (CV_f) y la desviación del caudal medio con respecto al caudal nominal ($D_{q_{med}}$). Ambas determinaciones se realizaron a la presión nominal de 100 kPa.

El coeficiente de variación de fabricación se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Cv_f = \frac{S}{q_{med}}$$

Donde S es la desviación típica y q_{med} es el gasto medio de la muestra de goteros.

Y la desviación del caudal medio con respecto al caudal nominal se calculó utilizando la expresión:

$$D_{q_{med}} = \frac{|q_{med} - q_n|}{q_n} \cdot 100$$

donde: q_n es el caudal nominal que indica el fabricante de los goteros y q_{med} es el caudal medio obtenido en laboratorio.

Como segundo paso y una vez montados los laterales de goteo, según las restricciones impuestas por los tratamientos, se realizó la evaluación de campo del sistema de riego, esta evaluación se efectuó según la metodología de Merriam y Keller, (1978), pero con dos modificaciones. La primera, que los cuatro laterales a evaluar en cada tratamiento los constituyeron, los laterales de las hileras de cálculo de cada réplica y segundo que para la medición de los caudales en las cuatro zonas de dichos laterales, localizadas en cabeza, a 1/3, a 2/3 y al final de de los mismos, en los tratamientos soterrados, fue necesario excavar en el lugar donde se encuentran los emisores, para poder medir el volumen de agua que aplican los goteros en un tiempo dado, es decir su caudal horario.

Con los 16 caudales medidos, determinaremos el coeficiente de uniformidad de riego del cuarto más bajo, la uniformidad de distribución global del agua en el sistema de riego mediante la uniformidad estadística y el grado de obturación de los emisores en cada tratamiento. Estas evaluaciones se llevaron a cabo, al comienzo de la campaña de riego del primer año experimental y al final de la campaña de riego del tercer año de estudio.

El coeficiente de uniformidad de riego del cuarto más bajo CU_{25} se calculó siguiendo la metodología de Merriam y Keller (1978), mediante el uso de la siguiente expresión:

$$CU_{25} = \frac{q_{med}}{q_{25}}$$

Donde: q_{med} caudal medio de las 16 zonas medidas (l/h) y q_{25} , caudal medio de las 4 zonas con menor caudal en (L/h).

La uniformidad de distribución global del agua, se deter-

minó mediante la uniformidad estadística (US), índice recomendado por Bralts et al. (1981):

$$US = 1 - CV$$

donde: CV es el coeficiente de variación global que se define como la relación entre la desviación típica y el gasto medio de la muestra de goteros.

Bralts et al. (1987), propusieron la expresión siguiente para el cálculo del coeficiente de variación global a partir del efecto combinado de los factores que condicionan la uniformidad.

$$Cv = \sqrt{\frac{(CV_{obt}^2 + CV_f^2 + X^2 \cdot CV_h^2)}{e}}$$

donde: CV_{obt} es el coeficiente de variación del gasto debido a la obturación de los goteros, CV_f es el coeficiente de variación de fabricación del gotero, CV_h es el coeficiente de variación de presiones, e es el número de goteros por planta y X es el exponente hidráulico del emisor.

Cuando el gotero es autocompensante la ecuación anterior se simplifica:

$$Cv = \sqrt{\frac{(CV_{obt}^2 + CV_f^2)}{e}}$$

Esta expresión permite determinar el coeficiente de variación debido a la obturación de los goteros (CV_{obt}) a partir del coeficiente de variación global, calculando con los datos de la evaluación en campo y del coeficiente de variación de fabricación del gotero, que se determina ensayando en laboratorio una muestra de goteros nuevos.

$$Cv_{obt} = \sqrt{\frac{(CV^2 + CV_f^2)}{e}}$$

Para comprobar la posible disminución del caudal de los emisores soterrados debido a la influencia de una presión positiva producida por el suelo a la salida de los emisores, se midieron los volúmenes de agua aplicados por los distintos tratamientos (V_{aplic}) mediante la utilización de hidrómetros.

Como tercer paso se retiró un ramal porta goteros por cada una de las replicas en los distintos tratamientos al final de los tres años de experimentación, con la finalidad de analizar su funcionamiento hidráulico en laboratorio y se comparó con los resultados de la evaluación de la muestra de goteros nuevos. La metodología de ensayo utilizada es la descrita en la norma UNE 68 - 075 (1986).

Con los datos obtenidos, mediante un análisis de regresión estadístico, se determinó la ecuación de gasto del gotero después de tres años de funcionamiento para cada uno de los tratamientos, así como el coeficiente de variación de funcionamiento (CV_f) y la desviación del caudal medio con respecto al caudal nominal (D)

Para cuantificar la obturación de los goteros, se utilizaron dos índices: el coeficiente de variación debido exclusivamente a la obturación de los goteros (CV_p) y el grado de obturación (GO) de los mismos. Ambos índices se determinan también

para la presión nominal del emisor.

El cálculo del grado de obturación se determina mediante la siguiente relación:

$$Go = 1 - \left(\frac{q_{med\ nuevo}}{q_{med\ usado}} \right)$$

donde: $q_{med\ nuevo}$ es el caudal medio de los goteros nuevos y $q_{med\ usado}$ es el caudal medio de los goteros usados. Para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos se realizó un análisis de la varianza, utilizando como variables los distintos parámetros determinados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2, se muestra la curva caudal vs presión de mejor ajuste para los datos experimentales de la muestra de goteros nuevos, de la misma se puede apreciar que la desviación del caudal medio con respecto al caudal nominal brindado por el fabricante es mínima 0.0002 L/h. El coeficiente de variación de fabricación para la presión de 100 kPa, con valor de 3,6%, lo sitúa en la categoría A de la norma ISO y con categoría

excelente en (ASAE, 1989). Además el emisor presenta buen comportamiento de auto compensación en el rango de presión de 100 a 400 kPa, con solo una diferencia de caudal de 0.159 L/h.

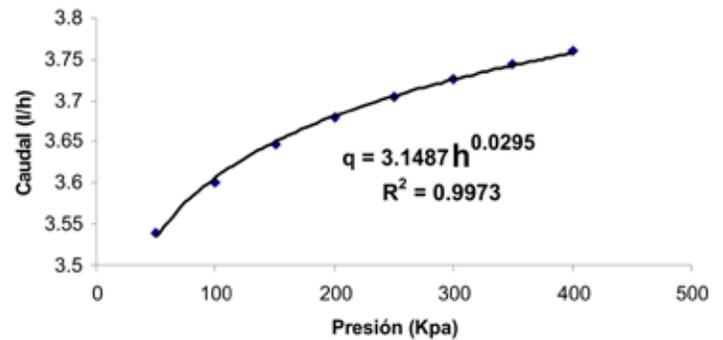


FIGURA 2. Curva caudal vs presión de la muestra de goteros nuevos.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros de funcionamiento del sistema de riego, en el inicio de la campaña de riego del primer año de estudio y al final de la campaña de riego del tercer año de funcionamiento.

TABLA 1. Comparación de los resultados de las evaluaciones de campo

Tratamientos	A		B	C	D	Sig.	Es
	1 ^{er} año	3 ^{er} año	3 ^{er} año	3 ^{er} año	3 ^{er} año		
q_{med} (l/h)	3,639a	3,554 d	3,592 c	3,607 b	3,621 b	***	0,00109
Dq_{med} (l/h)		0,024 a	0,011 b	0,007 c	0,003 d	***	0,00047
CV (%)	1,017	2,181	1,347	1,289	1,298		
CU_{Est} (%)	98,983	97,819	98,353	98,511	98,702		
CU_{25} (%)	98,566	97,409	98,105	98,049	98,308		
CV_{obt} (%)		0,965 a	0,648 b	0,544 c	0,403 d	***	0,00075
Vaplic (m ³)	10,000a	9,766d	9,951b	9,912b	9,871c	***	0,109

Medias con letras distintas, difieren significativamente según prueba de LSD al 5% de probabilidad.

De los resultados de la evaluación de campo, puede inferirse que se produce un aumento de la obturación de los emisores en el tratamiento superficial, que se manifiesta por una disminución del q_{med} y un aumento de la Dq_{med} y el CV_{obt} . En relación a este tema, Boman (1995), expone que aparte de la arena y el limo, los causantes más comunes de los taponamientos en los emisores que están en superficie, son las precipitaciones de carbonato de calcio ($CaCO_3$) y componentes de fosfatos e hidróxidos que forman precipitados a la salida de los emisores al entrar en contacto directo con los agentes atmosféricos, proceso que se pudo observar en muchos de los emisores de los laterales colocados en superficie.

En cuanto al comportamiento del CU_{Est} y el CU_{25} , los valores obtenidos para este índice fueron siempre elevados, estando comprendidos entre 97 y 98 % valores que lo sitúan con categoría de excelente tanto en la norma UNE 68-075 (1986), como en la norma (ASAE 1989^a). El alto valor de este parámetro esta dado por la poca influencia del desnivel y las pérdidas hidráulicas, ya que la sub unidad de riego es pequeña y el terreno es llano. Según reportes de Martín et al. (2004), en un suelo homogéneo la uniformidad del riego sub superficial es similar o incluso mayor que la del riego por goteo convencional, pues se evidencia un posible efecto auto regulador del suelo sobre la variabilidad del caudal de los emisores.

Al analizar los volúmenes de agua aplicados, existe el valor mas bajo en el tratamiento superficial, debido a su mayor grado de taponamiento, en cuanto a los tratamientos soterrados se aprecia una disminución a medida que se incrementa la profundidad de soterramiento y ello esta en concordancia con lo plantado por Gil et al. (2008), pues a medida que se incrementa el peso de la masa de suelo sobre el emisor se hace mayor la fuerza positiva que ejerce el suelo en oposición a la salida de su caudal.

Con los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, se calcularon las curvas de gasto de los goteros que se muestran en la Figura 3. Se puede observar la evolución de las curvas de gasto de los goteros de todos los tratamientos después de los 3 años de funcionamiento en campo, comparada con la curva de gasto obtenida para los goteros nuevos se observa claramente una ob-

turación progresiva de todos los tratamientos, destacándose el tratamiento superficial con mayor disminución en su caudal para las distintas presiones de trabajo.

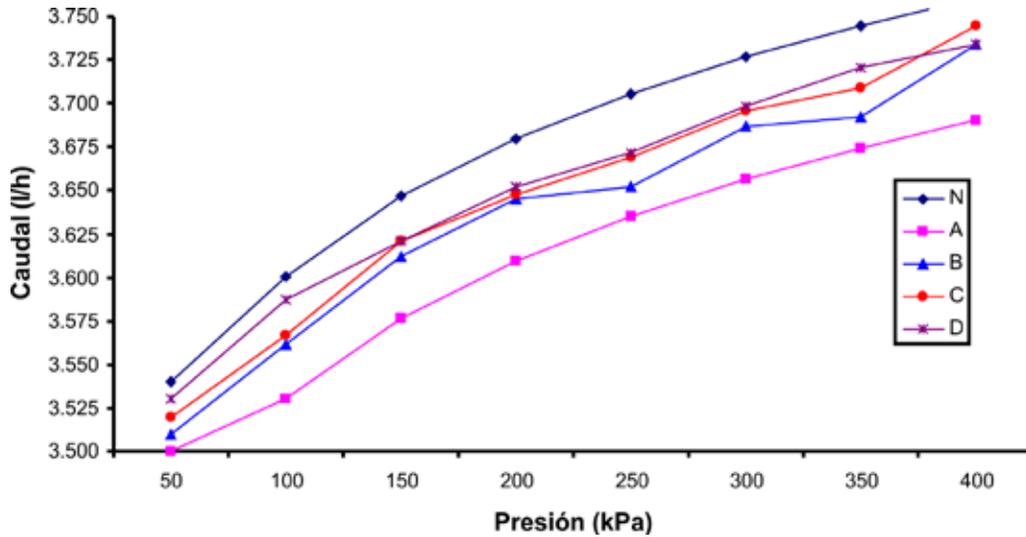


FIGURA 3. Evolución de las curvas de gasto de los goteros de todos los tratamientos después de los 3 años de funcionamiento en campo, comparada con la curva de gasto obtenida para los goteros nuevos.

En la Tabla 2 se observa que los goteros con mayor q_{med} y menor Dq_{med} fueron los de los sistema de riego superficial, Al respecto Casaño (2001), expresa que los sistemas de goteo subterráneos reducen considerablemente los problemas de calcificación al no producirse precipitados de cal en los goteros.

En cuanto al grado de obturación (GO) alcanzado por los distintos goteros a lo largo del tiempo de funcionamiento el tratamiento superficial tiene igualmente el valor más alto, resultado que coincide con el observado en la evaluación de campo. En los tratamientos sub superficiales no aparecen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a este parámetro. Similares efectos son reportados por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (2005), para líneas porta goteros que situadas a 30 cm de profundidad llevan funcionando unos 5 años sin registro alguno de pérdida de caudales debido a obturaciones de líneas o goteros.

Gury (1997), Shevach y Kohen (1996) y Sangines (1991), igualmente informan que el sistema de riego localizado subterráneo ha generado mayor aceptación, gracias a la superación de problemas de diseño y calidad, donde las obstrucciones ya no son un problema cuando la filtración, manejo y mantenimiento, se ejecutan bien.

Oron et al. (1995), se refiere a que el incremento del riesgo

de obturación en los sistemas subterráneos por intrusión de las raíces se puede paliar mediante la utilización de herbicidas, de forma similar se expresa Sangines y Ruskin (1991), en relación a laterales de goteros con tecnología Rootguard, enterrados a una profundidad de 35 cm, los cuales funcionaron durante siete temporadas de riego con aguas servidas y recicladas a nivel de tratamiento secundario, con mantenimiento estable del flujo de los goteros, sin que se hayan registrado obturaciones en los emisores, ya sea debido a la calidad del agua o a la penetración de raíces.

El coeficiente de variación de funcionamiento en los goteros usados aumentó respecto a los goteros nuevos, pero los ramales desenterrados de los tratamientos soterrados a mayor profundidad, alcanzaron valores más bajos de este parámetro, lo que se corresponde a lo planteado por Bachar (2001), referido a que las tuberías enterradas, están menos expuestas a la acción adversa de los cambios, como secado/mojado, frío/calor, por lo que se espera que el sistema tenga una mayor vida útil. Y en el caso nuestro, de goteros autocompensantes con membranas flexibles que sufren deterioro en el tiempo por los cambios térmicos, su deterioro es más inmediato en los emisores que yacen en la superficie y están expuestos directamente a la acción del sol y la intemperie.

TABLA 2. Resultados de las evaluaciones realizadas en el laboratorio hidráulico a muestras de goteros nuevos y desenterrados después de tres años de funcionamiento

Parámetros controlados	Emisores nuevos	Emisores con tres años de funcionamiento				Sig	Es
		A	B	C	D		
q_{med} (L/h)	3.601 a	3.531 c	3.567 b	3.566 b	3.569 b	***	0.0008
Dq_{med} (L/h)	0.00049 d	0.0193 a	0.0090 bc	0.0093 b	0.0086 c	***	0.0002
CV_f (%)	3.6 c	4.6 a	4.633 a	4.006 b	3.5003 b	***	0.0165
Go (%)		1.958 a	0.930 b	0.958 b	0.896 b	***	0.022

Medias con letras distintas, difieren significativamente según prueba de LSD al 5 % de probabilidad.

CONCLUSIONES

- En el tratamiento superficial se obtuvo una apreciable disminución del caudal medio del emisor un aumento de la desviación de dicho caudal con relación al caudal nominal y aumento del coeficiente de variación por obturación, que permite inferir un aumento del taponamiento de estos emisores.
- Los valores obtenidos del Coeficiente de Uniformidad Estadístico (CU_{Est}) y el Coeficiente de Uniformidad del

cuarto más bajo (CU_{25}), fueron siempre elevados, estando comprendidos entre 97 y 98%.

- Se aprecia una disminución del volumen de agua aplicado por los tratamientos sub superficiales a medida que se incrementa la profundidad de soterramiento dado por el aumento de la influencia del peso de la masa de suelo sobre el emisor, que hace mayor la fuerza positiva que ejerce el suelo en oposición a la salida de su caudal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE): Design and Installation of Micro-irrigation Systems, 627-630. ASAE EP409, Standards, Engineering Practices and Data, 38th Edition, USA, 1989.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE): Field evaluation of microirrigation systems: ASAE EP405.I. Standards, Amer. Soc. Agric. Engr. St. Joseph, MI. USA, 1989.
- BACHAR, Z.: El riego subterráneo (SDI) el futuro del Riego localizado [en línea], Disponible en: <http://www.metzerplas.com/spanish/tamusspa.html>. [Consulta: noviembre 15 2001].
- BLALTS, V.F.; D.M. EDWARDS and I.P.WU: Drip irrigation design and evaluation based on the statical uniformity concept. In Advances in Irrigatin, D. Hillel. 67-117. New York: Press Inc. 1987.
- BLALTS, V.F., I.P.WU and H.M. GITLIN: "Manufacturing variation and drip irrigation uniformity", Transations ASAE, 24(1): 113-119, 1981.
- BOMAN, B.J.: "Effects of orifice size on micro sprinkler clogging rates". Appl. Eng. in Agric. 11(6): 839-843, 1995.
- CASAÑO, C.: Producción de cítricos y tabaco con riego por goteo subterráneo [en línea], Disponible en: <http://www.cepla.com/euroagro/10/10/html>. [Consulta: noviembre 15 2001].
- CUBA, INSTITUTO DE SUELOS: Nueva version de la Clasificación genética de los suelos de Cuba, 102pp., Editorial Agrifor, Ministerio de la Agricultura, La Habana, 1999.
- DUARTE, C.F.: Ventajas del uso del tratamiento magnético del agua de riego en el cultivo del tomate en un suelo Ferralítico Rojo, 134pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas) Ministerio de la Agricultura, Instituto de investigaciones en Agricultura Tropical, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 2003.
- ESPAÑA, INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS: La [Consejería](#) de Agricultura está investigando nuevos sistemas de riego subterráneo [en línea] 2005, Disponible en: <http://WWW.Orihueladigital.es> [Consulta: marzo 29 2006].
- GIL, M.; L. RODRÍGUEZ-SINOBAS; R. SÁNCHEZ; L. JUANA y A. LOSADA: Efecto del suelo en el caudal del gotero en riego subsuperficial. Determinación de caudales máximos, En: XXV Congreso Nacional de Riegos, Pamplona, España, 2007.
- GIL, M; L. RODRÍGUEZ-SINOBAS; R. SÁNCHEZ y A. LOSADA: "Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity", Irrigation Science 26(6): 453-458, 2008.
- GURY, D.: "Teflan Stops root penetration into sub-surface drippers", International Water Irrigation Review, 17(2): 1997.
- MARTÍN, E.; J. MARTÍNEZ; M.D. FERNÁNDEZ; M. ALCALDE y J. ROLDÁN: "Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo subterráneo y superficial utilizando agua residual depurada" Riegos y Drenaje, 21: 21-27, 2004.
- MARTÍN, E.: Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo subterráneo y superficial con el uso de agua residual depurada, Proyecto Monográfico Ingeniería Técnica Agrícola en Explotaciones Agropecuarias. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería, España, 2002.
- MERRIAM, J.L. and J. KELLER: Farm irrigation system evaluation, A guide for management, Utah St. Univ. Logan, USA, 1978.
- SHANI, N. U.; T.L. THOMPSON and A.W. WARRICK: "Soil hydraulic properties affecting discharge uniformity of gravity-fed subsurface drip irrigation", J. Irrig Drain Eng., 132: 531-536, 2006.
- NAKAYAMA, F. S., and D. A. BUCKS: "Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity", Trans. ASAE, 24(1): 77-80, 1981.
- NAKAYAMA, F.S and D.A. BUCKS: "Water quality in drip tricle irrigation; a review". Irrig. Sci. 12: 187-192, 1991.
- ORON, G.; Y. DE MALACH; C. GUILLERMAN and I. DAVID: Pear response to saline water aplication under Subsurface Drip Irrigation. In: 5th. Int. Microirrigation Congress, 1, pp. 97-103. Orlando, Florida, USA, 1995.
- SANGINES, A. and R. RUSKIN: Root intrusion protection for subsurface drip emitters, ASAE paper No. 91-2047, St. Joseph, Mich., USA, 1991.
- SHANI, U; S. XUE; R. GORDIN-KATZ and A.W. WARRICK: "Soil-limiting from Subsurface Emitters. I: Pressure Measurements", J. Irrig Drain Eng., 122: 291-295, 1996.
- SHEVACH, Y. and G. KOHEN: "Water scarcity and advanced irrigation technology", International Water Irrigation Review, 16(2). 10-12, 1996.
- SIETAN, C. and G. ALI: Uniformity in a micro irrigation with partially clogged emitters, ASAE Paper No.032097, St. Joseph, Mich: ASAE. 2004.12.4, USA, 2003.
- UNE 68-075: Material de riego. Emisores. Requisitos generales y métodos de ensayo. AENOR, Vig. 1986.