

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Consistencia del modelo de infiltración de Philip respecto al de Kostiakov-Lewis en el riego superficial

Consistency of Philip infiltration model regarding Kostiakov-Lewis surface irrigation

Dr.C. Manuel Rodríguez González¹, Dr.C. Martín Santana Sotolongo¹, Dr.C. Oscar Brown Manrique^{II},
M.Sc. Rubén Viera Marín¹

¹ Universidad de Sancti Spíritus, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sancti Spíritus, Cuba.

^{II} Universidad de Ciego de Ávila, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue demostrar la consistencia de la función de dos términos del modelo de Philip (Ph) respecto al de Kostiakov-Lewis (K-L) para determinar la infiltración en el riego por surcos por el método estándar y de un punto, en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado con 1,2 % de pendiente. Además, se determinaron los parámetros de desempeño del riego que permiten estimar las funciones de infiltración, a partir de los resultados experimentales obtenidos en pruebas de campo. La investigación se llevó a cabo en la finca “La Esperanza” ubicada en la comunidad Banao, en cultivo de frijol en surcos de 80 m de longitud. Los resultados demostraron la consistencia del método de un punto, respecto al estándar y se encontró que el error relativo obtenido de la comparación entre estas dos funciones osciló entre 3,1 y 5,0 %. Los valores de la tasa de infiltración básica (f_0) para K-L y el segundo término de la función de Ph que se obtuvieron en los ensayos, mostraron igual orden de magnitud. No existen diferencias significativas en la lámina infiltrada media de los dos modelos en cada punto de lectura. Los dos modelos analizados resultaron beneficiosos para interpretar la infiltración en cada evento de riego. La ecuación de Ph, resulta más conveniente desde el punto de vista práctico por requerir menos información a partir de una prueba real de campo que la ecuación de K-L y tener una base teórica sólida.

Palabras clave: Infiltración básica, riego por surcos.

ABSTRACT. The objective of the present study was to demonstrate the consistency of the function of two terms of Philip's (Ph) model regarding that of Kostiakov-Lewis (K-L) to determine the infiltration in the furrow irrigation by the standard method and of a point, in a Red Leached Ferruginous soil with slope 1,2 %. The parameters of the performance of the irrigation were also determined allowing estimate the infiltration functions, starting from the experimental results obtained in field tests. The research was carried out in the farm “Esperanza” located in the community Banao, in bean cultivation in furrows of 80 m of longitude. The results demonstrated the consistency of the method of a point, regarding the standard one and it was found that the relative error obtained of the comparison among these two functions oscillated between 3.1 and 5.0 %. The values of the rate of basic water infiltration (f_0) for K-L and the second term of the function of Ph that were obtained in the tests, showed the same order of magnitude. Significant differences don't exist in the sheet of water infiltrated in the two models in each reading point. The two analyzed models were beneficial to interpret the infiltration in each irrigation event. The equation of Ph is more convenient from the practical point of view than the equation of K-L because it requires less information starting from a real field test and has a theoretical solid base.

Keywords: basic infiltration, furrow irrigation.

INTRODUCCIÓN

La infiltración del agua en el suelo es un proceso físico que ha sido extensamente investigado debido a su importancia en la agricultura. Es el aspecto más complejo de la hidráulica del riego por surcos⁽¹⁾ y uno de los factores más importante de cuantos intervienen en el diseño de los métodos de riego (García, 2011).

Este simple parámetro controla no solamente la cantidad de agua que entra al suelo, sino la tasa de avance del flujo sobre el terreno y puede describirse cuantitativamente mediante la solución de la ecuación de transporte Richard (Reyna *et al.*, 2010). Para ello se requiere del conocimiento de las características hidrodinámicas del suelo (Greco y Vieira, 2005); esto es: la relación entre el contenido volumétrico de humedad del suelo (q) y el potencial de presión

(h) así como la relación entre el contenido volumétrico de humedad y la conductividad hidráulica (k). Esta ecuación puede descubrir el movimiento del agua en tres dimensiones adicionando el gradiente hidráulico correspondiente a la ecuación de Darcy¹ en las direcciones X, Y y Z. Su solución habitualmente parte del criterio simplificador de que el suelo es homogéneo, indeformable, el flujo isotérmico y el efecto del aire despreciable (no hay histéresis). Debido a la dificultad para solucionar esta ecuación altamente no lineal se ha puesto énfasis en otras técnicas y algoritmos, quedando el uso de la ecuación de Richard sólo para casos específicos (Rodríguez *et al.*, 2008; Arbat *et al.*, 2009).

Para la determinación de la infiltración se utilizan diferentes modelos que se emplean en hidrología y ciencias del suelo, algunos de base teórica o física y otros empíricos. Las primeras tienen la ventaja de estar físicamente fundamentadas y ayudar a la comprensión del fenómeno. Su principal limitación estriba en los supuestos de homogeneidad del perfil. Las ecuaciones empíricas tienen la ventaja de su sencillez y en general, su amplia adecuación a condiciones diferentes de suelo (Martínez *et al.*, 2006). Tienen, sin embargo, la limitación de no proporcionar ninguna interpretación física directa del fenómeno. La literatura enfatiza el desarrollo de ecuaciones representativas de la infiltración (Grean-Ampt; Kostiaikov; Kostiaikov- Lewis, Horton; Mezencev y Phillip) que permiten obtener los parámetros hidráulicos del suelo ajustando ecuaciones simples a los datos experimentales (Landini *et al.*, 2007; Nofuente y Polo, 2009).

Landini *et al.* (2007), expresan que la ecuación de Kostiaikov-Lewis es probablemente la más utilizada de las funciones de infiltración que se utiliza para determinar este proceso, a partir del método de “dos puntos”. Elliott *et al.* (1983), se refirieron a la necesidad de disponer de una técnica para la determinación con seguridad de las características de infiltración del suelo a partir de datos reales de una prueba de riego. Las características de esta técnica deben ser: (1) tener una base teórica sólida, (2) ser simple y fácil de utilizar, (3) requerir una modesta cantidad de datos y (4) ser validada en un amplio rango de condiciones de campo.

La ecuación de Philip presentó una solución general analítica para la ecuación de Richards, que consistió en un desarrollo en serie de potencias de esta ecuación que describen razonablemente bien la infiltración a partir de una ecuación de dos términos que es bidimensional, con un enfoque físico y se utiliza para determinar la infiltración en el riego por surcos con flujo continuo, a partir del tiempo total de avance, el caudal de entrada y el área hidráulica del surco².

El objetivo del presente trabajo fue demostrar la consistencia de la función de dos términos de Philip respecto al modelo de Kostiaikov-Lewis para determinar la infiltración en el riego por surcos.

MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la finca “La Esperanza” en la comunidad de Banao en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (Hernández *et al.*, 1999) en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad Bat-304 de testa negra.

La determinación de los parámetros del riego por surcos se realizó a partir de los resultados experimentales obtenidos en pruebas de campo bajo las condiciones en que se desarrolla la producción de este cultivo en la zona, con surcos abiertos y drenaje libre en su extremo. El ensayo se realizó en tres surcos seleccionados en el campo con pendiente longitudinal de 1,2 %. En cada uno de ellos se instaló un aforador (vertedor triangular) en el inicio del surco (Q_0) y otro al final (Q_s). A distintos intervalos de tiempo se registró el caudal entrado y salida en cada uno de los surcos.

Para determinar los parámetros del modelo de infiltración de Kostiaikov-Lewis, se siguió el siguiente algoritmo [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9]:

$$Z = kt^a + f_0t \quad [1]$$

donde:

Z es la lámina infiltrada acumulada (m^3/m);

k el coeficiente de ajuste ($m^3/min./m$);

a el exponente de la función de infiltración;

f_0 la velocidad de infiltración estabilizada ($m^3/min./m$);

t el tiempo de infiltración de la lámina de riego (min.).

Los parámetros de k , a y f_0 se estiman a partir del método de balance de volumen aplicado en dos puntos de la longitud del surco durante la fase de avance (medio y el final del surco). La velocidad de infiltración estabilizada (Machiwal *et al.*, 2006), donde:

$$f_0 = \frac{Q_0 - Q_s}{L} \quad [2]$$

Q_0 caudal de entrada;

Q_s caudal de salida y L longitud del surco.

La solución de Elliott y Walker para determinar esta función de infiltración (K-L) en el riego por surcos; requiere previamente de una prueba de riego con la finalidad de obtener los tiempos de avance en las distancias anteriormente especificadas y el gasto de escurrimiento estabilizado del surco. El exponente de la función de infiltración se determina por:

$$a = \frac{\ln\left(\frac{V_L}{V_{L/2}}\right)}{\ln\left(\frac{t_{L/2}}{t_L}\right)} \quad [3]$$

¹ BROWN, O.: Mejoramiento del diseño y manejo del riego por surcos con flujo continuo e intermitente en suelos ferralíticos, mediante la utilización de un modelo matemático simplificado, 118pp., Tesis de Doctorado. Ciego de Ávila, Cuba: UNICA, 2000.

² RODRÍGUEZ, M.: Tecnología para el mejoramiento del riego por surcos asociado al cultivo de la cebolla en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, 112pp., Tesis de Doctorado. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu de la Villa (UCLV), 2014.

donde:

$$r = \frac{\ln\left(\frac{L_{0,5}}{L}\right)}{\ln\left(\frac{t_{L/2}}{t_L}\right)} \quad [4]$$

$$V_{L/2} = Q_0 \left(\frac{t_{L/2}}{L_{0,5}}\right) - 0,77 A_0 - f_0 \left(\frac{t_{L/2}}{1+r}\right) \quad [5]$$

$$V_L = Q_0 \left(\frac{t_L}{L}\right) - 0,77 A_0 - f_0 \left(\frac{t_L}{1+r}\right) \quad [6]$$

$$A_0 = \left(\frac{Q_0 \cdot n}{60 \cdot \rho_1 \cdot S_0^{0,5}}\right)^{1/\rho_2} \quad [7]$$

donde:

- V_L volumen aplicado hasta el final del surco;
- $V_{L/2}$ volumen aplicado hasta la mitad del surco; t_L tiempo de avance;
- $t_{L/2}$ tiempo transcurrido hasta que el frente de avance llega a la mitad del surco;
- A_0 área hidráulica del surco;
- S_0 pendiente; n coeficiente de rugosidad de Manning;
- σ_z coeficiente de forma del flujo subsuperficial y s_p, s_2 son parámetros de ajuste de las funciones potenciales.
- El coeficiente de ajuste:

$$k = \frac{V_L}{\sigma_z \cdot t_L^a} \quad [8]$$

donde:

$$\sigma_z = \frac{(1+a) + (1-a)^r}{(1+a)(1+r)} \quad [9]$$

Para determinar la infiltración por la ecuación de dos términos de Philip se utilizó la metodología propuesta por Shepard *et al.* (1993), citado por Santana, 2006³, a partir del método de balance de volumen para un punto³, como se muestra en la función [10], donde los parámetros S_1 y A se determinaron a partir de la curva de avance sobre el suelo seco.

$$Z = S_1 t^{0,5} + At \quad [10]$$

donde:

Z : lámina infiltrada (cm); S_1 sorbilidad (sorpitiviti) la cual representa la capacidad del suelo para absorber agua debido a las fuerzas solo capilares. Este fenómeno es típico de la absorción o infiltración horizontal y A (parámetro gravitacional).

Esta metodología integra el tiempo de avance, la ecuación potencial de avance ($X = P^r$) y la ecuación de balance de volumen [11], sugerida por Lewis y Milne (1938) y la de dos términos de Philip.

$$Q_0 t = A_0 X + \sigma_z S_1 t^{0,5} X + \frac{At}{1+r} X \quad [11]$$

A partir de esta integración se logran los parámetros de ajuste y realizando varias operaciones de simplificación, se obtienen los parámetros S_1 [12] y A [13] de la ecuación de Philip (Ruiz, 2010).

$$S_1 = \frac{Q_0 t_L - 3A_0 L}{0,784 \cdot t_L^{0,5} \cdot L} \quad y \quad [12]$$

$$A = \frac{3A_0}{t_L} \quad [13]$$

Los parámetros de sorbilidad S_1 describen la absorción del agua por el surco como resultado de un gradiente de potencial mátrico, este fenómeno es típico de la absorción o infiltración horizontal. El término A (parámetro gravitacional) es la conductividad hidráulica saturada por lo que depende del contenido de humedad del suelo. También se realizó el análisis de correlación lineal de Pearson, con el fin de identificar la correlación entre la lámina infiltrada en función del tiempo de los dos modelos de infiltración. Este trabajo se realiza en la condición que se aplica el riego por surcos en la zona y el país, o sea surcos abiertos, con pendiente y drenaje libre en su extremo superior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los parámetros de ajuste y los indicadores de desempeño del riego por surcos, que permiten estimar las funciones de infiltración, se obtuvieron mediante medición directa en el campo.

Rodríguez *et al.* (2008) verificaron que cuando la ecuación de dos términos de Philip se utiliza determinando sus coeficientes a partir de datos experimentales, el término A , tiende a f_0 (infiltración básica). En general los parámetros de la ecuación de infiltración, tienen una variabilidad espacial para un mismo tipo suelo y caudal (Moravejalahkami *et al.*, 2012).

TABLA 1. Parámetro de ajuste y datos de las pruebas de riego

Riegos	Qo (Ls-1)	Qs (Ls-1)	L (m)	L0,5 (m)	tL (min)	tL0,5 (min)	ρ_1	ρ_2	n	σ_z
Riego I	2,14	0,032	80	40	58,9	11,4	0,56	1,379	0,03	0,923
Riego II	1,61	0,029	80	40	65	9,7	0,56	1,379	0,03	0,888
Riego III	1,87	0,03	80	40	61	13,7	0,56	1,379	0,03	0,955

En la Tabla 2, se muestran los valores de la tasa de infiltración básica (f_0) para K-L y el de A que se obtuvieron en los ensayos, exhiben igual orden de magnitud. Por lo que se demuestra la validez de este criterio, al comparar los valores promedios del término gravitacional obtenidos en la investigación.

³ SANTANA, M.: Tecnología sostenible para el mejoramiento del riego por surcos y protección del suelo en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) en condiciones de premontaña, 126., Tesis de Doctorado. UNICA: Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, 2006.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Evans *et al.* (1990), Sarralheiro (1995) y Landini *et al.* (2007) los cuales demostraron que cuando la ecuación de Philip se utiliza determinado sus coeficientes a partir de datos experimentales, el parámetro A , tiende a f_0 ; por lo que la ecuación de Kostiakov-Lewis y Philip son formalmente similares.

En esta investigación se demuestra la validez de este criterio, al comparar los valores promedios del término gravitacional obtenidos en la investigación y los valores de f_0 en función del tipo de suelo en la ecuación de Kostiakov-Lewis, desarrollado como base de datos para el programa de simulación SIRMOD III, según Walker (2003)⁴, por lo que se demuestra que la ecuación de Kostiakov-Lewis y Philip son algebraicamente similares.

TABLA 2. Valores de la tasa de infiltración en los dos modelos

Riegos	A_0 (m ²)	V_L (m ³)	$V_{L0,5}$ (m ³)	$X = p^r$		Kostiakov-Lewis			Philip	
				r	p	f_0	a	k	S_I	A
Riego I	0,0069	0,024	0,019	0,4221	14,321	0,002	0,148	0,014	0,015	0,0025
Riego II	0,0056	0,018	0,011	0,3644	17,478	0,001	0,265	0,007	0,012	0,0016
Riego III	0,0063	0,023	0,021	0,4641	11,871	0,001	0,077	0,018	0,013	0,0011

En la Figura 1 se muestra la lámina infiltrada promedio de todos los ensayos realizados en función de la distancia utilizando los dos métodos para determinar la infiltración, se desprende que los dos modelos presentan un buen comportamiento para describir el proceso de infiltración a lo largo del surco.

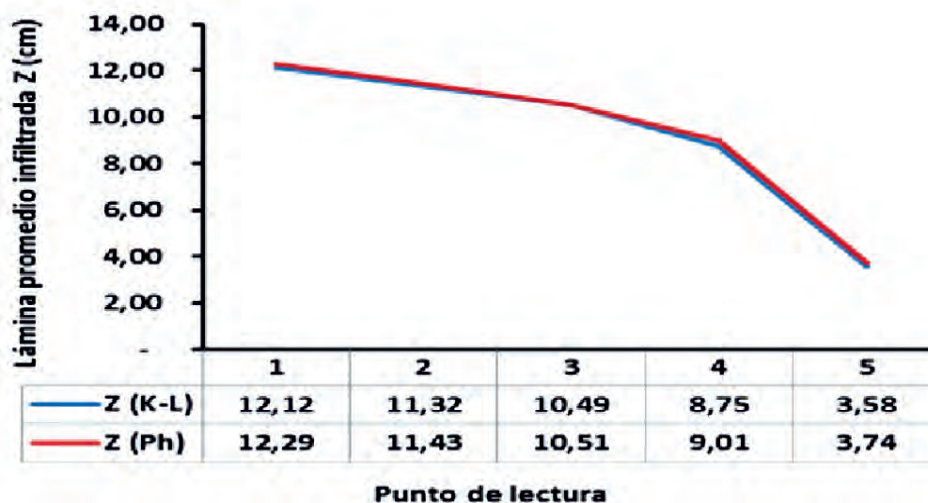


FIGURA 1. Lámina infiltrada promedio de todos los tres ensayos realizados.

En la Tabla 3 se muestran los valores promedio de las curvas descritas por los dos modelos en los tres eventos de riego y la diferencia que existe entre ellos en cada punto de lectura a lo largo del surco. Se destaca que el modelo de Philip describe una curva que supera en cada punto a K-L hasta 0,09 cm como mayor valor. La mayor diferencia entre las dos curvas promedio descritas fue al final del surco, siendo superior en este punto el modelo de Philip en 1,02 veces respecto a Kostiakov-Lewis que esta diferencia equivale a 2,3 %. Se destaca que en el resto de los puntos esta diferencia es inferior al 1 %.

TABLA 3. Ajuste de las dos funciones entre la lámina infiltrada y la longitud del surco

Riegos	Ajuste lineal ($Z = a + b(L)$)	Coefficiente de determinación (R^2)	Coefficiente de correlación (r)	Error std.
Riego I	$Z = 2,5148 + 0,1424x$	0,99	0,98	0,2266
Riego II	$Z = 1,3343 + 0,1345x$	0,99	0,98	0,1169
Riego III	$Z = 2,3206 + 0,1484x$	0,99	0,97	0,1407

La Figura 2 muestra los pares de datos de la lámina infiltrada en función del tiempo en la totalidad de los ensayos realizados por los dos métodos, se encontró que el modelo que más se ajusta es el potencial con tendencia positiva y coeficiente de correla-

⁴ WALKER, R.: Surface irrigation simulation, evaluation and design. Guide and technical documentation, software SIRMOD III. 1ra ed. Utah, Utah State University. Logan, USA, 2003.

ción $r = 0,96$ para una probabilidad calculada de 0,0012 y un error típico de estimación de 0,124. El coeficiente de determinación obtenido en ese análisis fue de 0,93 y explica la dependencia funcional potencial fuerte.

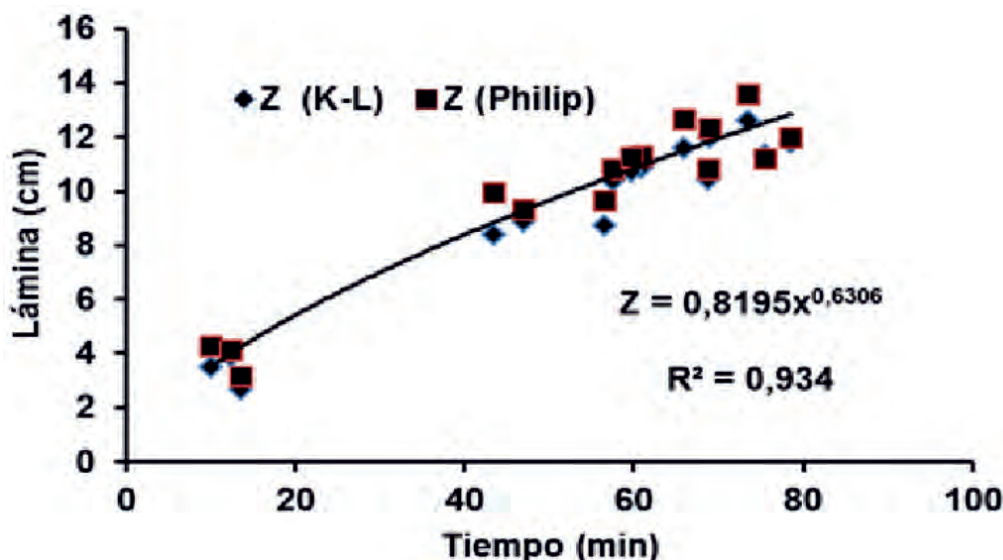


FIGURA 2. Ecuación potencial que ajusta la totalidad de los ensayos de infiltración por los dos métodos.

La caracterización de la infiltración de los suelos, así como su variabilidad espacial y temporal, resulta de suma importancia para el método de riego superficial ya que afecta de forma significativa el desempeño del método, como así también la práctica del diseño y manejo (Tornés *et al.*, 2016). En la Tabla 4 se muestra el análisis de la relación entre la lámina infiltrada promedio para los datos generados en cada punto de lectura, durante los riegos efectuados en función de la longitud, se encontró que el modelo que más se ajustó es el lineal, con tendencia negativa fuerte ($p \leq 0,05$) con un coeficiente de determinación superior a 0,82 en las tres evaluaciones. No existen diferencias significativas entre los modelos (tabla de ANOVA en la estimación curvilínea) en la lámina infiltrada media en cada punto de lectura. Con estas funciones de regresión lineal se pueden estimar el patrón de humedecimiento subsuperficial del surco a partir de los diferentes parámetros del modelo, para cada sitio y período de infiltrometría, tienen en cuenta la magnitud del tiempo de oportunidad de infiltración y la longitud del surco para el uso más eficiente del agua y la energía.

TABLA 4. Ajuste de las dos funciones entre la lámina infiltrada y la longitud del surco

Riegos	Ajuste lineal ($Z = a + b(L)$)	Coefficiente de determinación (R^2)	Coefficiente de correlación (r)	Error de estimación
Riego I	$Z = 13,252 - 0,0942 L$	0,82	0,91	0,854
Riego II	$Z = 12,954 - 0,0933 L$	0,83	0,91	0,701
Riego III	$Z = 14,172 - 0,1068 L$	0,88	0,93	0,638

Los resultados demostraron que las funciones de Philip describen de forma adecuada de la infiltración del riego por surcos y proporciona mayor facilidad de ajuste a partir del tiempo de avance del frente húmedo en el extremo final del campo, a pesar de la limitante de utilizar solo un punto de la trayectoria del avance del agua sobre la superficie del terreno

A partir de pruebas de riego realizadas en la finca “La Esperanza” se encontró que el error relativo obtenido de la comparación entre estas dos funciones osciló entre 3,1 % y 5 %. Los resultados demuestran que las funciones de Kostiakov-Lewis, y la de Philip tuvo prácticamente la misma precisión y describen adecuadamente la infiltración del riego por surcos y son algebraicamente similares.

CONCLUSIONES

- Se demostró la consistencia del método de un punto, respecto al estándar y recomiendan la estimación de S_f y A , a partir del caudal de entrada, el área hidráulica en el extremo superior del surco y el tiempo de avance en su extremo final.
- La ecuación de dos términos de Philip, resulta más conveniente desde el punto de vista práctico por requerir menos información a partir de una prueba real de campo que la ecuación de Kostiakov-Lewis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBAT, G.; OLIVÉ, F.; ROSELLÓ, A.; PUIG-BARGUÉS, J. y RAMÍREZ, F.: Distribución del agua en el suelo en riego por surcos alternos y no alternos en el cultivo de maíz, *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*, IX(III): 1-8, noviembre 2009.
- ELLIOTT, R.; WALKER, W. & SKOGERBOE, G.: “Zero Inertia modeling of furrow irrigation advance” *Journal of Irrigation and Drainage-ASCE*, ISSN: 0733-9437, 108(3): 179-195, 1983.
- EVANS, R.; SMITH, J; MITCHELL, P. & NEWTON, P.: “Furrow infiltration in notilled beds on cracking soils,” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, ISSN: 0733-9437, 116(5) 1990.
- GARCÍA, M.: “Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay”, *Agrociencia (Uruguay)*, ISSN: 1510-0839, 15(2): 76-82, mayo 2011.
- GRECO, C. & VIEIRA, S.: “Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental”, Viçosa: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, ISSN: 0100-0683, E-ISSN: 1806-9657, 29(2): 169-177, 2005.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.*, ed. L.L Barcaz, Ed. AGRINFOR, t. 1, ISBN-959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
- LANDINI, A.; MARTÍNEZ, D.; DÍAS, H.; SOZA, E.; AGNES, D. y SAINATO, C.: “Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura”, *Ciencias del Suelo*, ISSN: 0326-3169, E-ISSN: 1850-2067, 25(2): 123-131, septiembre 2007.
- MACHIWAL, D.; JHA, M. & MAL, B.: “Modelling Infiltration and quantifying spatial soil variability in a Wasteland of Kharagpur, India”, *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, E-ISSN: 1537-5129, 95(4): 569-582, 2006.
- MARTÍNEZ, A.; PANDO, V. y NAVARRO, J.: “Aproximación al conocimiento de la infiltración a través del análisis dimensional”. *Ecología*, ISSN: 0214-0896, 20: 471-491 [en línea] octubre 2006, Disponible en: <http://www.oasificacion> [Consulta: 5 de febrero de 2015].
- MORAVEJALAHKAMI, B., B. MOSTAFAZADEH-FARD, M. HEIDARPOUR & F. ABBASI: “Comparison of Multilevel Calibration and Volume Balance Method for Estimating Furrow Infiltration”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, ISSN: 0733-9437, 138(8): 777-781, 2012.
- NOFUENTE, M. y POLO, M.: “Evaluación de distintas funciones de infiltración acopladas en un modelo numérico de circulación de flujo en aguas someras”, *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*, IX(III), noviembre 2009.
- REYNA, T.; REYNA, S. y LÁBAQUE, M.: “Determinación de la escorrentía superficial considerando la infiltración en periodos largos”, *Desastres naturales, accidentes e infraestructura civil*, 1(10): 5-22, febrero 2010.
- RODRÍGUEZ, A.; ARISTIZABAL, A. y CAMACHO, J.: “Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ándico”, Jaticabal, *Engenharia Agrícola*, ISSN: 1809-4430, E-ISSN: 0100-6916, 28(1): 64-75, enero 2008.
- RUIZ, O.: “Sistema de riego por surco electrificado en el cultivo del tabaco”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, ISSN: 1680-0338, XXXI(3): 37-43, octubre 2010.
- SARRALHEIRO, R.: “Furrow irrigation advance and infiltration equation for a Mediterranean soil”, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, ISSN: 1068-5502, 62: 173-177, 1995.
- TORNÉS, N.; BROWN, O.; GÓMEZ, Y. y GUERRERO, A. “Eficiencia de aplicación máxima del agua y longitud del surco en función de los caudales”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 25(1): 23-27, 2016.

Recibido: 25/09/2015.

Aprobado: 04/03/2016.

Manuel Rodríguez González, Prof. Titular, Universidad de Sancti Spíritus, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sancti Spíritus, Cuba.

Martín Santana Sotolongo, Correo electrónico: martin@uniss.edu.cu

Oscar Brown Manrique, Correo electrónico: brown@ceryd.unica.cu.

Rubén Viera Marín, Correo electrónico: ruben@uniss.edu.cu