

## RIEGO Y DRENAJE

### ARTÍCULO ORIGINAL

# Evaluación mecánica e hidráulica de emisores en sistemas de riego en Ciego de Ávila

## *Mechanical and Hydraulics evaluation of emitters in Irrigation Systems in Ciego de Ávila*

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

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

<sup>II</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** La investigación se realizó en la UBPC el Tezón de la Empresa Agroindustrial de Ceballos de Ciego de Ávila. Se estudiaron diferentes modelos de goteros con el objetivo de evaluar emisores autocompensantes y no compensantes en sistemas de microirrigación en Ciego de Ávila. En la evaluación mecánica e hidráulica de los emisores se determinó la curva caudal- presión experimentalmente para los modelos evaluados, obteniéndose ecuaciones del tipo polinómicas con muy buen ajuste de las curvas y coeficientes de determinación por encima del 90%. Además se determinó la variación del caudal producto de la temperatura del agua, donde se demostró la sensibilidad de los emisores autocompensantes a las variaciones de temperatura.

**Palabras clave:** curva, presión, coeficiente de variación, temperatura.

**ABSTRACT.** The research was carried out in Ceballos Agroindustrial Enterprise of Ciego de Ávila. Different models of drippers were studied with the objective of evaluating self - compensating and non - compensating emitters in microirrigation systems in Ciego de Avila. In the mechanical and hydraulic evaluation of the emitters, the pressure-flow rate curve was experimentally determined for the models evaluated, obtaining polynomial equations with very good adjustment of the curves and determination coefficients above 90%. In addition, it was determined the variation of the product flow rate of the water temperature, where the sensitivity of the self-compensating emitters to the temperature variations was demonstrated.

**Keywords:** curve, pressure, coefficient of variation, temperature.

## INTRODUCCIÓN

Los emisores son los elementos más importantes de un sistema de microirrigación y su función principal es permitir la salida del agua a un caudal controlado y en lugares del cultivo previamente determinados según Solomon (1985). Un emisor es un disipador de presión construido especialmente para generar una pérdida de carga localizada induciendo vorticidad, fricción hidráulica o una combinación de las dos (Feng y Wu, 1990).

Los emisores deben proporcionar un caudal bajo, con el objetivo de que los diámetros de las tuberías sobre todo laterales y distribuidoras, sean reducidos; las grandes longitudes que de estas tuberías se emplean en los sistemas de microirrigación

hacen que un ligero incremento en su diámetro encarezca de forma importante el proyecto del sistema (Sammis y Wu, 1985). Por otra parte, la presión de servicio de los emisores no debe ser muy baja para minimizar el efecto que sobre la uniformidad del riego tienen los desniveles del terreno y las pérdidas de carga a lo largo de las distribuidoras y los laterales (Vélez-Sánchez *et al.*, 2013). Su diámetro de paso ha de ser lo mayor posible para evitar las obturaciones que es el principal problema en el manejo de los sistemas de microirrigación (Pereira *et al.*, 2010). El objetivo del trabajo es evaluar emisores autocompensantes y no compensantes en sistemas de microirrigación.

## MÉTODOS

La investigación se realizó 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 ISO 9260: 1991 titulada Equipos de Riego para la Agricultura Goteros- Especificaciones y métodos de prueba. Los emisores seleccionados para el estudio fueron los que se encuentran en los sistemas de riego de la UBPC el Tezón.

Para la determinación de la curva caudal- presión  $q=f(h)$  se tuvo en cuenta los aspectos señalados en la por la Norma ISO 9260: 1991. Luego se tomaron 4 mediciones de caudal para cada gotero de esta serie (los números 3, 12, 13, 23) seleccionados al azar según Pizarro (1987), y se les determinó la variación del caudal de emisión en función de la presión de entrada. Se evaluó cada emisor por etapas y con presiones no mayores a 50 kPa desde la presión cero hasta 1,2 veces la presión máxima (Pmax). Los emisores regulados fueron probados a distintas presiones dentro del rango de regulación. La lectura de los resultados se tomó durante 3 minutos después de alcanzar la presión de prueba.

La determinación de la variación del caudal producto de la

temperatura del agua se llevó a cabo midiendo tres veces la descarga de cada uno de los emisores seleccionados al azar con los números siguientes (3, 12, 13 y 23) de los 25 emisores evaluados de cada modelo según Pizarro (1987), a distintas temperaturas del agua en un rango de 7 – 55°C a la presión nominal de cada gotero y la mitad del intervalo de regulación para los goteros autocompensados. La temperatura del agua fue medida con termómetros en la fuente de abasto de agua y en la entrada del lateral. La diferencia de temperatura entre estas lecturas, no debió exceder los 2°C.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan los resultados obtenidos en la distribución del caudal de los emisores estudiados. En el caso del gotero Vip Line la mayor dispersión se obtuvo en el emisor número 11, ocurriendo un descenso del caudal hasta unos 3,4 L/h, el gotero O-Tiff no compensante manifestó las mayores variaciones de caudales en los emisores (9, 13, 19 y 21) Como puede observarse en las mismas, en el emisor Naan PC la mayor dispersión de caudales se obtuvo, esencialmente en los goteros números 14 y 23 de la tubería lateral de prueba, en los cuales el caudal descendió casi a unos 3 L/h.

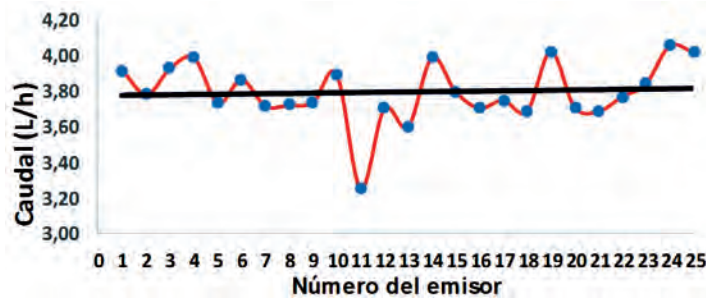


FIGURA 1. Variación del caudal del gotero modelo Vip Line autocompensante con caudal nominal de 3.9 L/h.

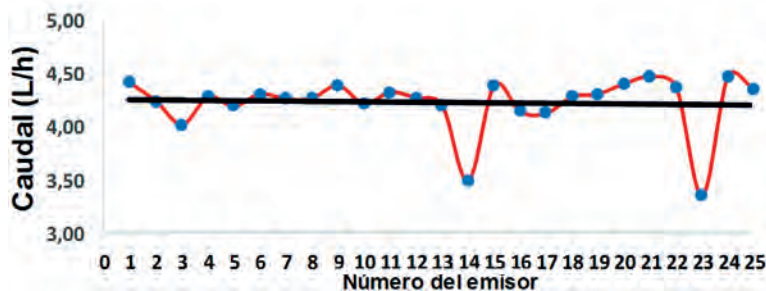


FIGURA 2. Variación del caudal del gotero Naan PC modelo autocompensante con caudal nominal de 3.8 L/h.

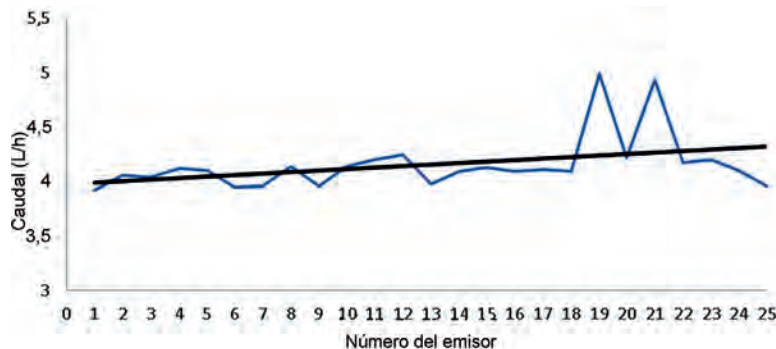


FIGURA 3. Variación del caudal del gotero O-Tiff no autocompensante con caudal nominal de 4 L/h.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los informados por Solomon (1985), este autor obtuvo que el caudal de los emisores de acuerdo con las especificaciones del fabricante, sufran al colocarlo en el campo una serie de variaciones, unas inherentes al propio emisor y otras a las condiciones a las que trabaja. Carmenates *et al.* (2014), obtuvieron resultados diferentes con emisores de un mismo modelo y aparentemente idénticos, pero con ligeras diferencia constructivas. Lo anterior se justifica teniendo en cuenta lo planteado por Benami y Ofen (1984), este autor refiere que todo proceso industrial es imperfecto, por tanto, el producto elaborado experimenta variaciones dentro de una tolerancia aceptable y siempre existirá una ligera diferencia entre objetos que aparentemente resultan idénticos.

Las variaciones de caudales en los emisores evaluados también pueden estar dadas a que los emisores experimentan un envejecimiento acelerado debido a la diferencia de temperatura a que se someten durante el día y la noche. Los elastómeros de los goteros autocompensantes se ven particularmente afectados por este fenómeno, coincidiendo con los resultados reportados por Bucks y Myers (1973).

### Resultados de la determinación de la curva caudal-presión ( $q=f(h)$ )

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran cómo varía el caudal en función de la presión en los emisores estudiados cuando son sometidos a distintas presiones.

En la Figura 4 se presenta la relación caudal presión del emisor Vip Line con flujo autocompensante, caudal nominal de 3,9 L/h y un rango de compensación entre (68-413 kPa), el cual responde a una ecuación obtenida en condiciones experimentales de tipo polinómica en sentido ascendente. Es necesario destacar, que la relación entre el caudal y la presión resultó típica de la condición de autocompensación propia de los emisores de este tipo. Puede observarse la tendencia al paralelismo de la curva  $q=f(h)$  respecto al eje de las presiones específicamente en el intervalo comprendido entre 75 kPa y 375 kPa, indicando que el comportamiento de autocompensación del caudal con respecto a la presión aplicada manifestó una relación satisfactoria con un coeficiente de determinación del 90% ( $R^2=0,9026$ ).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por (López *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2010; El-Nemr, 2012) con otros modelos de emisores, donde evalúan goteros compensantes y no compensantes determinando el régimen de flujo para cada modelo evaluado.

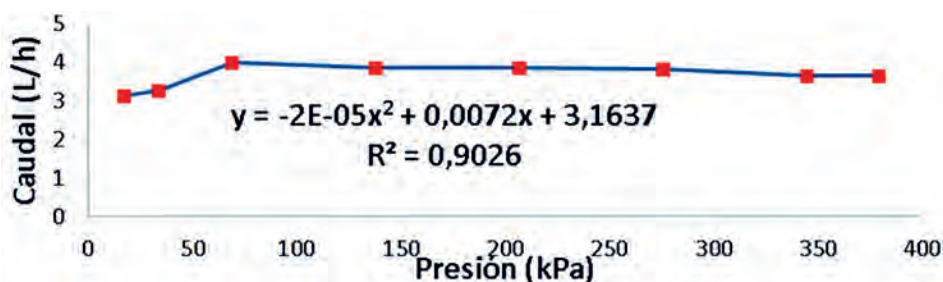


FIGURA 4. Relación caudal - presión del gotero Vip Line autocompensante caudal nominal de 3,9 L/h.

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos en la relación caudal emitido presión de servicio ( $q=f(h)$ ) del gotero Naan PC, con un caudal nominal de 3,8 L/h y un rango de compensación de 68- 475 kPa.

Por el comportamiento de la curva  $q=f(q)$  obtenida se infiere que el caudal responde a las presiones de servicio siguiendo determinada tendencia de compensación de acuerdo al valor obtenido del coeficiente de determinación del 91%.  $R^2=0,9234$ .

Sin embargo, se evidencia que el caudal aumenta en una proporción muy baja respecto al incremento de la presión, de-

mostrando así, la alta compensación de este gotero, lo cual se evidencia por el hecho de que a 100 kPa el caudal alcanzó los 4,2 L/h y a 275 kPa el caudal resultó de 4,0 L/h existiendo una alta capacidad de compensación en este modelo. Los resultados coinciden con los obtenidos por Al-Ghobari (2012).

En los emisores evaluados el comportamiento de la curva caudal presión se refleja en una ecuación de tipo polinómica  $y=ax^2+bx+c$  obtenida experimentalmente, ya que fue esta con la que mejor ajuste se obtuvo con coeficientes de determinación con valores superiores al 90% en todos los casos. Los resultados coinciden con los obtenidos por Carmenates *et al.* (2012).

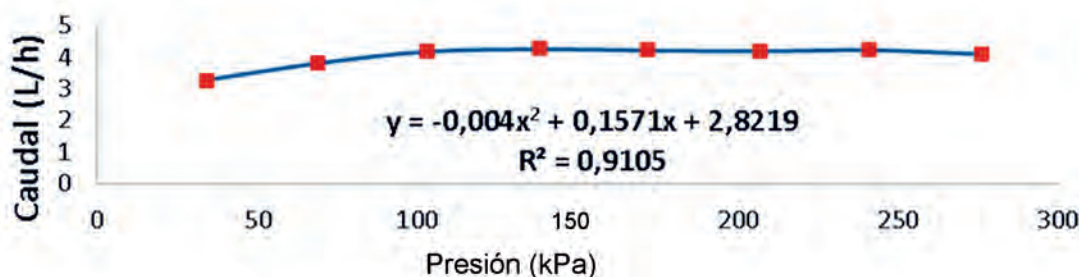


FIGURA 5. Relación caudal-presión del gotero Naan PC modelo autocompensante con caudal nominal de 3,8 L/h

La Figura 6 muestra los resultados de la relación caudal presión del gotero O-Tiff con flujo no compensado, presión nominal 100 kPa y caudal nominal de 4 L/h.

Como puede observarse en la citada figura la ecuación de mejor ajuste con valores del coeficiente de determinación del 94%.  $R^2=0,9459$  es de tipo polinómica, lo cual evidencia una fuerte relación entre el caudal emitido y la presión de

servicio, es decir, al contrario de los emisores autocompensantes, para cada incremento de la presión corresponde un incremento del caudal. A 50 kPa se obtuvo un caudal de 3 L/h y a 100 kPa el caudal resultó de 4 L/h y a 200 kPa el caudal fue de 5,3L/h, estos emisores por lo anteriormente explicado resultan de mas mala calidad y por tanto su precio en el mercado resulta más bajo.

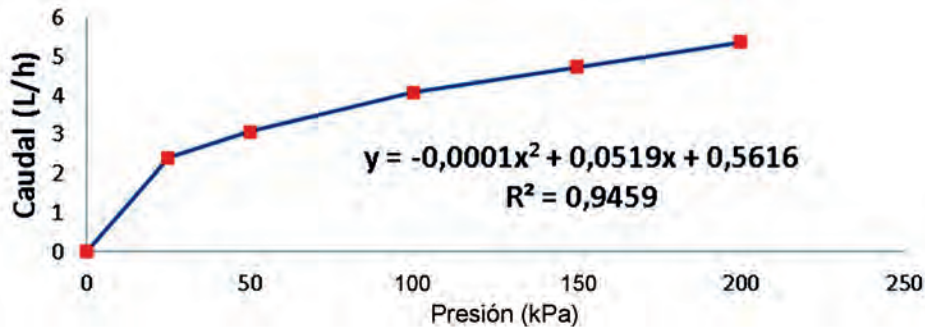


FIGURA 6. Relación caudal presión del gotero O-Tiff no autocompensante con caudal nominal de 4 L/h

### Resultados relación caudal-temperatura del agua ( $q=f(T)$ ) de emisores

Los resultados experimentales obtenidos de la variación del caudal, de los emisores estudiados, sometidos a distintas temperaturas, responden a una ecuación lineal de la forma siguiente:

$$q = m + nT^0 \quad (1)$$

donde:

m y n, son constantes;

$T^0$  es la temperatura del agua en grados Celsius.

Puede observarse que se obtuvieron ecuaciones experimentales con coeficientes de determinación por encima del 90% para todos los modelos de goteros evaluados. Los resultados obtenidos se corresponden con los reportados por Lobo *et al.*, (2011).

En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la tubería lateral de prueba de las variaciones de caudal de emisores tipo goteros modelos Naan PC, Vip-Line autocompensantes y O-Tiff no autocompensante al ser sometidos a distintas temperaturas del agua.

Los resultados experimentales obtenidos de la variación del caudal de los emisores estudiados sometidos a distintas temperaturas, indican que presentan la tendencia de responder a una ecuación lineal. Puede observarse que se obtuvieron ecuaciones experimentales con coeficientes de determinación por encima del 90% para todos los modelos de goteros evaluados. Los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Goyal (2013) y Valipour (2014). El emisor modelo Naan PC fue el que presentó mayor variación del caudal producto de la temperatura del agua alcanzando valores superiores a los 39°C, estos incrementos de la temperatura están dados a que se colocó un calentador comercial en la tubería lateral de prueba en condiciones experimentales.

Sin embargo, Pizarro (1987) y Ouazaa *et al.* (2013), obtuvieron con otros modelos de emisores compensantes que el aumento de la temperatura disminuye la viscosidad cinemática del agua y aumenta el número de Reynolds. En consecuencia disminuye el coeficiente de Darcy-Weisbach y aumenta el caudal del emisor.

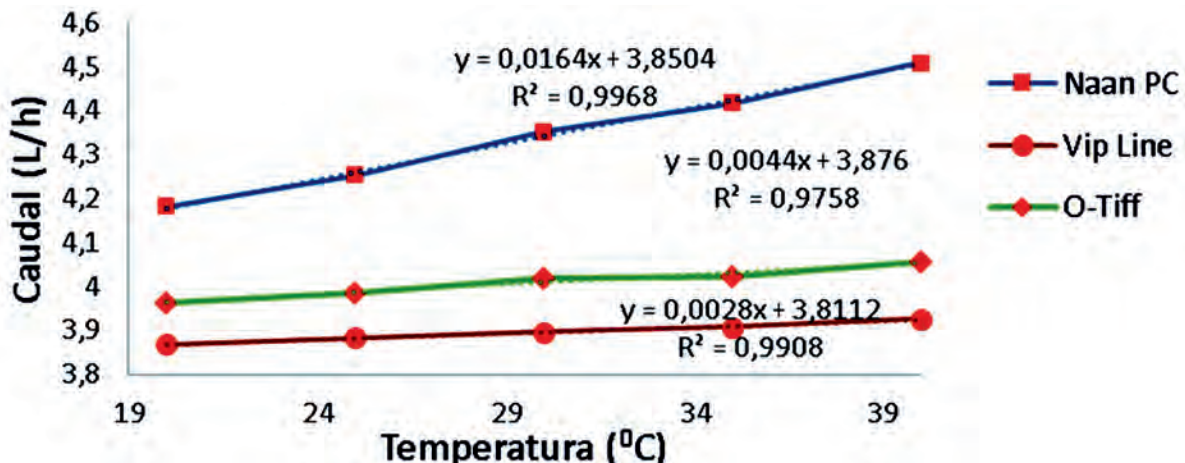


FIGURA 7. Determinación de la curva caudal temperatura del agua de los goteros autocompensantes y no compensantes.

La sensibilidad del caudal a la temperatura del agua se expresa por medio de la pendiente de la curva (n), presentando los valores más bajos en los modelos Vip Line y O-Tiff y un valor relativamente alto en Naan PC. Esto tiene su explicación en que la sección de paso del agua en los goteros autocompensantes es de régimen turbulento, por lo tanto, el caudal no se ve afectado por la viscosidad del agua, la que varía a distintas temperaturas. Además se puede observar que el coeficiente de relación es alto para los tres emisores evaluados, para el caso del Naan PC ( $R^2=0,9968$ ); O-Tiff ( $R^2=0,9758$ ) y el Vip Line ( $R^2=0,9908$ ). Los resultados coinciden con los obtenidos por Vélez-Sánchez *et al.* (2013) y Rodríguez *et al.* (2014), para emisores con similares características hidráulicas y mecánicas pero con coeficientes

de determinación más bajos que los obtenidos en este trabajo.

## CONCLUSIONES

- Las características hidráulicas y mecánicas de los emisores evaluados conformadas básicamente por la curva caudal-presión, y la relación caudal-temperatura constituyen parámetros fundamentales para poder realizar un adecuado diseño y manejo de los sistemas de microirrigación. Obteniéndose para el comportamiento de la curva caudal-presión una ecuación de tipo polinómica  $y = ax^2 + bx + c$  obtenida experimentalmente para los modelos de emisores evaluados con un ajuste del coeficiente de relación con valores superiores a 0,90 para ambos casos.

## 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", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 168: 311-322, 2012, ISSN: 1743-3541, DOI: 10.2495/SII120271.
- BENAMI, A.; OFEN, A.: *Irrigation engineering*, Ed. Irrigation Engineering Scientific Publications (IESP) - International Irrigation Information Center (IIIC), Israel, 257 p., 1984, ISBN: 978-965-222-029-5.
- BUCKS, D.A.; MYERS, L.E.: "Trickle Irrigation: Application Uniformity From Simple Emitters", *Transactions of the ASAE*, 16: 1108-1111, 1973, ISSN: 0001-2351, DOI: 10.13031/2013.37708.
- CARMENATES, H.D.; MUJICA, C.A.; PANEQUE, R.P.: "Desviación del coeficiente de variación de diferentes tipos de emisores obturados y las tendencias de la ecuación que describe el comportamiento hidráulico de un emisor", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(Suppl.): 6-9, 2012, ISSN: 1010-2760.
- 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, 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: 0975-9107.
- FENG, J.; WU, I.P.: "A simple computerized drip irrigation design", [en línea], En: *Proceedings of the Third National Irrigation Symposium*, Ed. American Society of Agricultural Engineers, Phoenix, Arizona, pp. 348-355, 1990, Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9174981>, [Consulta: 30 de agosto de 2016].
- GOYAL, M.R.: "Principles of drip/trickle or micro irrigation", [en línea], En: *Management of Drip/Trickle or Micro Irrigation*, Ed. Apple Academic Press Inc. - CRC Press, Toronto, pp. 103-132, 2013, ISBN: 978-1-926895-12-3, Disponible en: <https://books.google.com/books?id=c8TFYZd9cw4C>, [Consulta: 30 de agosto de 2016].
- HERNÁNDEZ, G.; PÉREZ, J.; MARTÍNEZ, R.; LÓPEZ, T.: "Respuesta productiva del guayabo al manejo del agua en condiciones de agricultura urbana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 1-6, septiembre de 2010, ISSN: 2071-0054.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION): *Agricultural irrigation equipment -- Emitters -- Specification and test methods*, [en línea], no. ISO 9260, Inst. International Organization for Standardization, 1991, Disponible en: <https://www.iso.org/standard/16910.html>, [Consulta: 30 de agosto de 2016].
- LOBOA, J.; RAMÍREZ, S.; DÍAZ, J.E.: "Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas", *Revista EIA*, (16): 29-49, 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: 1010-2760.
- OUAZAA, S.; BURGUETE, J.; PANIAGUA ANTÓN, P.; SALVADOR, E.R.; ZAPATA, R.M.V.: "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.
- PEREIRA, L.S.; DE JUAN, V.J.A.; PICONELL, 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, España, 2010, ISBN: 978-84-692-9979-1, Disponible en: [http://crea.uclm.es/crea/descargas/\\_files/El\\_Riego\\_y\\_sus\\_Tecnologias.pdf](http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf), [Consulta: 30 de agosto de 2016].
- PIZARRO, C.F.: *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación*, [en línea], Ed. Mundi-Prensa, Madrid,

España, 461 p., 1987, ISBN: 978-84-7114-171-2, Disponible en: [https://books.google.com/cu/books/about/Riegos\\_localizados\\_de\\_alta\\_frecuencia\\_RL.html?id=gH27AAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/Riegos_localizados_de_alta_frecuencia_RL.html?id=gH27AAAACAAJ&redir_esc=y), [Consulta: 30 de agosto de 2016].

RODRÍGUEZ, G.M.; SANTANA, S.M.; BROWN, M.O.; ALONSO DE LA PAZ, 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.

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 International, 64 p., 2014, Disponible en: <https://www.sciencecentral.org/ebooks/ebookdetail/handbook-of-water-engineering-problems>, [Consulta: 30 de agosto de 2016].

VÉLEZ-SÁNCHEZ, J.E.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; ÁLVAREZ-HERRERA, J.G.: “Evaluation of micro-irrigation drippers used in Colombia”, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2): 186-200, diciembre de 2013, ISSN: 2011-2173.

**Recibido:** 13/11/2016.

**Aprobado:** 31/07/2017.

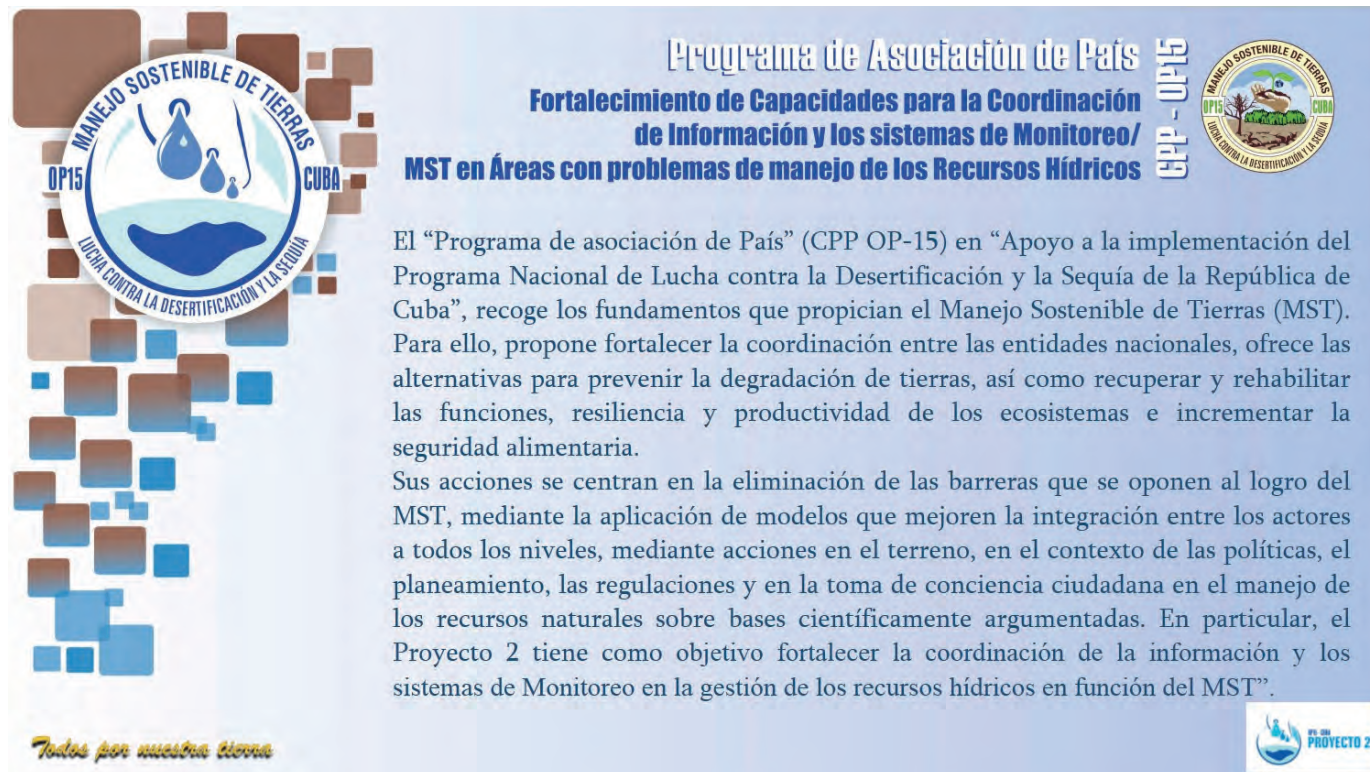
Dayma Carmenates-Hernández, Prof. e Inv., Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, Correo Electrónico: [daymas@unica.cu](mailto:daymas@unica.cu)

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

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

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

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



**Programa de Asociación de País**  
**Fortalecimiento de Capacidades para la Coordinación de Información y los sistemas de Monitoreo/MST en Áreas con problemas de manejo de los Recursos Hídricos**

El “Programa de asociación de País” (CPP OP-15) en “Apoyo a la implementación del Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía de la República de Cuba”, recoge los fundamentos que propician el Manejo Sostenible de Tierras (MST). Para ello, propone fortalecer la coordinación entre las entidades nacionales, ofrece las alternativas para prevenir la degradación de tierras, así como recuperar y rehabilitar las funciones, resiliencia y productividad de los ecosistemas e incrementar la seguridad alimentaria.

Sus acciones se centran en la eliminación de las barreras que se oponen al logro del MST, mediante la aplicación de modelos que mejoren la integración entre los actores a todos los niveles, mediante acciones en el terreno, en el contexto de las políticas, el planeamiento, las regulaciones y en la toma de conciencia ciudadana en el manejo de los recursos naturales sobre bases científicamente argumentadas. En particular, el Proyecto 2 tiene como objetivo fortalecer la coordinación de la información y los sistemas de Monitoreo en la gestión de los recursos hídricos en función del MST”.

*Todos por nuestra tierra*

