

EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO POR GOTEO EN CONDICIONES DE CASAS DE CULTIVO EN EXPLOTACIÓN.

Reinaldo Cun González¹, Omar Puig Estrada², Carlos Morales Gómez³, Carmen Duarte Díaz⁴

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Cuba. E-mail: rcun@iird.cu.

² Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Cuba.

³ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Cuba.

⁴ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Cuba.

INTRODUCCIÓN.

Los cultivos protegidos, como modalidad de horticultura intensiva, han cobrado un notable auge y difusión desde la década de los noventa debido a la necesidad imperiosa de producir vegetales frescos en lugares y épocas del año donde su desarrollo se ve limitado e imposibilitado en muchas regiones del mundo. A mediados de la primera década del 2000, los especialistas del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, proyectaron sistemas de riego por goteo para casas de Cultivo Tropical, con diseño cubano y efecto sombrilla (largo 12m, ancho 45 m y 40 m de largo y 20 m de ancho). En la actualidad el país cuenta con 24 módulos con un total de 673 casas diseminadas en 13 provincias, lográndose producciones hasta las 200 t.ha⁻¹ por año en el caso del cultivo del tomate y alrededor de 300 t.ha⁻¹, en el caso del pepino, etc, las que son destinadas al mercado nacional y de frontera (Ministerio de la Agricultura, 2009).

Estos sistemas de riego por goteo fueron concebidos en una primera versión con un lateral por una sola hilera de plantas, separados a 0,40 m entre emisores y 1.00 m entre laterales. En la actualidad se le ha colocado otro lateral, llegando a ser dos por cantero con una sola hilera de plantas al centro. La separación entre emisor es de 0.40 m y entre lateral 0.30 m. Este cambio se realiza para lograr mayor pluviometría (L.m⁻².h⁻¹) disminuyendo así la distancia entre planta por metro lineal y por tanto aumentar el rendimiento. Uno de los indicadores importantes en la determinación del buen funcionamiento de estos sistemas es la uniformidad del riego, ésta es una magnitud que interviene en su diseño hidráulico. En función de ella se definen los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores, de ahí la importancia de evaluar éste indicador en las instalaciones en funcionamiento, Ruiz, 1988 y Rodrigo, 1991. Un sistema de riego debe distribuir el agua uniformemente por toda la superficie regada de manera que todas las plantas reciban la misma cantidad y satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos durante el intervalo entre riegos (Pizarro, 1987).

La aplicación eficiente del agua, equivale a un manejo óptimo del riego, lo que permite la obtención de rendimientos altos y estables, logrando un ahorro en el consumo de este preciado líquido utilizado en otras esferas productivas y sociales.

En la práctica es muy difícil que un sistema de riego opere con una uniformidad perfecta, una forma de evaluarla es mediante el Coeficiente de Uniformidad (Cu). Tomando en consideración los elementos antes expuestos, se desarrolla el presente trabajo con el objetivo principal de evaluar el comportamiento de la uniformidad del riego mediante la determinación del coeficiente de uniformidad del sistema (Cus) en un modulo de casas de cultivo utilizando laterales con goteros integrados a la tubería.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo se realizó en el modulo de casas de cultivos "Las Guásimas", que cuenta con 18 casas de 12m x 45 m, situada en la provincia de Ciudad de La Habana a los 23° 00' ; 33,12" Latitud Norte y 82° 17' ; 42,57" Longitud Oeste, a 92 m sobre el nivel medio del mar, Municipio Arroyo Naranjo.

Según el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, Mapa de Suelos, escala 1 / 25000 , ICGC, Edición 1, 1984, el suelo se clasifica como un *Ferralítico Rojo Hidratado*.

El emisor utilizado es no autocompensante, integrado en tubería de PEBD 15.50x13.50 mm el cual entrega un caudal de 2.00 L.h^{-1} con una presión de trabajo 10.0 m.c.a. (ecuación del emisor: $q = 0.6h^{0.52}$), separados a 0.40 m. El coeficiente de variación de fabricación CV es del 3.00 % lo cual lo sitúa en la categoría A de la norma ISO internacional (IIRD, 2005).

En la tabla 1 se puede observar los diferentes parámetros de diseño de los módulos de casas de cultivo.

Las determinaciones en los sectores se realizaron en condiciones de explotación, es decir, tal como se encontraba el sistema en funcionamiento. Un caso de estudio consistió en medir la uniformidad del riego al utilizar un lateral de gotero por surco de cultivo, separado entre sí a 1.00 m, lo cual resulta un marco de colocación del emisores de 0.40 m x 1.00 m, esto fue realizado en 4 casas representativas del modulo. El otro caso de estudio consistió en colocar otro lateral de riego en casas de cultivo con canteros quedando separados a 0.30 m a ambos lados de una hilera del cultivo, en la misma cantidad de casas.

Tabla 1. Parámetros de diseños de los módulos de riego de las casas de cultivo.

Datos de diseño	UM	Casa de Cultivo
Cultivos		Hortalizas
emisores		Twin Drip
Caudal	L. h^{-1}	2.00
Pluviometría	mm. h^{-1}	5.00
Presión de trabajo	m.c.a	10
Lámina de riego.	mm.d^{-1}	3.5
Intervalo de riego	días	1.17
Tiempo de aplicación	h.d^{-1}	0.82
Tiempo de operación diario	h	8
Presión en el cabezal	m.c.a	15
Presión en la válvula hidráulica	m.c.a	12

Fuente: IIRD (2005)

La uniformidad se evaluó mediante el coeficiente de uniformidad (Cu). En este caso se utilizó la metodología descrita por Merrian y Keller (1978):

- Dentro de la subunidad de riego se elige 4 laterales, el del inicio, a 1/3, a 2/3 del primero y el último.
- Dentro del lateral se eligen 4 emisores (3 réplicas), el primero, el último y dos intermedios, escogidos con el mismo criterio anterior.
- Medir el agua y las presiones de los emisores seleccionados durante un intervalo de tiempo, en este caso se fijo 3 minutos.
- Convertir todas las lecturas de volumen a caudal (litros por hora).

Se midieron las presiones a la salida del cabezal principal y en las válvulas hidráulicas que se encuentran a la entrada de las casas de cultivo utilizando un manómetro con una escala de 0 a 6 bares con una precisión de 0.2 y una aguja manométrica.

Coeficiente de uniformidad para el gasto:

$$Cu = 100 \times \left(\frac{\bar{Q}_{25}}{\bar{Q}_n} \right)$$

\bar{Q}_{25} : Media de los valores del 25% más bajo del gasto registrado en el emisor.

\bar{Q}_n : Media del total de los valores de gasto.

Coeficiente de uniformidad del sistema:

$$Cu = Fc \times Cu_g$$

Cu_g : Coeficiente de uniformidad del gasto.

Fc : Factor de corrección.

$$Fc = \left(\frac{\bar{H}_{25}}{\bar{H}_n} \right)^x$$

H_{25} : Media de los valores del 25% más bajo de las presiones registradas.

H_n : Media del total de los valores de presión.

Los valores de presión se tomaron en las válvulas hidráulicas a la entrada de las casas y a la salida del cabezal de riego.

Valores recomendados para caracterizar el Cu, según Merrian y Keller (1978):

90%-100%	Excelente
80%-90%	Bueno
70%-80%	Aceptable
< 70%	Inaceptable

Se utilizó también el coeficiente de variación total de caudales (CV_t), propuesto por Bralts y Kesner (1983) como medida de la uniformidad para una instalación pos instalación utilizando la

ecuación: $CV_t = \frac{\sigma_q}{qa} * 100$

Donde:

CV_t : Coeficiente de variación total de caudales.

σ_q : Desviación típica de los caudales medios.

qa : caudal medio de los emisores.

Clasificación del CV_t según Bralts y Kesner (1983).

> 0,4	Inaceptable
0,4 – 0,3	Baja
0,3 – 0,2	Aceptable
0,2 – 0,1	Muy Buena
0,1 - 0	Excelente

RESULTADO Y DISCUSIÓN.

La tabla 2 muestra los valores de Cu_q (%) de los gastos de los emisores, el Coeficiente de uniformidad del sistema en general (Cus) y el coeficiente de variación de los caudales (CV_t) al utilizar un lateral por surco. Se puede observar que el valor de Cu_q , fue de 94.76%, clasificándose éste de excelente según Merrian y Keller (1978). Al afectar este valor por el factor de corrección determinado con el uso de los valores de presión, el coeficiente de uniformidad del sistema fue de 93 %, quedando clasificado como excelente. El coeficiente de variación de los caudales fue de 0.098 clasificándose como excelente según Bralts Kesner (1983). Resultados similares fueron encontrados por Ajete en el 2007 y Bonet et al (2007) en evaluaciones realizadas en casas de cultivo de 12m x 45 m con goteros, donde los coeficiente

de uniformidad obtenidos estuvieron cercanos al 94 %. Al momento de la evaluación la presión de trabajo estaba algo superior a la calculada en el diseño, motivo por el cual el gasto calculado de los emisores también estaba algo superior, por tal razón el valor del gasto del emisor se corresponde con el aumento de la presión, ya que existe una relación directa existente entre el gasto y la carga. Similares resultados fueron encontrados por Cruz y col, 2009; Gil y col 2002, al estudiar el comportamiento de los goteros en casas de cultivo.

Tabla 2. Comportamiento del Coeficiente de uniformidad del sistema (Cus) y coeficiente de variación de los caudales (Cv_t) con un lateral de riego por goteo.

Subunidad de riego	Presión en el cabezal. (m.c.a)	Presión media en la válvula a la entrada de la casa. (m.c.a)	Caudal medio ($L. h^{-1}$)	Cuq (%)	Fc	Cv_t	Cus (%)
Funcionando dos Casa de Cultivo al mismo tiempo.	25	13	2.78	94.76	0.98	0.098	93

Fc : Factor de corrección.

La tabla 3 muestra los valores de Cuq (%) de los gastos de los emisores, el Coeficiente de uniformidad del sistema en general (Cus) y el Coeficiente de variación de los caudales (Cv_t) cuando se utilizaron dos lateral por cantero. Como podemos observar el valor de Cuq , fue de 88.71 %, clasificándose éste de bueno según Merrian y Keller (1978). Al afectar este valor por el factor de corrección determinado con el uso de los valores de presión, el coeficiente de uniformidad del sistema fue de 83.37 %, siendo clasificado de bueno. El coeficiente de variación de los caudales fue de 0.118 clasificándose como muy bueno según Bralts Kesner (1983). Valores similares de Cuq en el sistema (89.90%), fueron encontrados por Cun y col (2008), al fertirrigar con doble hileras de tuberías con goteros insertados.

Tabla 3. Comportamiento del Coeficiente de uniformidad del sistema (Cus) y coeficiente de variación de los caudales (Cv_t) con dos laterales de riego por goteo.

Subunidad de riego	Presión en el cabezal. (m.c.a)	Presión media en la válvula a la entrada de la casa. (m.c.a)	Caudal medio ($L. h^{-1}$)	Cuq (%)	Fc	Cv_t	Cus (%)
Funcionando dos Casa de Cultivo al mismo tiempo.	25	13	2.93	88,71	0.94	0.118	83.38

Fc : Factor de corrección.

Como podemos observar los goteros están funcionando ligeramente fuera de parámetros por operación deficiente del sistema ya que el gasto determinado (2.93 L. h^{-1}), es superior al valor planteado por el fabricante. La presión de trabajo en la válvula a la entrada de la casa (13 m.c.a), fue superior a la planteada por el proyecto de explotación (12 m.c.a), al igual que la presión de trabajo en el cabezal de riego. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Cun y col (2009), con el empleo de micro difusores en condiciones de organopónico, donde, los valores de uniformidad en el sistema fueron buenos aunque los emisores trabajaron fuera de sus parámetros técnicos. Fontela y col (2009), demostraron que el manejo del riego (tiempo de aplicación y presión en cabecera de riego), influye en los resultados del coeficiente de aplicación del riego y la uniformidad de distribución.

De manera general, el gasto de los emisores resultó superior a los 2 L. h^{-1} (valor del fabricante). Para llevar a cabo un correcto manejo del riego se necesita conocer el caudal con que se cuenta para en función de éste determinar el tiempo de riego, de acuerdo a las necesidades hídricas de los cultivos. Cuanto más elevada sea la uniformidad del sistema al aplicar el agua más uniforme será el crecimiento de los cultivos y proporcionará al final del ciclo altos rendimientos agrícolas (Charles et al., 2002).

CONCLUSIONES.

- Los valores de coeficientes de uniformidad de los caudales en los emisores alcanzan el rango de excelente y bueno utilizando un lateral y dos respectivamente, para las condiciones en que se está trabajando.
- Los valores de coeficiente de uniformidad de los sistemas se consideran excelente y bueno en los dos casos de estudio.
- Fue superior el coeficiente de uniformidad de los gastos y del sistema en general cuando se utilizó un lateral por surco de cultivo.
- Existe una relación funcional muy estrecha entre el gasto de los emisores y la carga de los mismos, aspecto a tener en cuenta en el momento de la determinación del tiempo de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ajete. M.; C. Bonet: Criterios sobre la uniformidad del riego en casas de cultivos protegidos y sistemas semiprotegidos de las provincias centrales, En: Memorias de Cubaniego 2007, Ciudad de La Habana, 2007.
- Bonet. C.; A. Miriel. Criterios sobre la uniformidad del riego en casas de cultivo s protegidos y Sistemas Semiprotegidos de la provincia Camagüey (monografía en ordenador). 2007.
- Bralts. V.; C. Kesner. Drip irrigation field uniformity estimation. Transaction of the ASAE. Vol. 26, p. 1369-1374. 1983.
- Charles, M.; P. Burt. Riego por goteo y por micro aspersión para árboles, vides y cultivos anuales. Vida Rural. 744-760, 2002.
- Cun, R.; C. Duarte, L. Montero. Producción orgánica de tomate mediante la aplicación de humus de lombriz y EcoMic® en condiciones de casa de cultivo. *Ciencias técnicas Agropecuarias*. Vol 17 (3) 22-25. 2008.
- Cun, R.; O. Puig, C. Morales. Comportamiento del coeficiente de uniformidad del riego por microaspersión en condiciones de organopónicos y huerto intensivo. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol 18 (3) 35-36. 2009.
- Cruz, R.; L. Leon. Evaluación del sistema de riego localizado del cultivo del pimiento (*Capsicum anum L.*) en casas de cultivo protegidoen las condiciones de la Empresa Pecuaria Genética Camilo Cienfuegos. , En: Memorias de Cubaniego 2007, Ciudad de La Habana, 2007.

- Fontela, Carolina.; S. Salatino, C. Mirábile. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. Rev. FCA UN Cuyo. Vol. XLI (1) 135-154. 2009.
- Gil.; J. Alexander, L. Khan. Evaluación del comportamiento hidráulico de varios emisores importados para riego por goteo. Revista UDO Agrícola. Vol 2 (1): 64-72. 2002.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, Mapa de Suelos, escala 1 / 25000 , ICGC, Edición 1, 1984.
- IIRD.: Proyecto de riego localizado para cultivos protegidos y semiprotegidos en "Las Guácimas, 7 pp., Ciudad de La Habana, 2005.
- Merriam J. Keller J. Farm irrigation system evaluation. A guide for management. Dept. Agric. Irrig, Utah St. Univ. Logan, 1978.
- Ministerio de la Agricultura. Documento Rector para el Desarrollo de los Cultivos Protegidos en Cuba, 21 pp., Ciudad de La Habana. 2009.
- PIZARRO, F.: Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF): gotero, microaspersión, exudación, 300 pp., Madrid, España, Ediciones Mundi-prensa, 1987.
- RODRIGO, P.: Proyecto TCP/CUB/005. Riego localizado automatizado para el cultivo del plátano. Primer Informe. FAO, 30 pp, Cuba, 1991.
- RUIZ, J.: *Explotación de los sistemas de riego localizado. Curso para explotadores*, 50 pp., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje-MINAG, Melena del Sur, La Habana , 1988.