



III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

AHORROS DE AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 085 IMPLEMENTANDO UNA FÓRMULA ANALÍTICA PARA EL CÁLCULO DEL GASTO ÓPTIMO

Carlos Chávez^{1*}; Carlos Fuentes²

¹Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. C.U. Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, México.

chagcarlos@gmail.com - telf.: (442) 192 1200 ext. 6036

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

Resumen

El objetivo de este estudio fue demostrar que, a partir de la evaluación de una prueba de riego, datos de la parcela y la lámina neta a aplicar, se puede calcular el gasto óptimo que se debe de poner en cada surco durante un riego, bajo la hipótesis de que con este gasto se pueden disminuir las láminas brutas históricas aplicadas en las parcelas evaluadas. En este estudio se muestran los resultados obtenidos de la evaluación y diseño de 250 pruebas de riego, en ocho texturas, en el Distrito de Riego 085, La Begoña, Guanajuato. En cada prueba de riego se midieron en las parcelas: pendiente, ancho de surco, gasto de entrada, contenidos de humedad inicial y a saturación y densidad aparente. Con un algoritmo de optimización se calcularon los parámetros de la ecuación de infiltración de (Ks y hf) a partir de la fase de avance, almacenamiento y recesión de cada prueba. Para el proceso de simulación del flujo superficial se utilizó el modelo de la onda cinemática y el gasto óptimo se calculó con una fórmula analítica que se validó con el modelo completo de Saint-Venant y Richards. Con la aplicación del gasto óptimo de riego calculado, las láminas de riego disminuyeron en promedio 20 cm, y en algunos casos se han dejado de aplicar láminas de hasta 130 cm. Se muestra una disminución de los tiempos de riego 15 h ha^{-1} por riego y además, los ahorros promedio han sido del orden de $2 \text{ } 100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por riego, que ha logrado elevar la eficiencia de aplicación del 53 al 85 %.

Palabras clave adicionales: pruebas de riego, riego por gravedad, métodos inversos.



Introducción

En el riego por gravedad se distinguen tres fases: fase de avance, fase de almacenamiento y fase de recesión, que en su conjunto se estudian con una variedad de modelos para comprender el fenómeno (Fuentes *et al.*, 2012). En los últimos años se ha estado trabajando en la optimización del gasto óptimo de riego, pero esta mejora consiste en nuevos métodos de solución de las ecuaciones de Saint-Venant y Richards y los resultados son comparados con las soluciones clásicas existentes (Seidel *et al.*, 2015). Con el afán de disminuir los tiempos de cómputo, otros estudios realizan la optimización usando la ecuación de Saint-Venant en la superficie, pero la lámina infiltrada la calculan con la ecuación empírica de Kostikov-Lewis (Gillies y Smith, 2015). Sin embargo, la optimización la realizan a prueba y error moviendo el gasto de acuerdo a la experiencia o utilizan constantes que son obtenidas de la literatura.

No obstante que se han instalado nuevos sistemas de riego presurizados en el estado de Guanajuato en años recientes, el riego por gravedad bien diseñado seguirá representando una alternativa barata para aportar el agua a las plantas en la cantidad y oportunidad adecuadas, y con una razonable eficiencia de riego. De esta manera, en este trabajo se presenta el uso de una fórmula analítica para calcular el gasto óptimo en cada surco de riego, utilizando datos del suelo y de la parcela, lo cual ha logrado disminuir las láminas brutas históricas aplicadas en cada una de las parcelas evaluadas.

Materiales y métodos

La fórmula analítica del gasto óptimo

De acuerdo con Fuentes y colaboradores, en su libro Riego por Gravedad (2012), la fórmula para calcular el gasto óptimo, por unidad de ancho, está en función de la longitud de la melga o surco, la lámina neta y los parámetros característicos de la infiltración que representan las fuerzas capilares, la sorbilidad, y las fuerzas gravitacionales, es decir la conductividad hidráulica a saturación:

$$q_o = \alpha_u K_s L \quad (1)$$

$$\alpha_u = \frac{\ell_n}{\ell_n - \frac{S^2}{2K_s} \ln \left(1 + \frac{2K_s}{S^2} \ell_n \right)} \quad (2)$$

en la cual $K_s L = q_m$ representa el gasto unitario mínimo necesario para que el agua arribe a la parte final de la melga o surco, S es la sorbilidad del medio expresado por $S^2 = 2K_s h_f (\theta_s - \theta_o)$ y ℓ_n es la lámina neta de riego. Así, el gasto óptimo por surco se calcula como $Q_0 = bq_o$, donde b es el ancho del surco.



La zona de estudio

El distrito de riego 085 La Begoña, está localizado en el estado de Guanajuato y comprende los municipios de Celaya y Comonfort. Geográficamente se sitúa entre los paralelos $20^{\circ} 38'$ y $21^{\circ} 07'$ N y los meridianos $100^{\circ} 45'$ y $100^{\circ} 53'$ O del meridiano de Greenwich. Este distrito de riego abarca una extensión de 12 389.5 ha y se divide en cuatro módulos de riego: Neutla, Comonfort, Margen Izquierda y Margen Derecha, en donde se realizaron 250 pruebas de riego en diferentes tipos de suelo.

Análisis y discusión de resultados

Obtención de los datos y cálculo del gasto óptimo

En todas y cada una de las parcelas en donde se realizaron las pruebas de riego, se midió la longitud, pendiente, textura, densidad aparente, contenidos de humedad inicial y a saturación. Los primeros dos se obtuvieron con una estación total, los contenidos de humedad inicial con un TDR 300® calibrado, la textura se obtuvo en laboratorio con el método de Bouyucos, la densidad aparente (ρ_a) con el método del cilindro de volumen conocido, y el contenido de humedad a saturación (θ_s) se asimiló a la porosidad total del suelo (ϕ), misma que se obtuvo a partir de la densidad aparente y la densidad de sólidos (ρ_s) tomada como 2.65 g cm^{-3} , es decir $\theta_s = \phi = 1 - \rho_a / \rho_s$. El proceso del cálculo del gasto óptimo está bien documentado en el trabajo de Chávez y Fuentes (2018).

Las pruebas de riego

En las parcelas evaluadas se ha visto que los regadores aplican el agua en tendidos que van desde 6 hasta 119 surcos, variación que dependía del gasto de entrada a la parcela que osciló desde 4 hasta 142 L s^{-1} . No obstante que varias pruebas se realizaban dentro de una misma clase textural, los resultados que se obtuvieron fueron diferentes. La superficie donde se realizaron las pruebas de riego estaba sembrada con maíz (29.42%), sorgo (16.75%), alfalfa (16.45%), frijol (15.12%), jícama (8.79%), cebada (5.27%), cebolla (4.35%) y trigo (3.84%).

La eficiencia de aplicación promedio medida en cada una de las pruebas de riego fue del 53%, sin embargo, en algunos casos, esta eficiencia estuvo por debajo de 20%. En los suelos con mayor contenido de arena el tiempo de riego empleado fue mayor que en aquellos en donde predominan las arcillas (Figura 1). Los puntos atípicos en la gráfica corresponden a aquellas parcelas que tienen longitudes de riego superiores a 130 m. Además, las láminas que se aplicaron estuvieron por arriba de las que se recomiendan por riego en alrededor de 15 cm, ya que el promedio fue de 30.31 cm, pero en algunos casos se midieron láminas de hasta 138 cm (Figura 2) (Chávez y Fuentes, 2018).

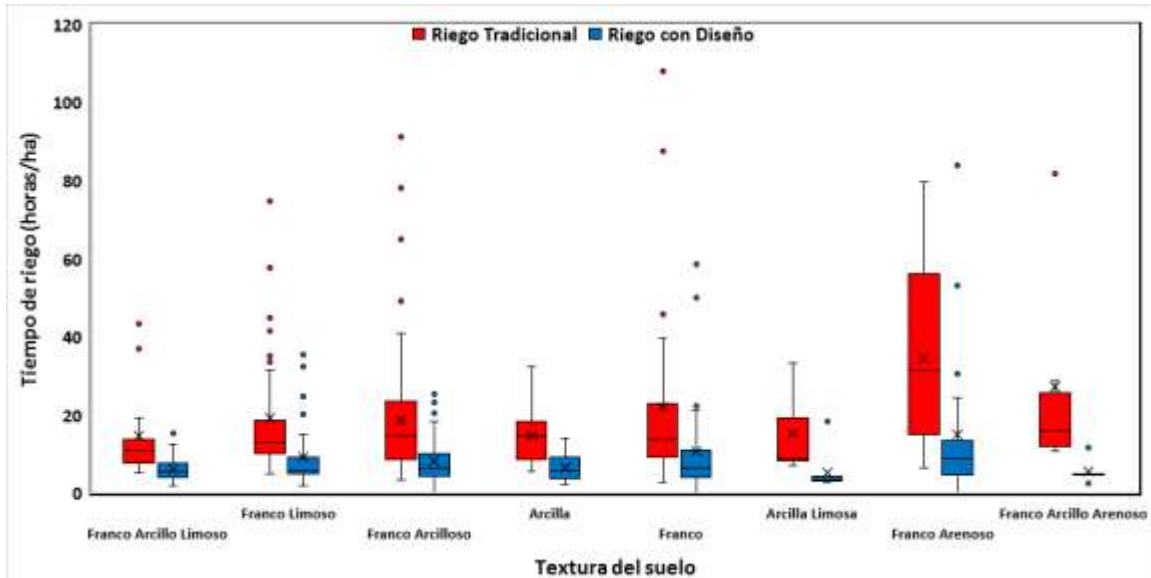


Figura 1. Tiempo de riego por hectárea de manera convencional y con diseño.

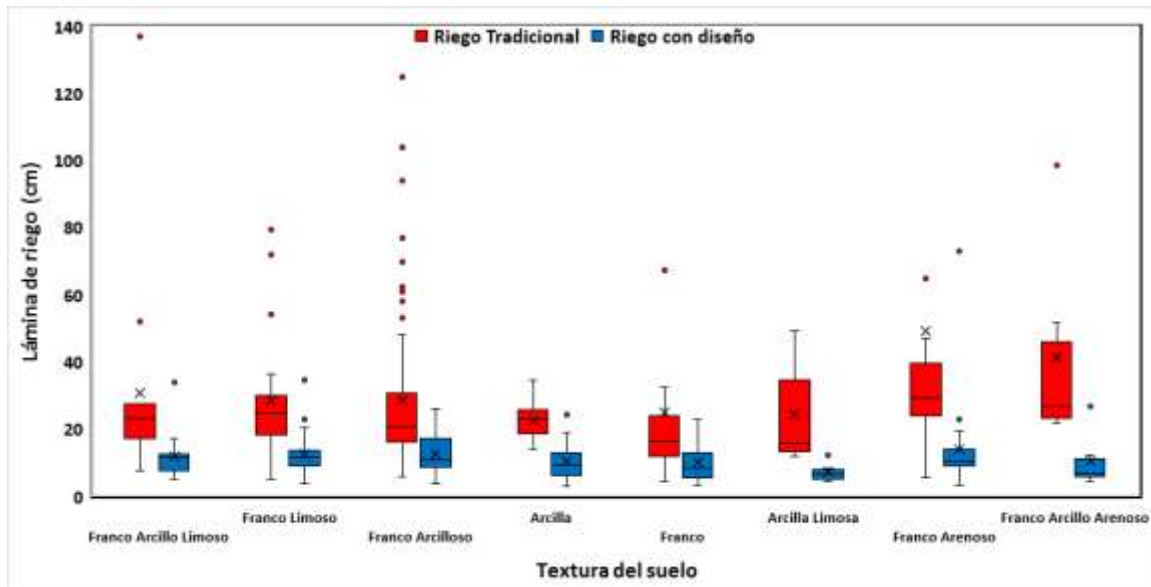


Figura 2. Láminas de riego aplicadas de manera convencional y usando la fórmula analítica.

En general, en todas las clases texturales hubo una reducción considerable en el número de surcos por tendido (figura 3). Por ejemplo, en el caso más crítico se pasó de 105 a 39 surcos por tendido, ya que en esa parcela el gasto a la entrada era de 39 litros por segundo y se empleaban 57.3 horas para regar una hectárea. Sin embargo, una vez dada la recomendación, este tiempo se logró reducir a 13 horas, lo que equivale a usar un volumen en el caso tradicional de $7\,972\text{ m}^3$ y $1\,814\text{ m}^3$ con la recomendación, es decir, que hubo un ahorro de $6\,157\text{ m}^3$ por hectárea por riego.

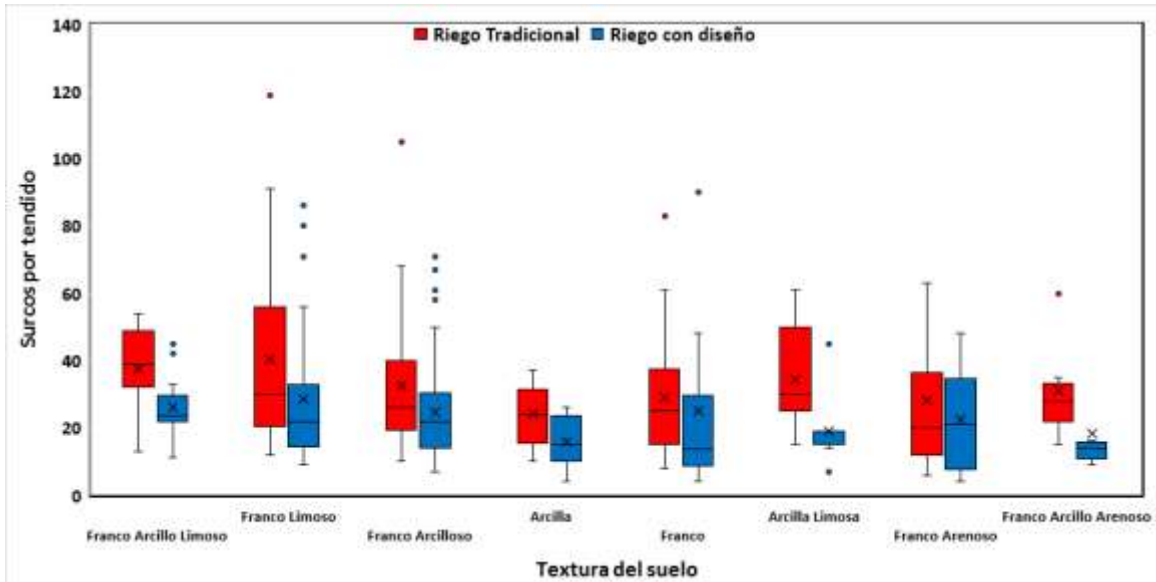


Figura 3. Surcos por tendido de riego de manera convencional y usando la fórmula analítica para los gastos parcelarios proporcionados por los módulos

Al estar aplicando el gasto óptimo calculado con la ecuación (1) en cada una de las parcelas evaluadas, se logró que los tiempos de riego disminuyeran en promedio en 11.7 horas por hectárea por riego, pero en algunos casos, esta reducción fue mucho mayor (61.69 h). Las láminas de riego disminuyeron en promedio 20 cm, y en algunos casos, la lámina que dejó de aplicarse fue de 130 cm. De acuerdo con la fórmula de diseño, en las parcelas cuyas longitudes excedían los 150 metros, los gastos óptimos eran superiores a 4 litros por segundo por surco, pero estos gastos no son viables en campo debido a que provocan la erosión y los surcos no tienen la capacidad de conducirlo, por lo que en estos casos se recomendó acortar la longitud de riego a distancias del orden de 100 metros.

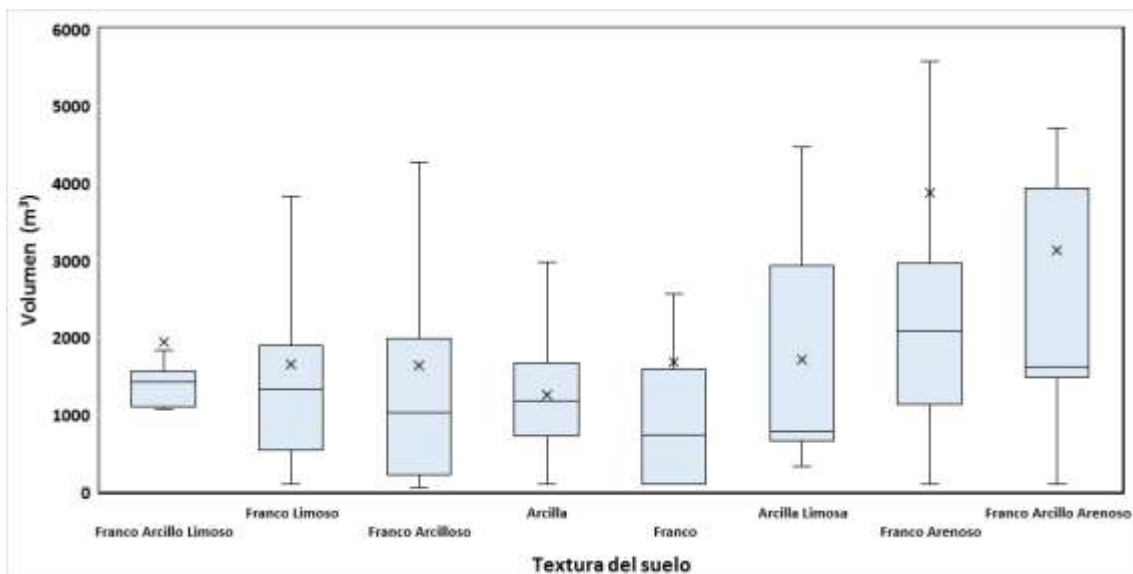


Figura 4. Volumen de agua ahorrado por hectárea por riego en el DR 085.



Ahorros de agua

En promedio se ahorraron 2 000 m³ por hectárea. Sin embargo, en algunos grupos de textura como la Franco Arenosa y Franco Arcillo Arenosa, este ahorro es todavía mayor (Figura 4).

Conclusiones

El uso de la fórmula analítica para el diseño del gasto óptimo no sólo ayudó a reducir los tiempos de riego, sino que además, el impacto más importante fue la reducción en la cantidad de agua que se ha dejado de extraer de las fuentes de almacenamiento. Sin embargo, los resultados que se obtengan al emplear esta fórmula siguen estando en función del conocimiento de las características de la parcela (longitud de riego, pendiente, contenidos de humedad, porosidad y textura), de la evaluación de las pruebas de riego, y lo más importante, de la experiencia del diseñador de riego, ya que un bajo conocimiento de los parámetros que intervienen en la ecuación puede dar resultados no favorables y dar recomendaciones poco adecuadas.

Referencias Bibliográficas

- Chávez C., Fuentes C. 2018. Optimization of furrow irrigation by an analytical formula and its impact on reduction of the water applied. *Agrociencia. In press*
- Fuentes C., H. Saucedo, L. Rendón. 2012. Capítulo 7. Diseño de Riego por Gravedad. En Riego por Gravedad. Editores Carlos Fuentes y Luis Rendón. Universidad Autónoma de Querétaro.321-358.
- Gillies M.H. y Smith, R.J. 2015. SISCO: Surface Irrigation Simulation, Calibration and Pptimisation. *Irrigation Science* 33: 339-355.
- Seidel S.J., N. Schutze, M. Fahle, J.-C Mailhol y P. Ruelle. 2015. Optimal Irrigation Scheduling, Irrigation Control and Drip Line Layout to Increase Water Productivity and Profit in Subsurface Drip-Irrigated Agriculture. *Irrigation and Drainage* 64: 501–518.