



# Simulación de obturaciones en emisores mediante la modelación matemática en los sistemas de microirrigación

## *Simulation of plugging on emitter by mathematical modeling in micro irrigation systems*

Dr.C. Dayma Carmenates-Hernández<sup>1</sup>, Dr.C. Oscar Brown-Manrique<sup>1</sup>, Dr.C. Albi Mujica-Cervantes<sup>1</sup>,  
Dr.C. Maiquel López-Silva<sup>1</sup>, Dr.C. Pedro Paneque-Rondón<sup>II</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba.

**RESUMEN.** En este trabajo se presentan los resultados obtenidos con el uso de un modelo matemático para simular diferentes situaciones de obturaciones en emisores de sistemas de riego por microirrigación en el cultivo de la guayaba en dos subunidades de riego (A y B) en la UBPC el Tezón en la Empresa Agroindustrial de Ceballos en la provincia Ciego de Ávila. El modelo consiste en que la uniformidad del caudal de los emisores es afectado por el factor hidráulico, de fabricación y obturación. Para la elaboración de los datos experimentales obtenidos con la implantación de estos procedimientos ha sido desarrollada una herramienta computacional mediante una hoja de cálculo Excel 2010 que posibilita con rapidez y con un amplio margen de seguridad obtener los resultados fundamentales de estos cálculos. El objetivo del trabajo es simular las obturaciones de los emisores mediante la modelación matemática en los sistemas de microirrigación.

**Palabras clave:** riego, caudal, guayaba, uniformidad, hidráulico.

**ABSTRACT.** This paper presents the results obtained using a mathematical model, to simulate different situations plugging on issuers irrigation systems microirrigación in the cultivation of guava in two subunits irrigation the UBPC the Tezón in Ciego de Avila province. The model is that the uniformity of the emitter flow is affected by the hydraulic factor, manufacturing and plugging. For the preparation of the experimental data obtained with the implementation of these procedures has been developed a computational tool using an Excel 2007 worksheet that allows quickly and with a wide margin of safety obtain fundamental results of these calculations. The aim of this work is to simulate seals issuers using mathematical modeling in micro irrigation systems.

**Keywords:** irrigation, flow, guava, uniformity, hydraulic.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación en las últimas décadas se han convertido en una herramienta eficaz para el diseño y manejo de los sistemas de riego para la definición de estrategias que maximicen la producción agrícola con un uso eficiente de los recursos agua y energía (López *et al.*, 2009), producto a ser una alternativa de bajo costo, rápida y fácil de utilizar (Hernández *et al.*, 2009; El-Nemr, 2012; Ouazaa *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2014) que permiten un mejor alcance del comportamiento de las variables, hidráulicas, agronómicas, edáficas y energéticas de los sistemas de riego Goyal (2013) y Valipour (2014). Para el control de las obturaciones en los sistemas de microirrigación han sido utilizados durante los

## INTRODUCTION

Simulation models in recent decades have become an effective tool for the design and management of irrigation systems for defining strategies to maximize agricultural production with efficient use of water and energy resources (López *et al.*, 2009), because it is a low-cost, fast and easy alternative to be used (Hernández *et al.*, 2009; El-Nemr, 2012; Ouazaa *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2014) that allows better range of behavior variables, hydraulic, agronomic, soil and energy in the irrigation systems Goyal (2013) and Valipour (2014).

Different techniques, procedures and tools for controlling of plugging in micro irrigation systems have been

últimos años diferentes técnicas, procedimientos y herramientas con resultados satisfactorios (Al-Ghobari, 2012).

Solomon (1985) desarrolló un modelo estadístico de simulación computarizado que permitió evaluar con gran rapidez las posibilidades de obturación de una subunidad de riego a partir de los riesgos de obturación. Del mismo modo Feng y Wu (1990), desarrollaron una herramienta computarizada que teniendo en cuenta la geometría de la red hidráulica, factores topográficos y características del agua y sistema de filtrado evidenciaba con una alta precisión los riesgos de las obturaciones.

Santos *et al.* (2010), desarrollaron un sistema computarizado de simulación de las obturaciones que permitió evaluar en un corto intervalo de tiempo unas 2200 situaciones de obturación, considerando la influencia de otros aspectos como: características del agua, condiciones topográficas, geometría de la red hidráulica y condiciones climáticas. Elwadie *et al.* (2010), desarrolló un modelo de simulación matemática para evaluar el fenómeno de obturaciones, basado principalmente en que el caudal en emisores es afectado, por los factores de fabricación, hidráulico y obturación. El objetivo del trabajo es simular las obturaciones de los emisores mediante la modelación matemática en los sistemas de microirrigación.

## MÉTODOS

Las variaciones de los caudales se determinaron experimentalmente en dos subunidades de riego en la Unidad Básica de Producción Agropecuaria (UBPC) “El Tezón” que representaron las subunidades de riego A y B. Se utilizó el método probado por Carmenates *et al.* (2014), que consiste en la selección de 16 emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad en cuatro laterales (inicial, a 1/3, a 2/3 y final) en los cuales se seleccionaron cuatro emisores siguiendo el mismo criterio. La presión del sistema se midió a la entrada de cada tratamiento para registrar el valor de la carga de trabajo mediante un manómetro metálico de tipo Bordón con una precisión de 0,10 kg/cm<sup>2</sup> (9,80) kPa. El aforo de los emisores se realizó mediante el método volumétrico utilizado por Lobo *et al.* (2011), lo que permitió precisar la variación del caudal respecto al caudal medio teniendo en cuenta el factor hidráulico ( $\Delta q_H$ ), de fabricación ( $\Delta q_F$ ) y obturación ( $\Delta q_O$ ) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta q_i = \frac{1}{N} \sum \left( \frac{q_i}{q_m} \right) 100 \quad (1)$$

donde:  $\Delta q$  es la variación del caudal;  $i$  los factores hidráulicos, de fabricación y de obturación;  $q_i$  el caudal de los emisores medido de forma experimental por el método del aforo volumétrico (L/h);  $q_m$  el caudal medio de los emisores evaluados (L/h). El porcentaje de obturación se obtuvo a través del método de la observación, midiéndose en los tratamientos (A y B) la cantidad de emisores obturados los cuales fueron expresados en porcentaje en cada uno de los años evaluados según la siguiente ecuación:

$$O = \frac{1}{N} \sum \left( \frac{NE_o}{NE} \right) 100 \quad (2)$$

donde:  $O$  es el porcentaje de emisores obturados (%);  $NE_o$  el número de emisores obturados;  $NE$  el número total de emisores;  $N$  número total de observaciones.

used in recent years, with satisfactory results (Al-Ghobari, 2012). Solomon (1985) developed a statistical model of computerized simulation that enabled rapidly to evaluate the possibilities of plugging in an irrigation subunit from plugging dangers. Similarly Feng & Wu (1990), developed a computerized tool considering the geometry of the hydraulic network, the topographical factors and the characteristics of water and filtration system with high accuracy, evidenced plugging risks.

Santos *et al.* (2010), developed a computer simulation system of plugging that made possible to evaluate in a short time about 2200 plugging situations, considering the influence of other aspects such as water characteristics, topographic conditions, geometry of hydraulic network and climate conditions. Elwadie *et al.* (2010), developed a mathematical simulation model to evaluate the plugging phenomenon, mainly based on that flow in emitters is affected by manufacture, hydraulic and plugging factors. The objective of this work is to simulate plugging emitter using mathematical modeling in micro irrigation systems.

## METHODS

Variations of the flow rates were determined experimentally in two subunits irrigation in the Basic Unit of Agricultural Production (UBPC, for their initials in Spanish) “El Tezón” farm, representing irrigation subunits A and B. The method tested by Carmenates *et al.* (2014), was used and it consists in selecting 16 emitters uniformly distributed within a subunit in four laterals (initial, 1/3, 2/3 and final) with a selection of four emitters by means of the same criteria. The system pressure was measured at the entrance of each treatment to register the value by a metal Bordon gauge type with a precision of 0,10 kg/cm<sup>2</sup> (9.80 kPa). The flow rate of emitter was carried out by the volumetric method used by Lobo *et al.* (2011), allowing the flow rate variation determination from the average flow given the hydraulic ( $\Delta q_H$ ), manufacturing ( $\Delta q_F$ ) and plugging ( $\Delta q_O$ ) factor. The following equation was used:

$$\Delta q_i = \frac{1}{N} \sum \left( \frac{q_i}{q_m} \right) 100 \quad (1)$$

where:  $\Delta q$  is the variation of flow rate;  $i$  the hydraulic, manufacturing and plugging factors;  $q_i$  flow of emitters measured experimentally by the volumetric method (L/h);  $q_m$  the average flow of the emitters evaluated (L/h). The percentage of plugging was obtained through the method of observation, by measuring in treatments A and B, the number of plugging emitters which were expressed as percentage in each one of the years evaluated according to the following equation:

$$O = \frac{1}{N} \sum \left( \frac{NE_o}{NE} \right) 100 \quad (2)$$

where:  $O$  is the percentage of plugging emitters;  $NE_o$  number of plugging emitters;  $N_E$  total number of emitters;  $N$  total number of observations.

Se utilizó un modelo matemático de simulación desarrollado por Elwadie *et al.* (2010), para la evaluación de diferentes situaciones de obturaciones en una subunidad de riego. El modelo consiste en que la uniformidad del flujo de los emisores es afectado por el factor hidráulico, de fabricación y obturación.

La simulación del funcionamiento del sistema se realizó en cada tratamiento estudiado para diferentes condiciones de manejo asumidas según el criterio de Sammis y Wu (1985). En el caso del coeficiente de variación afectado por el factor hidráulico se evaluó a diferentes porcentajes (8%, 12%, 16%). Para el caso del factor obturación se evaluó a el (10%, 20%, 30%). Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$\Delta q_{HF} = (\Delta q_H^2 + \Delta q_F^2)^{0.5} \quad (3)$$

$$\Delta q_O = \Delta q_{HFO} - \frac{\Delta q_{HF}^2}{1 - O} \quad (4)$$

$$\Delta q_O = \Delta q_{HFO} - \frac{\Delta q_{HF}^2}{1 - O} \quad (5)$$

donde:  $\Delta q_{HFO}$  = Variación total del caudal afectado por los tres factores: hidráulico, fabricación y obturación;  $\Delta q_{HF}$  = Variación del caudal del emisor causado por el factor hidráulico y de fabricación;  $\Delta q_O$  variación del caudal producto de la obturación; O = porcentaje de orificios totalmente obturados (%).

La validación del modelo matemático se realizó mediante el criterio del error relativo promedio a partir de la comparación de los valores de variación del caudal debido a la obturación de los emisores observados experimentalmente " $(\Delta q)_{obs}$ " y los simulados mediante el modelo matemático empleado " $(\Delta q)_{sim}$ ". La ecuación empleada fue la siguiente:

$$ERP = \frac{1}{N} \sum \left[ \frac{|(\Delta q_O)_{obs} - (\Delta q_O)_{sim}|}{(\Delta q_O)_{obs}} \right] 100 \quad (6)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de la variación de caudales y porcentaje de obturación para dos subunidades (A y B)

En la Tabla 1 se presentan los resultados alcanzados en condiciones experimentales de las variaciones de caudales y porcentajes de obturación debido al factor hidráulico, de fabricación y de obturación. Se demuestra que los mejores resultados en cuanto a variación del caudal debido al factor hidráulico ( $\Delta q_H$ ), porcentaje de obturación (O) y variación del caudal debido al factor de obturación ( $\Delta q_O$ ) se encontraron en el tratamiento (A) con un valor del 4,0%; 5,7% y 5,5% respectivamente; mientras que para el tratamiento (B) se obtuvieron valores superiores en relación con estos parámetros con valores de 7,0%, 12,0% y 14,0% respectivamente.

Este comportamiento confirma que bajo las mismas condiciones en la subunidad A se obtienen menos niveles de obturación en relación con la subunidad B, evaluada con el modelo

The evaluation of different situations of plugging in the irrigation subunit was carried out with a mathematical simulation model developed by Elwadie *et al.* (2010), The model determinates the percentage in which the uniformity of flow emitters is affected by the hydraulic, manufacturing and plugging factors.

The simulation of system operation was performed on each treatment studied for different management conditions assumed according to Sammis & Wu (1985). criteria. In the case of the variation coefficient affected by the hydraulic factor, it was evaluated different at percentages (8%, 12% and 16%). In the case of the plugging factor, it was evaluated at 10%, 20% and 30%. The equations used were:

$$\Delta q_{HF} = (\Delta q_H^2 + \Delta q_F^2)^{0.5} \quad (3)$$

$$\Delta q_O = \Delta q_{HFO} - \frac{\Delta q_{HF}^2}{1 - O} \quad (4)$$

$$\Delta q_O = \Delta q_{HFO} - \frac{\Delta q_{HF}^2}{1 - O} \quad (5)$$

where:  $\Delta q_{HFO}$  is de total emitter flow rate variation affected by hydraulic, manufacturing and plugging factors;  $\Delta q_{HF}$  emitter flow variation caused by the hydraulic and manufacturing factors;  $\Delta q_O$  emitter flow variation by plugging; O percentage of totally plugged holes (%).

The validation of the mathematical model was performed by using the criterion of the average relative error from comparing the values of variation in flow rate due to emitters plugging experimentally observed " $(\Delta q)_{obs}$ " and simulated using the mathematical model " $(\Delta q)_{sim}$ ". The equation used was as follows:

$$ERP = \frac{1}{N} \sum \left[ \frac{|(\Delta q_O)_{obs} - (\Delta q_O)_{sim}|}{(\Delta q_O)_{obs}} \right] 100 \quad (6)$$

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of the variation of flow rate and plugging in two subunits (A and B)

Results achieved under experimental conditions of changes in flow rates and percentages due to hydraulic, manufacturing and plugging factors are presented in Table 1. It is shown that the best results in terms of flow rate variation due to the hydraulic factor ( $\Delta q_H$ ), percentage plugging (O) and flow rate variation due to plugging factor ( $\Delta q_O$ ) were found in treatment (A) with values of 4,0%; 5,7% and 5,5% respectively; while for treatment (B) higher values were obtained in relation to these parameters with values of 7,0%, 12,0% and 14,0%, respectively.

This behavior confirms that under the same conditions, in A subunit less plugging levels are obtained in relation

matemático de Elwadie *et al.* (2010). Resultados similares a los obtenidos en esta investigación los publicó Babatunde y Mofoke (2006), pero con su modelo de simulación matemática en sistemas de riego iguales a los evaluados en esta investigación pero usando aguas residuales y otros modelos de emisores.

to B subunit, evaluated with the mathematical model of Elwadie *et al.* (2010). Similar to the results obtained by Babatunde & Mofoke (2006), but using wastewater, other emitters and mathematical simulation model in irrigation systems.

**TABLA 1 Comparación experimental durante tres años para subunidades A y B**  
**TABLE 1. Experimental comparison during three years to A and B subunits**

Years	Subunit A (Treatment A)			Subunit B (Treatment B)		
	$\Delta q_H$	O	$\Delta q_O$	$\Delta q_H$	O	$\Delta q_O$
2010	0,031	0,049	0,051	0,065	0,114	0,134
2011	0,040	0,058	0,053	0,069	0,118	0,139
2012	0,050	0,063	0,060	0,075	0,127	0,146
Half	0,040	0,057	0,055	0,070	0,120	0,140
Typical error	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003
Median	0,040	0,058	0,053	0,069	0,118	0,139
Standard deviation	0,010	0,007	0,005	0,005	0,007	0,006
Minimum	0,031	0,049	0,051	0,065	0,114	0,134

**Prueba del modelo de Bralts para condiciones experimentales**

La validación del modelo de Bralts se sustentó en los valores de variación del caudal debido al factor hidráulico ( $\Delta q_H$ ), porcentaje de obturación (O) y variación del caudal debido al factor de obturación ( $\Delta q_O$ ) obtenidos experimentalmente en los tratamientos (A y B) los cuales al ser introducidos en dicho modelo produjeron los resultados que se exponen en las Tablas 2 y 3.

**Bralts’s test model for experimental conditions**

Bralts’s model’s validation was based on the values of flow rate variation due to hydraulic factor ( $\Delta q_H$ ), plugging percentage (O) and flow rate variation due to plugging factors ( $\Delta q_O$ ) obtained experimentally in A and B treatments, which, when introduced in this model, produced the results shown in Tables 2 and 3.

**TABLA 2. Validación de los resultados del modelo en el tratamiento A**  
**TABLE 2. Validation of the model results in treatment A**

Years	$(\Delta q_H)_{obs}$	$(\Delta q_H)_{sim}$	Difference	ERP (%)
2010	0,051	0,048	0,003	<b>0,23</b>
2011	0,053	0,065	0,012	
2012	0,060	0,066	0,006	
Half	0,057	0,060	0,007	

**TABLA 3. Validación de los resultados del modelo en el tratamiento B**  
**TABLE 3. Validation of the model results in treating B**

Years	$(\Delta q_H)_{obs}$	$(\Delta q_H)_{sim}$	Difference	ERP (%)
2010	0,134	0,132	0,002	<b>0,11</b>
2011	0,139	0,137	0,002	
2012	0,146	0,140	0,006	
Half	0,140	0,136	0,003	

Se demostró en ambos tratamientos que los resultados comparativos entre la variación del caudal de los emisores debido al factor de obturación medido de forma experimental en los tres años estudiados y los simulados mediante el modelo de Bralts son muy cercanos entre sí, con un error relativo promedio inferior al 0,23%, lo que demuestra la elevada exactitud de este modelo y su capacidad para predecir este parámetro en los sistemas de microirrigación. Este resultado justifica la utilización del modelo para simular la obturación en diferentes condiciones de manejo del sistema como se explica a continuación.

Both treatments demonstrated that comparative results between the variation of emitter flow rate due to plugging factor measured experimentally during the three years studied and simulated by the model are very close together, with an average relative error less than 0,23%. It demonstrates Bralts’s model’s high accuracy and its ability to predict this parameter in micro irrigation systems. This result justifies the use of the model to plugging simulate under different management conditions system as it is explained below.



### Simulación del funcionamiento del sistema para diferentes condiciones de manejo

En las Tablas 4, 5 y 6 se presentan los resultados de la simulación del funcionamiento del sistema para las condiciones de manejo basadas en el criterio de Sammis y Wu (1985), para lo cual se evaluaron diferentes porcentajes de  $\Delta q_H$  (8, 12 y 16%) y  $O$  (10, 20 y 30%) manteniéndose en cada caso el valor de la variación del caudal debido al factor de fabricación ( $\Delta q_f$ ) obtenido experimentalmente que fue de 2,5%. La investigación demostró que la variación del caudal debido al efecto hidráulico y de fabricación ( $\Delta q_{HF}$ ) fue de 0,084; 0,123 y 0,162 para cada condición de manejo simulada.

En las tablas antes mencionadas se observa además que tanto la variación del caudal a consecuencia de los tres factores combinados el hidráulico, el de fabricación y el de obturación ( $\Delta q_{HFO}$ ); así como la variación del caudal debido solo al factor de obturación ( $\Delta q_O$ ) manifestaron una tendencia creciente en correspondencia con el aumento del porcentaje de obturación, lo cual es lógico de esperar debido a que el comportamiento hidráulico del sistema de riego bajo estas condiciones contribuye a la aparición de este fenómeno en los emisores que presentan las condiciones más críticas.

### Simulation of system operation for different management conditions

Results of simulation of system operation for management conditions based on the criterion of Sammis & Wu (1985), are showed in Tables 4, 5 and 6, for which different percentages of  $\Delta q_H$  (8, 12 and 16%) and  $O$  (10, 20 and 30%) were evaluated; remaining in each case the value of the flow rate variation due to manufacturing factor ( $\Delta q_f$ ) experimentally obtained, that was 2,5%. The investigation showed that the variation of flow rate due to hydraulic and manufacturing effect ( $\Delta q_{HF}$ ) was 0,084; 0,123 and 0,162 for each simulated condition management.

In the above tables it is further noted that both the flow rate variation as a result of three factors combined, the hydraulic, the manufacturing and the plugging ( $\Delta q_{HFO}$ ); as well as the variation in flow rate due to plugging factor ( $\Delta q_O$ ) only, showed an upward trend in line with the increase of plugging percentage, which is logical to be expected because the hydraulic behavior of the irrigation system under these conditions contributes to the occurrence of this phenomenon in emitters that present the most critical conditions.

**TABLA 4. Simulación de la variación de caudales por obturación para una variación de caudales por el factor hidráulico de 8%**  
**TABLE 4. Simulation of flow rate variation due to plugging by an 8% flow rate variation for the hydraulic factor**

O	$\Delta q_{HFO}$	$\Delta q_O$
0,10	0,344	0,355
0,20	0,507	0,516
0,30	0,660	0,668

**TABLA 5. Simulación de la variación de caudales por obturación para una variación de caudales por el factor hidráulico de 12%**  
**TABLE 5. Simulation of flow rate variation due to plugging by a 12% flow rate variation for the hydraulic factor**

O	$\Delta q_{HFO}$	$\Delta q_O$
0,10	0,355	0,378
0,20	0,515	0,533
0,30	0,666	0,682

**TABLA 6. Simulación de la variación de caudales por obturación para una variación de caudales por el factor hidráulico de 16%**  
**TABLE 6. Simulation of flow rate variation due to plugging by a 16% flow rate variation for the hydraulic factor**

O	$\Delta q_{HFO}$	$\Delta q_O$
0,10	0,371	0,408
0,20	0,526	0,556
0,30	0,674	0,702

### CONCLUSIONES

- El modelo matemático de c resultó muy preciso, ya que el error relativo promedio es muy bajo (menor del 1%) lo que permite su utilización para simular diferentes condiciones de manejo asociadas a las obturaciones de los emisores en sistemas de microirrigación.

### CONCLUSIONS

- The mathematical model Bralts proved to be very accurate, since the average relative error is very low (less than 1%) which allows simulate different management conditions associated with the plugging of emitters in micro-irrigation systems.

### REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-GHOBARI, H.M.: "A Comparison Of Water Application Uniformity For Drip Irrigation System Above And Below Soil Surface At Various Soil Depths And Scheduling Techniques In Arid Region", [en línea], En: Bjornlund, H.; Brebbia, C.A. y Wheeler, S. (eds.), *Sustainable*

*Irrigation and Drainage IV: Management, Technologies and Policies*, Ed. WIT Press, vol. 168, pp. 311-322, DOI: 10.2495/SII20271, 2012, ISBN: 978-1-84564-648-6, Disponible en: <https://www.google.com/cu/search?tbm=bks&hl=es&q=978-1-84564-648-6>, [Consulta: 15 de septiembre de 2016].

- BABATUNDE, F.E.; MOFOKE, A.L.E.: "Performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Influenced by Irrigation Schedules", *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(4): 363-367, 1 de abril de 2006, ISSN: 1680-5194, DOI: 10.3923/pjn.2006.363.367.
- CARMENATES, H.D.; MUJICA, C.A.; PELIER, D.L.; PANEQUE, R.P.: "Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de Merriam y Keller", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1): 37-40, marzo de 2014, ISSN: 2071-0054.
- EL-NEMR, M.K.: "An interactive spreadsheet for drip irrigation system uniformity parameters evaluation", *International Journal of Agriculture Sciences*, 4(4): 216-220, 2012, ISSN: 0975-3710, 0975-9107.
- ELWADIE, M.E.M.; MAO, L.L.; BRALTS, V.F.: "A Simplified Method for Field Evaluation of Solid Set Sprinkler Irrigation Systems", *Applied Engineering in Agriculture*, 26(4): 589-597, 2010, ISSN: 1943-7838, DOI: 10.13031/2013.32064.
- FENG, J.; WU, I.P.: "A simple computerized drip irrigation design", [en línea], En: *III National Irrigation Symposium*, Ed. American Society of Agricultural Engineers, Phoenix, Arizona, p. 353, 1990, ISBN: 0-929355-09-1, Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9174981>, [Consulta: 15 de septiembre de 2016].
- GOYAL, M.R.: "Principles of drip/trickle or micro irrigation", [en línea], En: *Management of drip/trickle or micro irrigation*, Ed. CRC Press - Taylor & Francis Group, Toronto, Point Pleasant, NJ, pp. 103-132, OCLC: 771915326, 2013, ISBN: 978-1-926895-12-3, Disponible en: <https://www.google.com/cu/search?tbm=bks&hl=es&q=ISBN%3A+9781926895123>, [Consulta: 15 de septiembre de 2016].
- HERNÁNDEZ, N.; SOTO, F.; CABALLERO, A.: "Modelos de simulación de cultivos: Características y usos", *Cultivos Tropicales*, 30(1): 73-82, marzo de 2009, ISSN: 0258-5936.
- LOBOA, J.; RAMÍREZ, S.; DÍAZ, J.E.: "Evaluation of the uniformity coefficient in four irrigation emitters using upflow coarse filtration in layers", *Revista EIA*, (16): 29-41, diciembre de 2011, ISSN: 1794-1237.
- LÓPEZ, S.T.; HERRERA, P.J.; GONZÁLEZ, R.F.; CID, L.G.; CHATERLÁN, D.Y.: "Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de la Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3): 1-6, 2009, ISSN: 2071-0054.
- OUAZAA, S.; BURGUETE, J.; PANIAGUA, P.; SALVADOR, R.; ZAPATA, N.: "Calibración y validación de un modelo de reparto de agua de boquillas de plato fijo", *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, (211): 112-119, 2013, ISSN: 1889-0776.
- RODRÍGUEZ, G.M.; SANTANA, S.M.; BROWN, M.O.; ALONSO, de la P.F.: "Mejoramiento de riego por surcos, continuo e intermitente, en suelo ferralítico rojo lixiviado en el sistema productivo Banao", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1): 56-59, marzo de 2014, ISSN: 2071-0054.
- SAMMIS, T.W.; WU, I.P.: "Effect of Drip Irrigation Design and Management on Crop Yield", *Transactions of the ASAE*, 28(3): 832-838, 1985, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.32347.
- SANTOS, P.L.; DE JUAN, V.J.A.; PICORNELL, B.M.R.; TARJUELO, M.-B.J.M.: *El Riego y sus Tecnologías*, [en línea], Ed. Centro Regional de Estudios del Agua - Universidad de Castilla/La Mancha, 1.ª ed., España, 296 p., 2010, ISBN: 978-84-692-9979-1, Disponible en: [http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/riego/El\\_Riego\\_y\\_sus\\_Tecnologias.pdf](http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/riego/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf), [Consulta: 16 de septiembre de 2016].
- SOLOMON, K.H.: "Global Uniformity of Trickle Irrigation Systems", *Transactions of the ASAE*, 28(4): 1151-1158, 1985, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.32404.
- VALIPOUR, M.: *Handbook of water engineering problems*, [en línea], Ed. OMICS Group, 1.ª ed., USA, 64 p., 2014, Disponible en: <http://www.esciencecentral.org/ebooks/handbook-of-water-engineering-problems/pdf/handbook-of-water-engineering-problems.pdf>, [Consulta: 16 de septiembre de 2015].

Received: 27/12/2015.

Approved: 08/07/2016

Dayma Carmenates-Hernández, Prof. e Inv., Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, Correo electrónico: [daymas@unica.cu](mailto:daymas@unica.cu)

Oscar Brown-Manrique, Correo electrónico: [obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

Albi Mujica-Cervantes, Correo electrónico: [albi@unica.cu](mailto:albi@unica.cu)

Maiquel López-Silva, Correo electrónico: [maiquel@unica.cu](mailto:maiquel@unica.cu)

Pedro Paneque-Rondón, Correo electrónico: [paneque@unah.edu.cu](mailto:paneque@unah.edu.cu)