



Artículo: COMEII-18033

**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018**
Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

EVALUACIÓN DE EFICIENCIA MEDIANTE PRUEBAS DE RIEGO EN LAS SECCIONES 103 Y 104 DEL MÓDULO III-3 DEL DR025, BAJO RÍO BRAVO, TAMAULIPAS

José Alfredo Díaz Magaña^{1*}; José Javier Ramírez Luna²

^{1,2}Coordinación de Riego y Drenaje, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac, 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

jamagana@tlaloc.imta.mx – 01 777 329 3600 (*Autor de correspondencia)

Resumen

Se llevaron a cabo pruebas de riego en cuatro parcelas ubicadas en las Secciones de Riego 103 y 104 del Módulo III-3 del DR025, Bajo Río Bravo, Tamaulipas. Se utilizó el software Rigrav para evaluar las eficiencias de aplicación, requerimientos de riego y coeficiente de uniformidad actuales y obtener la proporcionalidad entre la lámina de riego aplicada y el gasto óptimo que permita tener mayores eficiencias. Se observó que las eficiencias de aplicación actuales, eficiencias de requerimiento actuales y coeficientes de uniformidad actuales son bajas, con resultados que varían desde 30.7% hasta 54.0% de eficiencia de aplicación actuales, 33.8% a 60.1% de eficiencias de requerimiento y de 36.2 a 82.6% de coeficiente de uniformidad, asimismo las láminas de riego aplicadas actuales varían de 0.83m a 0.25 m. Con el uso del Rigrav se optimizó la aplicación de láminas de riego, que generaron incrementos de 70 a 76% en las eficiencias de aplicación, de 78.35 a 84.9% en las eficiencias de requerimiento y de 71.6% a 94.3% en los coeficientes de uniformidad.

Palabras claves: prueba de riego, Rigrav



Introducción

Una operación deficiente del agua de riego a nivel parcelario se manifiesta principalmente por bajas eficiencias de aplicación y deficiente uniformidad de la distribución de la lámina de riego aplicada.

Para mejorar las eficiencias y la uniformidad de distribución se requiere obtener un apropiado diseño de riego, para lo cual se utilizan técnicas de ingeniería que permitan reproducir condiciones óptimas de riego.

Entre dichas técnicas se tienen el empleo de pruebas de riego que modelan las condiciones adecuadas y óptimas de la aplicación del riego.

Un software utilizado para estos fines es el programa de Rigrav, que es una herramienta informática para diseñar y evaluar sistemas de riego por gravedad parcelarios de manera sencilla y rápida. (Rendón, 1997).

Este programa de riego por gravedad considera dos escurrimientos, el primero es el flujo del agua sobre la superficie libre de la parte superficial y longitudinal de la melga y el segundo es el flujo de agua dentro del suelo.

Para el primer caso, la descripción del flujo en la superficie se considera no permanente y gradualmente variado, lo que permite utilizar las ecuaciones de Saint Venant. (Rendón *et al.*, 1997), que en la fase hidráulica distingue las fases de avance, de almacenamiento, de consumo y de recesión. Cabe mencionar que en el Rigrav, se utiliza una ecuación simplificada de las ecuaciones de Saint – Venant sobre el balance de masa y tirante promedio, conocida como modelo hidrológico, que establece una proporcionalidad entre la lámina de riego aplicada y el gasto óptimo para obtener una mayor eficiencia de uniformidad, manteniendo valores elevados de las eficiencias de aplicación y requerimientos de riego. (Ecuación 1).

$$Q_E t = \int_0^S y(x,t) dx + \int_0^S I(x,\tau) dx \quad (1)$$

Donde Q_E es el gasto de riego (L^3T), t es el tiempo (T), x es la distancia en la dirección del flujo (L), I es la infiltración (LT^{-1}), $\tau = (t-t_x)$, donde t_x es la distancia en que el frente de avance llega a la distancia de avance x (T).

Para el flujo subterráneo considera el modelo simplificado de infiltración del tipo Green y Ampt (flujo de pistón), que, para la evolución temporal de la lámina infiltrada, $I(t)$. (Ecuación 2).

$$\frac{dI}{dt} = K_s \left[1 + \frac{|\psi_f| \Delta\theta + h(t) \Delta\theta}{I(t)} \right] \quad (2)$$



Donde K_s es la conductividad hidráulica a saturación (LT^{-1}), $\Delta\Theta = \Theta_s - \Theta_0$ es el cambio de almacenamiento (L^3L^{-3}), Θ_s es el contenido volumétrico de agua a saturación (L^3L^{-3}), Θ_0 es el contenido volumétrico de agua inicial, (L^3L^{-3}), $\Psi_f < 0$ es la presión del agua en el frente efectivo de humedecimiento (L), $h(t)$ es el tirante de agua sobre la superficie del suelo (L).

Este programa se empleó con los resultados obtenidos en pruebas de riego en cuatro parcelas ubicadas en las Secciones de Riego 103 y 104 del Módulo III-3 del DR025, Bajo Río Bravo, Tamaulipas

Materiales y Métodos

El software Rigrav es un programa para realizar el diseño de riego por gravedad simplificado, el cual es un modelo de riego por melgas y surcos que resuelve el modelo hidrológico, el cual se emplea para establecer la proporcionalidad entre la lámina de riego aplicada y el gasto óptimo que permita una mayor eficiencia de uniformidad, manteniendo valores elevados de las eficiencias de aplicación y de requerimientos de riego. (Rendón *et al.*, 1997).

Los datos de entrada para el Rigrav son algunas propiedades del suelo, que incluyen el contenido de humedad inicial, contenido de humedad a saturación, conductividad hidráulica a saturación y el parámetro succión en el frente de humedecimiento de la función de infiltración (h_f). (Fuentes, 1997).

También se requieren datos generales de la parcela, como la longitud de la melga o surco, pendiente media de la melga o surco, gasto de riego unitario propuesto, lámina de riego por aplicar y coeficiente de rugosidad de Manning.

Con estos datos se obtienen resultados de lámina de riego, lámina de riego aplicada, eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad y tiempo de riego. Cabe mencionar que el Software tiene algunas limitantes. (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos de valores de propiedades físicas del suelo y de datos de la parcela

Concepto	Características	Valores	Unidades
Propiedades físicas del suelo	Contenido de humedad inicial	0.05 – 0.45	cm^3/cm^3
	Contenido de humedad a saturación	0.30 – 0.60	cm^3/cm^3
	Conductividad hidráulica a saturación	0.01 – 10.0	cm/hr
	Parámetro h_f	2 -100	cm
Datos de la parcela	Longitud de la melga o surco	1 - 1000	m
	Pendiente media del surco o melga	0.01 – 1.5	%
	Gasto de riego unitario propuesto	-----	Ls^{-1}
	Lámina de riego por aplicar	0.005 – 0.2	m
	Coeficiente de rugosidad de Manning	0.02 – 0.04	$s/m^{1/3}$

Otras propiedades del suelo consideradas son la unidad textural del suelo considerado el tamaño de partículas, color en seco y húmedo, consistencia en seco y húmedo.

Resultados y Discusión

La conductividad hidráulica se estimó con el método del miniinfiltrómetro para lo cual se emplearon pruebas de infiltración consistente en la medición de la evolución de la lámina infiltrada en el tiempo, ajustada con una ecuación basada en la ley de Darcy. (Díaz, 1999). Las pruebas se efectuaron en la parte baja del surco. El surco se dividió en diez puntos equidistantes y en cada uno de ellos se hizo una prueba de infiltración, tomándose el valor promedio de la conductividad hidráulica como representativa. (Figura 1).



Figura 1. Estimación de la conductividad hidráulica con el método del miniinfiltrómetro y medición de la fase avance de riego

Con los datos de conductividad hidráulica y la unidad textural, se obtuvo la porosidad total del suelo, representada por el valor de humedad de saturación (ϵ) para la textura y conductividad obtenida. En forma similar se obtiene la succión en el frente de humedecimiento (h_f) utilizando las gráficas de Rawls y Brakensiek, 1983, mostradas por fuentes, 1997.

El gasto del riego se evaluó aforando en las boquillas a la entrada de la melga y en los surcos, utilizando para ello el medidor de velocidad Swoffer modelo 2100. (Figura 2).



Figura 2. Aforo del agua de riego en la boquilla y en el surco de la parcela

Propiedades y características generales de los suelos

En la sección de riego 103, el lote 12821 presenta una superficie de 20 ha, presentó un suelo con unidad textural Migajón arcillosa, color en seco 10YR 7/3, café pálido, 10YR 4/4 café oscuro con consistencia firme en seco, plástica y muy adherente en húmedo y una distribución del tamaño de partículas del 40% de arena, 22% de limo y 38% de arcilla. Asimismo, el lote 12875 tiene una superficie de 17 ha, presentó un suelo con unidad textural Migajón arcillosa, color en seco 10YR 7/4, café muy pálido, 10YR 3/3 café oscuro con consistencia muy firme en seco, muy plástica y muy adherente en húmedo y una distribución del tamaño de partículas del 32% de arena, 20% de limo y 48% de arcilla

Con respecto a la sección de riego 104, el lote 12930 tiene una superficie de 34 ha, presentó un suelo con unidad textural Arcilla, color en seco 10YR 7/4, café pálido, 10YR 3/3 café oscuro con consistencia muy firme en seco, muy plástica y muy adherente en húmedo y una distribución del tamaño de partículas del 33% de arena, 22% de limo y 45% de arcilla. Asimismo, el lote 12981 tiene una superficie de 19 ha, presentó un suelo con unidad textural Arcilla, color en seco 10YR 7/4, café muy pálido, 10YR 3/3 café oscuro con consistencia muy firme en seco, muy plástica y muy adherente en húmedo y una distribución del tamaño de partículas del 32% de arena, 21% de limo y 47% de arcilla.

Datos de lotes agrícolas

El número de surcos en estudio fue de 18 por melga. De cada lote seleccionado se consideraron dos melgas, lo que hacía un total de 36 surcos por lote seleccionado. La pendiente, longitud del surco, gasto unitario y lámina aplicada fue para el lote 12821 de 1.5%, 280 m, 2.8 LPa⁻¹ y 15.1 cm; para el lote 12875 fue 1.2%, 1.8 m, 5.0 Ls⁻¹ y 15.8 cm; para el lote 12930 fue de 1.2%, 120 m, 3.6 Lp⁻¹ y 14.7 cm y; para el lote 12981 fue de 1.0%, 280 m, 3.5 Ls⁻¹ y 20.1 cm.

Aplicación del riego

Con las pruebas de riego y mediante el uso del programa Rigrav, se evaluaron las condiciones actuales, las eficiencias y los gastos óptimos. Cabe mencionar que la



aplicación del agua al surco se incrementa demasiado porque el agua se traspasa de una melga a otras ubicadas aguas abajo, lo cual podría considerarse como exceso de aplicación del agua de riego.

Las láminas brutas aplicadas a los lotes 12930, 12981, 12875 y 12821 al momento de la prueba de riego fueron de 0.83 m, 0.25 m, 0.55 m y 0.25 m, lo cual generó una eficiencia de aplicación de 30.70 %, 54.00 %, 51.40% y 51.70%, una eficiencia de requerimiento de 33.81%, 60.10%, 56.90% y 56.36% y coeficientes de uniformidad de 82.60%, 46.80%, 36.20% y 55.70%. Tabla 2.

Tabla 2. Eficiencias actuales y óptimas para las parcelas en estudio

LOTE	Condiciones de riego	Lámina de riego bruta (m)	Eficiencia de aplicación (%)	Eficiencia de requerimiento (%)	Coefficiente de uniformidad (%)
LOTE 12930	Actual	0.83	30.70	33.81	82.60
	Óptimo	0.13	70.50	78.35	94.30
LOTE 12981	Actual	0.25	54.00	60.10	46.80
	Óptimo	0.13	76.50	84.90	81.00
Lote 12875	Actual	0.55	51.40	56.90	36.20
	Óptimo	0.14	76.50	84.90	71.60
Lote 12821	Actual	0.25	51.70	56.36	55.70
	Óptimo	0.19	73.20	81.36	89.80

Por las condiciones especiales del riego aplicado, se efectuaron diversas recomendaciones para regar las parcelas, entre ellas fueron disminuir la lámina aplicada mediante la reducción del tiempo de riego, ya que se observó desperdicios de agua. Estos tiempos fueron de 37.93 min, 39.50 min, 44.00 min y 56.92 min, para elevar las eficiencias de aplicación desde un 21% hasta 39% y los coeficientes de uniformidad de un 11% hasta 35%.

Conclusiones

Las eficiencias de aplicación actuales, eficiencias de requerimiento actuales y coeficientes de uniformidad actuales son bajas, con resultados que varían desde 30.7 hasta 54.0% de eficiencia de aplicación actuales, 33.8 a 60.1% de eficiencias de requerimiento y de 36.2 a 82.6% de coeficiente de uniformidad, asimismo las láminas de riego aplicadas actuales varían de 0.83m a 0.25 m.

Con las modificaciones en aplicación de láminas de riego, se modificaron los tiempos de riego, que generaron incrementos de 70 a 76% en las eficiencias de aplicación, de 78.35 a 84.9% en las eficiencias de requerimiento y de 71.6 a 94.3% en los coeficientes de uniformidad.

El uso del miniinfiltrómetro para obtener la conductividad hidráulica fue una herramienta de mucha utilidad, ya que en tiempos cortos permite tener un valor útil



para el diseño de riego por gravedad y permite que la extrapolación para tablas donde se obtiene el valor del frente de succión de humedecimiento sea más aproximado al valor real.

Referencias Bibliográficas

Fuentes Ruíz, C. (1997). Caracterización mínima del suelo con fines de riego. Capítulo 1.1. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Comisión Nacional del Agua - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.

Rendón Pimentel, L., Fuentes Ruíz, C., y Magaña Sosa, G. (1997). Diseño del riego por gravedad. Capítulo 1.5. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Comisión Nacional del Agua - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.