

¿Es posible mejorar la uniformidad de riego utilizando diferentes espaciamentos entre emisores?

• Marlio Bedoya-Cardoso* • Vicente Ángeles-Montiel •
Universidad Autónoma Chapingo

*Autor de correspondencia

Resumen

Bedoya-Cardoso, M. & Ángeles-Montiel, V. (noviembre-diciembre, 2014). ¿Es posible mejorar la uniformidad de riego utilizando diferentes espaciamentos entre emisores? *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 167-175.

Las pérdidas por fricción y localizadas, el espaciamento entre emisores, la pendiente del terreno, la velocidad de descarga y el régimen del emisor son parámetros importantes para determinar la uniformidad de riego (aplicación). Por lo anterior, el presente trabajo se realizó con el fin de mejorar y predecir la uniformidad de aplicación, utilizando diferentes espaciamentos entre emisores en laterales y proponiendo estrategias alternativas de aforo de emisores en laterales que tiendan a reducir el número de lecturas. Las pruebas se realizaron en dos laterales de 50 metros (m) de longitud y 13.5 milímetros de diámetro interior; en el primer lateral se trabajó con espaciamento constante de 0.40 m (tradicional) y para el segundo lateral, espaciamentos distintos de 0.40 m en los primeros 10 m y 0.35 m hasta el final (propuesto). Todos los goteros de los laterales se aforaron tres veces para determinar su promedio. Los resultados indican que la propuesta de espaciamentos distintos para laterales de riego mejora entre un 2.0 y 2.37% la uniformidad de riego, en comparación con el espaciamento constante; sin embargo, para un $\alpha = 0.05$, estas mejoras no son estadísticamente significativas. Por último, la propuesta de aforar goteros a 25-50-75 y 20-40-80% de la longitud del lateral predicen bien la uniformidad de aplicación, con un nivel de significancia del 95% en la prueba de hipótesis de varianza.

Palabras clave: diámetro húmedo, goteros, uniformidad de aplicación, pérdidas por fricción y localizadas.

Introducción

La pérdida de carga en tuberías con salidas múltiples igualmente espaciadas será de menor magnitud que la pérdida de carga en una tubería similar que transmite el gasto completo sobre to-

Abstract

Bedoya-Cardoso, M. & Ángeles-Montiel, V. (November-December, 2014). Is it Possible Improve the Irrigation Uniformity Using Different Spacing between Emitters? *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 5(6), 167-175.

Friction and localized losses, the spacing between emitters, the slope of the ground, the emitter flow rate and flow regimen, are important parameters to determine the irrigation uniformity (application), by these considerations, the present study was performed to predict and improve the emission uniformity, using different spacing between drippers on laterals and proposing alternative strategies for the measurement of lateral emitters that tend to reduce the number of readings. The tests were conducted on two laterals of 50 meters (m) length and 13.5 millimeters inside diameter. On the first lateral, a constant spacing of 0.40 m (traditional) was used, and on the second lateral a different spacing was used, 0.40 m in the first 10 m section and 0.35 m spacing in the other 40 m (proposed). All the emitters of the two laterals are gauged 3 times to determine their average. The results indicate that the proposal of different spacing in irrigation laterals improve between 2.0 to 2.37% application uniformity compared with constant spacing, however with $\alpha = 0.05$ these improvements aren't statistically significant. Finally the measure proposal emitters at 25-50-75 and 20-40-80% of the lateral length predict well the application uniformity, with a significance level of 95% in the hypothesis test of variance,

Keywords: Wetting diameter, different spacing, drippers, emission uniformity, localized and friction losses.

Recibido: 22/06/12

Aceptado: 25/04/14

da su longitud debido a que el gasto se disminuye establemente cada vez que pasa por una salida (García & Briones, 2007). Una tubería con salidas múltiples es una estructura hidráulica, cuyo diseño está limitado por la presión de entrada, la topografía del terreno y por la uniformidad

de aplicación de agua que se ve afectada por la pérdida total de energía a lo largo de la tubería, así como por las características hidráulicas de la salida (Yildirim, 2006).

La determinación exacta de las pérdidas por fricción en una tubería con salidas múltiples requiere de un análisis tramo por tramo a partir de la última salida; para evitar este incómodo análisis, algunos investigadores han propuesto expresiones que agilizan dicho proceso, entre ellos se destacan: Christiansen, 1942; Scaloppi, 1988; Anwar, 1999a; Anwar, 1999b; Chinea y Dominguez, 2006; y el más reciente, Ángeles, Carrillo, Ibáñez, Arteaga y Vázquez, 2009.

Algunos diseñadores de sistemas de riego a presión, partiendo de la hipótesis que las pérdidas menores generadas por la deformación del tubo y la barra sólida del emisor insertado se pueden despreciar, han ocasionado deficiencias en dichos sistemas, pues un número considerable de emisores pueden convertirse en un porcentaje importante en las pérdidas de carga total; por lo anterior, investigadores han propuesto ecuaciones para determinar dichas pérdidas, haciendo relaciones entre el área del tubo y la que ocupa el gotero dentro del tubo (Martínez, 1991; Bagarello, Ferro, Provenzano, & Pumo, 1997; Provenzano & Pumo, 2004; Demir, Yurdem, & Degirmencioglu, 2007).

Las pérdidas totales (fricción más menores) y el espaciamiento entre emisores afectan la distribución de agua en un lateral de riego, por ello se han desarrollado expresiones numéricas que sirven como índice para asegurar una uniformidad y con este propósito se utilizan expresiones llamadas coeficientes de uniformidad (C_u), las cuales son expresadas en porcentaje y han sido trabajadas por Christiansen (1942), Keller y Karmeli (1974), Karmeli y Keller (1975), y Barragán, Bralts y Wu (2005).

Metodología

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del laboratorio de ingeniería de riego campo: Tlapeaxco, Montecillo y la Cerona de

la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en el km. 38 carretera México-Texcoco, con las coordenadas 19° 29' latitud norte, 98° 54' latitud oeste, a una altura de 2 250 msnm.

Espaciamiento entre emisores

En tres sitios de dos clases texturales (franco arcillo arenoso y arcilloso) del laboratorio de ingeniería de riego se puso en funcionamiento un pequeño sistema de riego a presión con tubería de 13.5 mm de diámetro interior, en la que se insertó un gotero de 8 litros por hora (l/h), para que suministrara un volumen de 12 litros; posteriormente se midió el diámetro húmedo formado con una aplicación de 6, 9 y 12 litros. Es importante mencionar que cada 15 minutos se realizaba un aforo para corregir el tiempo de aplicación.

Determinación de la presión del lateral

La presión de operación fue 1.83 kg cm⁻² (26 PSI), con la cual se asegura que al final de este lateral llegara la presión de trabajo del gotero, ya que el rango de operación de estos goteros es de 0.49 a 4.22 kg cm⁻² (7-60 PSI); esta presión de operación se determinó con la siguiente expresión:

$$h_l = h_o + \left(\frac{3}{4}\right)h_f^* \quad (1)$$

Donde h_l es presión a la entrada del lateral; h_o , la presión de operación del emisor; h_f^* las pérdidas por fricción corregidas de la tubería.

Las pérdidas por fricción se calcularon utilizando una relación matemática entre la ecuación de Darcy-Weisbach y Blasius, la cual es afectada por la temperatura del agua y a 18 °C esta relación es la siguiente:

$$h_f = 0.000798 * \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} * L \quad (2)$$

Donde Q es el caudal total del lateral (m³ s⁻¹); D , el diámetro de la tubería (m); L , la

longitud del lateral (m). Con la ecuación (2) se determinan las pérdidas por fricción en una tubería cerrada, pero para convertirlas a pérdidas en tuberías con salidas múltiples se multiplican con el factor de Christiansen (1942), expresado de la siguiente forma:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \quad (3)$$

Donde F es el factor de Christiansen; m , el exponente de la velocidad en la fórmula usada para calcular la pérdida de presión causada por la fricción ($m = 1.75$), y N es el número de salidas a lo largo de la tubería.

Las pérdidas por conexión (menores) se expresaron en longitud equivalente, utilizando la ecuación de Martínez (1991):

$$J = \frac{(se + fe)}{se} \quad (4)$$

Donde J es la pérdida por conexión (adimensional); S_e es la separación entre emisores (m), y f_e es la longitud equivalente de la pérdida de carga por conexión (m), cuyo valor es 0.15 m.

Las pérdidas totales en la tubería o pérdidas por fricción corregidas por la conexión del emisor están dadas por la siguiente expresión:

$$h_f^* = h_f * F * J \quad (5)$$

Estimación del coeficiente de uniformidad

Una vez fijada la presión de operación se hizo el respectivo aforo volumétrico con la ayuda de un bote calibrado y un cronómetro para establecer la cantidad de agua que se estaba suministrando a los laterales con dicha presión. Este procedimiento se hizo tres veces, luego se conectó el primer lateral con espaciamiento constante de 0.40 m (tradicional), en el cual se aforaron los 125 goteros tres veces para determinar su promedio; el mismo

procedimiento se hizo para el lateral con espaciamientos distintos de 0.40 m en los primeros 10 m y 0.35 m en los restantes 40 m (propuesta), pero en éste se midieron 139 emisores; dicho procedimiento se realizó con dos repeticiones.

La presión de operación en los dos laterales (tradicional y propuesto) se verificó y ajustó cada diez metros, cuando ya se habían aforado por lo menos 25 goteros, para asegurar la misma presión de operación en toda la medición.

Después de generados los resultados en los dos laterales (tradicional y propuesto), se determina el coeficiente de uniformidad (aplicación), utilizando las ecuaciones (6), (7) y (8) de Keller y Karmeli (1974), y Karmeli y Keller (1975):

$$C_u = 100 * \left[1 - u + u * \frac{q_{25\%h}}{q_{medh}} \right] * \frac{q_{mínd}}{q_{medd}} \quad (6)$$

$$C_u = 100 * \frac{q_{25\%h}}{q_{medd}} \quad (7)$$

$$C_u = 100 * \left[1 - \frac{1.27 * Cvf}{\sqrt{ep}} \right] * \frac{q_{mínd}}{q_{medd}} \quad (8)$$

Donde C_u es el coeficiente de uniformidad (aplicación); $q_{25\%h}$ el caudal medio del 25% de los emisores de menor caudal (l/h); q_{medh} el caudal medio (l/h) de la muestra de emisores operados a presión de referencia (26 PSI); $q_{mínd}$ el caudal mínimo (l/h); q_{medd} el caudal medio de dimensionamiento o diseño (l/h); Cvf , el coeficiente de variación de fabricación, y ep es el número de emisores por planta.

Además de las anteriores ecuaciones, se utiliza la expresión de coeficiente de uniformidad propuesto por Barragán et al. (2005):

$$C_u = 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{q_{mínd}}{q_{medd}} \right)^2 + \left(\frac{1.27 * Cvf}{\sqrt{ep}} \right)^2} \quad (9)$$

Método para propuesta de aforo

Para predecir la uniformidad de aplicación en laterales de riego con emisores autocompensados, sin la necesidad de aforar todos los goteros, se estableció el tamaño de muestra con la expresión que se describe a continuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * S^2}{d^2 * (N - 1) + (Z^2 * S^2)} \quad (10)$$

Donde N es el número total de emisores; Z , la seguridad del 95%, con coeficiente de 1.96; S^2 , la varianza, y d es el error esperado 0.13 (l/h). Luego de fijado el número de emisores a medir por la ecuación (10), se diseñaron cuatro procedimientos para seleccionar los goteros a medir a lo largo del lateral; estos procedimientos se describen a continuación:

1. Se generaron números aleatorios del 1 al 125 de 50 muestras de tamaño $n = 5, 10, 15, 20, 25, 30$, para el lateral tradicional y números aleatorios del 1 al 139 de 50 muestras de tamaño $n = 5, 10, 15, 22, 30$, para el lateral propuesto, el tamaño de la muestra en los dos laterales no es igual por tener diferentes variaciones.
2. En este procedimiento se divide el lateral en cuatro partes iguales para realizar los aforos en tres sitios ubicados a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de la longitud del lateral; cada sitio sirvió como punto medio, ya que se aforaron emisores antes y después de dicho punto.

3. Se decide aforar los goteros que se encuentran a 20, 40 y 80% de la longitud del lateral debido a que en estas longitudes se produce 50, 75 y 97% de las pérdidas por fricción en el lateral.
4. En el cuarto y último procedimiento se resuelve aforar los goteros ubicados a 20, 40 y 60% de la longitud del lateral, debido a que en estas longitudes se produce 50, 75 y 93% de las pérdidas por fricción del mismo.

Procedimiento para el análisis de resultados

Los datos arrojados en este trabajo fueron tabulados, analizados y graficados con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel del programa *Microsoft 2010*, en la cual se determinaron los promedios, varianzas y coeficientes de uniformidad; asimismo, se realizó la prueba de hipótesis de varianza con nivel de significancia de 95%, para determinar si el mejoramiento en la uniformidad de aplicación y los procedimientos de aforo presentaban diferencias relevantes.

Resultados

Diámetro húmedo y selección de espaciamiento

El promedio de los diámetros húmedos formados en los tres sitios con un volumen de aplicación de 12 litros fue de 0.416 m (cuadro 1); por tal razón se decide seleccionar un espaciamiento de 0.4 m para el lateral tradicional y para el lateral propuesto espaciamiento

Cuadro 1. Diámetro húmedo formado con gotero de 8 l/h.

Sitio de prueba	Volumen de agua aplicado (l)	Diámetro húmedo (m)
Lote 1	6.0	0.450
	9.0	0.470
	12.0	0.495
Lote 2	6.0	0.303
	9.0	0.335
	12.0	0.365
Lote 3	6.0	0.308
	9.0	0.345
	12.0	0.388

de 0.4 m en el primer tramo de 10 m y 0.35 m para los restantes 40 m.

Presión de operación en los laterales

Los resultados de la ecuación (4) para el lateral tradicional y propuesto fueron 1.34 y 1.42 (adimensional), respectivamente. Las pérdidas por fricción en tuberías con salidas múltiples se calcularon utilizando las ecuaciones (2) y (3), para los dos laterales (tradicional y propuesto), las cuales fueron de 6.86 y 8.77 m, respectivamente; luego se corrigieron con el valor de J (ecuación (4)).

Con las pérdidas por fricción corregidas y presión de operación del emisor (1 kg cm^{-2} ; 10 m), se estableció la presión al inicio del lateral utilizando la ecuación (1).

Determinación del coeficiente de uniformidad

En el cuadro 2 se pueden ver los resultados de los coeficientes de uniformidad de los dos laterales utilizando las ecuaciones (6), (7), (8) y (9), en él se observa que el mejoramiento del coeficiente de uniformidad utilizando el espaciamiento distinto entre emisores frente al espaciamiento constante se encuentra entre 0.45 y 2.37% (columna 8), pero la prueba de hipótesis de varianza realizada con un nivel de significancia del 95% muestra que no existen diferencias relevantes entre los laterales, lo cual indica que las varianzas son iguales.

Propuestas de aforo, primer procedimiento

En las figuras 1 y 2 se observa el comportamiento de los diferentes coeficientes de uniformidad, con 50 muestras aleatorias de tamaño $n = 5$ y $n = 25$, respectivamente; con ellas se puede afirmar que su uso es inexacto al momento de predecir la uniformidad, ya que la probabilidad de encontrar errores inferiores al 5% es de tan sólo el 18% en todas las fórmulas; esta probabilidad se determinó con las 50 muestras, teniendo como referencia el coeficiente de uniformidad de todo el lateral aforado.

Propuesta de aforo, segundo y tercer procedimiento

La utilización del segundo y tercer procedimiento para predecir la uniformidad de aplicación en el lateral tradicional sin necesidad de aforar todos los goteros con dos repeticiones generó errores inferiores al 4.2 y 3.7%, respectivamente (cuadro 3). Igualmente, en el lateral propuesto, el uso del segundo y tercer procedimiento para estimar la uniformidad de aplicación con dos repeticiones generó errores inferiores al 6.3 y 6.6%, respectivamente (cuadro 4).

Para establecer si los errores en predicción de la uniformidad de aplicación con el segundo y tercer procedimiento son relevantes, se realizó una prueba de hipótesis de varianzas con los dos laterales (tradicional y propuesto), contra las varianzas de los procedimientos mencionados anteriormente; en ella se com-

Cuadro 2. Coeficientes de uniformidad en los dos laterales.

Ecuaciones de coeficientes de uniformidad	Primera repetición			Segunda repetición			$M^4 = (D1-D2)$
	$L.T^1$ %	$L.P^2$ %	$D1 = (L.T-L. P)^3\%$	$L.T^1$	$L.P^2$	$D1 = (L.T-L. P)^3$	
Ecuación (7)	75.35	78.87	3.52	77.91	79.13	1.22	2.37
Ecuación (8)	93.94	94.96	1.02	93.87	93.75	-0.12	0.45
Ecuación (9)	77.76	80.52	2.76	80.46	81.82	1.36	2.06
Ecuación (10)	79.97	82.78	2.81	82.72	84.11	1.39	2.10

¹Coficiente de uniformidad en el lateral tradicional.

²Coficiente de uniformidad en el lateral propuesto.

³Diferencia entre la uniformidad del lateral tradicional y propuesto.

⁴Mejoramiento del coeficiente de uniformidad con el lateral propuesto.

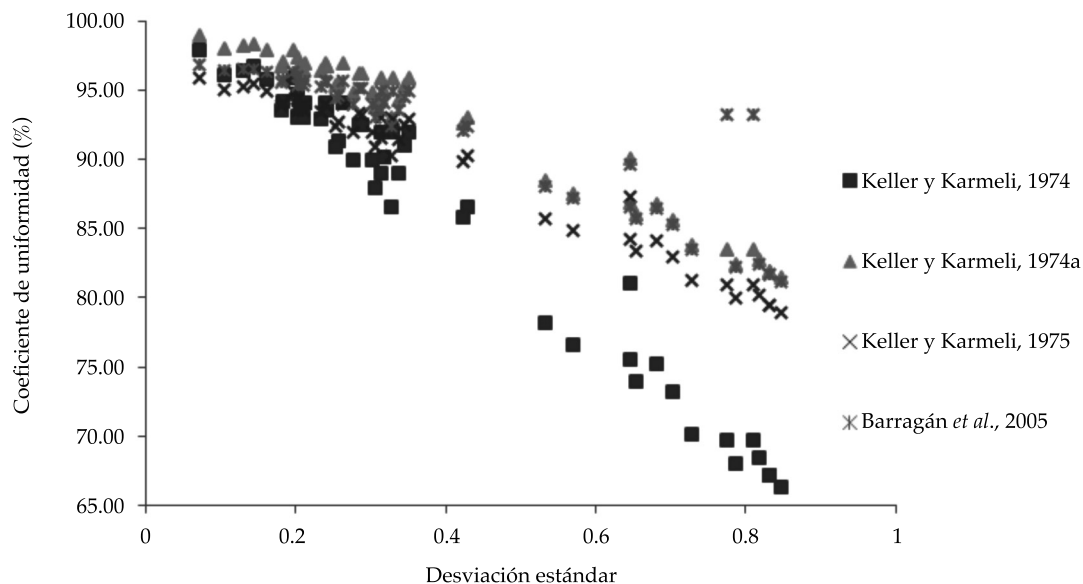


Figura 1. Comportamientos de los coeficientes de uniformidad con $n = 5$.

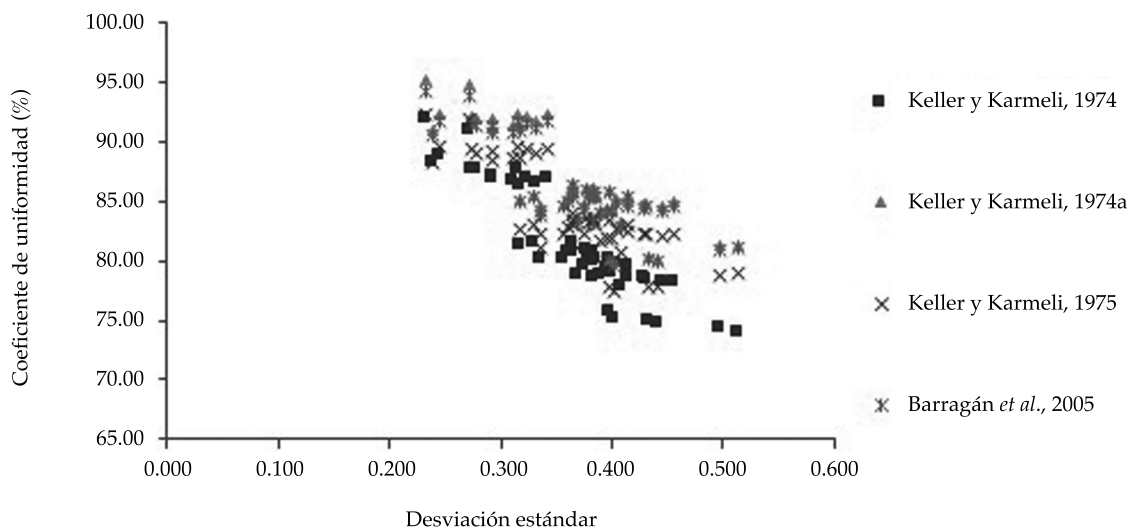


Figura 2. Comportamientos de los coeficientes de uniformidad con $n = 25$.

probó con un nivel de significancia del 95% que no existen evidencias significativas entre los procedimientos de aforo a 25-50-75 y 20-40-

80% de la longitud del lateral, lo que indica que las varianzas en estos dos procedimientos son iguales a la de los dos laterales probados.

Cuadro 3. Estimación de la uniformidad con los procedimientos de aforo en el lateral tradicional.

	Lateral tradicional (espaciamento constante de 0.4 metros), primera repetición				
	Christiansen, 1942	Keller y Karmeli, 1974	Keller y Karmeli, 1974	Karmeli y Keller, 1975	Barragán <i>et al.</i> , 2005
Real (medición completa)	96.76	75.35	93.94	77.76	79.97
2o procedimiento ¹	96.10	73.81	91.96	77.81	80.02
3er procedimiento ²	97.01	79.03	94.39	81.18	83.45
4o procedimiento ³	97.60	90.06	96.29	90.68	92.84
Error 2o procedimiento	0.66%	1.54%	1.98%	0.05%	0.05%
Error 3er procedimiento	0.25%	3.68%	0.45%	3.42%	3.48%
Error 4o procedimiento	0.84%	14.71%	2.35%	12.92%	12.87%
	Lateral tradicional (espaciamento constante de 0.4 metros), segunda repetición				
	Christiansen, 1942	Keller y Karmeli, 1974	Keller y Karmeli, 1974	Karmeli y Keller, 1975	Barragán <i>et al.</i> , 2005
Real (medición completa)	96.67	77.91	93.87	80.46	82.72
2o procedimiento ¹	95.80	81.61	93.65	84.49	86.79
3er procedimiento ²	96.23	78.07	93.46	80.99	83.25
4o procedimiento ³	97.15	91.97	96.53	92.37	94.38
Error 2o procedimiento	0.87%	3.70%	0.22%	4.03%	4.07%
Error 3er procedimiento	0.44%	0.16%	0.41%	0.53%	0.53%
Error 4o procedimiento	0.48%	14.06%	2.66%	11.91%	11.66%

¹Aforo a 25, 50 y 75% de la longitud total.²Aforo a 20, 40 y 80% de la longitud total.³Aforo a 20, 40 y 60% de la longitud total.

Cuadro 4. Estimación de la uniformidad con los procedimientos de aforo en el lateral propuesto.

	Lateral propuesto (espaciamento de 0.4 y 0.35 metros), primera repetición				
	Christiansen, 1942	Keller y Karmeli, 1974	Keller y Karmeli, 1974	Karmeli y Keller, 1975	Barragán <i>et al.</i> , 2005
Real (medición completa)	97.25	78.87	94.96	80.52	82.78
2o procedimiento	97.10	77.92	93.11	81.13	83.40
3er procedimiento	97.01	78.36	92.88	81.79	84.07
3er procedimiento	97.26	79.08	94.82	80.86	83.12
Error 2o procedimiento	0.15%	0.95%	1.85%	0.61%	0.62%
Error 3er procedimiento	0.24%	0.51%	2.08%	1.27%	1.29%
Error 3er procedimiento	0.01%	0.21%	0.14%	0.34%	0.34%
	Lateral propuesto (espaciamento de 0.4 y 0.35 metros), segunda repetición				
	Christiansen, 1942	Keller y Karmeli, 1974	Keller y Karmeli, 1974	Karmeli y Keller, 1975	Barragán <i>et al.</i> , 2005
Real (medición completa)	96.63	79.13	93.75	81.82	84.11
2o procedimiento	96.34	85.25	94.06	87.87	90.15
3er procedimiento	95.81	84.64	93.09	88.16	90.43
3er procedimiento	97.17	93.35	97.24	93.07	94.97
Error 2o procedimiento	0.29%	6.12%	0.31%	6.05%	6.04%
Error 3er procedimiento	0.82%	5.51%	0.66%	6.34%	6.32%
Error 3er procedimiento	0.54%	14.22%	3.49%	11.25%	10.86%

Propuesta de aforo, cuarto procedimiento

Puede verse en los cuadros 3 y 4 que el uso de este procedimiento de aforo a 20-40-60% de la longitud del lateral generó errores inferiores al 14.8% en los dos laterales (tradicional y propuesto). Este error del 14.8% en la estimación de la uniformidad mostró diferencias importantes en la prueba de hipótesis de varianza, con un nivel de significancia del 95%, lo cual indica que la hipótesis nula de varianzas iguales se rechaza.

Conclusiones

La propuesta de espaciamiento distinto entre emisores para laterales de riego, utilizando las ecuaciones (6), (7), (8), y (9), mejora entre un 2.06 y 2.37% la uniformidad de aplicación, en comparación con el espaciamiento constante utilizado, pero la prueba de hipótesis de varianza muestra que con un nivel de significancia del 95% no existen evidencias significativas entre estos dos laterales.

Los procedimientos 2 y 3 son una herramienta práctica para predecir la uniformidad de aplicación, reduciendo el número de lecturas en laterales de riego, pues con ellos se generan errores entre los siguientes rangos: máximo de 6.6% y mínimo de 0.16% en los laterales evaluados; pero con la prueba de hipótesis de igualdad de varianza se muestra con un nivel de significancia de 95% que no existen evidencias importantes entre las varianzas de los procedimientos 2 y 3 frente a las varianzas de los laterales tradicional y propuesto.

Referencias

- Ángeles, V., Carrillo, M., Ibáñez, L. A., Arteaga, R., & Vázquez, M. A. (marzo de 2009). Estrategias alternativas en la determinación del factor de ajuste en el cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples. *Ingeniería del Agua*, 16(1), 41-51.
- Anwar, A. A. (January-February, 1999a). Factor G for Pipelines with Equally Spaced Multiple Outlets and Outflow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 125(1), 34-38.

- Anwar, A. A. (November-December, 1999b). Adjusted Factor Ga 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. (January-February, 1997). Evaluating Pressure Losses in Drip Irrigation Lines. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 123(1), 1-7.
- Barragán, J., Bralts, V., & Wu, I. P. (November, 2005). Assessment of Emission Uniformity for Microirrigation Design. *Byosystems Engineering*, Elsevier, 93(1), 89-97.
- Chineas, R. R., & Dominguez, A. (January-February, 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. University of California, Davis, California. *California Agriculture Experiment Station Bull.*, 670, 124.
- Demir, V., Yurdem, H., & Degirmencioglu, A. (March, 13, 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.
- García, C. I., & Briones, S. G. (2007). *Sistemas de riego por aspersion y goteo* (277 pp.). Segunda edición. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Keller, J., & Karmeli, D. (1974). Trickle Irrigation Design Parameters. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 17(4), 678-684.
- Karmeli, D., & Keller, J. (1975). *Trickle Irrigation Design* (154 pp.). Glendora, USA: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation.
- Martínez, E. R. (1991). *Riego localizado* (161 pp.). Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Provenzano, G., & Pumo, D. (July-August, 2004). Experimental Analysis of Local Pressure Losses for Micro Irrigation Laterals. *J. Irr. and Drain. Engrg.*, ASCE, 130(4), 318-324.
- Scaloppi, E. J. (February, 1988). Adjusted F Factor for Multiple-Outlet Pipes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 114(1), 169-174.
- Yildirim, G., (November-December, 2006). Hydraulic Analysis and Direct Design of Multiple Outlets Pipelines Laid on Flat and Sloping Lands. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132(6), 537-552.

Dirección institucional de los autores

I.A. Marlio Bedoya Cardoso

Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua
Universidad Autónoma Chapingo
Kilómetro 38.5 carretera México-Texcoco s/n
56230 Chapingo, Estado de México, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9549 968
marlio.bedoya@gmail.com

Dr. Vicente Ángeles Montiel

Departamento de Irrigación
Universidad Autónoma Chapingo
Kilómetro 38.5 carretera México-Texcoco s/n
56230 Chapingo, Estado de México, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9521 652
vicamangel@gmail.com