

Comparación de métodos para estimar pérdidas localizadas en riego por goteo

• Marlio Bedoya-Cardoso* •
Universidad Surcolombiana

*Autor para correspondencia

• Vicente Ángeles-Montiel •
Universidad Autónoma Chapingo, México

DOI: 10.24850/j-tyca-2017-04-07

Resumen

Bedoya-Cardoso, M., & Ángeles-Montiel, V. (julio-agosto, 2017). Comparación de métodos para estimar pérdidas localizadas en riego por goteo. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(4), 117-125.

Se llevó a cabo una investigación experimental para comparar las pérdidas de carga producidas por la conexión de emisores sobre línea en laterales de riego por goteo. Las pérdidas por conexión (menores o localizadas) experimentales se obtuvieron como la diferencia entre la presión registrada cada 10 metros y las pérdidas por fricción en cada tramo, que se compararon con cuatro metodologías: la primera es la ecuación de la carga cinética y el coeficiente de pérdidas locales propuesto por Bagarello, Ferro, Provenzano y Pumo (1997); la segunda, propuesta por Howell y Barinas (1980); la tercera, propuesta por Keller y Bliesner (1990); finalmente, se propone una cuarta metodología, en la cual se modifica la longitud equivalente de las pérdidas de carga por conexión y el empleo de la ecuación de Keller y Bliesner (1990). La mejor ecuación fue la propuesta por Keller y Bliesner (1990), modificada en este trabajo, pues se alcanzaron errores promedio inferiores a 5.0% en todo el lateral. Además, por su versatilidad, se puede utilizar para determinar las pérdidas tramo a tramo o como factor multiplicador con las pérdidas por fricción en tuberías con salidas múltiples para determinar las pérdidas totales en un lateral, procedimiento que no se puede efectuar con las otras metodologías.

Palabras clave: múltiples salidas, pérdidas de carga, fricción, conexión del emisor.

Introducción

El riego por goteo es el sistema de riego localizado a presión más eficiente en el suministro de agua —a veces con fertilizante para el suministro a los

Abstract

Bedoya-Cardoso, M., & Ángeles-Montiel, V. (July-August, 2017). Determination of localized losses in drip irrigation. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 8(4), 117-125.

In this paper an experimental research was carry out to compare the pressure losses caused by the connection on line emitter drip irrigation lateral. The connection losses (minor or localized) were obtained experimentally as the difference between the pressures recorded every 10 meters and friction losses in each length, which were compared with four methodologies; the first is the equation of the kinetic load and coefficient of local losses proposed by Bagarello, Ferro, Provenzano and Pumo (1997), the second proposal by Howell and Barinas (1980), the third proposal by Keller and Bliesner (1990), finally a fourth methodology was proposal to evaluate connection loss equivalent and then it was used in the equation of Keller and Bliesner (1990). The best equation was the proposal by Keller and Bliesner (1990), modified in this work. They reached averages lower errors at 5.0% in whole lateral. Furthermore, because of their versatility, it may be used to determine the stepwise loss analysis or as a multiplier factor with frictional losses in pipes with multiple outlets to determine the total losses in a lateral, procedure cannot be performed with the other methodologies.

Keywords: Outflow, head losses, friction, emitter's connecting.

Recibido: 03/07/2013

Aceptado: 03/02/2017

riego son parte de esta red de tuberías y para su diseño se requieren estimar con precisión las pérdidas por fricción y localizadas.

Las ecuaciones para determinar las pérdidas por fricción se han desarrollado con base en numerosas pruebas de laboratorio, en tuberías de distinto diámetro y tipo, las cuales han sido propuestas para expresar la relación entre la velocidad del agua, el diámetro y la rugosidad interna del tubo (Christiansen, 1942), donde la ecuación que más se utiliza para determinar las pérdidas por fricción en riego por goteo es la de Darcy Weisbach (ecuación (1)) debido a su exactitud y completa gama de aplicaciones:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

El único inconveniente para utilizar la ecuación de Darcy Weisbach radica en el cálculo del factor de fricción (f), el cual se solucionó con la ecuación empírica de Blasius (ecuación (2)), para tuberías de diámetro inferiores a 25 mm, con número de Reynolds entre $3\ 000 < Re < 100\ 000$ (Howell & Barinas, 1980; Hathoot, Al-Amoud, & Mohammad, 1993; Brown, 2003; Juana, Rodriguez-Sinobas, & Losada, 2002):

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (2)$$

El número de Reynolds (Re) puede ser calculado con las siguientes expresiones:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (3)$$

O equivalente a:

$$Re = \frac{VD}{\gamma} \quad (4)$$

La determinación de pérdidas por fricción en tuberías con diámetro interno inferior a 25 mm para laterales de riego se estima con la ecuación (5), la cual es el resultado de la combinación algebraica entre las ecuaciones (1) y (4), con temperatura del agua a 18 °C:

$$h_f = 0.000789 * \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} * L \quad (5)$$

El lateral de riego es una tubería con salidas múltiples y la determinación exacta de las pérdidas por fricción en este tipo de tuberías requiere de un análisis tramo por tramo a partir de la última salida y teniendo en cuenta el caudal al inicio del lateral (figura 1).

Para facilitar el análisis, algunos investigadores han propuesto expresiones que agilizan dicho proceso, entre ellos se destacan Christiansen (1942); DeTar (1982); Scaloppi (1988); Cuenca (1989); Anwar, (1999a); Anwar, (1999b); Chinea y Domínguez (2006), y los más recientes, Ángeles, Carrillo, Ibáñez, Arteaga y Vázquez, (2009); sin embargo, la ecuación que más se utiliza es la de Christiansen:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \quad (6)$$

Las pérdidas por fricción en tuberías con salidas múltiples se determinan con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$H_f = h_f * F \quad (7)$$

a partir de la hipótesis de que las pérdidas menores que se generan por la deformación del tubo y la barra sólida del emisor insertado se pueden despreciar. Algunos diseñadores de sistemas de riego han ocasionado deficiencias en dichos sistemas, pues un número considerable de emisores puede convertirse en un porcentaje importante en las pérdidas de carga total (Yildirim, 2010). Por lo anterior, algunos investigadores han propuesto expresiones para determinar dichas pérdidas, haciendo relaciones entre el área del tubo y la que ocupa el gotero dentro del tubo (Bagarello *et al.*, 1997; Provenzano & Pumo, 2004; Demir, Yurdem, & Degirmencioglu, 2007).

Las pérdidas menores (h_m) se expresan en la ecuación clásica de la carga cinética multiplicada por el coeficiente de pérdida locales (α).

$$h_m = \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

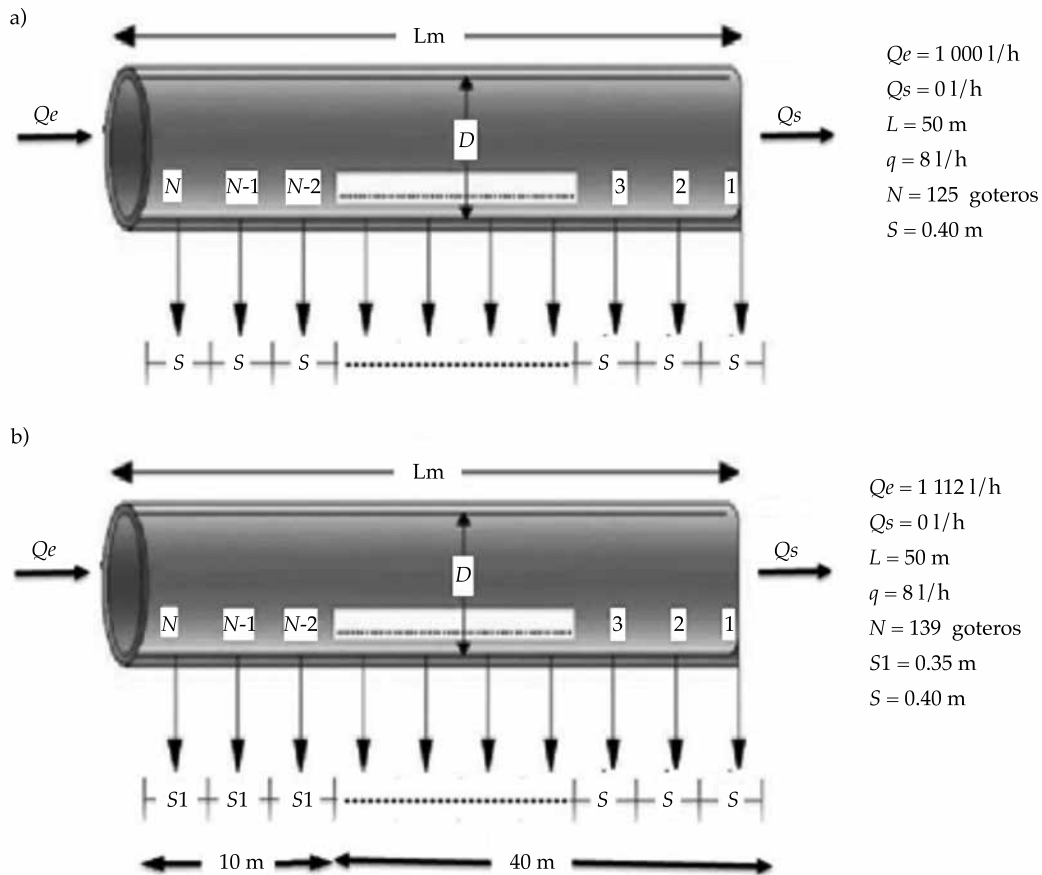


Figura 1. Tubería con salidas múltiples; a) lateral tradicional, b) lateral propuesto.

Bagarello *et al.* (1997), en su investigación experimental, deducen un procedimiento para evaluar las pérdidas locales debido a la protuberancia de la parte sólida del emisor en la línea del flujo de riego por goteo. El coeficiente de las pérdidas locales (ecuación (10)) corresponde a diferentes sistemas de emisores sobre línea, con diferentes valores de número de Reynolds, y cada sistema de emisor se caracterizó por un índice de obstrucción (*OI*) (ecuación (9)):

$$OI = \left(\frac{1-r^2}{r^2} \right)^{0.645} \quad (9)$$

$$\alpha = 1.68 * (OI)^{0.645} \quad (10)$$

El coeficiente de pérdidas locales α (ecuación (11)) incluye ambas características: la de conexión del emisor y la deformación de la tubería que rodea el vástago (parte insertada del emisor), definida en los rangos $1.0 < A_p/A_g < 1.44$ (Demir *et al.*, 2007):

$$\alpha = 1.68 \left(\frac{A_p}{A_g} - 1 \right)^{1.29} \quad (11)$$

Howell y Barinas (1980) trabajaron con seis diferentes tipos de emisores sobre línea, donde establecieron la siguiente expresión empírica para determinar las pérdidas localizadas como longitud equivalente:

$$l_e = C_e * Q^M \quad (12)$$

Los parámetros ($C_e = 0.0000066$ y $M = 1.32$) dependen del tipo de emisor sobre línea.

Keller y Bliesner (1990) proponen la ecuación (13) para expresar las pérdidas de carga por conexión en longitud equivalente del lateral:

$$J = \left(\frac{S_e + f_e}{S_e} \right) \quad (13)$$

Esta última ecuación tiene el inconveniente de calcular la longitud equivalente de pérdidas de carga por conexión por medio de un gráfico que se debe reajustar ($f_e = 0.18$).

En este trabajo se muestran los resultados de la investigación experimental sobre las pérdidas localizadas que se generan en laterales de riego con emisores sobre línea, después de verificar la aplicabilidad de las diferentes ecuaciones para determinar las pérdidas por fricción y localizadas descritas anteriormente.

Materiales y métodos

En el experimento se utilizaron dos laterales de polietileno (PE) de 50 metros de longitud, con diámetro interior de 13.5 mm; en el primer lateral se insertaron goteros sobre línea espaciados 0.40 metros; y en el segundo se insertaron a cada 0.40 metros en el primer tramo (10 metros), y 0.35 metros los restantes 40 metros del lateral (figura 1).

El área de la tubería (A_p) y el área que ocupa el gotero dentro de la tubería (A_g), que se utilizan en la estimación de las pérdidas localizadas, se evaluaron con la digitalización de cinco fotografías tomadas al sistema tubería-gotero, como muestra la figura 2, con la ayuda del programa *AutoCAD 2007*.

El diámetro interno de la tubería de PE se midió en cinco cortes de muestras de 0.10 metros por medio del calibrador vernier de pie de rey digital (con 0.02 mm/0.001" de exactitud). Esta medida se realizó dos veces por cada muestra, posteriormente se establece el promedio.

En la figura 3, a cada 10 metros se instaló una toma de presión para hacer tres lecturas y estimar su promedio, y se compararon dichas pérdidas (por fricción y localizadas) obtenidas experimentalmente y las calculadas con las ecuaciones anteriormente descritas (cuadro 1).

Las pérdidas localizadas experimentalmente se calcularon como la diferencia entre la presión arrojada cada 10 metros y las pérdidas por fricción que se generaron en cada tramo. Los datos se analizaron con la ayuda del programa Excel 2010 de Microsoft y la herramienta *Cftools* del programa *Matlab 2010 (curve fitting tool)*.

La presión de operación de la entrada del lateral fue de 1.83 kg cm⁻², que se controló con una válvula de compuerta y se registró en un manómetro de glicerina (figura 4). Los goteros empleados fueron autocompensados de 8 l/h, marca Naandanjan, cuya presión de apertura es de 8 m.c.a.

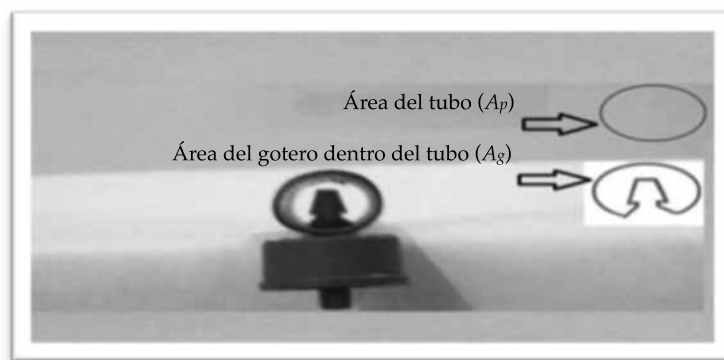


Figura 2. Corte de tubería y sección del emisor.

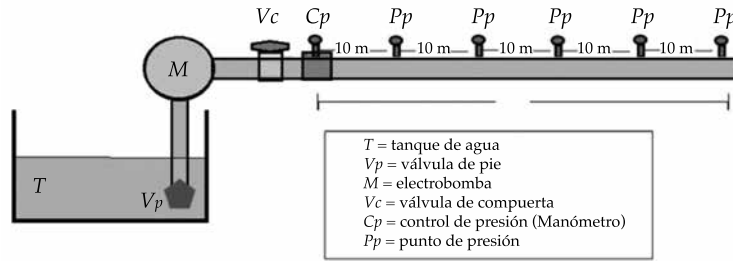


Figura 3. Montaje del sistema experimental.

Cuadro 1. Metodologías empleadas para comparar pérdidas menores o localizadas.

Metodología	Pérdidas en tubería con salidas múltiples	Pérdidas menores	Pérdidas totales en lateral
Bagarello <i>et al.</i> (1997)	$H_t = h_f * F$	$\alpha = 1.68 \left(\frac{A_p}{A_g} - 1 \right)^{1.29}$ y $h_m = \alpha \frac{V^2}{2g}$	$H_f = h_f * F + h_m$
Howell y Barinas (1980)	$H_t = h_f * F$	$l_e = C_e * Q^M$	$H_f = h_f * F + l_e$
Keller y Bliesner (1990)	$H_t = h_f * F$	$(f_e = 0.18)$ y $J = \frac{S_e + f_e}{S_e}$	$H_f = h_f * F + J$
Keller y Bliesner (1990) modificada	$H_t = h_f * F$	$(f_e = 0.305 \left(\frac{A_p}{A_g} \right)^2 - 0.0607 \left(\frac{A_p}{A_g} \right) - 0.2563)$ y $J * = \left(\frac{S_e + f_e}{S_e} \right)$	$H_f = h_f * F + J *$



Figura 4. Control de presión en la entrada del lateral.

Se determinó la ecuación del emisor o relación carga-gasto con presiones superiores e inferiores a su presión nominal de trabajo, sometiendo a los goteros a 2.11, 1.76, 1.41, 1.05 y 0.7 kg cm⁻², con intervalos que no rebasaron los cinco metros.

Resultados

Pérdidas por fricción

Registradas las presiones en las cinco tomas, ubicadas cada 10 metros (m) a lo largo de la tubería de polietileno (PE) en los dos laterales evaluados, se establece la distribución de las mismas (cuadros 2 y 3).

Estos resultados de la columna 4 de los cuadros 2 y 3 son similares a los publicados por Boswell (1990), citado por Andrade (2009), el cual dice que: “la caída media de la presión total

se produce en los primeros 22% de la longitud y la presión media está a 38% de la longitud de entrada, cuando el lateral está a nivel”.

De igual forma, en los últimos 10 metros del lateral (80 y 100% l) ocurre entre el 3.36 y 0.66% de las pérdidas totales, resultados equivalentes a los publicados por Valiantzas (2005), en el cual manifiesta que: “el último 20% de la longitud de la manguera de goteros contribuye aproximadamente con el 1% del total de las pérdidas por fricción a lo largo del lateral”.

Pérdidas menores

Las pérdidas menores se establecieron utilizando las ecuaciones de la columna 3 del cuadro 1. En esta columna se propone la ecuación (14) para calcular la longitud equivalente de pérdidas de carga por conexión después de analizar los datos experimentales. La herramienta *Cftools*

Cuadro 2. Distribución de presiones en el lateral con espaciamientos de 0.40 metros con pendiente cero.

Promedios de presión (kg cm ⁻²)	% longitud	Longitud acumulada (m)	Pérdidas de carga cada 10 m ¹	Pérdidas acumuladas
1.828	0.00			
1.195	20.00	10	48.65%	48.65%
0.861	40.00	20	25.68%	74.32%
0.668	60.00	30	14.86%	89.19%
0.562	80.00	40	8.11%	97.30%
0.527	100.00	50	2.70%	100.00%

Pérdidas porcentuales de presión cada 10 metros respecto al rango de presión (1.828-0.527 kg cm⁻²) primer tramo; [(1.828-1.195) / 1.301] * 100 = 48.65%.

Cuadro 3. Distribución de presiones en el lateral con espaciamiento 0.40 y 0.35 metros con pendiente cero.

Promedio de presión (kg cm ⁻²)	% Longitud	Longitud acumulada (m)	Pérdidas de carga cada 10 m ¹	Pérdidas acumuladas
1.828	0.00			
1.160	20.00	10	50.00%	50.00%
0.773	40.00	20	28.95%	78.95%
0.536	60.00	30	17.76%	96.71%
0.501	80.00	40	2.63%	99.34%
0.492	100.00	50	0.66%	100.00%

Pérdidas porcentuales de presión cada 10 metros respecto al rango de presión (1.828-0.492 kg cm⁻²) primer tramo; [(1.828-1.160) / 1.336] * 100 = 50.00%

de *Matlab 2010* mostró que el mejor método experimental fue el polinomio cuadrático, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9997$), en comparación con el Gaussiano y el potencial. Es importante mencionar que después de realizar la digitalización de las fotografías, se estimó en 1.375 la relación de áreas $\frac{A_p}{A_g}$:

$$fe = 0.305 \left(\frac{A_p}{A_g} \right)^2 - 0.0607 \left(\frac{A_p}{A_g} \right) - 0.2563 \quad (14)$$

En el cuadro 4 se comparan las pérdidas que se generaron de forma experimental o la caída de la presión a lo largo del lateral (columna 1) con los resultados, empleando diferentes metodologías (columnas 6, 7, 8 y 9). Se afirma que las metodologías de Bagarello *et al.* (1997), y la propuesta de Keller y Bliesner (1990), modificada en este trabajo (columnas 6 y 9), son las que mejor estiman las pérdidas en el lateral tradicional, con errores inferiores al 11.40% en los primeros 20% de la longitud de la tubería, y errores inferiores al 6.0% en los tramos comprendidos entre 80 y 100% de la longitud de la tubería. Es importante recordar que en este

tramo ya se ha producido más de 97% de las pérdidas de carga total (columna 4, cuadro 2).

Sin embargo, de estas dos metodologías, la que mejor estimó las pérdidas por conexión en el lateral tradicional es la propuesta por Keller y Bliesner (1990) modificada, pues alcanzó un error promedio en todo el lateral de 4.85%.

En el cuadro 5 se comparan las pérdidas generadas de forma experimental (columna 1) con los resultados, empleando cuatro metodologías (columnas 6, 7, 8 y 9). Se confirma que las metodologías propuestas por Bagarello *et al.* (1997), y por Keller y Bliesner (1990) (columnas 6 y 8) son las que mejor estiman las pérdidas en el lateral propuesto, arrojando errores inferiores a 6.0% en los primeros 20% de la longitud del lateral, y errores inferiores al 13% en los tramos comprendidos entre 60 y 80% de la longitud de la tubería. En dicho tramo ya se ha producido más de 96% de las pérdidas de carga total (columna 5, cuadro 3).

No obstante, de estas dos metodologías, la que mejor predijo las pérdidas por conexión en el lateral propuesto fue la de Keller y Bliesner (1990), logrando un error promedio en todo el lateral de 4.20%.

Cuadro 4. Pérdidas totales en el lateral espaciado a 0.40 metros (tradicional).

Presión ¹ (m.c.a.)	Pérdidas				Diferencias			
	(H _p) ² (m)	(H _p) ³ (m)	(H _p) ⁴ (m)	(H _p) ⁵ (m)	(D _p) ⁶ (m)	(D _p) ⁷ (m)	(D _p) ⁸ (m)	(D _p) ⁹ (m)
18.28								
11.95	5.09	4.49	4.54	4.98	13.19	13.79	13.74	13.30
8.44	3.23	3.01	2.95	3.24	8.73	8.94	9.00	8.71
6.42	1.75	1.76	1.65	1.81	6.69	6.67	6.79	6.63
5.62	0.70	0.80	0.69	0.75	5.72	5.62	5.73	5.66
5.19	0.12	0.17	0.13	0.14	5.50	5.45	5.50	5.49
Suma	10.88	10.23	9.94	10.92				

Presión a lo largo del lateral.

Pérdidas totales metodología Bagarello *et al.* (1997).

Pérdidas totales metodología Howel y Barinas (1980).

Pérdidas totales metodología Keller y Bliesner (1990).

Pérdidas totales metodología Keller y Bliesner (1990) y modificada.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 2.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 3.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 4.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 5.

Cuadro 5. Pérdidas totales en el lateral espaciado a 0.40 y 0.35 metros (propuesto).

Presión ¹ (m.c.a)	Pérdidas				Diferencias			
	(H _r) ² (m)	(H _r) ³ (m)	(H _r) ⁴ (m)	(H _r) ⁵ (m)	(D _r) ⁶ (m)	(D _r) ⁷ (m)	(D _r) ⁸ (m)	(D _r) ⁹ (m)
18.28								
11.60	6.56	5.61	6.02	6.66	11.72	12.67	12.26	11.62
7.73	4.40	3.93	3.93	4.35	7.20	7.67	7.68	7.26
5.36	2.45	2.38	2.26	2.50	5.28	5.35	5.47	5.23
5.01	0.94	1.04	0.9	1.00	4.42	4.32	4.46	4.36
4.92	0.17	0.23	0.17	0.19	4.84	4.78	4.84	4.82
Suma	14.52	13.19	13.28	14.70				

Presión a lo largo del lateral.

Pérdidas totales, metodología Bagarello *et al.* (1997).

Pérdidas totales, metodología Howell y Barinas (1980).

Pérdidas totales, metodología Keller y Bliesner (1990).

Pérdidas totales, metodología Keller y Bliesner (1990) y modificada.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 2.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 3.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 4.

Diferencia entre la presión manométrica (columna 1) y las pérdidas totales de la columna 5.

Coeficiente de variación

El coeficiente de variación de los goteros seleccionados fue 3.9%.

Conclusiones

La mejor ecuación para predecir las pérdidas por conexión en los laterales evaluados fueron la propuesta por Keller y Bliesner (1990), modificada en este trabajo, pues alcanza errores promedios en todo el lateral inferiores a 5.0%. De igual forma, esta ecuación tiene la versatilidad de emplearse para calcular las pérdidas menores tramo por tramo (procedimiento laborioso, que se efectúa con hojas de cálculo), y también se puede utilizar como factor multiplicador con las pérdidas por fricción en tuberías con salidas múltiples para estimar las pérdidas totales, procedimiento que no se puede llevar a cabo con las otras ecuaciones utilizadas, al ser necesario calcular las pérdidas por conexión tramo por tramo.

Referencias

Andrade, L. A. (2009). *Estudo da uniformidade de emissão de água utilizando diferentes espaçamentos entre gotejadores na*

linha lateral (105 pp.). Doctoral dissertation. São Paulo: Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

Ángeles, M. V., Carrillo, M., Ibáñez, L. A., Arteaga, R., & Vázquez, M. A. (2009). Estrategias alternativas en la determinación del factor de ajuste en el cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples, *Ingeniería del Agua*, 16(1), 41-50.

Anwar, A. A. (1999a). Factor G for pipelines with equally spaced multiple outlets and outflow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(1), 34-38.

Anwar, A. A. (1999b). Adjusted factor G for pipelines with multiple outlets and outflow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(6), 355-359.

Bagarello, V., Ferro, V., Provenzano, G., & Pumo, D. (1997). Evaluating pressure losses in drip-irrigation lines. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(1), 1-7.

Brown, G. O. (2003). The history of the Darcy-Weisbach equation for pipe flow resistance (pp. 34-43). In: *Environmental and Water Resources History*. Washington, D.C., United States. American Society of Civil Engineers.

Cuenca, R. H. (1989). *Irrigation system design. An engineering approach*. Oregon, USA: Prentice Hall, Oregon State University.

China, R. R., & Dominguez, A. (2006). Total friction loss along multiple outlets pipes with open end. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132(1), 31-40.

Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation by sprinkling* (124 pp.). California Agriculture Experiment Station Bulletin no.670. Davis, USA: University of California.

- Demir, V., Yurdem, H., & Degirmencioglu, A. (2007). Development of prediction models for friction losses in drip irrigation laterals equipped with integrated in-line and on-line emitters using dimensional analysis. *Biosystems Engineering*, 96(4), 617-631.
- DeTar, W. R. (1982). Modified graphical determination of submain size. *Trans. ASAE*, 25(3), 695-696.
- Hathoot, H. M., Al-Amoud, A. I., & Mohammad, F. S. (1993). Analysis and design of trickle-irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(5), 756-767.
- Howell, T. A., & Barinas, F. A. (1980). Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 23(4), 928-933.
- Juana, L., Rodriguez-Sinobas, L., & Losada, A. (2002). Determining minor head losses in drip irrigation laterals I: Methodology. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(6), 376-384.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Springer Science + Bussines Media.
- Provenzano, G., Pumo, D. (2004). Experimental analysis of local pressure losses for micro irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(4), 318-324.
- Scaloppi, E. J. (1988). Adjusted F factor for multiple-outlet pipes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 114(1), 169-174.
- Valiantzas, J. D. (2005). Modified Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equations for friction and local head losses along irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(4), 342-350.
- Yildirim, G. (2010). Total energy loss assessment for trickle lateral lines equipped with integrated in-line and on-line emitters. *Irrigation Science*, 28(4), 341-352.

Dirección institucional de los autores

Dr. Marlio Bedoya-Cardoso

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Agrícola
Avenida Pastrana Borrero Carrera 1 Neiva Huila
COLOMBIA
Teléfono: +57 (88) 754 753, ext. 1072
marlio.bedoya@usco.edu.co

Dr. Vicente Angeles-Montiel

Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Irrigación
Kilómetro 38.5 Carretera México-Texcoco
56230 Texcoco de Mora, Estado de México, MÉXICO
Teléfonos: +52 (595) 9521 500 y 952 1649
vangelesm@msn.com