



EVALUACIÓN DE EMISORES AUTOCOMPENSANTES Y SUS VARIACIONES DE CAUDAL EN SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE LA GUAYABAN (*PSIDIUM GUAJAVA L*)

**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

La investigación se realizó en la UBPC el Tezón de la Empresa Agroindustrial de Ceballos de Ciego de Ávila. Se estudiaron dos modelos de goteros con el objetivo de evaluar emisores autocompensantes y sus variaciones de caudal en sistemas de riego por goteo en el cultivo de la guayaba (*Psidium guajava L*). 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 correlación 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 claves: curva, presión, coeficiente de variación, temperatura.



Introducción

La guayaba es la especie más destacada dentro de la familia *Myrtacea*, por el alto valor nutritivo de su fruta y sus múltiples usos Hernández *et al.*, (2009). Es una de las fuentes más ricas de vitamina C conocida, pues contiene de 200 a 400mg por 100g de peso fresco supera cinco veces al contenido de la naranja y otros cítricos. El cultivo fue domesticado por los indígenas en América, su centro de origen se localiza en un punto ubicado entre México y Perú Benami y Ofen (2006). En Cuba existe desde antes del descubrimiento por los españoles, pero su desarrollo comienza después del triunfo de la revolución, se cultiva en todas las regiones del país siendo Ciego de Ávila unas de las provincias mayores productoras y ocupa el 10% de la estructura actual de frutas en la isla, solo superada por el mango y la fruta bomba Peña *et al.*, (1996). Las variedades de porte bajo del grupo de las Enana Roja Cubana son las de mayor demanda por parte de los productores. Estas en la actualidad constituyen el 52% del área cultivada y contribuyen al 84% de la cosecha a nivel nacional.

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 por Solomón (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 Wu y Gitlin (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 *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 Santos *et al.*, (2010). El objetivo del trabajo es evaluar el efecto de las variaciones del caudal en emisores autocompensantes en sistemas de riego por goteo en el cultivo de la guayaba (*Psidium guajava* L).

Materiales y 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 ISO9260 (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 ISO9260 (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 (1996) y se les determinó la variación del caudal de emisión en función de la presión de entrada. Se probó cada emisor por etapas y con presiones no mayores a 50 kPa desde la presión cero hasta 1,2 veces la presión máxima (P_{max}). 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 (1996) a distintas temperaturas del agua en un rango de 7 – 55°C y a la presión nominal de cada gotero y a 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 y 2 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. 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.

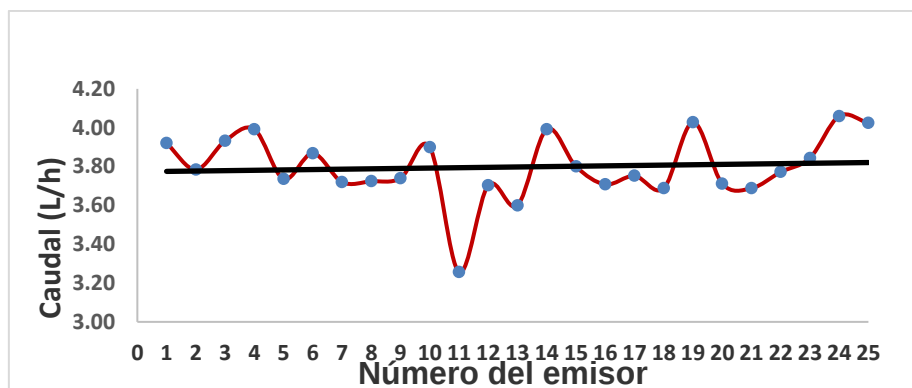


Figura 1. Variación del caudal del gotero modelo Vip Line autocompensante con caudal nominal de 3.9 L/h.

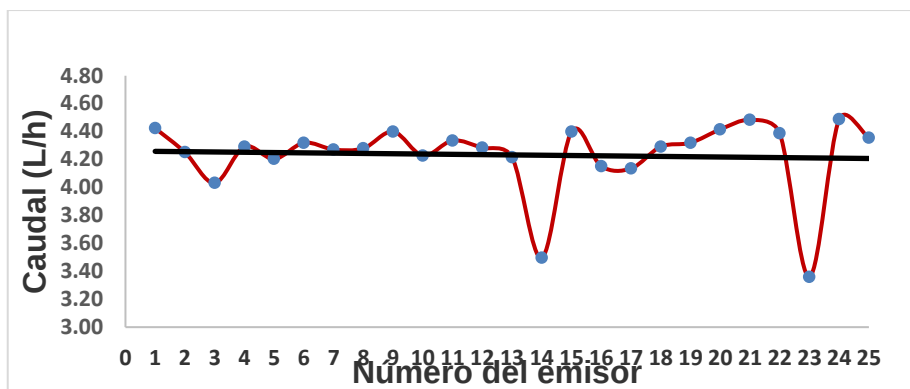


Figura 2. Variación del caudal del gotero Naan PC modelo autocompensante con caudal nominal de 3.8 L/h.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los reportados por Solomón (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 justifica lo planteado por Benami y Ofen (2006) este autor obtuvo 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 (Bralts, 2010).

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

En las figuras 3 y 4 se muestra cómo varía el caudal en función de la presión en los emisores estudiados cuando son sometidos a distintas presiones.

En la figura 3 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 correlación del 90% ($R^2=0.9026$).

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

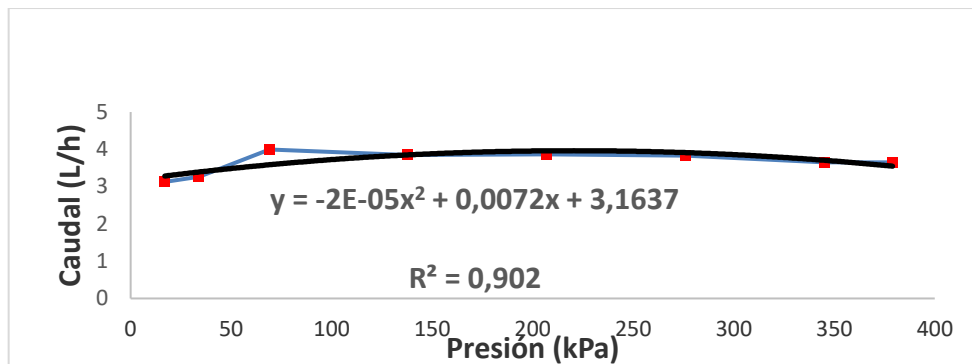


Figura 3. Relación caudal - presión del gotero Vip Line autocompensante caudal nominal de 3.9 L/h.

En la figura 4 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 correlación 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, demostrando 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 correlación con valores superiores al 90% en todos los casos. Los resultados coinciden con los obtenidos por Carmenates *et al.*, (2012).

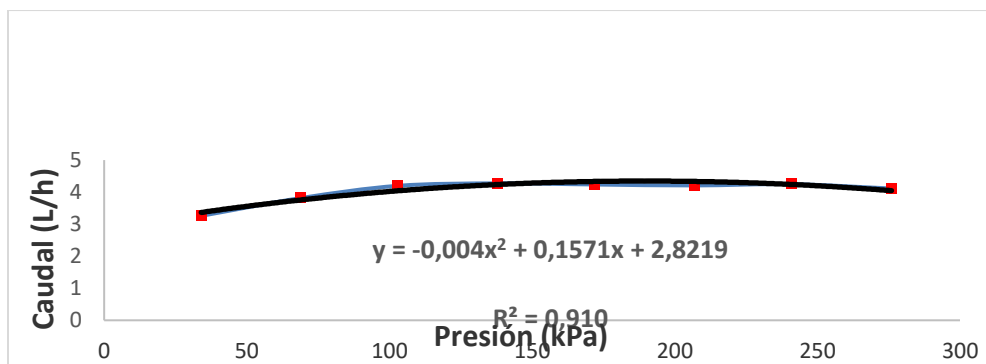


Figura 4. Relación caudal-presión del gotero Naan PC modelo autocompensante con caudal nominal de 3,8 L/h.

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:

$$q = m + nT^0 \quad (3.1)$$

Donde:

m y n , son constantes y T^0 es la temperatura del agua en grados Celsius.

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

En la figura 5 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 y Vip-Line autocompensantes 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 correlación por encima del 90% para todos los modelos de goteros evaluados. Los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Goyal (2012).

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. Coincidiendo con los resultados obtenidos por Valipour *et al.*, (2014).

Sin embargo, Ouazaa *et al.*, (2013) obtuvo 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.

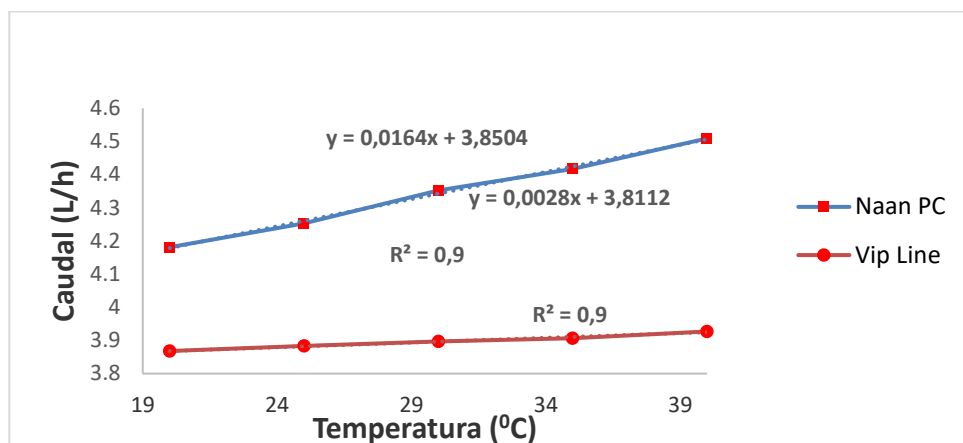


Figura 5. Determinación de la curva caudal temperatura del agua de los goteros autocompensantes Naan PC y Vip line.

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 el modelo Vip Line un valor relativamente alto en Naan PC. Esto tiene su explicación en que el conducto de paso del agua en los goteros autocompensantes es de régimen turbulento, por lo tanto, el caudal no se ve mayormente afectado por la viscosidad del agua, la que varía a distintas temperaturas. Además se puede observar que el coeficiente de relación es muy significativo para los emisores evaluados, para el caso del Naan PC ($R^2 = 0,9968$) y el Vip Line ($R^2 = 0,9908$). Los resultados coinciden con los obtenidos por Vélez *et al.*, (2013) y Rodríguez *et al.*, (2014) y para emisores con similares características hidráulicas y mecánicas pero con coeficientes de correlación 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. (2012). A comparison of water application uniformity for drip irrigation systemh above an below soil surface at various soil depepths an 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: Application 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.
- CARMENATES.H.D; MUJICA.C.A; PANEQUE.R.P. (2012).Desviación del coeficiente de variación de diferentes tipos de emisores obturados y tendencias de la ecuación que describe el comportamiento hidráulico de un emisor. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.Vol.21, No Esp. Diciembre. 6-9. ISSN: 1010-2760.
- 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. 348-355.
- 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.n 1.
- HERNANDEZ.G; PEREZ.J; MARTINEZ.R; LOPEZ.T. (2010). Respuesta productiva del guayabo al manejo del agua en condiciones de agricultura urbana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.Vo.19. No 3. ISSN: 1010-2760.
- 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, n 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.



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.

PEÑA.A.H; DIAZ.A.J.A:MARTINEZ.R.T. (1996).Fruticultura Tropical. La Habana, Santa Fe Bogotá: Editorial Felix Varela. Instituto Colombiano para el fomento de la Educación Superior. ISBN 959-07-0099-3.

PIZARRO, F. (1996): “Riego localizado de alta frecuencia”. Editorial Mundi y Prensa. España. ISBN: 84-7114-171-X.

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.

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.

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).