

## **LONGITUD MÁXIMA PERMISIBLE DE CINTILLAS DE RIEGO**

**Miguel Servin Palestina<sup>1\*</sup>; Orlando Ramírez Valle<sup>2</sup>; Arturo Reyes González<sup>3</sup>; José Ángel Cid Ríos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>INIFAP - Campo Experimental Zacatecas. Km. 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, 98500 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México, <sup>2</sup>INIFAP- Campo Experimental Delicias, Km 2 Carretera Delicias Rosales. 33000 Cd. Delicias, Chih., México y <sup>3</sup>INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez no. 1200 pte., colonia Centro. 27440 Matamoros, Coahuila, México.

miguel.servin@hotmail.com (\*Autor de correspondencia)

---

### **Resumen**

Las cintillas de riego consisten en líneas regantes elaboradas generalmente de polietileno flexible con emisores integrados a una separación predeterminada. Para una selección adecuada se debe considerar parámetros hidráulicos. Estas características hidráulicas son proporcionadas por los proveedores y son requeridas para el diseño y determinar la longitud a la que puede extenderse la cintilla considerando una pérdida de carga permisible. Sin embargo, los gastos de los emisores de las cintillas no siempre coinciden con los gastos observados en campo, debido a los múltiples factores involucrados en la distribución del agua de riego sobre las líneas regantes. Una manera que permite comprobar el correcto funcionamiento y la correspondencia de los parámetros técnicos de los catálogos es mediante una evaluación hidráulica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento hidráulico de siete cintillas de riego comerciales para determinar la longitud máxima de operación de la cintilla de riego. El coeficiente de uniformidad (CU) y coeficiente de variación (CV) para las siete cintillas evaluadas se estimaron  $CU > 92\%$  y  $CV > 0.1$  respectivamente, clasificadas como excelentes y buenas con base a los criterios vigentes para cintillas de riego utilizando los indicadores CU y CV. La pérdida de carga observadas fueron 1.81 y 3.02 metros columna de agua (mca) para Eurodrip y I-Tape respectivamente en 100 m de longitud. Las longitudes máximas permisibles estimadas fueron 81.7 m para T-Tape y 135.3 m para Netafim. Los resultados de esta investigación permiten tener herramientas para hacer una selección adecuada de cintillas de riego.

**Palabras claves:** pérdida de carga, riego por goteo, modelo carga-gasto.

## Introducción

El riego localizado tiene la finalidad de suministrar pequeñas cantidades de agua a los cultivos de acuerdo a sus necesidades y son considerados de alta eficiencia (Albornoz y Rodríguez, 2007). La tecnificación de riego debe garantizar que el agua aplicada llegue a la zona radicular, lo que permite la obtención de altos rendimientos (Cun *et al.*, 2009). Dentro de los componentes de un sistema de riego localizado se encuentran: el cabezal de descarga (bomba, filtro, etc.), tubería de conducción, tubería secundaria y líneas regantes. Las líneas regantes son las tuberías que llevan conectado los emisores (Martínez, 1991) y suministran el agua a los cultivos y son las encargadas de llevar el agua desde la línea de distribución o línea secundaria hacia los emisores. Las cintillas de riego son un tipo de línea regante elaboradas generalmente de polietileno flexible con emisores integrados a una separación predeterminada. Considerando que la cintilla representa hasta un 35% del costo de sistema de riego y la demanda del mercado exige a clientes y proveedores a realizar recomendaciones basadas en evaluaciones hidráulicas con amplio criterio, dado que cada parcela a regar es diferente y la falta de evaluaciones en campo de las múltiples cintillas en el mercado ocasionalmente nos llevan a realizar una selección errónea que repercute en la distribución del agua en la parcela y demerita el desarrollo del cultivo. La selección adecuada está en función del cultivo a regar y las condiciones del terreno (pendiente, textura, etc.). Sin embargo, existen parámetros hidráulicos importantes para hacer una selección adecuada 1) calibre: relaciona el espesor de pared o grosor de la lámina que constituye la cinta, 2) espaciado entre emisores: indica la distancia entre goteros 3) gasto del emisor: flujo de agua que pasa por el emisor en un determinado tiempo y 4) diámetro: es el diámetro interno de la cintilla de riego. Estas características hidráulicas son proporcionadas por los proveedores y son requeridas para el diseño hidráulico y determina la longitud a la que puede extenderse la cintilla considerando una pérdida de carga permisible. Sin embargo, los gastos de diseño de los emisores de las cintillas no siempre coinciden con los gastos observados en campo, debido a múltiples factores involucrados en la distribución del agua de riego sobre las líneas regantes. Una manera que permite comprobar el correcto funcionamiento y la correspondencia de los parámetros técnicos de los catálogos es la evaluación hidráulica de los equipos y sistemas de riego (Muñoz, 2004). Para ello, se debe determinar de manera rutinaria el coeficiente de uniformidad (CU) y el coeficiente de variación (CV) de forma que se pueda detectar la eficiencia de operación del sistema y realizar mejoras (*ej.* determinar la longitud de las cintillas de riego) satisfacer las necesidades de agua en los cultivos de la mejor manera (Román *et al.*, 2005). Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua. Dichas técnicas, se desarrollan con base a ensayos en campo en condiciones normales de trabajo y determinar los cambios necesarios para mejorar el proceso de riego (Muñiz, 2000). No obstante, el objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación hidráulica de siete cintillas de riego comerciales para determinar la longitud máxima permisible de cada una de ellas, con el fin de que los usuarios tengan herramientas para hacer una selección adecuada de la cintilla de riego.

## Materiales y Métodos

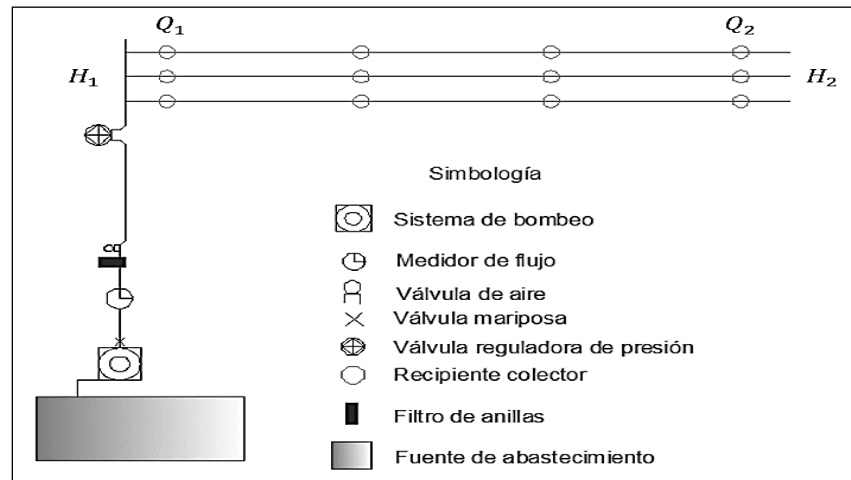
El trabajo se realizó en el Campo Experimental Zacatecas (CEZAC; 22° 54' N, 102° 39' O) con una altitud de 2,197 msnm, temperatura media anual de 14.6 °C, precipitación pluvial media anual de 416 mm y evaporación promedio anual de 1609 mm. En un terreno con textura franco-arcillosa, densidad aparente 1.43 g cm<sup>-3</sup>, con una pendiente de 0.75%, donde se llevó a cabo las evaluaciones de siete cintillas comerciales para determinar la longitud máxima permisible. Las especificaciones técnicas de cada cintilla fueron obtenidas de los catálogos entregados por los proveedores (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Especificaciones técnicas de las cintillas evaluadas.

Tratamiento	Q <sub>o</sub> (L h <sup>-1</sup> )	E <sub>e</sub> (cm)	Calibre	D (mm)	P <sub>o</sub> (psi)	P <sub>max</sub> (psi)
Aqua-Traxx	1.01	20	6 mil	16	8	12
Chapin	1.01	20	6 mil	16	8	10
Eurodrip	0.83	20	6 mil	16.1	8	14
I-Tape	1.2	20	6 mil	16.1	8	10
Netafim	0.87	20	6 mil	16.2	9	12
Ro-Drip	1	20	6 mil	16	8	-
T-Tape	1	20	6 mil	16	8	-

Q<sub>o</sub> es el gasto de operación, E<sub>e</sub> es el espaciamiento entre emisores, D es el diámetro interno, P<sub>o</sub> es la presión de operación y P<sub>max</sub> es la presión máxima de operación.

Para la evaluación se instaló un módulo de riego. El cabezal de descarga comprendía una bomba centrífuga de 2 HP, válvula mariposa, medidor volumétrico, filtro de mallas de 44 micras instalado sobre una tubería galvanizada de 3". En la sección de riego fue instalada una válvula reguladora de presión calibrada a 8 PSI. La tubería secundaria de PVC de 2" fue perforada cada 76 cm para conectar la cintilla. Además, se instalaron otros accesorios como manómetros y válvulas de aire. La evaluación se realizó en 7 lotes (cada lote corresponde a una marca de cintilla), en cada lote se colocaron tres líneas regantes de 100 m de longitud. La longitud de las cintillas se dividió en cuatro puntos equidistantes, se realizaron tres repeticiones de aforos de los emisores. Se obtuvo el gasto del emisor al inicio y al final de la línea regante Q<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub>, respectivamente y la carga hidráulica al inicio y al final de la línea regante H<sub>1</sub> y H<sub>2</sub>, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama del módulo de riego utilizado para la evaluación hidráulica de las cintillas de riego.

Para conocer el gasto se utilizó la Ecuación 1:

$$Q_i = \frac{V}{t} \quad (1)$$

donde;  $Q_i$  es el caudal del emisor en litros por hora del  $i$ -ésimo emisor ( $l\ h^{-1}$ ),  $V$  es el volumen recolectado en Litros (l) y  $t$  es el tiempo en horas.

Al finalizar la recolección de los datos se realizaron dos lecturas de presión con un manómetro al inicio ( $H_1$ ) y al final de línea regante ( $H_2$ ). La diferencia de  $H_1$  y  $H_2$  es la pérdida de carga de cada línea regante. Cada lote se evaluó en la misma sección de riego con una diferencia de 3 días para poder ingresar al sitio experimental debido a la saturación del suelo. La recolección de datos se realizó de octubre a noviembre del 2016 entre las 8:00 a 10:00 horas.

### Cálculo del coeficiente de uniformidad y variación

Para la obtención del coeficiente de uniformidad ( $CU$ ) se utilizó la ecuación propuesta por Christiansen (1942), ecuación 2.

$$CU = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_1^n (q_i - q_m)}{n * q_m} \right] \quad (2)$$

donde  $CU$  es el Coeficiente de Uniformidad en %,  $q_m$  es el caudal promedio en  $l\ h^{-1}$ ,  $q_i$  el caudal de cada observación en  $l\ h^{-1}$  y  $n$  el número de observaciones.

El Coeficiente de Variación ( $CV$ ) se calculó con la ecuación 3, según la *American Society of Agricultural Engineers ASAE*, (2003)

$$CV = \frac{S}{qm} \quad (3)$$

donde  $CV$  es el coeficiente de variación,  $S$  la desviación estándar (valor adimensional) que se calculó con la ecuación 4.

$$S = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

donde  $q_i$  es el gasto observado ( $l\ h^{-1}$ ),  $q_m$  es el gasto promedio ( $l\ h^{-1}$ ) y  $n$  es el número de emisores.

La obtención del modelo Carga-Gasto, se determinó con la ecuación general del emisor (Karmeli y Keller, 1975; Burtn y Stuart, 1994).

$$Q = KH^x \quad (5)$$

donde  $Q$  es el caudal del emisor en  $l\ h^{-1}$ ,  $H$  es la carga hidráulica mca,  $K$  es el coeficiente de descarga que depende de la geometría del emisor y  $x$  el exponente que depende del régimen de flujo.

De ahí se deducen las ecuaciones del emisor utilizando dos pares de valores con las ecuaciones 6 y 7.

$$x = \frac{\ln(Q_1/Q_2)}{\ln(H_1/H_2)} \quad (6)$$

$$K = \frac{Q_1}{H_1^x} \quad (7)$$

donde  $Q_1$  y  $Q_2$  son los gastos del emisor al inicio y al final de la línea regante, respectivamente,  $H_1$  y  $H_2$  son las cargas hidráulicas al inicio y al final de la línea regante, respectivamente.

### Pérdida de carga permisible

Con los modelos carga-gasto obtenidos para cada cintilla se obtuvieron las pérdidas de carga de operación. Como criterio de diseño de sistemas de riego por goteo se acepta una diferencia máxima de gastos entre emisores del 10% debido a la variación de carga hidráulica y se estima como sigue:

$$\frac{Q_f}{Q_i} = 0.9 \quad (8)$$

donde  $Q_f/Q_i$  es el cociente del gasto entre el último y primer emisor ( $l\ h^{-1}$ )

Considerando el modelo carga gasto se obtiene

$$\frac{KH_f^x}{KH_i^x} = 0.9 \quad (9)$$

Despejando y eliminando términos:

$$H_f = (0.9)^{1/x} H_i \quad (10)$$

donde  $k$  y  $x$  son coeficientes del modelo carga-gasto,  $H_f$  es la carga del último emisor y  $H_i$  es la carga del primer emisor, ambas cargas expresadas en metros columna de agua.

La variación de carga entra el primer y último emisor se define como:

$$\Delta H = H_i - H_f \quad (11)$$

Sustituyendo  $H_f$  y despejando  $H_i$  se obtiene

$$\Delta H = (1 - 0.9^{1/x}) H_i \quad (12)$$

$$H_i = \left[ \frac{\bar{Q}}{K (0.9)^{1/2}} \right]^{1/x} \quad (13)$$

donde  $\Delta H$  es la pérdida de carga permisible en mca,  $H_i$  es la presión inicial estimada que se debe aplicar al inicio de la unidad de riego para asegurar un gasto medio del emisor ( $\bar{Q} = (Q_1/Q_2)/2$ ) a lo largo de la línea regante (cintilla), es decir, es la carga de operación.

### Longitud de la línea regante

La longitud de la línea regante se resolvió mediante un problema de optimización. La función objetivo para encontrar el número de salidas (emisores) óptimo de la línea regante se planteó de la siguiente manera:

$$\hat{N} = \arg \min L(N) \quad (12)$$

$$L(N) = \left| \frac{\Delta H - \left[ K \frac{(\bar{Q}N_i)^m}{D^n} (E_e N_i) * \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N_i} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N_i^2} \right]}{\Delta H} \right| \quad i = 1,2,3 \dots n \quad (13)$$

donde  $k=10.3*n^2$ ,  $m=2$  y  $n=16/3$  son los coeficientes de la ecuación de pérdida de carga de Manning,  $N_i$  es el número de la  $i$ -ésima salida,  $\bar{Q}$  es el gasto medio del emisor en litros por hora ( $l\ h^{-1}$ ),  $D$  es el diámetro interno de la línea regante (m),  $E_e$  es el espaciamiento entre emisores (m),  $\hat{N}$  es el número de salidas óptimas y  $n$  es el número de iteración hasta minimizar la función ( $\hat{N}$ ).

Finalmente, la longitud máxima permisible de la cintilla ( $LM$ ) se obtuvo de la siguiente manera

$$LM = E_e \hat{N} \quad (14)$$

El análisis de optimización se realizó en "SOLVER", una herramienta complementaria de Excel, que optimiza numéricamente los modelos sujetos a restricciones y emplea un algoritmo matemático con el cual se encuentran las decisiones óptimas para un modelo determinado en una hoja de cálculo (Eppen *et al.*, 2000) y con un método de gradiente reducido generalizado (Muramatsu, 2011).

### Resultados y Discusión

Los coeficientes de uniformidad estimados para las siete cintillas evaluadas se clasifican como excelente de acuerdo a Rodrigo *et al.* (1992) quienes clasificaron como excelentes

a los valores mayores a 92%. Algunas compañías como Toro utilizan AquaFlow V 4.0, 2016 para diseño por goteo donde simula coeficientes de uniformidad mayores de 93% para la cintilla Aqua-Traxx a una presión de operación de 8 psi para las longitudes de 100 m con pendiente del terreno del 0%. Por otra parte, los coeficientes de variación (CV) son buenos, la ASAE (2003) considera en esta categoría los  $CV < 0.10$ .

**Cuadro 2.** Coeficiente de uniformidad y coeficiente de variación obtenido en las cintillas evaluadas a 100 m de longitud

Cintilla	Coeficiente de uniformidad (CU)	Coeficiente de variación (CV)
Aqua-Traxx	97.3	0.03
Chapin	95.7	0.05
Eurodrip	99.1	0.01
I-Tape	96.8	0.03
Netafim	98.8	0.01
Ro-Drip	96.2	0.04
T-Tape	94.3	0.08

La diferencia entre la carga de presión inicial ( $H_1$ ) y final ( $H_2$ ), es la pérdida de carga observada en las evaluaciones a 100 m de longitud de cintillas. La mayor pérdida de carga se observa en I-Tape y la menor pérdida de carga se observó en Eurodrip con valores de 2.46 y 1.05 mca, respectivamente. Por otro lado, la variación del gasto observado entre el primer y último emisor  $Q_1$  y  $Q_2$  fue en un rango de 18% a 4% para T-tape y Netafim, respectivamente. Sin embargo, la variación entre el gasto observado medio ( $\bar{Q}$ ) y el gasto de operación ( $Q_o$ ) de las especificaciones técnicas de cada cintilla (Tabla 1) fue de 14 y 12% Eurodrip y I-Tape, respectivamente. El resto de las cintillas mostraron variaciones menores al 10% con respecto a  $Q_o$ .

**Cuadro 3.** Valores observados de gasto y carga hidráulica al inicio y al final de la línea regantes para las siete cintillas evaluadas

Cintilla	$H_1$ (mca)	$H_2$ (mca)	$Q_1$ (l h <sup>-1</sup> )	$Q_2$ (l h <sup>-1</sup> )	$\bar{Q}$
Aqua-Traxx	5.62	3.87	0.94	0.85	0.90
Chapin	5.62	3.52	1.05	0.97	1.01
Eurodrip	5.62	4.22	0.76	0.70	0.73
I-Tape	5.62	3.16	1.08	0.99	1.04
Netafim	5.62	4.57	0.81	0.78	0.80
Ro-Drip	5.62	3.52	1.00	0.90	0.95
T-Tape	5.62	3.87	1.02	0.84	0.93

La carga hidráulica de operación estimada ( $H_i$ ) que se debería tener al inicio de la sección de riego (en el cruce de riego) mínimamente es de 7.4 PSI para T-Tape y 9.6 PSI para Netafim. Por otro lado, las pérdidas de carga permisibles estimadas fueron en un rango de 1.81 y 3.02 mca para Eurodrip y I-Tape, respectivamente. Eurodrip USA (2016), en sus especificaciones técnicas de catálogos para uniformidad de emisión de 93 y 95 % recomiendan longitudes máximas de 150.7 y 118.7 m. Las longitudes máximas

permisibles estimadas fueron 81.7 m para T-Tape y 135.3 m para Netafim. Sin embargo, la longitud máxima permisibles promedio para las siete cintillas evaluadas fue de 110 m.

**Cuadro 4.** Valores estimados de carga de operación, perdidas de carga permisibles y longitud máxima de cintillas evaluadas

Cintilla	Carga hidráulica de operación (Hi)		Pérdida de carga permisible ( $\Delta H$ ; mca)	Longitud Máxima permisible (LM; m)
	mca	PSI		
<b>Aqua-Traxx</b>	5.70	8.1	1.85	104.3
<b>Chapin</b>	5.99	8.5	2.66	108.8
<b>Eurodrip*</b>	5.87	8.4	1.81	119.9
<b>I-Tape</b>	6.01	8.6	3.02	112.7
<b>Netafim</b>	6.78	9.6	2.98	135.3
<b>Ro-Drip</b>	5.66	8.0	2.12	104.9
<b>T-Tape</b>	5.21	7.4	0.96	81.7

## Conclusiones

La descripción hidráulica de las cintillas evaluadas en campo sirve como herramienta para hacer una adecuada selección de la cintilla que van a utilizar, para esto es importante considerar lo siguiente: 1) calidad del agua de riego, 2) costo y disponibilidad de la cintilla y 3) manejo y operación del riego. Por otro lado, la selección de la cinta de riego tiene que ser de manera puntual para cada parcela.

Se recomienda que la evaluación del sistema de riego deba ser un procedimiento rutinario con la finalidad de detectar deficiencias de manera oportuna para su solución, esto con el fin de garantizar un riego uniforme, ya que las bondades de un sistema de riego por cintilla son afectadas principalmente por la operación y el manteniendo que le dan los usuarios y raras veces por defecto de fabricación y diseño.

La longitud adecuada de las cintillas evaluadas es 110 m en promedio, sin embargo, si se tienen longitudes más largas se recomienda disminuir el gasto de los emisores, número de emisores o incrementar el diámetro de las cintillas.

Para confirmar, si los modelos cargas-gasto aquí propuestos son adecuados para describir la relación de gasto en función de la carga de las cintillas comerciales, se recomienda hacer una evaluación ya que los alcances de este trabajo para dichos modelos se acotan a la etapa de calibración.



## Referencias Bibliográficas

- Albornoz Valenzuela, A. A., y Rodríguez Herrera, E. (2007). Caracterización hidráulica de 4 modelos de goteros comercializados en Chile. Memoria de título. Facultad de ciencias agrarias, Escuela de agronomía, Universidad de Talca.
- ASAE EP405. (2003) Design and Installation of Microirrigation Systems.
- Burt, Ch. M. and W.S. Stuart. (1994). Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops. (with special sections on buried drip). Irrigation Training and Research Center (ITRC). California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA, USA. P. 29-34.
- Christiansen, J. E. (1942), Irrigation by Sprinkling. Bulletin. 670 Berkeley, California. EUA. University of California. 124 p.
- Cun, González, R., Puig Estrada, O., Morales Gómez, C., y Duarte Díaz, C. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(1), 36-39.
- Eppen GD, Gould FJ, Schmidt CP, Moore JH, Weatherford LR. (2000). Investigación de operaciones en las ciencias administrativas. Trad. Español. González, RAC, Sánchez, GG. 5th ed. México, DF: Pearson.
- Karmeli, D., & Keller, J. (1975). Trickle irrigation design (No. 04; TC805, K3.). Glendora, CA: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation.
- Martínez, R. (1991). Riego localizado: Diseño y Evaluación. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Muñiz, R, J, M. (2000). Evaluación de la uniformidad de distribución del agua en diferentes sistemas de riego sobre el cultivo de papa. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coah., México. 89 p.
- Muñoz, R. R. A. (2004). Caracterización hidráulica de cuatro marcas de emisores para riego localizado comercializados en Chile. Memoria de título. Facultad de ciencias agrarias, Escuela de agronomía, Universidad de Talca.
- Muramatsu M. Risk solver. Versión 11.5. (2011). Incline Village, Nevada, EUA: Frontline systems Inc.
- Rodrigo, J., J. Hernández, A. Pérez y J. González. 1992. Riego localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Centro Nacional de Regadíos. España. 403 p..
- Román, L. A., Mendoza, M. S. F., Inzunza, I. M. A., Sánchez, C. I., y Rodríguez, C. A. (2005). Evaluación de sistemas de riego presurizado. Folleto científico N° 17. CENID – RASPA, INIFAP. 22 p.