

# COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE DOS TIPOS DE EMISORES ARTESANALES PARA RIEGO POR GOTEO A BAJA PRESIÓN

Lisette Gruber<sup>1</sup>, Divia Blanco<sup>1</sup> y Eugenio Rojo<sup>1</sup>

## RESUMEN

El riego por goteo artesanal se basa en la elaboración doméstica de emisores y el aprovechamiento de pequeñas alturas de carga para sustituir el uso motobombas. Por ser un riego no convencional, no se dispone de suficientes elementos técnicos hidráulicos que lo respalden. Se realizó un ensayo para determinar el coeficiente de uniformidad (CU) para diferentes presiones, el coeficiente de variación de fabricación (CV), la ecuación caudal vs. altura de carga, y el régimen de circulación de dos tipos de emisores fabricados manualmente. Los tipos de goteros denominados EA se fabricaron con cinta plástica ("mimbre") y los goteros EB con tuberías utilizadas en riego de microaspersión. Se encontró que ambos goteros exhibieron régimen turbulento de circulación. En promedio, los goteros EA presentaron 88,0 % CU y 0,16 CV mientras que en EB los valores fueron 90,9 % y 0,12, respectivamente, detectándose diferencias significativas ( $P \leq 0,01$ ) para ambos coeficientes. Los resultados demuestran que, en general, existe superioridad de los goteros EB sobre los EA.

**Palabras clave adicionales:** Riego, régimen hidráulico, uniformidad de distribución del agua

## ABSTRACT

### Hydraulic performance of two types of artisan emitters for low pressure drip irrigation

The irrigation system by artisan dripping is based on the elaboration of the emitters by the own farmer, and the use of low elevation heads to replace the utilization of water pumps. Being a non-conventional irrigation system, there are no sufficient technical elements to endorse it. A test was made to determine the uniformity coefficient (UC) of the emitters for different pressures, the coefficient of variation of manufacture (CV), the equation of flow rate vs. pressure head, and the dripper circulation regime. One type of emitter (EA) was made with flat pipes of "wicker" and the other type (EB) with the pipes commonly used in micro-sprinkler systems. It was found that both emitters had turbulent flow regime. As an average, emitters EA showed 88.0 % UC and 0.16 CV while emitters EB showed 90.9 % and 0.12 CV, respectively, being the differences statistically significant ( $P \leq 0.01$ ). It was concluded that emitters EB have better performance than emitters EA.

**Additional key words:** Irrigation, hydraulic regime, uniformity of water distribution

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el recurso agua ha sido motivo de mucho estudio en las zonas áridas y semiáridas, principalmente en su uso y forma de aplicación en la agricultura. El riego por goteo constituye una de las mejores alternativas para el aprovechamiento agrícola de pequeñas fuentes de abastecimiento del líquido, aunque presenta problemas de alto costo (Razuri, 1988).

De la necesidad de utilizar racionalmente el agua y la búsqueda de tecnologías de riego de bajo costo surgió el sistema denominado artesanal.

El funcionamiento del riego por goteo artesanal se basa en dos aspectos fundamentales: la elaboración de los emisores por el propio agricultor y el aprovechamiento de la diferencia de nivel entre la superficie libre del agua contenida en un reservorio y el suelo a regar, con la finalidad de obtener la altura de carga necesaria y sustituir el componente de presurización de la motobomba (Olavarrieta et al., 1997).

Rodrigues et al. (2006) evaluaron un método de riego por goteo con microtubos de origen artesanal y concluyeron que el mismo es de fácil utilización y mantenimiento, demostrando que el

---

Recibido: Noviembre 16, 2006

Aceptado: Junio 29, 2007

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Agrícola. Decanato de Agronomía, Universidad Centrocidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: lisettegruber@ucla.edu.ve; erojo@ucla.edu.ve

sistema es una alternativa viable, tanto técnica como económicamente, y puede ser dirigido a pequeños productores de zonas rurales.

De acuerdo a Wu y Barragán (2000) un objetivo necesario en el diseño de sistema de riego es el requerimiento de uniformidad. Esta, a su vez, dependerá de la similitud de fabricación de los emisores (Rodrigo et al., 1992), la cual puede ser evaluada hidráulicamente mediante el coeficiente de uniformidad (CU) en instalaciones en funcionamiento. Otra alternativa mediante basamento estadístico se fundamenta en el uso del coeficiente de variación (CV) (Burt et al., 1997).

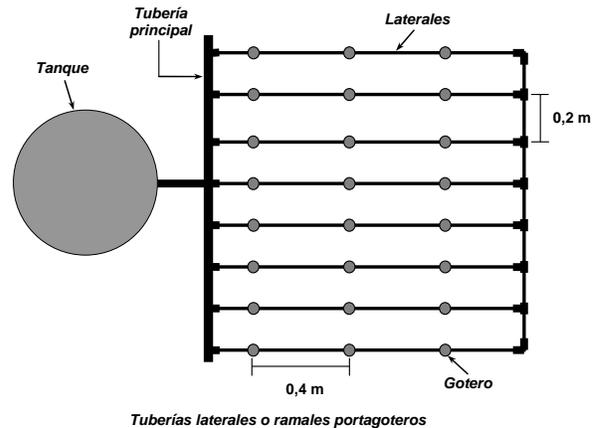
De acuerdo a Da Silva et al. (2005) la variación en la fabricación de un emisor es un factor que influye en la uniformidad de distribución de un sistema de riego por goteo, al considerar los materiales y técnicas usadas en su construcción.

El objetivo de este trabajo fue proporcionar información técnica sobre dos tipos de emisores fabricados manualmente mediante la evaluación de su comportamiento hidráulico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en la estación experimental Miguel Luna Lugo del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Se instaló un banco de prueba de goteros que consistió en la utilización de un tanque de 400 L del cual se derivó una tubería de 3/4" de diámetro y un filtro de 75 mallas. Los niveles de carga se obtuvieron colocando el tanque a tres alturas sobre el nivel del suelo (0; 1,0 y 1,7 m) e instalando una tubería vertical con cuatro salidas de 3/4" a lo largo de ésta. El caudal constante se obtuvo utilizando una válvula flotante con boya que se ubicó de acuerdo a las salidas de la tubería vertical y permitió obtener alturas de carga de 0,35; 0,55; 0,80; 1,15; 1,35 y 1,85 m.

En la salida del filtro se instaló un sistema de tuberías dispuestas en forma de malla que permitieron una adecuada distribución del agua, y en el mismo fueron instalados los goteros a evaluar. La malla tenía 0,2 m entre laterales y 0,4 m entre emisores, con ocho laterales y tres emisores por lateral, de forma cerrada (Figura 1).



**Figura 1.** Disposición de los goteros en la malla

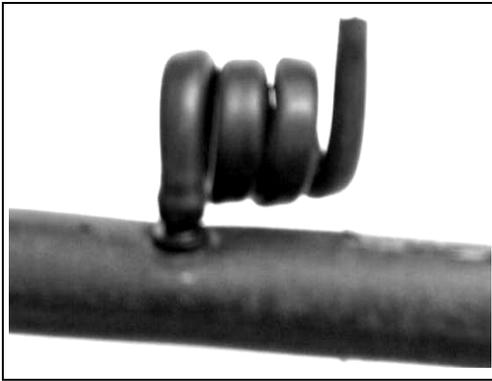
Se construyeron dos tipos de goteros, los cuales fueron denominados EA y EB. El material utilizado para el gotero EA fue una cinta plástica hueca de sección elipsoidal, de la utilizada comúnmente para elaborar muebles de "mimbre". Posteriormente, se colocó en su interior un alambre galvanizado de 1 mm de diámetro doblado en los extremos para conferirle rigidez y sirvió como elemento de sujeción o conexión. El conjunto de la tubería con el alambre fue moldeado alrededor de un cilindro de 1 cm de diámetro para finalmente obtener un dispositivo de forma helicoidal (Figura 2).

El gotero EB fue similar al EA con la diferencia de que la tubería empleada fue de sección circular, de la utilizada en los sistemas de riego por microaspersión. Las dimensiones específicas de cada gotero se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características morfométricas de los goteros construidos artesanalmente

Gotero	Material de construcción	LT	LA	Øi	Øe
		(cm)	(cm)	(mm)	(mm)
EA	Manguera para mimbre	15,0	18,0	2,0	3,5
EB	Tubería para microaspersores	20,0	21,5	3,5	6,0

LT= longitud tubería, LA= longitud alambre, Øi= diámetro interno, Øe= diámetro externo



**Figura 2.** Diseño helicoidal de los goteros artesanales evaluados

Para la colocación del gotero EA se perforaron con un sacabocado orificios de 2 mm en la tubería lateral del banco de prueba, ejerciendo cierta presión para asegurar que el gotero quedara bien insertado en la perforación. En el caso de los goteros EB, éstos fueron instalados sobre el lateral utilizando un conector.

Se tomaron 25 goteros de cada tipo, identificados como EA y EB, y se sometieron a las alturas de carga ya señaladas. A cada presión se le realizó su correspondiente aforo de caudal para determinar la ecuación  $Q = K \cdot H^x$ , donde Q es el caudal, K el coeficiente de descarga, H la altura de carga y x el exponente de descarga.

El exponente de descarga permitió determinar el régimen hidráulico de los goteros considerando régimen laminar para valores iguales o mayores a 0,8 (Karmeli et al., 1985; Fierro, 1996).

El coeficiente de uniformidad se calculó utilizando la siguiente ecuación de Christiansen (Villafañe, 1998).

$$CU = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n \cdot q_m} \right]$$

donde CU es el coeficiente de uniformidad del lateral,  $q_m$  el caudal promedio,  $q_i$  el caudal de cada observación y n el número de observaciones. Los CU obtenidos se clasificaron en función del Cuadro 2 (Rodrigo et al., 1992) que considera un rango entre excelente e inaceptable.

El coeficiente de variación de fabricación se determinó utilizando la ecuación  $CV = s/q_m$  (Da Silva et al., 2005), donde CV es el coeficiente de variación, s la desviación estándar y  $q_m$  el caudal medio. Los CV obtenidos se clasificaron en

función del Cuadro 3 (Pizarro, 1996) que considera un rango entre muy bueno y malo. Se aplicó la prueba de t para los valores de CU y CV mediante el programa InfoStat versión 1.1 para comparar la bondad de funcionamiento de cada gotero.

**Cuadro 2.** Clasificación utilizada para evaluar la uniformidad de descarga de los goteros según el CU (Rodrigo et al., 1992)

Clasificación	CU
Excelente	>92
Bueno	87-92
Aceptable	80-87
Pobre	70-80
Inaceptable	<70

**Cuadro 3.** Clasificación utilizada para evaluar la variabilidad de los goteros según el CV (Pizarro, 1996)

Clasificación	CV
Muy buena	<0,05
Buena	0,05-0,10
Regular	>0,10-0,15
Mala	>0,15

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación al CU, el gotero con mejor clasificación resultó ser el EB, con un rango de 87,9 a 93,8 % (Cuadro 4) ubicándose en la escala de bueno a excelente (Cuadro 2). Rodrigues et al. (2006) obtuvo valores de CU de 95,7 % en goteros artesanales similares, pero diseñados utilizando programas de computación. El gotero EA, por su parte, presentó menor uniformidad y fue clasificado entre aceptable y bueno.

En cuanto al CV, el gotero EB presentó valores en un rango de 0,08 y 0,15 (Cuadro 4), clasificándose de regular a bueno (Cuadro 3) mientras que los valores de EA variaron entre 0,14 y 0,19 ubicándose entre la categoría de regular a mala.

Las ecuaciones de gasto vs. altura de carga obtenidas aparecen en el Cuadro 5. El coeficiente de descarga x (inferior a 0,8) indica que el régimen de circulación tendió a ser turbulento. Según Rodrigo et al. (1992) y Montiel (1999), esto significaría que los goteros no se obstruirían fácilmente, aspecto que es deseable para el desempeño eficiente del emisor.

Por otro lado, los valores de K (19,445 vs. 9,335) indican que para alturas de carga de 1 m el gotero EB entregó un caudal mayor que el EA.

De acuerdo a los resultados de la prueba t (Cuadro 6), se detectó que existieron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tipos de goteros para los valores de CU y CV, indicando que el gotero EB superó al EA en cuanto a uniformidad en la descarga y variabilidad entre emisores.

**Cuadro 4.** Variación de la descarga (Q), CU y CV según la carga hidráulica (H) en los goteros

Gotero	H (m)	Q (L·h <sup>-1</sup> )	CU (%)	CV
EA	0,35	4,4	87,6	0,16
	0,55	6,6	88,4	0,15
	0,80	9,0	89,5	0,15
	1,15	11,0	86,3	0,18
	1,35	12,3	86,5	0,19
	1,85	15,2	89,7	0,14
EB	0,35	9,3	88,8	0,13
	0,55	13,7	92,6	0,10
	0,80	17,6	93,8	0,08
	1,15	21,4	87,9	0,15
	1,35	23,4	91,8	0,10
	1,85	27,5	90,3	0,15

**Cuadro 5.** Ecuaciones características y régimen de circulación de los goteros evaluados

Gotero	Ecuación Q vs. H	r <sup>2</sup>	Régimen de circulación
EA	$Q=9,335H^{0,713}$	0,99	Turbulento
EB	$Q=19,445H^{0,6267}$	0,99	Turbulento

**Cuadro 6.** Comparación estadística entre los CU y CV de los goteros evaluados (prueba de t)

Gotero	CU	CV
EA	88,0	0,162
EB	90,9	0,118
Probabilidad	0,026 *	0,013 *

\* Significativo al nivel del 5 %

## CONCLUSIONES

Respecto al coeficiente de uniformidad el gotero EB fue clasificado de bueno a excelente mientras que el gotero EA resultó de aceptable a bueno.

Con relación al coeficiente de variación el gotero EB fue clasificado de regular a bueno mientras que el gotero EA resultó de regular a malo.

Ambos goteros presentaron un régimen de circulación turbulento.

El gotero EB superó al gotero EA en la uniformidad de descarga y variabilidad entre emisores en el tiempo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del gotero artesanal fabricado con tubería plástica de microaspersión (gotero EB), ya que permite una mayor uniformidad en la descarga. Por otra parte, se debería evaluar estos dispositivos de acuerdo a la influencia de la temperatura y el probable grado de obstrucción en el tiempo.

## LITERATURA CITADA

- Burt, C., A. Clements, S. Strelkoff, K. Solomon, R. Bliesner, L. Hardy, T. Howell y D. Eisenhauer. 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123(6): 423-442.
- Da Silva, N., J. De Medeiros y M. Batista. 2005. Avaliação de diferentes modelos, vazoes e espaçamentos de gotejadores na irrigação do meloeiro. *Irriga. Botucatu* 10 (3): 263-271.
- Fierro, A. 1996. Caracterización hidráulica y mecánica de emisores para riego localizado. Tesis. Especialista en Hidrociencias. Montecillo México, Colegio de Postgraduados. 63 p.
- Karmeli D., G. Peri y M. Todes. 1985. *Irrigation systems: design and operation*. Oxford University Press. USA.
- Montiel, V. 1999. Fundamentos de hidráulica para diseño y revisión de riego presurizado (aspectos técnicos). Universidad Autónoma de Chapingo. México. 149. p.
- Olavarrieta, S., O. Galíndez, A. Castillo y P. Yépez. 1997. Riego por goteo artesanal.

- Alternativas para la producción hortícola en el ambiente semiárido. Boletín Divulgativo de PROSALAF. División Estadal Lara. Departamento Apoyo a la Producción. Sección Producción Vegetal. 20 p.
7. Pizarro, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 3ra Edición. Ediciones Mundi Prensa. 513 p.
  8. Razuri, L. 1988. Diseño de riego por goteo. CIDIAT. Mérida. Venezuela.
  9. Rodrigo, J., J. Hernández, A. Pérez y J. González. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos. España. 403 p.
  10. Rodrigues de Melo, R., G. Espinoza y R. Arriel. 2006. Irrigação localizada por gravidade com microtubos. Irriga. Botucatu. abril-junio. 11(2): 266-279.
  11. Villafañe, R. 1998. Diseño agronómico del Riego. Fundación Polar. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 147 p.
  12. Wu, P. y J. Barragán. 2000. Design criteria for microirrigation system. Transactions of ASAE. 43 (5):1145-1154.