Artículo científico

VALORACIÓN HIDRÁULICA DE UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA, BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS.

Oscar A. Rosales Rodríguez[1], José Enrique Alfonso Valdés[2], Iván Santana Amar[2], Alfredo Socorro García[1] y Carmen E. Duarte Díaz[3].

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el sistema de riego de alta frecuencia, para contribuir a la efectividad del mismo, se realizaron investigaciones en la casa de cultivo protegido bajo condiciones climáticas controladas, sobre substrato de fibra de coco, en el cultivo del tomate. El trabajo se realizó en la granja Atabey, en la localidad del Wajay, municipio Boyeros, La Habana, Cuba. Se determinó el coeficiente de uniformidad (CU) de los gastos, el coeficiente en la uniformidad de la distribución (UD) de los gastos y el coeficiente de variación de fabricación (Cv). Los resultados obtenidos muestran un coeficiente de uniformidad de los gastos (clasificado el lateral dos, cuatro y cinco como *bueno*, ya que el 80% de los laterales obtuvieron valores entre 86-94 % *y* el lateral tres de *excelente* ya que se alcanzaron valores por encima del 94 %. La uniformidad de distribución de los gastos se clasificó como *mala en los laterales uno, dos y cinco* ya que el 60 % de los laterales alcanzaron valores menores al 80 %, el cuatro como regular y el tres de excelente. Por otra parte, el valor del coeficiente de fabricación, fue clasificado como *promedio,* porque fue de 0,07. En la evaluación del sistema de riego de alta frecuencia, la disminución de las fracciones de lavado, contribuyó al ahorro del agua y la reducción del impacto ambiental que ocasionan los riegos excesivos y los fertilizantes.

Palabras clave: emisores, fibra de coco, substrato

Hydraulic valuation of a system of located watering of high frequency, under protected conditions.

ABSTRACT

With the objective of evaluating the system of watering of high frequency, to contribute to the effectiveness of the same one, they were carried out investigations in the cultivation house protected under controlled climatic conditions, have more than enough substratum of coconut fiber, in the cultivation of the tomato. The work was carried out in the farm Atabey, in the town of the Wajay, municipality Cowherds, Havana, Cuba. The coefficient of uniformity was determined (CU) of the expenses, the coefficient in the uniformity of the distribution (CU) of the expenses and the coefficient of variation of production (Cv). The obtained results show a coefficient of uniformity of the expenses (classified the lateral one two, four five as good, since 80 % of the lateral ones obtained values between 86-94 % and the lateral one three of excellent since it was reached values above 94 %. The uniformity of distribution of the expenses was classified as bad in

---

Ing. Oscar A. Rosales Rodríguez, especialista del Departamento de Agricultura Urbana y Manejo Sostenible del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT), MINAG. Calle 188 no. 38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba. E-mail: entomología2@inifat.co.cu, [2]Agroprecuaria Militar, Wajay, La Habana, Cuba y [3]Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. (IAgric). Carretera del Wajay Km 2 ½, Boyeros. La Habana Cuba.

the lateral ones one, two five since 60 % of the lateral ones reached smaller values to 80 %, the four as regulating and the three of excellent. On the other hand, the value of the coefficient of production, it was classified as average, because this it was of 0.07. In the evaluation of the system of watering of high frequency, the decrease of the laundry fractions, they contributed to the saving of the water and the reduction of the environmental impact that cause the excessive watering and the fertilizers.

Key words: originators, coconut fiber, substratum

INTRODUCCION

La productividad de los cultivos en la agricultura moderna ha sido acompañada en muchos casos, por la escasez de agua, su calidad y el uso excesivo de la misma (García, 2016). El riego es un componente esencial del desarrollo agrario sustentable, por lo que la escasez de agua constituye la principal limitación para el desarrollo agrícola en muchas regiones áridas y semiáridas del planeta (Seijas, 2018).

En muchos países del mundo la competencia creciente por el agua es una consecuencia de la demanda para los diferentes usos, que conlleva al aumento de los costos y una creciente limitación de su disponibilidad para su utilización en la agricultura, por lo que se hace necesaria la introducción de los avances científicos y tecnológicos de ingeniería a los regadíos (González y Herrera, 2014). La utilización eficiente del agua requiere de un manejo adecuado e intercambio de conocimientos con ingenieros y científicos, por lo que el agricultor bien formado y capacitado continuamente, podrá mejorar las técnicas de regadío (Vásquez, 2017).

El regante debe conocer los principales factores que intervienen en la aplicación de agua en el invernadero y velar porque las instalaciones sean bien manejadas, conservadas y que cumplan con el diseño del sistema de riego según el proyecto (Demin, 2014).

El nivel de automatización de los procesos permite elevar la eficiencia de los sistemas de riego y el ahorro de los insumos, trayendo consigo que disminuyan los costos y un aumento de las ganancias que permitan hacer nuevas inversiones y crear nuevas fuentes de empleos (González, 2017).

En Cuba los recursos hídricos se han estimado en 38 130 000 m^3, originados principalmente por las precipitaciones, de estos el 83 % corresponde a aguas superficiales y el 17 % a aguas subterráneas (Brizuela, 2014). El potencial aprovechable se ha calculado en 23 880 000 m^3, donde el 74,9 % procede de aguas superficiales y el 25,1 % de aguas subterráneas (Rey, 1999).

La tecnología de cultivo sin suelo es conocida en el país desde el pasado siglo y aun así existe poca experiencia en el manejo y evaluación de los sistemas de riego localizado de alta frecuencia. Al finalizar el periodo productivo del cultivo se han aplicados riegos en exceso que contribuyen al aumento de las escorrentía superficial y subterránea, así como el arrastre de sustancias contaminantes disueltas que pueden afectar los acuíferos y fuentes de agua superficial, por lo tanto, se produce un uso ineficiente del recurso hídrico y un gran impacto ambiental (Casanova *et al.*, 2018).

El sistema de riego de alta frecuencia se ha utilizado como alternativa para disminuir estos excesos, pues permite aplicar los volúmenes de agua de una manera más racional con bajas dosis y alta frecuencia a una misma presión. En Cuba existe experiencia en el manejo de este sistema de riego desde el pasado siglo, utilizando como substrato a la zeolita cubana en

el año 2000. El objetivo de este trabajo fue realizar la evaluación hidráulica de un sistema de riego localizado de alta frecuencia.

MATERIALES Y METODOS

La evaluación del Sistema de Riego Localizado de Alta Frecuencia (SRLAF), se realizó en el mes de abril del año 2018 en una casa de cultivo protegido con efecto invernadero modelo Negev, en la localidad del Wajay, municipio Boyeros, La Habana, Cuba. Coordenadas geográficas:(Latitud: 23 º0´ 45´´N, Longitud: 82º,45´ W) y una altitud de 64,00 m sobre el nivel del mar.

La misma está conformada por un multitúnel de estructura metálica que tiene un área total de 968 m^2, un largo de 40,00 m, ancho de 24,20 m y altura de la cumbre de 5,80 m bajo condiciones climáticas controladas. En el interior están ubicados los contenedores o bolsas de polietileno, también conocidas como salchichas (Pelemix) de una capacidad de 15 L de substrato de fibra de coco, procedente de Siri Lanka, de una longitud de 1m, 0,20 m de ancho y 0,10 m de alto, en los cuales se plantaron cuatro plantas de tomate ´FA-180i´, de la firma Hazera en bolsas separadas a 0,20 m.

La casa de cultivo cuenta con un sistema de riego localizado de alta frecuencia, compuesto por doce laterales de riego separados a 1,60 m y 444 goteros de botón, con cuatro emisores cada uno, para un total de 1776 emisores, con un gasto de 2$L.h^{-1}$ cada emisor y un gasto total de 8$L.h^{-1}$, por bolsa de fibra de coco. Para la clasificación del estado de funcionamiento del sistema de riego se utilizó la metodología de Christiansen (1942).

Se evaluaron cinco laterales de riego, al inicio, centro y final, se tomaron muestras del caudal de 20 goteros de botón por lateral (80 emisores) al azar, para un total de 400 emisores, según la Noma Cubana EN 15097 (NC, 2012).

El coeficiente de variación de fabricación (Cv), se determinó a partir de la desviación estándar (σ) de las 50 menores muestras de los caudales de los emisores (todas a la misma presión de trabajo) entre el promedio de la descarga general ($\bar{q}$) según la ecuación 1.

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{q}} \qquad (1)$$

Posteriormente se clasificó el sistema según la Tabla 1, donde se muestra los valores de los coeficientes de variación de fabricación alcanzados.

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad de los gastos del sistema de riego (CU) se empleó la ecuación 2.

Tabla 1. Clasificación del coeficiente de variación de fabricación de acuerdo con Merkley *et al.* (2004).

Clasificación	Valor del coeficiente de variación de fabricación
Excelente	<0,05
Promedio	0,05-0,07
Marginal	0,07-0,11
Pobre	0,11-0,15
Inaceptable	>0,15

$$CU = \frac{q\ (1/4)}{-\ /q} \times 100\ \%\ (2)$$

Dónde:

q (1/4) - Caudal medio de los emisores, que representan el 25 % de los evaluados con los más bajos caudales.

- /q - caudal medio de todos los emisores evaluados (mm.min^{-1}).

La Tabla 2 muestra el coeficiente de uniformidad de los gastos y de acuerdo a los valores obtenidos se clasifica la instalación del sistema de riego empleado.

Tabla 2. Calificación del sistema de riego, según el coeficiente de uniformidad (CU).

Coeficiente de uniformidad (CU) (%)	Calificación
>94	Excelente
86-94	Buena
80-86	Aceptable
70-80	Pobre
<70	Inaceptable

(Fuente: Martín, 2004).

Coeficiente de uniformidad de distribución

El coeficiente de uniformidad en la distribución en términos de la desviación estándar se expresó por la ecuación 3, donde:

$$CU = 100 \times (1{,}0 - \frac{S}{n} \times \sqrt{\frac{2}{\pi}}) \quad (3)$$

Para coeficientes de uniformidad superiores al 70 % los datos tienden a una distribución normal.

CU =100 % para S=0.

Los coeficientes que tienen la uniformidad de riego pueden relacionarse a través de las siguientes ecuaciones:

CU = 100- 0,63 x (100- UD) (4)

UD = 100 – 1,59 x (100 – CU) (5)

La uniformidad en la distribución expresa la homogeneidad de la lámina infiltrada en el campo mediante la relación porcentual entre el promedio del cuarto inferior de la lámina infiltrada y el promedio la cual se estima.

$$UD = \frac{\text{Promedio lámina infiltreda}(\frac{1}{4}\text{inferior})}{\text{Promedio}} \times 100\% \quad (6)$$

Para el cálculo en la uniformidad de distribución se utilizó la ecuación 5, porque en el caso de los substratos no se puede medir la lámina de infiltración por los bajos volúmenes de substratos que se emplean, que tiene su origen en los términos de la desviación estándar.

La clasificación de uniformidad en la distribución de los gastos (UD), se realizó según Chinchilla *et al.* (2008).

La Tabla 3 muestra la relación que hay entre el coeficiente de variación de fabricación, el de distribución y su clasificación.

Se determinó el gasto o caudal de los emisores de los goteros de botón de los cinco laterales de riego a una misma presión de trabajo con el empleo de la ecuación 7.

$$\mathbf{q} = \frac{\mathbf{v}}{\mathbf{t}} \quad \mathbf{(7)}$$

Donde:

q-Gasto o caudal, expresado en ml min^{-1}.

V-volumen de agua en mililitros.

t-tiempo en minutos.

Se utilizó el programa Microsoft Excel 2010, para los cálculos realizados y se empleó una probeta de 500 mL para el aforo de los goteros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación del sistema de riego de alta frecuencia se obtuvieron los siguientes resultados.

Coeficiente de uniformidad de los gastos

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del coeficiente de uniformidad de los gastos. Los laterales de riego evaluado, el promedio del 25 % de los emisores de más bajo caudal, el promedio general, el coeficiente de uniformidad y su clasificación.

Tabla 3. Clasificación de la distribución de uniformidad (UD) del sistema de riego.

Coeficiente de variación de fabricación	Coeficiente de uniformidad de distribución (%)	Clasificación de uniformidad de distribución
<0,05	>90	Excelente
0,05-0,08	85-90	Buena
0,05-0,08	80-85	Regular
>0,08	<80	mala

Tabla 4. Coeficiente de uniformidad (CU) de los gastos de los laterales de riego evaluados.

Laterales de riego	Promedio general (mL)	Promedio 25 % registro (mL)	CU (%)	Clasificación	Coeficiente de uniformidad
1	855 ± 52	603 ± 86	71	70-80	Pobre
2	471 ± 11	403 ± 24	86	86-94	Buena
3	489 ± 3	473 ± 10	97	>94	Excelente
4	435 ± 9	382 ± 18	88	86-94	Buena
5	496 ± 12	428 ± 10	86	86-94	Buena

El 80 % de los laterales evaluados están clasificados *entre buena y excelente* y un 20 % está evaluado de *pobre*, esto tiene como causa fundamental la utilización de goteros con un caudal superior a lo recomendado por el fabricante, obstrucciones en los emisores del sistema y el envejecimiento de la red.

Monge (2018) obtuvo resultados similares en iguales condiciones de trabajo al evaluar un diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas, así como Urrestarazu (2015) y Bedoya (2016) señalaron que la uniformidad de riego es un parámetro que caracteriza a todo sistema de riego, desde el diseño hidráulico hasta su mantenimiento en el tiempo, donde intervienen varios factores, entre los que se destacan, los de tipo constructivo en los cuales los procesos de fabricación y los materiales utilizados hacen que los emisores de un mismo modelo no sean exactamente iguales entre si y proporcionen

caudales diferentes para una misma presión de trabajo. Además de existir en el mercado diferentes tipos y calidades de emisores cuyo funcionamiento en el tiempo es muy variable, otra de las causas es un inadecuado diseño del sistema, en particular en el filtrado, lo cual incide directamente en la obstrucción de emisores.

Asimismo, fallas en el diseño hidráulico de tuberías y laterales que pueden someter el sistema a diferentes pérdidas de carga y variación de presiones no acordes al emisor seleccionado lo cual reportan Cun (2018) y Cisnero (2018). Por su parte, Ríos y Belarmino (2012) reportan que las obstrucciones son uno de los principales problemas que se presentan en las instalaciones de riego, las cuales se pueden producir por causas físicas, químicas y biológicas.

Uniformidad en la distribución de los gastos

En cuanto a la distribución en la uniformidad de los gastos, en la Tabla 5 se muestran los laterales de riego evaluados, los valores obtenidos y su clasificación.

Tabla 5. Distribución porcentual de los resultados de la clasificación la uniformidad de distribución (UD) de los laterales de riego.

Laterales	UD (%)	Clasificación	Coeficiente de uniformidad de distribución
1	54	<80	Mala
2	78	<80	Mala
3	95	>90	Excelente
4	81	80-85	Regular
5	78	<80	Mala

Para las condiciones de Cuba el valor de UD está estimado entre 0,70 y 0,85 y se acepta como bueno, la obtención de valores altos supone mayores inversiones iníciales en el sistema para lograr presiones más uniformes, lo cual se valora en el diseño Norma cubana EN 15097 (NC: 2012), reportado por Bonet (2015).

Sin embargo, siguiendo los criterios de autores como Chinchilla *et al*. (2008), para la clasificación de la uniformidad de distribución en el sistema de riego localizado de alta frecuencia, se estimó que están clasificado el 60 % de los laterales de riego de la muestra del sistema, como de *mala* uniformidad en la distribución ya que los valores obtenidos están por debajo del 80 %, un 20 % de *regular* y un 20 % de *excelente*, cuyo valor fue de 95 %, lo cual corrobora los trabajos realizados por Montero (2014) y Morales (2014).

Determinación del coeficiente de variación de fabricación.

En la Tabla 6 se muestra la desviación estándar, el promedio general, el coeficiente de variación de fabricación y su clasificación.

El valor del coeficiente de variación de fabricación fue de 0,07 lo que está clasificado de promedio, ya que está entre 0,05-0,07. Duarte (2017) y Urrestarazu (2015a) reportaron que la determinación del coeficiente de variación es importante en el diseño y evaluación de los sistemas de riego por goteo porque la descarga de los emisores puede afectar la lámina de riego de los cultivos y podrían ser menores o mayores a las establecidas en el diseño original.

Tabla 6. Coeficiente de variación de fabricación obtenida de la descarga de los goteros evaluados en la unidad experimental (mL.minutos $^{-1}$).

Desviación estándar	Promedio general	Coeficiente de variación	Clasificación
39,4	578 ± 39,4	0,07	Promedio

CONCLUSIONES

- ✓ El sistema de riego localizado de alta frecuencia evaluado tiene clasificado el coeficiente de uniformidad como de bueno (80 % de los laterales evaluados por encima del 80 %), el coeficiente de uniformidad en la distribución de mal (60 % de los laterales por debajo del 80 %) y el coeficiente de fabricación como promedio (valor de 0,07, dentro del rango de 0,05-0,07), según la clasificación.
- ✓ Las causas en la evaluación del sistema como promedio, son atribuidas al envejecimiento de la red, la sustitución de algunos emisores por otros de más alto caudal y la obturación de los goteros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bedoya, C. y Montiel, V. (2016). Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. Revista Ingeniería y Región, 16(2): 65-71.

Bonet, P. (2015). Medición de la lluvia en la explotación de los sistemas de riego en Camagüey. Revista Ingeniería Agrícola*, 5*(3): 47-52. ISSN: 2306-1545, RNPS-0622.

Brizuela, L. (2014). Agencia de Extensión Rural Belén. INTA Catamarca.

Casanova, A.; Ygarza, A. y Hernández, J.C. *(*2018). Manual para la producción protegida de Hortalizas. Editorial Liliana, La Habana. ISBN: 978-959-7111-71-9.

Cisneros, E. (2018). Evaluación del riego localizado por goteo en condiciones de producción del sur de Güira de Melena. Revista Ingeniería Agrícola*,* 8(4):3-11. ISSN (versión impresa): 2306-1545. ISSN (versión digital): 2227-8761.

Cun, R. (2018). Efecto del sobre humedecimiento en el maíz para la proyección de sistemas de drenaje. Revista Ingeniería Agrícola*, 8*(2): 68-73. ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.

Chinchilla, K.; Hernández, Y. y González, C. (2008). Identificación de los principales problemas asociados al riego por goteo en los cultivos de flores en la sabana de Bogotá. Memorias del X Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, Clia. Nicaragua.

Christiansen, E. (1942). Irrigation by sprinkling. Bulletin 690. University of California. College of the Agriculture. Berkeley. California. U.S.A.

Duarte, C. (2017). Evaluación mecánica e hidráulica de emisores en sistemas de riego en Ciego de Ávila. Revista Ingeniería Agrícola, *7*(4):17-22. ISSN (versión impresa): 2306-1545. ISSN (versión digital): 2227-8761.

Demin, E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: fundamentos, usos y adaptaciones Ediciones: INTA (Instituto nacional de tecnología agropecuaria*).* 1a. ed. - San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca: Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-512-2.

García, A.L. (2016). Respuesta del potencial hídrico foliar en cultivos hortícolas bajo diferentes manejos del riego. Revista

Ingeniería Agrícola, 6(4):11-16. ISSN (versión impresa): 2306-1545. ISSN (versión digital): 2227- 8761.

González, F. y Herrera, J.P. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas de Ciba. Revista Ciencias. Disponible en: scielo.sld.cu.

González, R.F. (2017). Productividad agronómica del agua. Revista Ingeniería Agrícola. Disponible en: revistagcdl.unah.edu.cu.

Martín, I. (2004). Evaluación y propuesta de mejoramiento del sistema de riego por goteo de Flores de Funza S.A C.I. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá.

Merkley, G.; Allen, R.; Sprinkle, O. y Trickle, I. (2004). Lecture notes. Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University, Logan, Utah, 95- 218 p.

Morales, Á.M. (2014). Uso de la tierra y calidad del agua superficial en la cuenca periurbana rio Platanitos, Guatemala. Revista Ingeniería Agrícola, 4(4):19-23. ISSN: 2326-1545, RNPS-0622.

Montero, S. (2014). Influencia de la velocidad de las máquinas de riego móviles (enrolladores) con diferentes aspersores. Revista Ingeniería Agrícola, *5*(3): 35-39. ISSN (versión impresa): 2306-1545. ISSN (versión digital): 2227-8761.

Monge, A.M. (2018). Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Editorial Mundi. España, 50 pág. ISBN 978-84-92928-88-0.

Norma Cubana NC EN 15097 (2012). Técnicas de riego. Riego localizado. Evaluación Hidráulica. (Oficina Nacional de Normalización).

Rey, A.R. (1999). Estudio sobre el uso del agua en la agricultura y el desarrollo rural. Aquastat. Perfil de Cuba. FAO. Ciudad de la Habana, 9 p.

Ríos, M.D. y Belarmino, S. (2012). Manejo práctico del riego en cultivo sin suelo. Servicio técnico de agricultura y desarrollo rural. Área de agricultura, ganadería, pesca y aguas. Cabildo de Tenerife. España, 65 p. ISBN 10: 848-476-668-3.

Fecha de recepción: 27 enero 2020

Fecha de aceptación: 2 julio 2020

Agrotecnia de Cuba
ISSN impresa: 0568-3114
ISSN digital: 2414- 4673
http:www.grupoagricoladecuba.gag.cu