

RECYT

Año 20 / N° 30 / 2018 / 42–47

Calibración de tres modelos de infiltración en el riego por surcos en el cultivo de la caña de azúcar en la provincia Ciego de Ávila, Cuba

Calibration of tri furrows infiltration models in sugarcane cultivation in Ciego de Ávila province, Cuba

Danubis Luis Pelier^{1, *}, Oscar Brown Manrique², Yurisbel Gallardo Ballat¹, Oswal Madrigal Millian¹, José M. Masid de la Nuez³

1- Departamento de Ingeniería Hidráulica. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila "Máximo Gómez Báez". 2- Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila "Máximo Gómez Báez". 3- Estudiante de la carrera Ingeniería Hidráulica. Departamento de Ingeniería Hidráulica Mantenimiento. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila "Máximo Gómez Báez".

* E-mail: daniubis@unica.cu

Resumen

Se desarrolló una investigación en una parcela sembrada de caña de azúcar de la variedad C-120 en la granja Albio Hernández de la Empresa Azucarera Primero de Enero en la provincia Ciego de Ávila, con el objetivo de calibrar tres modelos de infiltración en el riego por surcos con tubería de salidas múltiples. Los resultados obtenidos indican que los modelos propuestos son confiables para la simulación de los parámetros de las funciones de avance, recesión e infiltración en un rango de caudales entre 2,24 a 2,87 L s⁻¹. Se comprobó que los valores de lámina infiltrada acumulada estimados mediante los modelos de Kostiakov, Philips y Kostiakov-Lewis fueron muy similares.

Palabras clave: Avance del agua, Infiltración acumulada, Recesión.

Abstract

A research has been carried out in a lot planted with sugar cane, variety C-120 on the farm Albio Hernández which belongs to the Sugar Company Primero de Enero in the province Ciego de Ávila, with the aim of calibrating three infiltration models in the furrow irrigation with pipes of multiple floodgates. The obtained results indicate that the proposed models are reliable for the simulation of the parameters of the advance functions, recession and infiltration in a range of flows between 2,24 and 2,87 L s⁻¹. The estimated values of the infiltration accumulated by means of the models of Kostiakov, Philips and Kostiakov-Lewis were very similar.

Keywords: Advance of the water, Accumulated infiltration, Recession.

Introducción

El riego es uno de los logros técnicos más significativos para el uso de los recursos físicos ya que permite disponer de un insumo esencial para la producción agrícola y por ello promueve la expansión de la frontera agraria (Riera y Barrionuevo, 2015).

El uso del riego en la agricultura es una práctica antigua, desarrollada con la finalidad de proveer una cantidad adecuada de agua para el correcto desarrollo de los cultivos y permitir así la producción de alimentos en la época seca, en la cual no existen lluvias frecuentes (Ayala y Albóniga, 2015).

El riego por superficie es el sistema de riego más empleado en muchos lugares del mundo, ocupando la inmensa mayoría de las tierras de regadío a nivel mundial (Sánchez *et al.*, 2002), porque constituye una alternativa con viabilidad tecnológica, económica y financiera, más

accesible para productores de pequeños y medianos recursos (Leopoldo *et al.*, 2014).

El objetivo del diseño de los surcos en el Sistema de riego superficial es lograr la máxima eficiencia de aplicación; teniendo en cuenta que si se conoce la longitud es posible determinar un caudal óptimo (Vázquez, 1996); por eso es conveniente la utilización de datos geométricos de surcos parabólicos lo que permite el empleo de la modelación matemática (Bautista y Wallender, 1993).

El riego simultáneo de todos los surcos como variante del riego por superficie, es ampliamente utilizado y permite obtener elevadas eficiencias de aplicación. La técnica consiste en bloquear la parte final del surco para impedir las pérdidas de agua por escorrentía y ha mostrado ser eficaz en el mejoramiento de la eficiencia de aplicación (Cahoon *et al.*, 1995); sin embargo, existen trabajos que muestran que el riego por surcos alternos reduce el consumo de

agua manteniendo la producción del cultivo (Graterol *et al.*, 1993; Kang *et al.*, 2000; Webber *et al.*, 2006; Horst *et al.*, 2005; 2007).

La mejora en la eficiencia del uso del agua en el riego por surcos alternos puede deberse al incremento del movimiento lateral del agua en el suelo, que reduce las pérdidas por percolación profunda, o que el sistema radicular del cultivo se encuentra en condiciones de riego deficitario, lo que induciría a reducir la transpiración del cultivo (Webber *et al.*, 2006).

Para el mejoramiento del desempeño de los sistemas de riego por surcos es necesario la estimación de la infiltración del agua de la manera más exacta posible para que se reduzca la diferencia entre el diseño y los resultados que se logran en su implementación práctica. Una de las vías utilizadas para la obtención de los parámetros de la infiltración es el desarrollo de modelos matemáticos los cuales al ser calibrados de forma satisfactoria se convierten en una herramienta de diseño de gran utilidad.

En consideración a lo planteado anteriormente se estableció como objetivo del trabajo la calibración de tres modelos de infiltración en el riego por surcos con tubería de salidas múltiples en el cultivo de la caña de azúcar en la empresa azucarera primero de enero, provincia Ciego de Ávila.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en una parcela sembrada de caña de azúcar de la variedad C-120 localizada en el bloque 609 de la UBPC Albio Hernández de la Empresa Azucarera Primero de Enero. El área se encuentra ubicada a los 21°52' de Latitud Norte y 78°18' de Longitud Oeste, con una superficie de 35 hectáreas.

El tipo de suelo predominante es el ferralítico rojo compactado (Oxisol según la clasificación de los suelos de la Soil Taxonomy), que para una profundidad de 60 cm presenta las características promediosiguientes: densidad aparente 1,30 g cm⁻³; densidad real 2,70 g cm⁻³; capacidad de campo 31,0%; punto de marchitez permanente de 18,2%; velocidad de infiltración básica de 33,4 mm h⁻¹ y porcentajes de arena, limo y arcilla de 18,2; 17,1 y 64,8 % respectivamente. La superficie presenta una topografía no uniforme en el interior de los campos en el sentido de los surcos; siendo necesario seleccionar tres parcelas con las mejores condiciones para su estudio con pendientes de 0,004, 0,003 y 0,002 respectivamente.

La fuente de abastos es subterránea con valores de 7,50 m y 8,30 m para el nivel estático y dinámico respectivamente, lo que garantiza un caudal de extracción superior a 200 L s⁻¹ a partir de un pozo de 500 mm de diámetro y profundidad 25,0 m. La calidad del agua es buena con un nivel promedio de sales solubles totales (SST) de 0,10 g L⁻¹.

El sistema de riego empleado es del tipo riego por surcos mediante tuberías de salidas múltiples de PVC con

diámetro 280 mm, la cual tiene compuertas regulables cada 1,50 m para la descarga del caudal en el surco. Esta tubería toma el agua desde el hidrante con una longitud de 100 m.



Figura 1: Tubería multicompuestas.

El área experimental se subdividió en tres parcelas de 100 m de longitud con 12 surcos cada una. En todos los tratamientos se utilizaron tuberías de PVC con compuertas regulables a través de las cuales se aplicó el caudal correspondiente a cada tratamiento. Este se aforó con la utilización del método volumétrico en la compuerta inicial, la compuerta intermedia la compuerta final de la tubería de riego. Se utilizó un diseño experimental en franjas con tres tratamientos y tres repeticiones como se muestra en la tabla 1 y en la figura 2.

Tabla 1: Tratamientos experimentales.

Tratamiento	Caudal (L s ⁻¹)	Caudal (m ³ min ⁻¹)
A	2,24	0,134
B	2,61	0,157
C	2,87	0,172

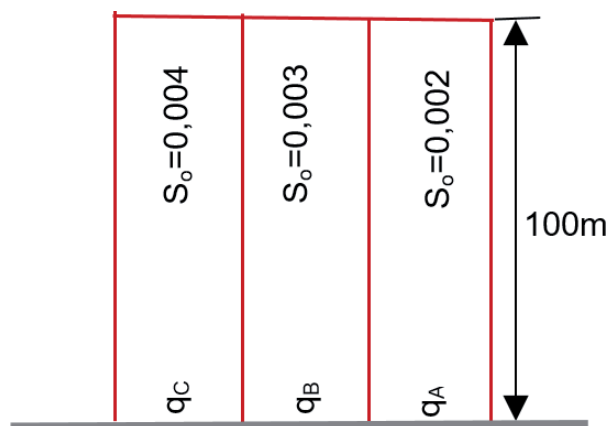


Figura 2: Esquema del sistema de riego.

Para determinar los tiempos de riego, previamente se colocaron estacas a equidistancias de 10 metros sobre la longitud total de tres surcos seleccionados aleatoriamente en cada franja y se utilizó un cronómetro digital con precisión de un segundo para la determinación del tiempo de avance (t_x) y el tiempo de corte (t_{co}). Con los valores de estos tiempos se calculó el tiempo de oportunidad de infiltración (t_o) con la utilización de la siguiente ecuación:

$$t_o = t_o - t_x \quad (1)$$

El modelo de avance se determinó mediante el ajuste de los datos experimentales de longitud y tiempo de avance a la siguiente ecuación potencial:

$$x = pt^r \quad (2)$$

Donde x es la distancia de avance del flujo de agua (m); t el tiempo de avance del flujo de agua (min.); p , r los parámetros de ajuste del modelo potencial.

El modelo para la estimación de la recesión del agua en el surco se determinó a partir de las siguientes ecuaciones:

$$tr_i = tr_l + m_r x_i \quad (3)$$

$$tr_i = t_{co} + t_c \quad (4) \quad t_c = \frac{V_c}{q_o} = \frac{0.5A_o L}{q_o} \quad (5) \quad A_o = \left(\frac{q_o \cdot n}{60\rho_1 S_o^{0.5}} \right)^{1/\rho_2} \quad (6)$$

Donde tr_i es el tiempo de recesión en cada estación del surco (min.); tr_l el tiempo de recesión en el extremo inicial del surco (min.); m_r la pendiente de la curva lineal de recesión determinada experimentalmente según sugerencias de García (1996); x_i la distancia de recesión en cada estación del surco (m); t_c el tiempo en la fase de consumo (min.); q_o el caudal aplicado en el surco ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$); A_o el área hidráulica del surco (m^2); L la longitud total del surco (m); n la rugosidad del surco; S_o la pendiente longitudinal del surco; ρ_1 , ρ_2 los parámetros geométricos del surco determinado experimentalmente para suelos ferralíticos rojos ($\rho_1 = 0.526$; $\rho_2 = 1.357$).

Los tiempos de almacenamiento y de recesión se estimaron a partir de las siguientes ecuaciones:

$$t_{alm} = t_{co} - t_L \quad (7)$$

$$tr_L = t_r - t_L \quad (8)$$

Donde t_r es el tiempo de recesión (min.); t_L el tiempo de avance en el extremo final del surco (min.).

La lámina infiltrada en el surco se determinó a partir de la ecuación de tres modelos de infiltración: Kostiakov, Philip y Kostiakov-Lewis. La infiltración mediante el modelo de Kostiakov se estimó a partir del criterio de García (1996) desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del agua (IMTA). Las ecuaciones aplicadas fueron las siguientes:

$$Z = k_o t_o^a \quad (9)$$

$$k_o = \frac{Q_o}{p \cdot \sigma_z} \quad (10)$$

$$p = \frac{L}{t_L^r} \quad (11)$$

$$r = \frac{h\left(\frac{L_{0.5}}{L}\right)}{h\left(\frac{t_{0.5}}{t_L}\right)} \quad (12)$$

$$a_o = 1 - r \quad (13)$$

$$\sigma_z = \frac{2 - r + r^2}{2 + r - r^2} \quad (14)$$

Donde Z es la lámina infiltrada acumulada (cm); $L_{0.5}$ la longitud del surco desde la cabecera hasta la mitad (m); Q_o el caudal suministrado al surco ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$); σ_z el factor de forma del flujo subsuperficial; t_L el tiempo total de avance (min.); $t_{0.5}$ el tiempo de avance hasta la mitad del surco; k_o , a_o los parámetros de la función potencial de infiltración.

La infiltración mediante el modelo de Philip se obtuvo con la utilización del procedimiento propuesto por Shepard *et al.*, (1993) para la estimación de los parámetros S_1 y A de la ecuación de infiltración de dos términos de Philip. Las expresiones matemáticas empleadas fueron:

$$Z = S_1 t_o^{0.5} + A t_o \quad (15)$$

$$S_1 = \frac{Q_o t_L - 3A_o L}{0.7854 t_L^2 L} \quad (16)$$

$$A = \frac{3A_o}{t_L} \quad (17)$$

Donde Z es la lámina infiltrada acumulada (cm); L la longitud del surco (m); A_o el área hidráulica del surco (m^2); S_1 la sorbilidad del suelo (*sorptiviti*), expresado en ($\text{m min}^{-1/2}$); A el parámetro gravitacional (m min^{-1}).

Elliott y Walker (1982) utilizaron la función de Kostiakov modificada para caracterizar la infiltración en el riego por surcos. Esta puede escribirse como:

$$Z = k t_o^a + f_o t_o \quad (18)$$

Donde k el coeficiente de ajuste ($\text{m}^3 \text{min}^{-a} \text{m}^{-1}$); a el exponente de la función de infiltración; f_o la velocidad de infiltración estabilizada ($\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-1}$).

Resultados y Discusión

En la figura 3 se muestra el comportamiento de la curva de avance del agua en el surco para los caudales correspondientes a 2,24 L s⁻¹; 2,61 L s⁻¹ y 2,87 L s⁻¹ respectivamente. En todos los casos se observa que la relación entre distancia y tiempo de avance puede ajustarse adecuadamente a un modelo polinomial de segundo grado, con un elevado coeficiente de determinación superior al 90%, lo que indica una alta relación funcional entre estas dos variables. Para estos caudales los modelos encontrados fueron los siguientes:

$$t_x = 0,0045L^2 + 0,2147L - 1,2643 \quad (19)$$

$$R^2 = 0,9731$$

$$t_x = 0,0092L^2 + 0,0516L - 1,1245 \quad (20)$$

$$R^2 = 0,9656$$

$$t_x = 0,0113L^2 + 0,0987L - 1,8399 \quad (21)$$

$$R^2 = 0,9846$$

Donde t_x es el tiempo de avance del flujo de agua a la distancia X (min); L la distancia de avance medida desde el extremo inicial del surco (m).

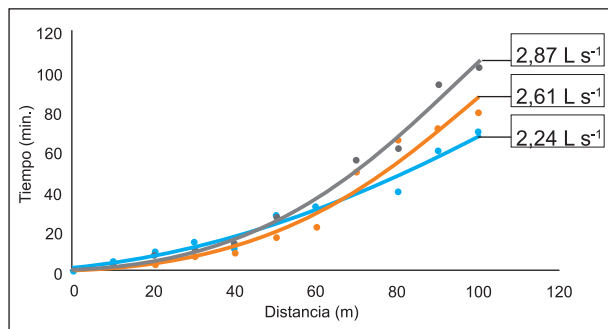


Figura 3: Curva de avance para los caudales de 2,24; 2,61 y 2,87 L s⁻¹.

Es usual el uso de la función potencial de avance para ajustar la distancia y el tiempo de avance a un modelo estadístico matemático. En este caso se proponen modelos polinomiales de quinto orden para la determinación del coeficiente p y el exponente r de esta función:

$$x = t p^r \quad (22)$$

$$p = -0,012x^5 + 0,2263x^4 - 1,6946x^3 + 6,391x^2 - 12,182x + 9,4182 \quad (23)$$

$$R^2 = 0,8262$$

$$r = -0,8215x^5 + 16,19x^4 - 126,48x^3 + 489,45x^2 - 937,97x + 713,77 \quad (24)$$

$$R^2 = 0,8345$$

$$x = \ln\left(\frac{t_L}{q_0}\right) \quad (25)$$

Donde t_L es el tiempo de avance del flujo de agua a la distancia L (min); q_0 el caudal aplicado en el surco (L s⁻¹).

También se determinó el valor promedio de los parámetros de ajustes p y r para su utilización práctica en esta zona de producción cañera. Los valores promedio obtenidos fueron:

$$\bar{p} = 0,02449 \quad (26)$$

$$= 1,5918$$

La utilización de esos valores en la ecuación potencial de avances permitió alcanzar valores del coeficiente de determinación (R^2) entre 0,9674 y 0,9926.

La curva de recesión se determinó a través del siguiente modelo lineal $tr_i = tr_l + mx_i$. En este caso la pendiente se obtuvo mediante la función polinomial de tercer orden que se expresa a continuación:

$$m_r = 23216x^3 + 7319x^2 - 728,72x + 27,544 \quad (27)$$

$$R^2 = 0,9745$$

$$x = \ln(t_L) \quad (28)$$

También se determinó el valor promedio de la pendiente de la curva de recesión con un valor promedio de $\bar{m}_r = 0,1018$. La utilización de este resultado en la ecuación lineal de recesión permitió lograr un coeficiente de determinación entre 0,8963 y 0,9342, lo que demuestra su validez para la simulación de la curva de recesión a partir del tiempo de avance en el extremo final del surco.

En la tabla 2 se presentan los parámetros de la función de infiltración de Kostiakov según criterio de García (1996) obtenida en el sistema de riego por surcos con tuberías multicompuertas en la Empresa Azucarera Primero de Enero. Los resultados expuestos permiten construir la función de infiltración para cada caudal aplicado en función del coeficiente k_o y el exponente a_o . Estas se escriben de la forma siguiente:

$$Z_{2,24} = 0,011T_o^{0,553} \quad (29)$$

$$Z_{2,61} = 0,011T_o^{0,600} \quad (30)$$

$$Z_{2,87} = 0,015T_o^{0,583} \tag{31}$$

Tabla 2: Parámetros de la función de infiltración de Kostiakov.

q (L s ⁻¹)	L _{0,5} (m)	t _{0,5} (min)	t _l (min)	ln(L _{0,5} /L)	ln(t _{0,5} /t _l)	r	p	σ _z	a ₀	k ₀
2,24	60	22	69	-0,511	-1,143	0,45	15,07	0,78	0,553	0,011
2,61	60	22	79	-0,511	-1,278	0,40	17,45	0,79	0,600	0,011
2,87	60	30	102	-0,511	-1,224	0,42	14,51	0,78	0,583	0,015

En la tabla 3 se presentan los parámetros de la función de infiltración de Philip acorde con el método propuesto por Shepard *et al.* (1993). Los resultados expuestos permiten construir la función de infiltración para cada caudal aplicado en función del coeficiente S₁, el exponente gravitacional A y los valores de ρ₁ y ρ₂ que para estas condiciones fueron de 0.648 y 1.375 respectivamente.

Tabla 3: Parámetros de la función de infiltración para el modelo de Philip.

q (L s ⁻¹)	S ₀ (m m ⁻¹)	n	A ₀ (m ²)	L (m)	T _L (min)	A (m min ⁻³)	S ₁ (m min ⁻¹)
2,24	0,041	0,030	0,0040	100,0	69,0	0,00018	0,014
2,61	0,031	0,030	0,0050	100,0	79,0	0,00019	0,018
2,87	0,020	0,030	0,0063	100,0	102,0	0,00018	0,022

Los parámetros de ajuste de este modelo encontrados en la investigación permitieron construir la función de infiltración para cada caudal aplicado en función de la sorbilidad (S₁) y el parámetro gravitacional (A), como se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Z_{2,24} &= 0,014T_o^{0,5} + 0,00018T_o \\ Z_{2,61} &= 0,018T_o^{0,5} + 0,00019T_o \\ Z_{2,87} &= 0,022T_o^{0,5} + 0,00018T_o \end{aligned} \tag{32}$$

En la tabla 4 se presentan los parámetros de la función de infiltración de Kostiakov-Lewis para los caudales 2.24, 2.61 y 2.87 L s⁻¹ respectivamente. A partir de estos resultados se dedujo la función de infiltración para cada caudal aplicado en función del coeficiente K, el exponente a y la velocidad estabilizada f₀. Estas son:

$$\begin{aligned} Z_{2,24} &= 0,020T_o^{0,017} + 0,0013T_o \\ Z_{2,61} &= 0,023T_o^{0,015} + 0,0015T_o \\ Z_{2,87} &= 0,031T_o^{0,065} + 0,0017T_o \end{aligned} \tag{33}$$

Tabla 4: Parámetros de la función de infiltración Kostiakov-Lewis para 2,24; 2,61 y 2,87 L s⁻¹.

q (L s ⁻¹)	A ₀ (m ²)	σ _z	V _{L0,5} (m ³)	V _L (m ³)	a	K (m ³ min ⁻³ m ⁻¹)	f ₀ (m ³ min ⁻¹ m ⁻¹)
2,24	0,011	0,990	0,020	0,021	0,017	0,020	0,0013
2,61	0,013	0,991	0,023	0,024	0,015	0,023	0,0015
2,87	0,016	0,996	0,038	0,041	0,065	0,031	0,0017

Los modelos de infiltración obtenidos: Kostiakov (K), Philip (Ph) y Kostiakov-Lewis (K-L) permitieron simular la lámina infiltrada acumulada (L_{ac}). Los resultados se muestran en la figura 4 para los caudales de 2,24; 2,61 y 2,87 L s⁻¹. Aunque la comparación de estos modelos con los resultados experimentales indicaron que el modelo de Kostiakov-Lewis fue el más preciso por tener menor error absoluto; se debe destacar que de manera general los valores de la lámina infiltrada acumulada son muy próximos entre sí; por lo que es posible su utilización desde el punto práctico para cuantificar la infiltración en el riego por surcos. Este comportamiento coincide con diferentes autores como Shepard *et al.* (1993); García (1996) y Tornés *et al.* (2016) en investigaciones realizadas en los Estados Unidos de América, México y Cuba respectivamente.

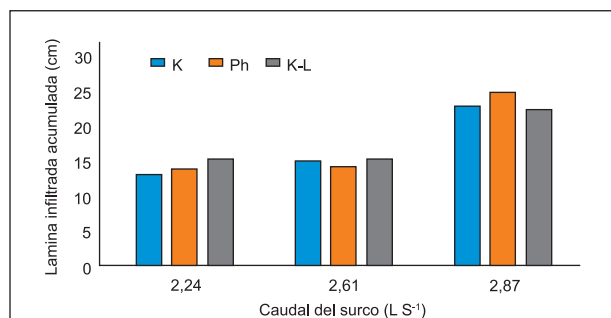


Figura 4: Comparación entre diferentes modelos de infiltración.

Conclusiones

En la investigación desarrollada se compararon los modelos matemáticos de Kostiakov, Philips y Kostiakov-Lewis con fines de su utilización para la estimación de la infiltración del agua en suelos Ferrasoles utilizados en el cultivo de caña de azúcar. Estos fueron calibrados en el rango de caudales entre 2,24 a 2,87 L s⁻¹ en función de la lámina infiltrada acumulada; comprobándose que manifiestan un comportamiento similar en la cuantificación de este importante parámetro de diseño y manejo del riego superficial.

Se obtuvieron modelos polinomiales de quinto orden para la determinación del coeficiente p y el exponente r de la función potencial de avance del tipo x=pr^r; así como un modelo polinomial de tercer orden para el cálculo de la pendiente del modelo lineal utilizado para la estimación de la curva de recesión. Estos resultados fueron deducidos a partir de los datos reales de campo que permitieron su calibración y validación con resultados satisfactorios.

Bibliografía

1. Ayala, J.C. y Albóniga, R. *Dispositivo electrónico de medición del caudal de agua para canales abiertos*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 24(esp.): 91-99, ISSN: 1010-2760, 2015.

2. **Bautista, E. y Wallender, W.W.** *Reliability of Optimized Furrow Infiltration Parameters*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 119 (5), 1993.
3. **Cahoon, J.E; Mandel, P. y Eisenhauer, D.E.** *Management recommendations for sloping blocked-end furrow irrigation*, Appl. Eng. in Agric. Vol.11 (4): 527-533, 1995.
4. **Elliot, R.L. y Walker, W.R.** *Field Evaluation of furrow infiltration and advance functions*. Transactions of the ASAE, Vol. 25 (2): 396-400, USA, 1982.
5. **García, V.N. y Aguilar, A.** *Furrow Irrigation Desing*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA, México, 1996.
6. **Guerrero A. M; Tornés, N; Brown, O; Gómez, Y.** *Evaluación de tres modelos en la estimación de la infiltración acumulada*. Revista Ingeniería Agrícola. Vol. 6 (3): 41-47, ISSN-2306-1545, Cuba, 2016.
7. **Graterol, Y.E., Eisenhauer, D.E. y Elmore, R.W.** *Alternate-furrow irrigation for soybean production*. Agric. Water Manag., Vol. 24(2): 133-145, 1993.
8. **Kang, S.Z., Liang, Z.S., Hu, X.T., Pan, Y.H., Shiy, P.Z. y Zhang, J.** *Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas*, Irrig. Sci., Vol.19 (4): 181-190, 2000.
9. **Horst, M.G., Shamutalov, S.S., Pereira, L.S. y Gonçalves, J.M.** *Assessing impacts of surge-flow irrigation on water saving and productivity of cotton*. Agric. Water Manag., Vol.87 (2):115-127, 2007.
10. **Horst, M.G., Shamutalov, S.S., Gonçalves, J.M. y Pereira, L.S.** *Field assessment of the water saving potential with furrow irrigation in Fergana*. Aral Sea basin. Agric. Water Manag., Vol.77 (1-3):210-23, 2005.
11. **Leopoldo, G., Andreau, R. y Etchevers, P.** *Desempeño de tres métodos de riego por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo en un cultivo de maíz*. Revista de la Facultad de Agronomía. La Plata, Vol. 113 (2): 174-191, 2014.
12. **Riera, C. y Barrionuevo, N.** *La expansión del riego por aspersión en dos áreas agroecológicas de la provincia de Córdoba (1997-2011)*. Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía. N° 18:115-137, ISSN 1853-4392, 2015.
13. **Sánchez, A., García, P. y Playán, E.** *Modelo de simulación de riego por surcos inundados*. Ingeniería del Agua. Vol.9 (3): 32-63, 2002.
14. **Shepard, J.S., Wallender, W.W. y Hopman, J.W.** *One-point method for estimating furrow infiltration*. ASAE: 395-404, USA, 1993.
15. **Webber, H.A., Madramootoo, C.A., Bourgault, M., Horst, M.G., Stulina, G. y Smith, D.L.** *Water use efficiency of common bean and green gram grown using alternate furrow and deficit irrigation*. Agric. Water Manag. Vol. 86 (3): 259-268, 2006.
16. **Vázquez, E.** *Diseño y revisión de surcos con riegos continuo y de corte posterior*. Revista Ingeniería del Agua. Vol.3 (3): 7-14, 1996.

Recibido: 10/07/2018.

Aprobado: 27/09/2018.