

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de tres modelos en la estimación de la infiltración acumulada

Evaluation of three models in the estimation of cumulative infiltration

Ing. Arnaldo Manuel Guerrero Alega¹, M.Sc. Norge Tornés Olivera¹, Dr.C. Oscar Brown Manrique^{II}, M.Sc Yarisbel Gómez Masjuan¹

¹ Universidad de Granma (UDG), Departamento de Producción Agrícola, Bayamo. Granma, Cuba.

^{II} Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez” (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN. La investigación se desarrolló durante los años 2012-2015. El trabajo tiene como objetivo evaluar la exactitud de los modelos empíricos de infiltración de Kostikov, Kostikov-Lewis y Philip en la simulación de la lámina infiltrada en un suelo franco arcilloso. El área de la investigación pertenece a la UBPC Grito de Yara, la cual se encuentra ubicada a los 20° 25' de Latitud N y a los 76° 53' de Longitud O con una altura de 6 m.s.n.m. El área experimental se dividió en tres parcelas con ancho de 7,20 m cada una y un largo de 100 m. El área de evaluación dentro de cada parcela estuvo compuesta por los tres surcos centrales con espaciamento de 0,80 m. Los modelos de Kostikov, Kostikov-Lewis y Philip demostraron ser adecuados para la simulación de la infiltración, lo que se sustenta en los altos valores de los índices estadísticos utilizados para evaluar su exactitud. Aunque los tres modelos demostraron ser adecuados se desatacó el de Kostikov-Lewis al ocupar el primer lugar en el ranking de los todos los índices.

Palabras clave: Kostikov, Kostikov-Lewis, Philip, tiempo de oportunidad, exactitud.

ABSTRACT. Research was carried out during 2012-2015 years. The objective of this work is to evaluate the exactitude of empirical model of Kostikov, Kostikov-Lewis and Philip in the simulation of cumulative infiltration in a fluvisol soil. The area of research belonging to UBPC Grito de Yara, with coordinates 20° 25' Latitude N and 76° 53' Longitude O at 6 m.s.n.m. Research area was divided into 3 plots with nine furrows with 0.8 m width and 100 m length. Evaluation area was made up by three center furrows of each plot. The Kostikov, Kostikov-Lewis and Philip model showed to be suitable for the simulation of infiltration what is supported from the high values of statistical indicator utilized to evaluate de models exactitude. Although three models showed to be suitable, Kostikov-Lewis was relevant as occupied the first play in the ranking of all statistical indicator.

Keywords: Kostikov, Kostikov-Lewis, Philip, opportunity time, exactitude

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Ruth *et al.* (2014) la infiltración es el factor más importante que afecta al riego por surcos. Esta simple característica del suelo controla no solamente la cantidad de agua que entra al suelo, sino la tasa de avance del flujo sobre el terreno (Beibei, *et al.* 2014). Ninguna otra característica es tan difícil de determinar o predecir con confiabilidad y precisión. La infiltración del agua en el suelo es un proceso físico que ha sido extensamente investigado (Stewart *et al.*, 2013; Mirzaee *et al.*, 2013; Hais *et al.*, 2016; Kannan & Abate, 2015) debido a su importancia en el manejo del suelo y

el riego. Es el aspecto más complejo de la hidráulica del riego por surcos y uno de los factores más importantes de cuantos interviene en el diseño de los métodos de riego (Soroush *et al.*, 2013.

Desde hace varias décadas, los procesos de infiltración han tomado importancia, lo que ha conducido al desarrollo de diferentes modelos que estiman la infiltración, como una función del tiempo o de algunos parámetros físicos. Varios investigadores (Girei *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2014; Weber & Apestegui, 2016), encontraron que estos modelos pueden

arrojar resultados no representativos, si se ignoran el contenido de agua y la variabilidad espacial de las propiedades del suelo.

En general, la tasa de infiltración varía entre puntos cercanos como resultado de la variabilidad de las propiedades del suelo, lo que da lugar a diferencias de los parámetros estimados para un mismo modelo, incluso, en la misma unidad de suelo (Machiwal *et al.* 2006; Rodríguez-Vásquez *et al.* 2008). Este trabajo tiene como objetivo evaluar la exactitud de los modelos empíricos de infiltración de Kostiaikov, Kostiaikov-Lewis y Philip en la simulación de la lámina infiltrada en un suelo franco arcilloso.

MÉTODOS

Localización del ensayo experimental

El ensayo experimental se desarrolló durante los años 2012 y 2015. El área de investigación pertenece a la UBPC Grito de Yara en la comunidad agrícola, La Sal, del municipio Yara, de la pro-

vincia Granma, Cuba. La cual se encuentra ubicada a los 20° 25' Latitud N y a los 76° 53' Longitud O con una altura de 6 m.s.n.m.

Datos del suelo

Las características del suelo según Hernández *et al.* (1999), determinada en el Laboratorio de Suelos de la provincia Granma, se corresponden con un suelo del tipo aluvial variedad franco arcilloso y se puede correlacionar con el fluvisol de la Soil Taxonomy. Las principales propiedades hidrofísicas del suelo necesarias para esta investigación se presentan en la Tabla 1. Donde es la densidad del suelo (g cm^{-3}); la densidad de la fase sólida del suelo (g cm^{-3}); θ_{cc} el contenido de humedad volumétrica a capacidad de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_{PMP} el contenido de humedad volumétrica en el punto de marchitez permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_{SAT} el contenido de humedad volumétrica a saturación ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); K_{SAT} la conductividad hidráulica a saturación (mm h^{-1}); i_c la velocidad de infiltración básica (mm h^{-1}).

TABLA 1. Principales propiedades hidrofísicas del suelo

P(cm)	α (g cm^{-3})	β (g cm^{-3})	θ_{cc} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_{PMP} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_{SAT} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	K_{SAT} (mm h^{-1})	i_c (mm h^{-1})	η (%)	Textura		
									Arena	Limo	Arcilla
0-10	1,36	2,64	0,37	0,23	0,47	4,5	9,0	48,48	27,56	32,75	39,69
10-20	1,37	2,66	0,36	0,22	0,46	4,3	8,8	48,49	27,72	33,16	39,12
20-30	1,38	2,69	0,34	0,21	0,46	4,3	8,5	48,69	26,36	33,64	40,00
30-40	1,38	2,71	0,35	0,21	0,45	4,2	8,3	49,07	28,50	34,20	37,30
40-50	1,40	2,72	0,38	0,20	0,48	4,0	8,1	48,52	28,01	33,39	38,60

Diseño experimental

Se estableció una parcela experimental con dimensiones de 100 x 21,60 m para un área total de 2 160 m² (0,216 ha) que fue sembrada con frijol.

El diseño experimental fue parcelas en franjas. La longitud utilizada (100 m) es la mínima recomendada, para investigaciones de riego por surcos¹ y obedeció a las características geométricas del campo. El área experimental se dividió en tres parcelas con ancho de 7,20 m cada una, para un área de 7, 20 m² (0,072 ha). La pendiente del terreno se calculó con un láser rotativo autonivelante, marca FRE 207, para lo cual se hizo una malla de 10x10 m, para la obtención de la pendiente longitudinal, cuyo valor promedio es de 0,50%. El área de evaluación dentro de cada parcela estuvo compuesta por los tres surcos centrales con espaciamiento de 0,80 m.

Variantes experimentales

Se utilizaron tres variantes experimentales:

- T1- Riego continuo con un caudal de 1 L s⁻¹ (Q1).
- T2- Riego continuo con un caudal de 2 L s⁻¹ (Q2).
- T3- Riego continuo con un caudal de 3 L s⁻¹ (Q3).

La entrega de los caudales se garantizó con el uso de espitas de PVC calibradas para los diámetros de 35, 50 y 70 mm, con una carga de 7 cm. Se evaluaron un total de 7 eventos de riego promedio durante el ciclo del cultivo

Metodología de campo

En cada parcela de evaluación se llevaron a cabo durante el evento de riego, las evaluaciones necesarias para determinar los parámetros de las ecuaciones de infiltración¹.

Modelos de infiltración

Los modelos empíricos de Kostiaikov, Kostiaikov-Lewis y Philip se compararon entre sí para proponer el modelo más apropiado.

$$Z = kt^a \text{ (Kostiaikov)} \quad (1)$$

$$Z = kt^a + f_o t \text{ (Kostiaikov-Lewis)} \quad (2)$$

$$Z = St^{0.5} + At \text{ (Philip)} \quad (3)$$

Donde Z es la lámina infiltrada acumulada (m³ m); K el coeficiente de ajuste empírico (m² min^{-a}); el exponente empírico de la función de infiltración, adimensional; la velocidad de infiltración estabilizada (m³ min⁻¹ m⁻¹) y el tiempo de infiltración de la lámina de riego (min.). Los tiempos de oportunidad que caracterizaron cada evento de riego se determinaron usando el criterio de que la diferencia entre el tiempo total de avance en el surco y los valores del tiempo de avance en cada estación producen el tiempo de oportunidad de infiltración.; es una constante, es una constante que refleja una velocidad estable esencialmente para tiempos largos., m min⁻¹; es un coeficien-

¹ WALKER, W. & R. SIRMOD: III Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design, 146pp., Utah State University. Logan, Utah, USA, 2003.

te constante que expresa la succión de agua por el suelo y está en función del potencial mátrico, $m \text{ min}^{-0.5}$. Para la estimación de los parámetros K , a y f_0 se utilizó el método de dos puntos (Elliott & Walker, 1982); los parámetros A y S_1 se calcularon utilizando el método de Shepard *et al.* (1993).

Evaluación de la exactitud de los modelos de infiltración

La evaluación de la exactitud de los modelos de infiltración se realizó a partir de 63 pares de datos de láminas infiltradas acumuladas observadas y simuladas mediante un gráfico de dispersión. También se utilizaron cinco índices estadísticos: coeficiente de determinación (R^2); eficiencia del modelo (EF); raíz del error cuadrático medio ($RMSE$); raíz del error cuadrático medio normalizado ($NRMSE$); índice de concordancia (d).

El coeficiente de determinación (R^2) representa la correlación lineal entre los valores simulados y medidos. Los valores mayores de 0,50 se consideran aceptables y los superiores a 0,80 se califican de buenos (Moriasi *et al.*, 2007).

$$R^2 = \frac{S_{cr}}{S_{ct}} \times 100 \tag{4}$$

Donde R^2 es el coeficiente de determinación (%); la suma de cuadrados debido a la regresión; la suma de cuadrados total.

La eficiencia del modelo (EF) representa la desviación total entre los valores observados y simulados. Este parámetro puede alcanzar valores entre $-\infty$ hasta $+1$.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \tag{5}$$

Donde EF es la eficiencia del modelo; los valores medidos; los valores simulados; la media de los valores medidos.

La raíz del error cuadrático medio ($RMSE$) representa una medida de la desviación total o media entre los valores observados y simulados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - S_i)^2}{N}} \tag{6}$$

Donde N es el número de observaciones.

La raíz del error cuadrático medio normalizado ($NRMSE$) es un parámetro estadístico que permite considerar una simulación como excelente cuando se alcanza un valor menor que el 10%; bueno si se encuentra entre 10 y 20%; adecuado si está entre 20 y 30% y pobre si es mayor que 30%. Se emplea la ecuación siguiente:

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{M}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - S_i)^2}{N}} \tag{7}$$

El índice de concordancia (d) es una medida del error relativo en las estimaciones del modelo. Es un número adimensional que varía entre 0 y 1. Se consideran valores altos cuando es mayor que 0,65 (Krause *et al.*, 2005).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)} \tag{8}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las láminas infiltradas en función de la distancia

La Figura 1 muestra las láminas infiltradas acumuladas simuladas por los modelos de Kostikov, Kostikov-Lewis y Philip en función de la distancia y el caudal aplicado.

Los resultados obtenidos permitieron confirmar que para todos los casos evaluados las funciones de infiltración de Kostikov y Kostikov-Lewis manifestaron comportamientos muy similares para los diferentes tiempos de riego medidos, mientras que Philip mostró las mayores diferencias con el resto de los modelos en el segundo riego el cual tuvo los menores tiempo de riego.

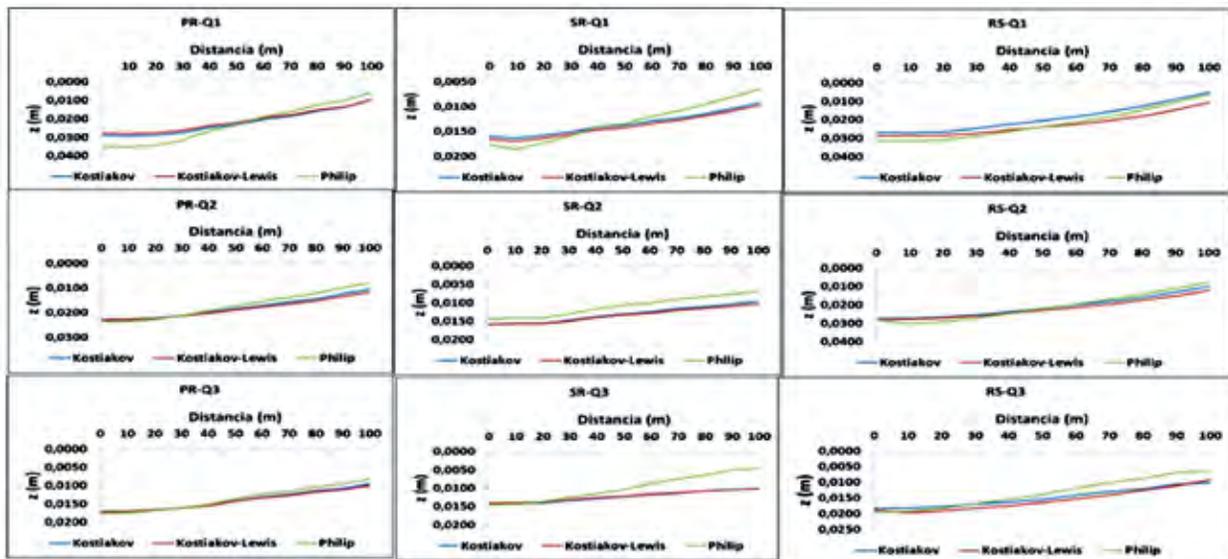


FIGURA 1. Lámina infiltrada acumulada en función de la distancia y el caudal. Nota: PR-Q1; SR-Q1; RS-Q1 son el primero, segundo y riegos sucesivos del Q1. PR-Q2; SR-Q2; RS-Q2 son el primero, segundo y riegos sucesivos del Q2. PR-Q3; SR-Q3; RS-Q3 son el primero, segundo y riegos sucesivos del Q3.

La explicación de este comportamiento se debe a que en los tiempos iniciales de riego el parámetro gravitacional de la función de Philip, mantiene valores relativamente más altos que la velocidad de infiltración básica del modelo de infiltración de Kostikov-Lewis, lo que representa una diferencia que repercute en los valores de la lámina infiltrada. Esta disminuye en la medida en que aumenta el tiempo de riego o la longitud del surco hasta lograrse que A_f .

Los resultados sobre el ajuste de los modelos encontrados en esta investigación concuerdan con Machiwal *et al.* (2006); y Rahimi (2011) quienes obtuvieron que para tiempos cortos (90 min, 110 min, y 120 min) los modelos de Kostiakov y Kostiakov-Lewis fueron mejores que el de Philip; sin embargo, los tres modelos mencionados anteriormente se comportaron de forma muy similar para tiempos moderados (184 min, 220

min, 240 min) y tiempos largos (360 min y 460 min)3.2.

Análisis de las láminas acumuladas respecto al tiempo de oportunidad

En la Figura 2 se observa el ajuste de los datos de las láminas de infiltración acumulada en relación con el tiempo de oportunidad para los tres modelos estudiados. En la investigación se encontró que en todos los casos evaluados las funciones de infiltración de Kostikov y Kostikov-Lewis se manifestaron igual que en el análisis anterior con comportamientos muy similares para los diferentes tiempos de oportunidad, mientras que Philip tuvo una tendencia a estimar un lámina menor en los primeros 50 min.

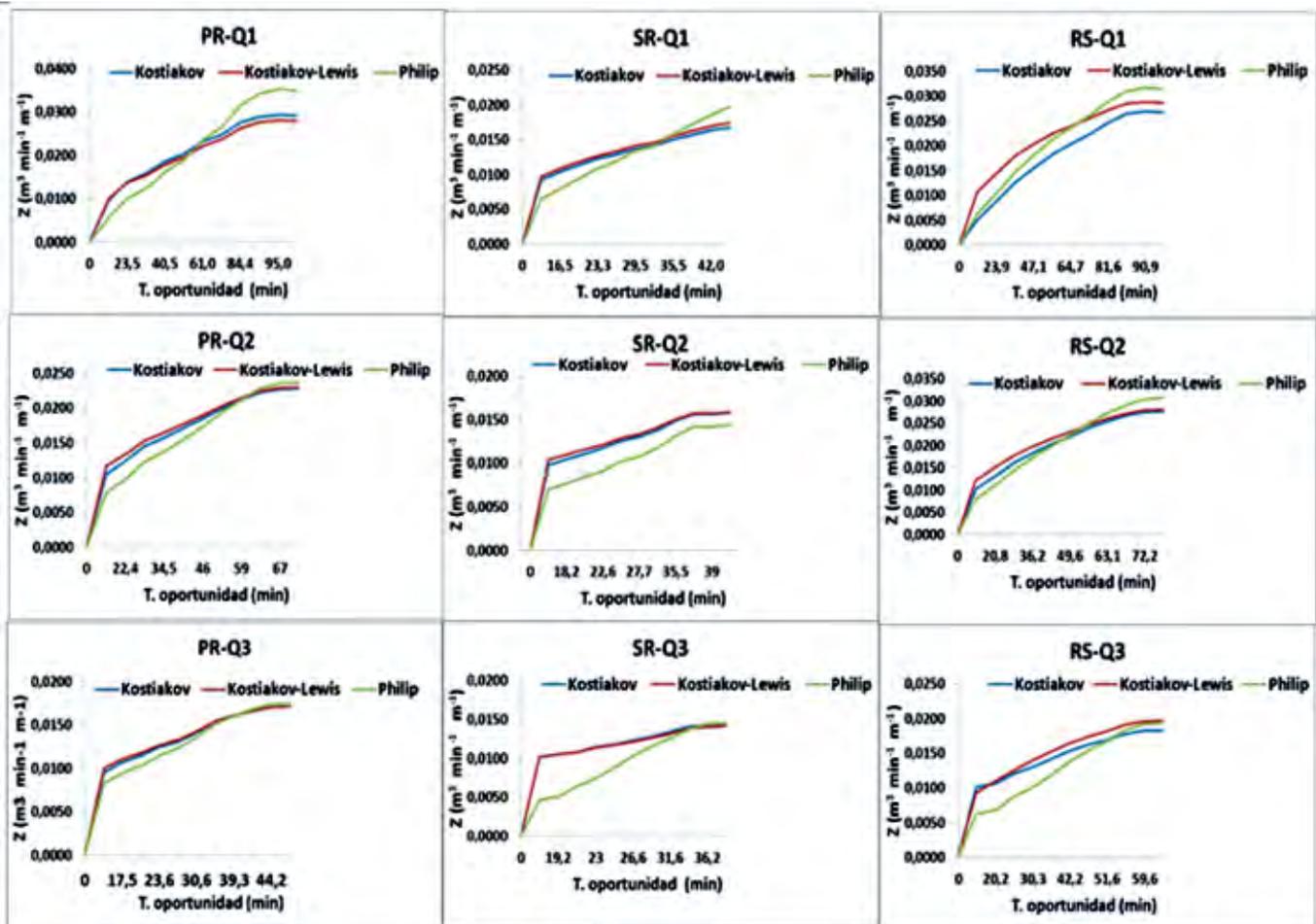


FIGURA 2. Lámina infiltrada vs t_o . Nota: PR-Q1; SR-Q1; RS-Q1 son el primero, segundo y riegos sucesivos del Q1. PR-Q2; SR-Q2; RS-Q2 son el primero, segundo y riegos sucesivos del Q2. PR-Q3; SR-Q3; RS-Q3 son el primero, segundo y riegos sucesivos del Q3.

Con el incremento del número de riego y el tiempo de oportunidad superior 50 minuto se observó una tendencia de las tres funciones a comportarse de forma semejante, lo que es consecuente con lo señalado por Haghghi *et al.* (2010), quienes consideran que el modelo de Philip debe ser aplicado en el caso del riego por surcos con tiempos grandes superiores a dos horas. Lo anteriormente explicado se debe al incremento del tiempo de oportunidad de la lámina de agua, como consecuencia del movimiento retardado del flujo sobre la superficie del surco provocado por el aumento de la rugosidad debido a la presencia de ramas del cultivo, la formación de grietas y el contenido de humedad inicial que fueron observados en cada uno de los eventos de riego evaluados.

En los primeros 15 minutos de tiempo de oportunidad la curva que representa la lámina infiltrada acumulada presenta una pendiente muy elevada, que se expresa mediante un segmento de recta con una inclinación que tiende a la vertical, lo cual confirma que el suelo se hallaba con déficit hídrico en el momento de la prueba.

Análisis de la exactitud de los modelos de infiltración

En la Figura 3 se presentan los resultados del ajuste gráfico de los valores de las láminas infiltradas acumuladas observadas en la parcela experimental y las simuladas con los modelos de infiltración. Se puede observar que los modelos simularon razonablemente bien las láminas infiltradas; no obstante, el modelo de Kostiakov- Lewis presentó las menores desviaciones para láminas pequeñas, lo cual está en correspondencia con los tiempos de oportunidad.

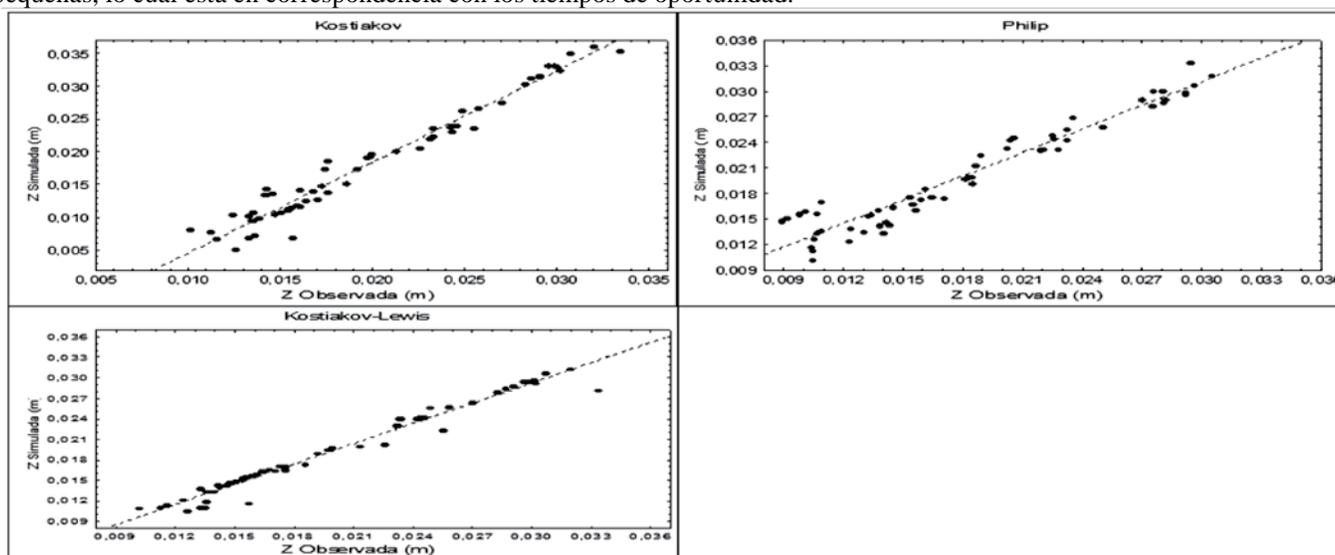


FIGURA 3. Láminas infiltradas observadas y simuladas.

En el caso del modelo de Kostiakov se encontró un mayor rango de dispersión en comparación con el modelo anterior, aunque el ajuste gráfico fue satisfactorio para láminas mayores. Las dispersiones más notables se observaron en el modelo de Philip, sobre todo para las láminas más pequeñas.

Análisis de los índices estadísticos para la evaluación de los modelos

Los índices estadísticos utilizados en la evaluación de la exactitud de los modelos de infiltración permitieron corroborar que los datos simulados se ajustaron excelentemente a los observados, lo que se evidencia mediante el coeficiente de determinación con valores elevados de 0,96; 0,97 y 0,93 para los modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis y Philip, respectivamente, como se observa en la tabla 2. Esto demuestra que los tres modelos fueron capaces de simular el agua infiltrada en un suelo aluvial.

TABLA 2. Indicadores estadísticos de la simulación

Descripción	R ²	RMSE	NRMSE	EF	d
Kostiakov	0,9600	0,00252	12,7	0,985	0,996
Kostiakov- Lewis	0,9725	0,00118	5,9	0,997	0,999
Philip	0,9363	0,00328	16,5	0,974	0,993

Los valores del *RMSE* variaron entre 0,00118 m en el modelo de Kostiakov-Lewis y 0,00328 m en el de Philip, lo que se debe a la alta dependencia de la infiltración a la textura del suelo como comprobaron Mohammadi & Refahi (2006). Al analizar el *NRMSE* se encontró un valor de 5,9 % para el modelo Kostiakov-Lewis, lo que indicó superioridad en la simulación con este modelo al compararlo con Kostiakov y Philip. Las simulaciones con los modelos de Kostiakov y Philip resultaron ser buenas al encontrarse valores de 12,7 y 16,5%, respectivamente. Los índices *EF* y *d* lograron alcanzar resultados superiores a 0,98 indicando el buen ajuste de los datos observados y simulados.

Aunque los datos experimentales tuvieron un mejor ajuste al modelo de Kostiakov-Lewis, los tres modelos evaluados

proporcionaron resultados adecuados, como lo demuestra la similitud de los índices *R²*, *EF* y *d*. Estos resultados son similares a los obtenidos por Helber *et al.* (2010).

Zolfagari *et al.* (2012), demostraron que el modelo de Kostiakov-Lewis fue el mejor en el suelo franco arcilloso a partir del estudio de la capacidad predictiva de siete modelos de infiltración (Green-Ampt, Philip, SCS (US-Soil Conservation Service), Kostiakov, Horton, Swartzendruber, Kostiakov-Lewis) lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación; sin embargo, Haghghi *et al.* (2010) encontraron que modelo de Kostiakov-Lewis tuvo los mayores errores de estimación de la infiltración acumulada en suelo franco arcilloso limoso.

Los resultados del ordenamiento de la exactitud de los modelos según los criterios *R²*, *RMSE*, *NRMSE*, *EF* y *d* obtenidos

en la Tabla 2 se presentan en la Tabla 3 donde se observa que todos los índices revelan el mismo patrón, para todos los criterios el modelo de Kostiakov-Lewis tuvo los mejores resultados, seguido de Kostiakov y Philip.

TABLA 3. Ordenamiento de la exactitud de los modelos de infiltración

Descripción	R ²	RMSE	Ranking			Total
			NRMSE	EF	d	
Kostiakov	2	2	2	2	2	10
Kostiakov- Lewis	1	1	1	1	1	5
Philip	3	3	3	3	3	12

CONCLUSIONES

- Los modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis y Philip demostraron ser adecuados para la simulación de la infiltración, lo que se sustenta en los altos valores de los índices estadísticos utilizados para evaluar su exactitud.
- Aunque los tres modelos demostraron ser adecuados se desató el de Kostiakov-Lewis al ocupar el primer lugar en el ranking de todos los índices.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEIBEI, Z., QUANJU, W. & SHUAI, T.: "Estimation of Infiltration Parameters and the Irrigation Coefficients with the Surface Irrigation Advance Distance", *Plos One*, ISSN-1932-6203, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0101274>, 9(7):1-8, 2014.
- ELLIOTT, R. L. & WALKER, W. R., "Field evaluation of furrow infiltration and advance functions", *T. ASAE*, DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.33748> 25: 396-400, 1982.
- GIREI, A. H., ABDULKADIR, A. & ABDU, N.: "Goodness of fit of three infiltration models of a soil under long-term trial in Samaru, Northern Guinea Savanna of Nigeria" *Journal of Soil Science and Environmental Management*, DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/JSEM2015.0525>, 7(5): 64-72, 2016.
- HAGHIGHI, F.; GORJI, M.; SHORAFI, M.; SARMADIAN, F. & M. MOHAMMADI, H. "Evaluation of some infiltration models and hydraulic parameters" *Spanish Journal of Agricultural Research*, DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2014121-4659>, 8(1): 210-217, 2010.
- HAIS, E. M., R. DE SOUZA, EDIVAN & MONTENEGRO, A. A.: "Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN 1807-1929, 20(6): 513-518, 2016.
- HELBER, M., ORJUOLA-MATTA, Y., RUBIANO, S. y JESÚS, H. Comportamiento de la infiltración en un oxisol, *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, ISSN-0123-4226, 13 (2): 31-39, 2010.
- 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.
- KANNAN, N. & ABATE, B.: "Studies on hydraulic performance of furrow irrigation to optimise design parameters suitable to onion field in Hawassa, Ethiopia", *Water Utility Journal*, ISSN-1792-748X, 11: 17-30, 2015.
- KRAUSE, P.; BOYLE, D. P. & BASE, F.: "Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment" *Advances In Geosciences*, ISSN-1680-7359, 5: 89-97, 2005.
- KUMAR, P. P.: "Another look at Kostiakov, modified Kostiakov and revised modified Kostiakov infiltration models in water resources applications", *International Journal of Agricultural Sciences*, ISSN: 2167-0447, 4(3): 138-142, 2014.
- MACHIWAL, D.; JHA, M. & MAL, B. C.: "Modelling infiltration and quantifying spatial soil variability in a wasteland of Kharagpur, India", *Biosystems Engineering*, ISSN-1537-5110, 95(4): 569-582. 2006.
- MIRZAEI, A. S., ZOLFAGHARI, A. A., MANOOCHHEHR, G. B., MILES, D. & SHOJA, G. D.: "Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes.", *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2013.823477>, 60(5): 681-693, 2013.
- MOHAMMADI, M. H. & REFAHI, H. G. "Estimation of infiltration through soil physical characteristics", *J. Iranian Agr. Sci.*, ISSN: 1017-5652, 36: 1391-1398, 2006.
- MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL, R. D. & VEITH T. L.: "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations", *Transactions of The ASABE*, ISSN 0001-2351, 50: 885-900, 2007.
- RAHIMI, A.: "Evaluation of soil infiltration in furrow irrigation", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, ISSN 1991-8178, 5(11): 1542-1545, 2011.
- RODRÍGUEZ-VÁSQUEZ, A. F., ARISTIZÁBAL-CASTILLO, A. M. y CAMACHO, T. J.: Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo ándico. *Engenharia Agrícola*, 28(1): 64-75. ISSN: 1809-4430, 2008.
- RUTH, U. A., CHIGOZIE, S. & IGBOKWE, K. K.: "Estimation of Kostiakov's Infiltration Model Parameters of Some Sandy Loam Soils of Ikwano – Umuahia, Nigeria" *Open Transactions on Geosciences*, ISSN: 2372-6466, 1(1):34-38, 2014.
- SHEPARD, J. S., WALLENDER W.W. & HOPMANS J.W., "Onemethod for estimating furrow infiltration", *T. ASAE*, DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.28351>, 36(2), 395-404, 1993.
- SOROUSH, F., FENTON, J. D., MOSTAFAZADEH-FARD, MOUSAVI, B. & ABBASI, F.: "Simulation of furrow irrigation using the Slow-

change/slow-flow equation”, *Agricultural Water Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.07.008>, 116: 160–174, 2013.

STEWART, D. RYAN., DAVID, E. R., MAJDI, R. NAJM., & JOHN S. SELKER.: “Modeling effect of initial soil moisture on sorptivity and infiltration”, *Water Resources Research*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20508>, 49: 7037–7047, 2013

WEBER, J. F. & APESTEGUI, L.: “Relaciones entre parámetros de los modelos de infiltración de Kostiakov y Lewis-Kostiakov”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, ISSN: 2007-2422, 7(2): 115-13, 2016.

ZOLFAGHARI, A. A.; MIRZAEI, S. & GORJI, M.: “Comparison of different models for estimating cumulative infiltration”, *Int. J. Soil Sci.*, DOI:<http://dx.doi.org/10.3923/ijss.2012.108.115>, 7: 108–115, 2012.

Recibido: 13/11/2015.

Aprobado: 15/06/2016.

Arnaldo Manuel Guerrero Alega, Prof., Universidad de Granma (UDG), Departamento de Producción Agrícola, Bayamo, Cuba. Correo electrónico: ntorneso@udg.co.cu

NorgeTornés Olivera, Correo electrónico: ntorneso@udg.co.cu

Oscar Brown Manrique. Correo electrónico: obrown@unica.cu

Yarisbel Gómez Masjuan. Correo electrónico: yarisbet@udg.co.cu



Universidad
de Ciego de Ávila
Facultad
de Ingeniería
Centro de Estudios
Hidrotécnicos

El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) del Ministerio de la Agricultura y el Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciego de Ávila, coordinan el **Programa de Especialidad en Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje**.

El programa tiene una duración total de aproximadamente dos (2) años. Se desarrolla en la modalidad semipresencial con un período de actividades académicas de (8) semanas (2 meses) y un período de actividades académicas no lectivas vinculadas al desempeño laboral (entrenamiento) de tres (3) a cuatro (4) meses entre períodos lectivos.

El Programa de Especialidad en Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje está proyectado con un total de 100 créditos, de ellos 50 créditos por actividades académicas conformadas en dos Diplomados, uno Básico general para todos los Programas de Especialidad del MINAG y uno Especializado para este Programa. Por otra parte la actividad práctica vinculada al desempeño laboral acumulará 40 créditos y el trabajo final 10 créditos.

La sede de este Programa de la Especialidad **para la zona occidental** está ubicada en la *Unidad Docente del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola*, sito en Ave Camilo Cienfuegos y 27, Arroyo Naranjo, La Habana. Los estudiantes cuentan con instalaciones docentes y un aula de computación para el trabajo individual o por equipos.

Los interesados deben contactar con el Departamento de Capacitación del IAgric:

E-mail: capacitacion1@iagric.cu, direccioneyi@iagric.cu