



## **METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL MANEJO DE LOS SISTEMAS DE MICROIRRIGACIÓN**

**Dayma Carmenates Hernández<sup>1\*</sup>; Maiquel López Silva<sup>1</sup>; Albi Mujica Cervantes<sup>1</sup>;  
Oscar Brown Manrique<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro 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](mailto:daymasadami@yahoo.com) - (053) 58161611 (\*Autor de correspondencia)

### **Resumen**

Se desarrolló una metodología con el objetivo de evaluar el manejo los sistemas de microirrigación, las áreas donde se realizaron los experimentos fueron la Universidad de Ciego de Ávila y la empresa Agroindustrial Ceballos, el trabajo se desarrolló durante tres años, donde se evaluaron las características técnicas - mecánicas e hidráulicas de emisores, se simuló el fenómeno de obturaciones, se evaluó el funcionamiento del sistema por dos criterios diferentes y se elaboró y validó la metodología. Obteniéndose como resultados que las características hidráulicas y mecánicas de los goteros están conformadas básicamente por, la curva caudal- presión, el coeficiente de variación de fabricación y la relación caudal- temperatura constituyen parámetros fundamentales para poder realizar un adecuado manejo de los sistemas de microirrigación. El modelo matemático de Bralts resultó muy preciso, ya que el error relativo promedio fue inferior al 0,23% lo que demuestra la exactitud del mismo y su capacidad para predecir obturaciones en sistemas de microirrigación. Los mejores resultados se obtuvieron con el criterio de manejo de Bralts, a partir del cual se pudo obtener un diagrama de manejo que permite mejorar el funcionamiento del sistema de riego. Con la validación de la metodología propuesta en una subunidad de riego de la UBPC el Tezón se logró un mejor manejo del sistema y se incrementó el rendimiento promedio de la guayaba en 3,79t/ha.

**Palabras claves:** emisores, obturaciones, caudal, presión, guayaba.



## Introducción

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua, basándose en ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego (Ucker *et al.*, 2013). Con estos cambios, se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra, energía, etc., así como una mejora de los rendimientos de los cultivos y la reducción de los riesgos de erosión, la contaminación de suelo y de las aguas subterráneas (Ouzaa *et al.*, 2013).

La etapa de manejo consiste en el establecimiento de calendarios de riego, la operación del sistema de acuerdo con dichos calendarios y el mantenimiento del mismo. Los calendarios de riego en un sistema bien manejado se desarrollan principalmente en base a las demandas de agua del cultivo generadas por condiciones climáticas (Aguilar, 2013; Velez *et al.*, 2013).

Los sistemas de microirrigación requieren de mayor capacidad técnica que otros sistemas de riego presurizados. La microirrigación moderna es un sistema de manejo de agua y nutrición (Valipour, 2014). La carencia de investigaciones agrícolas exhaustivas y experiencia de campo en muchas localidades es a veces un problema para el diseñador. Además, la falta de personal capacitado para su operación puede llevar a fallas en sistemas bien diseñados e instalados (Rodríguez *et al.*, 2014).

Hace más de 40 años que se establecieron en Cuba de forma comercial los primeros sistemas de microirrigación, beneficiándose principalmente los cultivos de cítricos, plátanos, frutales, caña de azúcar y hortalizas (Carmenates *et al.*, 2017a). No puede dejarse de reconocer que la microirrigación ha proporcionado incrementos del rendimiento del orden del 30-50% en los cultivos beneficiados con ahorros de un 30-40% del agua y de un 20-30% de la energía, sin embargo, se requieren de altas inversiones de capital para su establecimiento (Carmenates *et al.*, 2017b).

En la actualidad numerosas empresas comerciales líderes, dedicadas a la venta de componentes de los sistemas de microirrigación, se encuentran radicadas en Cuba, lo que posibilita el acceso a las tecnologías más avanzadas, lo que evidentemente es uno de los factores que contribuye, en cierta medida, a la rápida expansión de las áreas bajo riego con estas tecnologías en los últimos 10-15 años (Carmenates *et al.*, 2014). Esto trae aparejado nuevos problemas tecnológicos, dentro de los que se destacan: a) Los emisores que se utilizan en los sistemas de microirrigación no son previamente evaluados y no existen en el país laboratorios especializados para su evaluación hidráulica y mecánica, ni metodologías estandarizadas que posibiliten determinar y certificar su calidad. b) La preparación técnica del personal encargado del manejo y operación de los sistemas de microirrigación resulta insuficiente. c) No se logra en ocasiones, mantener en la zona radical de la planta una sección de dimensiones adecuadas en la cual se mantenga la humedad próxima a la capacidad de campo. d) No se evalúa la calidad del agua subterránea en función del alto contenido de carbonato de calcio y magnesio que



trae como consecuencia la obstrucción de los emisores Carmenates *et al.*, (2016). Por lo que el objetivo de este trabajo fue proponer una metodología para evaluar el manejo los sistemas de microirrigación.

## Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la Universidad de Ciego de Ávila y en áreas de la UBPC el Tezón de la Empresa Agroindustrial de Ceballos, en el cultivo de la guayaba con un suelo Ferralítico Rojo Típico. La metodología utilizada para la evaluación de los emisores tipo gotero fue la establecida en la Norma Internacional ISO9260 (1991). Los emisores seleccionados para el estudio fueron los que se encuentran en los sistemas de riego de la UBPC el Tezón. Las características de los emisores evaluados se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características Hidráulicas de los modelos de emisores evaluados.

No	Fabricante	Modelo	Flujo	Caudal (L/h)	Diámetro de las boquillas (mm)	Rango de Compensación kPa	Espaciamiento entre goteros (EEG) (cm)
1	Naandan	Naan PC	AC	3,8	1.713	70-280	0,80
2	Hydrogol	O-Tiff	NC	4,0	0.985		0,80
3	Irrimon	Vip Line	AC	3,9	0.678	70-240	0,80
4	Mondragón	Aqua Traxx PC	AC	1,02	1.578	70-175	0,80
5	Mondragón	Aqua Traxx	NC	1,14	1.327		0,80

Para determinar la influencia de la calidad del agua en las obturaciones se realizaron los análisis físicos-químicos de los pozos que abastecen las áreas donde se realizó la investigación, pH: por Potenciometría, Total de Sales Disueltas (TSD): por Conductimetría, Conductividad eléctrica (CE): por Conductimetría, Dureza Total: por Complexometría y Calcio y Magnesio: por Complexometría. Con los valores resultantes se clasificaron las aguas a partir de los datos de CE , TSD y Dureza (expresada en grados hidrotimétricos Franceses), según la clasificación de calidad de agua para riego de la FAO (2013) y el valor de pH que se relaciona con el peligro de obturaciones según Nakayama y Bucks (1991). 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.

Para el cálculo del manejo del sistema de riego se utilizó el criterio de Bralts *et al.*, (1981), que se basa en la uniformidad estadística, basado en el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución del sistema, obteniéndose un gráfico de manejo para el riego.

El desarrollo y validación de la metodología propuesta se realizó a partir de los resultados que se alcanzaron en este trabajo de investigación experimental. Esta se validó durante



tres años en condiciones de producción en la UBPC el Tezón para el cultivo de la guayaba. En la validación se utilizaron cinco indicadores: cantidad de emisores obturados ( $NE_o$ ); porcentaje de obturaciones ( $O$ ); variación de caudal por efecto de la obturación ( $\Delta q_o$ ); rendimiento del cultivo ( $R$ ) y beneficio neto ( $B_n$ ). El beneficio neto se determinó a partir de las siguientes ecuaciones:

Siendo:

$$B_b = R \cdot P_v \cdot A_s \quad (1)$$

$$C_T = C_P + C_F + C_O \quad (2)$$

$$C_P = C_{fer} + C_{pes} + C_{ag} + C_{RM} \quad (3)$$

$$C_F = C_{LM} + A \quad (4)$$

$$C_O = C_{EE} + C_{sal} \quad (5)$$

$$A = C_i K_a \quad (6)$$

$$K_a = \frac{r}{(1+r)^T - 1} \quad (7)$$

$$C_{ag} = V_a P_a \quad (8)$$

Donde  $B_n$  es el beneficio neto (\$);  $C_T$  el costo total (\$);  $B_b$  el beneficio bruto (\$);  $R$  el rendimiento del cultivo (t/ha);  $P_v$  el precio de venta del cultivo (\$ t<sup>-1</sup>);  $A_s$  el área del sistema (ha);  $C_T$  los costos totales (\$);  $C_P$  los costos de producción (\$);  $C_F$  los costos fijos (\$);  $C_O$  los costos de operación (\$);  $C_{fer}$  los costos de fertilizantes (\$);  $C_{pes}$  los costos de pesticidas (\$);  $C_{ag}$  los costos del agua (\$);  $C_{RM}$  los costos de reparación y mantenimiento (\$);  $C_{LM}$  los costos de las actividades mecanizadas (\$);  $C_{EE}$  los costos de la energía eléctrica (\$);  $C_{sal}$  los costos de salario (\$);  $A$  los costos de amortización (\$);  $C_s$  el costo total del sistema (\$);  $K_a$  el coeficiente de amortización (adim.);  $T$  el tiempo de vida útil de la instalación (años);  $C_{ag}$  el costo por consumo de agua (\$);  $V_a$  el volumen de agua aplicado al cultivo (m<sup>3</sup>) y  $P_a$  el precio del agua (\$/m<sup>3</sup>).

Para calcular el volumen de agua aplicada se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_a = 10 \frac{(N_e * N_l * q_e * N_r * T_r) O}{A_p} \quad (9)$$

Donde  $V_a$  volumen de agua aplicada;  $N_e$  número de emisores;  $N_l$  número de laterales;  $q_e$  caudal del emisor;  $N_r$  número de riego;  $T_r$  tiempo de riego y  $O$  porcentaje de obturación.



Las transformaciones provocadas por la aplicación de la metodología propuesta respecto a la variante utilizada por la producción se comprobaron estadísticamente mediante la prueba de hipótesis de dos colas, considerada una alternativa de desigualdad general. Se formuló la hipótesis de nulidad ( $H_0$ ) y la alternativa ( $H_1$ ) de modo que si el estadígrafo T-Student calculado ( $T$ ) es mayor que su valor crítico ( $T_c$ ) para el nivel de significación ( $\alpha$ ) de 0,05 se toma la decisión de rechazar  $H_0$  y aceptar  $H_1$ ; demostrándose que las medias comparadas difieren estadísticamente:

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \tag{10}$$

## Resultados y Discusión

**Estructura de la metodología:** Los procedimientos esenciales para la conformación de la metodología propuesta se muestran en la figura 2, la cual presenta la siguiente estructura:

**Fundamentación de la metodología:** El fenómeno de obturación es uno de los aspectos que incide de forma notable en que los sistemas de riego por microirrigación presenten eficiencias por debajo de las recomendadas. En la literatura científica se presentan diferentes métodos que contribuyen a mejorar los efectos de esta anomalía; pero en general aparecen como procedimientos aislados que no siempre son satisfactorios para situaciones particulares.

La metodología propuesta presenta gran importancia para los sistemas de microirrigación en la provincia de Ciego de Ávila por ser una de las provincias de Cuba con mayor cantidad de sistemas de microirrigación y dada las características del agua subterránea que aplican estos sistemas, son potencialmente afectados por la obturación de los emisores, lo que justifica la necesidad de desarrollar una metodología capaz de resolver esta situación de manera satisfactoria.

**Objetivo de la metodología:** es reducir el porcentaje de obturaciones en los sistemas de microirrigación que propicie el mejoramiento del coeficiente de uniformidad y el rendimiento del cultivo.

**Procedimientos de la metodología:** consta de tres procedimientos generales integrados entre sí de forma sistémica, los cuales constituyen su elemento principal para la evaluación de los sistemas de microirrigación y así lograr el mejoramiento del sistema de riego con base en la reducción de la obturación de los emisores, estos son:

1. Caracterización de los emisores y evaluación de la calidad del agua de riego.
2. Modelación del porcentaje de obturación.
3. Determinación del CU, UD y diagrama de manejo por el criterio de Bralts.



Cada una de las fases juega un papel fundamental para el cumplimiento de forma satisfactoria del objetivo propuesto. De esta manera el primer procedimiento constituye un instrumento importante para la definición de las características hidráulicas y mecánicas de los emisores que se emplearán en el sistema y la determinación de la calidad del agua y su posible efecto sobre la obturación. El segundo procedimiento se basa en la utilización de una herramienta matemática que simula de forma satisfactoria la magnitud en que podría presentarse el fenómeno de obturación en el sistema de microirrigación y el tercer procedimiento evalúa el comportamiento del coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución frente a diferentes situaciones de manejo del sistema a partir de los cuales se construye el diagrama de manejo.

**Ejecución y control:** estuvo dirigida desde el punto de vista de manejo al cumplimiento de las normas establecida para que el sistema funcione con elevada eficiencia, lo cual tiene que contar con un adecuado control por parte de todas las personas relacionadas con esta actividad y constituye un factor importante para que se logren resultados satisfactorios.

**Validación de la metodología propuesta:** Los resultados del proceso de validación se presentan en la tabla 2 en la cual se comprobó que la metodología propuesta (M) produjo mejores resultados en comparación con el tratamiento utilizado en la producción (P) en cuanto a la reducción del número de emisores obturados, el porcentaje de obturación y la desviación del caudal debido al fenómeno de obturación; sin embargo, logró un incremento significativo del rendimiento y el beneficio neto, lo cual se demostró mediante el análisis estadístico a partir de obtenerse un valor del estadígrafo T-Student calculado superior al valor crítico para todos los indicadores de validación evaluados.

Todo lo anterior confirmó que la misma puede ser empleada con seguridad como un instrumento para el manejo de los sistemas de microirrigación en el cultivo de la guayaba en áreas que presenten características similares a las descritas en esta investigación. Se pudo obtener con la aplicación de la metodología un incremento del rendimiento promedio de 3,79 t/ha.

**Tabla 2.** Indicadores de validación de la metodología propuesta.

Indicadores	Metodología	Producción	T	T <sub>c</sub>
NE <sub>o</sub>	34	75	41,77	4,30
O (%)	5,74	12,50	26,45	4,30
Δq <sub>o</sub> (%)	5,50	14,00	187,36	4,30
R (t/ha)	60,13	56,34	5,76	4,30
Bn (\$)	105092,59	87969,49	223,98	4,30

### **Diagrama de manejo del sistema de riego y distribución del agua aplicada**

Los datos obtenidos fueron ajustados a una función de distribución normal, a partir de este ajuste se estableció una relación entre la lámina aplicada y la fracción de suelo que



es suficientemente regada. Este resultado nos permitió poder realizar el proceso de manejo basado en los datos experimentales, lo cual influye en el mejoramiento de los parámetros de uniformidad, distribución y la eficiencia de aplicación del sistema.

La relación que existe entre el volumen de agua aplicado al cultivo de la guayaba con emisores autocompensantes (Nann PC) que fue con los que mejores resultados se obtuvieron experimentalmente, la eficiencia de aplicación, el coeficiente de déficit y el coeficiente (f) que expresa el ajuste de la lámina aplicada a la función de distribución normal se presentan en la figura 1.

En la medida que se incrementa la lámina aplicada se produce una disminución gradual del coeficiente de déficit desde un valor de 0,24 que corresponde a una lámina de 0,80 mililitros hasta 0,029 para una lámina de 351 mililitros que luego se incrementa ligeramente. También se produce un incremento de la eficiencia de aplicación.

En el caso de (f) ocurre una disminución notable desde un valor de 1,66 para una lámina de 280 mililitros hasta 0,20 para una lámina de 373 mililitros. Por último se observó una estabilización con un valor de 1,2 para una lámina de 290 a 330 mililitros.

El diagrama de manejo constituye una herramienta muy importante para el proceso de manejo del sistema de riego debido a que se establecen las relaciones existentes entre el coeficiente de déficit (Cd) y el volumen de agua requerido (Vr) considerando su influencia en la eficiencia de aplicación (AE). Esta herramienta puede ser empleada como un instrumento para la evaluación de los sistemas de microirrigación en el cultivo de la guayaba en áreas que presenten características similares en cuanto a tipo de suelo y calidad del agua principalmente.

Esta información nos da los pasos a seguir durante el manejo del sistema, posibilitando ahorro de agua y energía con incrementos en el rendimiento del cultivo.

El diagrama obtenido a partir de los datos experimentales nos permite poder conducir el riego considerando como base los parámetros de funcionamiento del sistema bajo condiciones de producción.

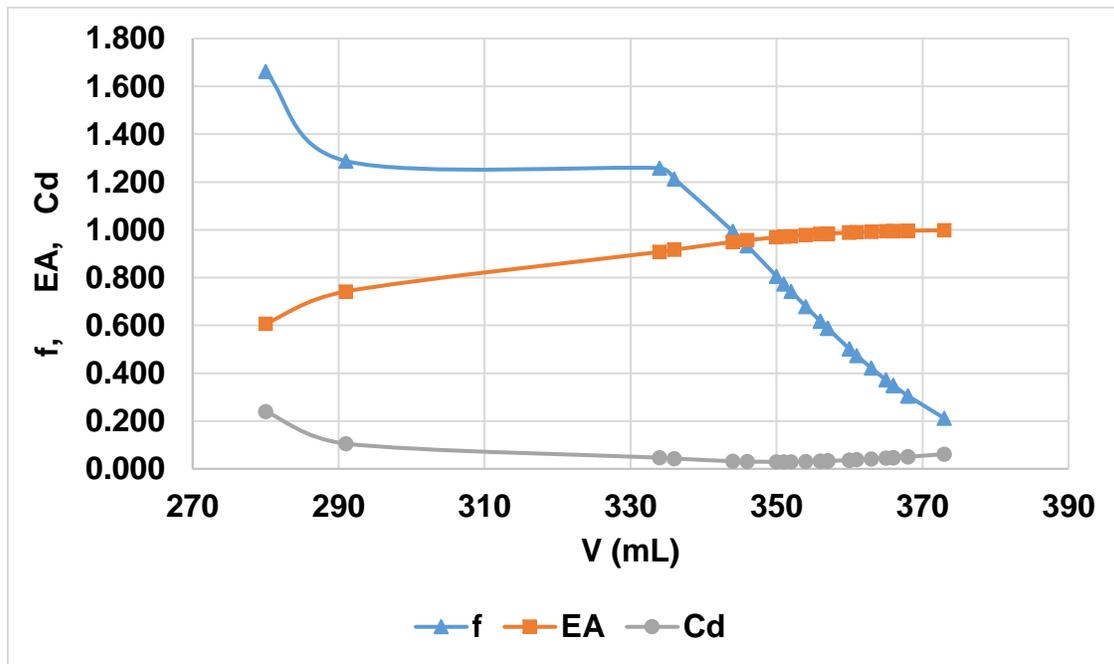
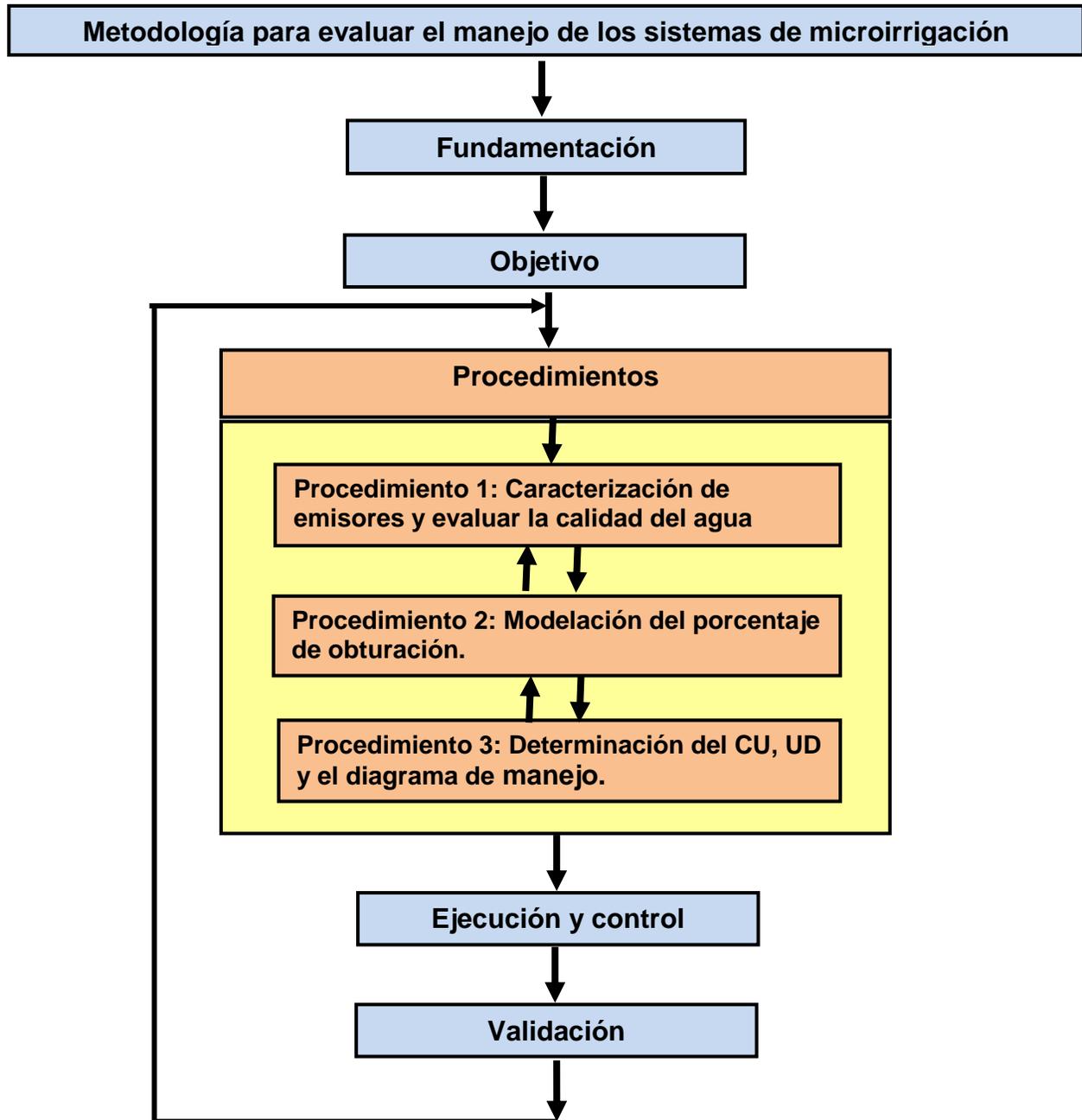


Figura 1. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal.

## Conclusiones

El diagrama de manejo obtenido mediante el criterio de Bralts, nos indica los pasos a seguir para la evaluación del sistema de microirrigación, posibilitando ahorro de agua y energía con incrementos en el rendimiento del cultivo de la guayaba, así como su posible utilización en áreas que presenten características similares a las descritas en esta investigación.

Con la validación de la metodología propuesta en una subunidad de riego de la UBPC el Tezón se logró un mejor manejo del sistema de microirrigación e incrementos en los indicadores de validación, con respecto a las condiciones de producción evaluadas.



**Figura 2.** Esquema de la metodología propuesta para evaluar el manejo de los sistemas de microirrigación en Ciego de Ávila.



## Referencias Bibliográficas

- AGILAR, L. S. L. (2013): Metodología simplificada para a estimativa em campo da uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento superficial. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, nº. 5, p. 290 - 299, 2013. ISSN 1982-7679 (On-line). Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>. Obtenido el 9 de septiembre de 2012.
- BRALTS, V.F. (2010): Trickle Irrigation: Application Uniformity from simple emitters. Proc. 4<sup>th</sup>. ANN. Int. Drip Irrig. Assoc. Meet. Fresno, California. ISBN: 9781926895123. pp.65-76.
- BRALTS, V. F; WU, I y GITLIN, H. M. (1981): "Manufacturing Variation in Drip Irrigation Uniformity". DOI: 10.13031/2013.34209. Transactions of the ASAE 24(1):113-119.
- 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.
- CARMENATES, H. D; LÓPEZ, S. M.; MUJICA, C. A.; PANEQUE, R. P (2017a). Effect of Flow Variations in Micro Irrigation Systems in Guava Crop (*Psidium guajava* L). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. ISSN 1010-2760. 26(2): 48-54.
- CARMENATES, H. D; LÓPEZ, S. M.; MUJICA, C. A.; PANEQUE, R. P (2017b). Evaluación mecánica e hidráulica de emisores de sistemas de riego en Ciego de Ávila. *Revista Ingeniería Agrícola*. ISSN 2306-1545. 7 (4).
- CARMENATES. H. D.; BRONW. M. O.; MUJICA. C. A.; LÓPEZ. S. M.; PANEQUE. R. P. (2016). Simulación de obturaciones en emisores mediante la modelación matemática en los sistemas de riego en Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol 25(4): 17-22, 2016, ISSN: 2071-0054 <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25345.66401>.
- FAO. (2013). Informe sobre temas hídricos. organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma. ISBN: 978-92-5-307304-7 (edición impresa) E-ISBN 978-92-5-307633-8 (PDF).
- NAKAYAMA, F. S y BUCKS, D. A. (1991): Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, v.12, p.187-192. ISSN, 0342-7188, 1432-1319.
- NORMAS. ISO. 9260. (1991).Equipos de riego para la Agricultura- goteros – especificaciones y métodos de prueba.



- 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.
- UCKER, F.E; BARCELOS, S.P; CAMARGO, M.F, SILVA,P.D; FRANCA, C.C; WAGNER,A.E. (2013): Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* (e-ISSN: 2236-1170). v(10), nº 10, p. 2102-2111.
- VALIPOUR.M. (2014). *Handbook of water engineering problems*. USA. ISBN: 03650340. DOI: 10.1080.
- VÉLEZ.S.J.E; CAMACHO.T.H.J; ALVAREZ.H.J.G. (2013). Evaluación de goteros utilizados en microirrigación en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. Vol:7. No:2. Bogotá, July- Dec. ISSN: 2011-2173.