



IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

EVALUACIÓN DE EMISORES OBTURADOS CON EL USO DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA EN SISTEMAS DE MICROIRRIGACIÓN

Dayma Carmenates Hernández^{1*}; Maiquel López Silva¹; Albi Mujica Cervantes¹; Oscar Brown Manrique¹

¹Centro de Estudios Hidrotécnicos, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Ciego de Ávila
"Máximo Gómez Báez" - Carretera a Morón km 9 ½ Ciego de Ávila Cuba.

daymasadami@yahoo.com - (053) 58161611, (*Autor de correspondencia)

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos con el uso del modelo matemático de Bralts *et al.*, (2010) 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 evaluar emisores obturados con el uso de la modelación matemática en sistemas de microirrigación.

Palabras claves: riego, caudal, guayaba, uniformidad, hidráulico



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; Nenr, 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 (2012) y Valipour (2014). Para el control de las obturaciones en los sistemas de microirrigación han sido utilizados durante los últimos años diferentes técnicas, procedimientos y herramientas con resultados satisfactorios (Al- Ghobari, 2012).

Solomón (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. Bralts *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 evaluar emisores obturados con el uso de la modelación matemática en sistemas de microirrigación.

Materiales y Métodos

Las variaciones de los caudales se determinaron experimentalmente en dos subunidades de riego en la 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/cm² (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 (Δq_H), de fabricación (Δq_F) y obturación (Δq_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 Δq 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.

Se utilizó un modelo matemático de simulación desarrollado por Bralts *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 Wu y Gitlin (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:

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

$$\Delta q_{HFO} = \left(\Delta q_{HF}^2 + \frac{O}{1-O} \right)^{0.5} \quad (4)$$

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

Donde: Δq_{HFO} = Variación total del caudal afectado por los tres factores: hidráulico, fabricación y obturación; Δq_{HF} = Variación del caudal del emisor causado por el factor hidráulico y de fabricación; Δq_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 (Δq_H), porcentaje de obturación (O) y variación del caudal debido al factor de obturación (Δq_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 matemático de Bralts *et al.*, (2010). Resultados similares a las obtenidos en esta investigación los publicó Benami y Ofen (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.

Tabla 1. Comparación experimental durante tres años para Subunidades A y B

Años	Metodología (Tratamiento M)			Producción (Tratamiento P)		
	Δq_H	O	Δq_o	Δq_H	O	Δq_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
Media	0,040	0,057	0,055	0,070	0,120	0,140
Error típico	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003
Mediana	0,040	0,058	0,053	0,069	0,118	0,139
Desviación estándar	0,010	0,007	0,005	0,005	0,007	0,006
Mínimo	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 (Δq_H), porcentaje de obturación (O) y variación del caudal debido al factor de obturación (Δq_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.

Tabla 2. Validación de los resultados del modelo en el tratamiento A.

Años	$(\Delta q_H)_{obs}$	$(\Delta q_H)_{sim}$	Diferencia	ERP (%)
2010	0,051	0,048	0,003	0,23
2011	0,053	0,065	0,012	
2012	0,060	0,066	0,006	
Media	0,057	0,060	0,007	

Tabla 3. Validación de los resultados del modelo en el tratamiento B.

Años	$(\Delta q_H)_{obs}$	$(\Delta q_H)_{sim}$	Diferencia	ERP (%)
2010	0,134	0,132	0,002	0,11
2011	0,139	0,137	0,002	
2012	0,146	0,140	0,006	
Media	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.

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 Wu y Gitlin (1985) para lo cual se evaluaron diferentes porcentajes de Δq_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 (Δq_F) obtenido experimentalmente que fue de 2.5%. La investigación demostró que la variación del caudal debido al efecto hidráulico y de fabricación (Δq_{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 (Δq_{HFO}); así como la variación del caudal debido solo al factor de obturación (Δq_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.



Tabla 4. Simulación de la variación de caudales por obturación para una variación de caudales por el factor hidráulico de 8%.

O	Δq_{HFO}	Δq_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%.

O	Δq_{HFO}	Δq_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%.

O	Δq_{HFO}	Δq_o
0,10	0,371	0,408
0,20	0,526	0,556
0,30	0,674	0,702

Conclusiones

El modelo matemático de Bralts 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.

Referencias Bibliográficas

- AI-GHOBARI.H.M. (2012).A comparison of water application uniformity for drip irrigation systemh above and below soil surface at various soil depepths and scheduling techniques in arid region. Agricultural Engineering Departament. Saudy Arabia. ISSN: 1743-3541 (on-line). DOI: 10.2495. vol.168.
- BENAMI, A and OFEN, A. (2006): Irrigation Engineering Haifa. Israel: Irrigation Engineering Scientific Publications (IESP). ISSN: 0975-9107.
- BRALTS, V.F. (2010): Trickle Irrigation: Aplicacion Uniformity from simple emitters. Proc. 4th. ANN. Int. Drip Irrig. Assoc. Meet. Fresno, California. ISBN: 9781926895123. pp. 65-76.
- CARMENATES.H.D; MUJICA. C.A; LUIS.P.D; PANEQUE.R.P. (2014). Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de



- Merian y Keller. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. ISSN: 2071-0054. Vol.23.no 1.
- FENG, J. and WU, I.P. (1990): A simple computerized drip irrigation design. Proceedings of the Third National Irrigation Symposium, Phoenix, Arizona. ISSN: 014910583. October 28-November 1, pp. 348-35
- GOYAL.M.R. (2012). Principles of microirrigation. Management of drip/ trickle or micro Irrigation. Canadá. ISBN: 9781926895123. Chapters, pp 103-132.
- HERNÁNDEZ. N; SOTO. F; CABALLERO. A. (2009). Modelos de simulación de cultivos, características y usos. Revista Cultivos Tropicales. ISSN: 0258-5936. Cultrop. vol 3. no 1.
- LOBOA, J; RAMÍREZ, S; DIAZ, J.D. (2011): Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas. Escuela de Ingeniería de Antioquía. Revista EIA. Medellín, Colombia. ISSN 1794-1237. Número 16.pp.29-49.
- LÓPEZ.S.T; HERRERA.P.J; GOMZÁLEZ.R.F; CID.L.G; CHATERIÁN.D.Y. (2009).Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región sur de la Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Cuba. ISSN: 1010-2760. Vol 18, no 3, pp 1-6.
- NEMR. M.K. (2012). An interactive spreadsheet for drip irrigation system uniformity parameters evaluation. ISSN: 0975-3710. Vol 4. pp: 216-220.
- OUAZAA, S.; BURGUETE, J.; PANIAGUA, P.; SALVADOR, R.; ZAPATA, N. (2013): Calibración y validación de un modelo de reparto de agua de boquillas de plato fijo. *Tierras, Riego*, No 211. España. ISSN: 1889-0776. pp 112-119.
- RODRIGUEZ .G.M; SANTANA.S; BROWN.M.O. (2014). Mejoramiento del riego por surcos, continuo e intermitente, en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado en sistema productivo Banao. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. ISSN: 2071-0054.vol 23, n 1.
- SANTOS .P.L; DE JUAN.V.JA; PICONELL.B.MR; TARJUELO.M-B.JM. (2010). El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla-La Mancha. España. ISBN: 13: 978-84-692-9979-1.
- SOLOMÓN, K. (1985): "Global Uniformity of Trickle Irrigation Systems". Transactions of the ASAE. ISSN: 0733-9437. DOI: 10.1061. 28 (4):1151-1158.
- VALIPOUR.M. (2014). Handbook of water engineering problems. USA. ISBN: 03650340. DOI: 10.1080.
- WU, I.P; GITLIN, T.W. (1985): Effect of drip irrigation desing and management on crop yield. American Society of Agricultural Engineers. Transations of the ASAE.0001-2351/85/2803-083202. ISSN: 0832-0838. DOI:(10.13031/2013.32347.