

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis de la calidad de riego de dos sistemas por aspersión de producción nacional

Analysis of irrigation quality of two sprinkling systems produced in Cuba

Dr.C. Camilo Bonet Pérez, MSc. Pedro A. Guerrero Posada

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Durante los últimos años se ha dado un gran impulso al sector cooperativo y campesino dentro del programa alimentario, por lo cual resulta imprescindible el desarrollo de tecnologías apropiadas que potencien la producción en este sector. El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola ha diseñado dos sistemas de riego por aspersión de media presión con componentes básicamente de producción nacional, destinados a satisfacer la creciente demanda en este sector; estos sistemas han comenzado a utilizarse como parte de diferentes programas de producción de alimentos. Con vistas a lograr organizar los parámetros de explotación se ha realizado la evaluación hidráulica de los mismos en distintas condiciones de velocidad del viento y altura del emisor, utilizando los criterios recomendados en la bibliografía especializada, a partir de lo cual se determinan los parámetros de Uniformidad de Distribución, Coeficiente de Uniformidad, Eficiencia de Descarga, Área regada de forma efectiva y Coeficiente de Variación del caudal, concluyéndose que en ambos casos los sistemas responden a diseños hidráulicos adecuados, sin embargo, tanto la velocidad del viento como la altura del emisor influyen de manera significativa en los resultados obtenidos en cuanto a la calidad del riego.

Palabras clave: evaluación, uso del agua.

ABSTRACT. During the last years a great impulse has been given to the cooperative and farmer's production inside the alimentary program, being indispensable the development of appropriate technologies that will facilitate the production in this area. In the Institute of Agricultural Engineering Research have been designed two systems of mean pressure sprinkling irrigation with components basically of national production dedicated to satisfy the growing demand in this sector. These systems have begun to be used like part of different programs of food production. With a view to being able to organize the parameters of exploitation of these systems, has been carried out the hydraulic evaluation in different conditions of wind speed and height of the sprinkler using the approaches recommended in the specialized bibliography, and are determined the parameters of Uniformity of Distribution, Coefficient of Uniformity, Efficiency of Discharge, effective Irrigated Area and Coefficient of Variation of the flow, being concluded that in both cases the systems respond to appropriate hydraulic designs. However, the wind speeds as well as te height of the sprinkler influence in a significant way in the results obtained in he irrigation quality.

Keywords: evaluation, water use.

INTRODUCCIÓN

Hoy el regadío solo puede concebirse como una actividad sostenible y respetuosa con el medio ambiente. La incorporación de las nuevas tecnologías al regadío, principal usuario del agua, para mejorar el diseño, el manejo y el funcionamiento de los sistemas de riego y poder conseguir así un balance económico óptimo y una idónea utilización del agua resulta hoy una tarea fundamental (Tarjuelo, 2005).

Como parte del programa de impulso a la producción de alimentos en el país se han diseñado y construido sistemas de riego por aspersión para el riego de 1,03 ha, en dos versiones,

estacionarios y semi estacionarios; estos sistemas tienen la característica de ser básicamente de producción nacional, lo cual puede garantizar un adecuado nivel de explotación a partir de la reposición de los elementos que se requieran. En un principio los sistemas fueron concebidos como parte del programa previsto para el riego del king grass en el sector cooperativo y campesino, sin embargo, sus características de fácil montaje y manipulación permiten concebir su empleo en otros cultivos. Al iniciarse la instalación surgieron diversas interrogantes, por ejemplo, sobre la necesidad o no del empleo de dos elevadores

para el riego del king grass; también durante el proceso de riego se han presentado preocupaciones con relación al efecto del viento y cómo enfrentar esta situación.

Desde el punto de vista del productor, el objetivo principal del riego es mantener niveles de humedad que optimicen el retorno económico. La implementación de una tecnología de riego apropiada requiere tres etapas: diseño, instalación y manejo, cada una de las cuales debe ser implementada correctamente (Mujica *et al.*, 2014). Exponen Tarjuelo *et al.* (1995), que un buen riego no es el que moja uniformemente la superficie del suelo, sino aquel que almacena agua uniformemente en el perfil del suelo y consideran que entre las principales ventajas de los sistemas de riego por aspersión se pueden destacar las siguientes: se adaptan a cualquier tipo de topografía, incrementan la superficie de riego humedecida, son eficaces en el lavado de sales y permiten controlar adecuadamente la pluviometría dentro de la zona de aplicación, entre las desventajas está la afectación a la uniformidad del riego cuando el viento en la región donde se instalan es fuerte.

Tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por determinados valores de uniformidad y eficiencia, sin embargo, Keller *et al.* (1981) indicaron que la unifor-

midad depende mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado. Señalan Dechmi *et al.* (2010¹) y Garrido *et al.* (2001²) que la uniformidad de distribución de agua en los sistemas de aspersión es necesaria para un uso más eficiente del agua disponible. Se requiere por tanto realizar una evaluación técnica de ambos sistemas en las condiciones de operación que permita arribar a conclusiones y realizar las recomendaciones requeridas, lo cual constituye el objetivo de este trabajo.

MÉTODOS

La investigación se desarrolló en dos partes: para el sistema de riego estacionario se trabajó en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes (EPPF), ubicada en el municipio Jimaguayú; para el sistema de riego semi estacionario en la Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) “Juan Tomas Roig” de la Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), municipio de Ciego de Ávila, El trabajo se desarrolló en parcelas situadas sobre suelo Ferralítico rojo compactado en Ciego de Ávila y sobre suelo Pardo sin carbonatos en Camagüey. La tabla número 1 muestra las propiedades hidrofísicas de ambos suelos.

TABLA 1. Propiedades hidrofísicas del suelo en Ciego de Ávila (A) y Camagüey (B) Tabla 1.A Tabla 1.B

Profundidad (cm)	Capacidad de campo (%)	Densidad aparente (g · cm ⁻³)	Profundidad (cm)	Capacidad de campo (%)	Densidad aparente (g · cm ⁻³)
0-20	26,25	1,24	0-20	25,80	1,31
20-40	27,52	1,31	20-40	24,50	1,31
40-60	28,42	1,29	40-60	18,70	1,31

Fuente: Hernandez *et al.* (1999).

El sistema semi estacionario tiene una conductora principal de polietileno baja densidad (PEBD) 63 mm (40 kPa), tres hidrantes, dos laterales de polietileno alta densidad (PEAD) 50 mm, en cada uno de ellos cuatro aspersores NAANDAN 5022 de dos boquillas de 3,0 y 1,7 mm de diámetro y ángulos de salida de 23° y 18°. El sistema estacionario consta de una conductora principal de PEBD 50 mm (40 kPa), con nueve nudos de montaje, de cada uno parten dos laterales de PEAD 32 mm; en cada lateral se instalan 4 aspersores Mankad con boquilla de 3,5 mm de diámetro y ángulo de salida de 25°.

A continuación los principales parámetros de diseño.

TABLA 2. Parámetros de diseño del sistema de riego semi estacionario (A) y estacionario (B) Tabla 2.A Tabla 2.B

Datos de diseño	UM	Cantidad	Datos de diseño	UM	Cantidad
Nº de emisores	u	8	Nº de emisores	u	72
Gastos del emisor	L · h ⁻¹	900	Gastos del emisor	L · h ⁻¹	740
Espaciamiento entre emisores	m	12	Espaciamiento entre emisores	m	12
Espaciamiento entre laterales	m	12	Espaciamiento entre laterales	m	12
Presión requerida por el emisor	m.c.a	25,0	Presión requerida por el emisor	m.c.a	25,0

Fuente: IAGRIC (2009a³, 2009b⁴).

La presión de trabajo del sistema y los emisores se comprobó mediante manómetro de glicerina (Mondragón de 0 a 60 kPa); el gasto del emisor se evaluó mediante el método volumétrico, se realizaron tres repeticiones para eliminar errores de medición utilizando una probeta graduada a escala de un mililitro y un cronómetro.

¹ DECHMI, F., JUBILLAR, P., GONZÁLEZ, F. & BERCERO, A.: *Uniformidad de los sistemas de riego por aspersión en el polígono de la loma de quinto (Zaragoza)* [monografía en CD-ROM], Zaragoza, España, 2010.

² GARRIDO, S.; FACI, J. M. Y PLAYÁN, E.: Distribución del agua aplicada por un ramal de riego por aspersión equipado con distintos tipos de emisores. XIX Congreso Nacional de Riegos. Zaragoza, España, 12 – 14 junio de 2001,

³ IAGRIC: *Proyecto de riego por aspersión semi-estacionario de 1 ha*. Ed. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC), La Habana, [monografía en ordenador], 2009a.

⁴ IAGRIC: *Proyecto de riego por aspersión estacionario de 1 ha*. Ed. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC), La Habana, [monografía en ordenador], 2009b.

Se estabilizó la presión a 25 m.c.a. siendo la establecida según el diseño, una vez logrado esto se determinó la presión en cada uno de los aspersores del sistema y a partir de estos valores se realizó el cálculo del gasto en cada uno de ellos y el coeficiente de variación de caudales (CV) según (Bralts y Kesner, 1998⁵). Se calculó el alcance teórico del chorro (Zunker, 1984, citado por (Guerrero *et al.*, 2012) y se comprobó con el alcance real el cual fue calculado como una media del valor medido en 4 direcciones.

$$R = 1,55 \times H \left(1 - \frac{0,95H}{4,9 + H} \right) \sqrt{1000d}$$

donde:

R-alcance del chorro (m);

H-presión de trabajo del emisor (m.c.a.);

D-diámetro de boquilla (m).

A partir del alcance del chorro se precisaron las variantes de espaciamiento posibles a utilizar. La velocidad del viento se midió con un anemómetro digital (TECPEL AVM-702) de manera sistemática durante el desarrollo de la evaluación, realizando las observaciones a diferentes alturas en correspondencia con la altura del aspersor. La calidad del riego se determinó a partir de los parámetros recomendados por Tarjuelo (2005): uniformidad de distribución del emisor (UDE) (Merriam y Keller, 1978⁶), uniformidad de distribución del sistema (UDs) (Keller y Bliesner, 1990⁷), coeficiente de uniformidad del emisor (CUE) (Christiansen, 1942), coeficiente de uniformidad del sistema (CUS) (Keller y Bliesner, 1990), eficiencia de descarga (Ed) (Merriam y Keller, 1978), *pérdidas por evaporación y arrastre por el viento* (Fisher y Allen, 1988, citado por Tarjuelo, 2005). Para la evaluación se realizó una distribución de recipientes pluviométricos en el área en forma de cuadrícula, con un espaciamiento de 2,00 m en ambos sentidos, lo cual resultó en un índice de 3,16 m² por pluviómetro, valor aceptable según Tarjuelo (2005), quien recomienda *índices menores a 4,00 m²* para estas evaluaciones; se determinó la calidad del riego en ambos sistemas en diferentes condiciones de velocidad del viento y altura del emisor.

Las evaluaciones se realizaron en condiciones de vientos menores a 1,00 m·s⁻¹ simulando situación de calma, y mayores a 3,60 m·s⁻¹, siendo estas últimas generalmente las predominantes. Respecto a la altura del emisor partimos de las características de diseño de ambos sistemas con elevadores a 0,70 y 1,00 m de altura en los sistemas estacionario y semi estacionario respectivamente. Con vistas a tener un universo lo más integral posible se evaluaron las variantes del emisor situado a 0,40 m y directamente sobre el lateral (sin elevador).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del aforo de los aspersores indicaron en el sistema semi estacionario un valor de 720 L·h⁻¹ y en el sistema estacionario de 612 L·h⁻¹, en ambos casos menores de lo que se plantea en los parámetros técnicos del proyecto.

Utilizando los resultados de la presión de trabajo medida en cada

punto se determinaron los caudales a entregar y a partir de estos valores la desviación típica y el coeficiente de variación de los caudales (CV), obteniéndose finalmente un valor de 2,00% en el sistema semi estacionario y de 3,80% en el sistema estacionario, excelentes según la clasificación de Bralts y Kesner (1998), resultado de una alta uniformidad de entrega de los aspersores.

Señala Tarjuelo (2005) que la aplicación uniforme de agua depende principalmente del “modelo” de reparto de agua del aspersor, así como de la disposición y espaciamiento de los aspersores en el campo. El modelo de reparto de agua del aspersor viene definido por el propio diseño, el tipo y número de boquillas y la presión de trabajo. En ambos sistemas de riego, tanto el emisor como el tipo y diámetro de boquilla son factores invariables, quedando a considerar la presión de trabajo, el espaciamiento, la altura del emisor y las condiciones de trabajo respecto a la velocidad del viento.

Presión de trabajo. Se evalúan la Ed y CU del emisor con baja velocidad del viento y con presiones inferiores y superiores a la establecida.

TABLA 3. Efecto de la presión en la calidad del riego

Presión (kPa)	Sistema de Riego Estacionario		Sistema de Riego Semi Estacionario	
	CU (%)	Ed (%)	CU (%)	Ed (%)
25,00	84,42	60,71	74,91	64,90
20,00	78,17	61,80	67,72	67,07
30,00	81,88	53,42	75,92	57,86

Los resultados en ambos casos indican una reducción de la Ed al aumentar la presión de trabajo, lo cual es atribuible a un mayor efecto del viento sobre las gotas más pequeñas y está en correspondencia con lo planteado por Tarjuelo (2005), la variación de la presión tiene un efecto negativo sobre la uniformidad por un cambio en el modelo de reparto del agua.

Valores bajos del CU indican una incorrecta combinación del aspersor con el diámetro de boquilla, presión de trabajo y marco de riego. Hay disminución del CU al aumentar la velocidad del viento por el aumento del radio mojado a sotavento y la rotura del chorro en gotas más cerca de la boquilla (Tarjuelo, 2005). Los resultados obtenidos respecto al CV de caudales y el efecto de la presión en la calidad del riego confirman el criterio de Ajete *et al.* (2011) y Bonet *et al.* (2009⁸), quienes atribuyen la baja uniformidad en sistemas de riego a presión a la variación de fabricación de los emisores y de las diferencias de presión de la sub unidad.

Espaciamiento. El alcance teórico de los emisores en ambos sistemas con la presión de trabajo indicada y diámetro de boquilla disponible es de 13,76 m y 14,85 m respectivamente, se pudo comprobar que el alcance efectivo en ambos casos es de aproximadamente 12,00 m, por lo cual podrían probarse espaciamientos de hasta 18,00 m.

Los modelos de reparto de agua para ambos tipos de aspersores fueron determinados para las siguientes condiciones: altura del emisor de 1,00 m; velocidad del viento menor de 1,00 m·s⁻¹ y

⁵ BRALTS & KESNER: *Manufactured variation and drip Irrigation uniformity*, ASAE, USA, 1998.

⁶ MERRIAN J. L Y KELLER J.: *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Dept. Agric. Irrig. Utah St. Univ. Logan, USA, 1978.

⁷ KELLER J. & BLIESNER R. D.: *Sprinkler and trickle irrigation*, 652pp., New York, NY, Van Nostrand Reinhold. New York, USA, 1990.

⁸ BONET, C.; AJETE Y C. DUARTE: Criterios sobre la uniformidad del riego en casas de cultivos protegidos y sistemas semiprottegidos de la provincia de Camagüey, En: Convención Internacional de Ingeniería Agrícola 2009, Bayamo, Granma, 2009.

presión de trabajo de 25,00 kPa; los resultados mostraron un esquema de reparto del agua satisfactorio, lo cual indica una adecuada correspondencia entre la presión y el diámetro de boquilla (Tarjuelo *et al.*, 1995) que permite alcanzar una uniformidad de distribución de la lluvia aceptable si se utiliza un espaciamiento adecuado. Al evaluar la distribución de la lluvia con los distintos espaciamientos posibles, se obtiene el mejor resultado con la variante de 12 x 12 m, coincidiendo con las recomendaciones de diseño. Altura del emisor y velocidad del viento. Se realizaron las evaluaciones de Uniformidad de Distribución, Coeficiente de Uniformidad y Eficiencia de descarga para diferentes condiciones de altura del aspersor y velocidad del viento.

A. SISTEMA DE RIEGO ESTACIONARIO

TABLA 4. Parámetros de calidad del riego según la velocidad del viento Viento < 1,0 m·s⁻¹ Viento > 3,60 m·s⁻¹

Alt. emisor (m)	UDe (%)	UDs (%)	CUE (%)	CUs (%)	Ed (%)	UDe (%)	UDs (%)	CUE (%)	CUs (%)	Ed (%)
0,70	78,15	76,23	84,42	82,34	60,71	45,83	43,14	56,39	54,50	51,87
0,40	80,30	77,89	86,18	84,02	70,42	51,90	48,95	58,84	56,89	58,09
0,00	66,30	63,36	58,80	56,26	52,35	39,48	37,26	38,72	37,61	42,09

Durante el riego con baja velocidad del viento la UDe alcanza resultados aceptables con el emisor situado a 1,00 m de altura y satisfactorios con el emisor situado a 0,40 m, mientras para la variante sin elevador resultan inaceptables, según Merriam y Keller (1978); de idéntica manera se comporta la UD_s (Keller y Bliesner, 1990). Los CUE y CUs son satisfactorios cuando se emplea elevador y malo cuando no se utilizan (Christiansen, 1942; Keller y Bliesner, 1990), en tanto la Ed sólo alcanza valores aceptables con el elevador de 0,40 m (Merriam y Keller, 1978). El incremento de la velocidad del viento trae aparejado una disminución de todos los parámetros de la calidad del riego, obteniendo en todos los casos la categoría de inaceptables, siendo peores aún los resultados cuando se elimina el elevador. En general, los valores de los parámetros de calidad del riego resultaron aceptables cuando se regó con el aspersor situado a 0,70 m de altura, mientras que resultan pobres o inaceptables cuando se regó directamente desde el lateral. En la altura intermedia de 0,40 m, los parámetros de calidad del riego fueron superiores, básicamente cuando la velocidad del viento es baja. Los resultados indican que este sistema de riego es muy susceptible al efecto del viento, obteniéndose una calidad del riego mala y produciéndose considerables pérdidas de agua cuando la velocidad del viento se incrementa.

B. SISTEMA DE RIEGO SEMI ESTACIONARIO

TABLA 5. Parámetros de calidad del riego según la velocidad del viento Viento < 1,0 m·s⁻¹ Viento > 3,60 m·s⁻¹

Alt. emisor (m)	UDe (%)	UDs (%)	CUE (%)	CUs (%)	Ed (%)	UDe (%)	UDs (%)	CUE (%)	CUs (%)	Ed (%)
1,00	61,50	60,60	74,91	74,30	64,90	29,41	29,27	51,25	50,31	36,00
0,40	79,10	78,04	84,96	84,20	74,40	45,60	45,20	39,80	39,21	53,60
0,00	70,62	69,00	81,02	80,30	59,50	45,10	44,80	48,14	47,29	65,00

Durante la evaluación realizada con baja velocidad del viento, los resultados de la UDe clasifican como pobres para la altura del emisor de 1,00 m y de aceptables para el resto según el criterio de Merriam y Keller (1978); mientras la UD_s se refleja muy similar a UDe; resultado similar se obtiene en cuanto al CU empleando los criterios de Christiansen (1942) y de Keller y Bliesner (1990). Respecto a la Ed, sólo se obtiene un valor aceptable (Merriam y Keller (1978) con el emisor situado a 0,40 m; al respecto Tarjuelo (2005) plantea que para esta técnica la eficiencia debe comportarse entre el 70 y 80%. Es significativo que aún en la variante más satisfactoria se pierde el 26% del agua aplicada por efecto del viento y la evaporación. Teniendo en cuenta los valores obtenidos podemos decir que la eficiencia del riego es satisfactoria para la altura del emisor de 0,40 m. Las evaluaciones realizadas con velocidades del viento mayores a 3,60 m·s⁻¹ reflejan resultados insatisfactorios en los diferentes parámetros evaluados, alcanzando categoría de pobres según los criterios de todos los autores consultados, lo cual indica que la pluviometría en este sistema de riego está muy

influida por el viento, debido seguramente al pequeño tamaño de las gotas que se producen durante el proceso de riego.

En resumen, los resultados de las evaluaciones hidráulicas realizadas confirman el criterio de que en ambos sistemas el diseño hidráulico es satisfactorio; es común también en los dos sistemas el hecho de que la calidad del riego está muy influida por las velocidades del viento predominantes. Respecto a la altura del emisor, teniendo en cuenta los parámetros de uniformidad evaluados la mejor alternativa para garantizar una buena calidad del riego en ambos sistemas se alcanza con el emisor situado a una altura de 0,40 m, preferiblemente si el riego se realiza en condiciones de bajas velocidades del viento. Siempre se observó una mala distribución de la lluvia cuando el emisor está muy cerca de la superficie debido a un ineficiente patrón de reparto del agua, en tanto el incremento de la altura del emisor está asociado a mayores pérdidas de agua por el viento y evaporación.

Seginer *et al.* (1991) y Jiménez *et al.* (2010), citados por Cisneros *et al.* (2013) han señalado que las pérdidas por evaporación dependen de la humedad ambiental, la temperatura del aire y del

agua, la altura del emisor, el tamaño de las gotas y la velocidad del viento, en tanto las pérdidas por arrastre dependen de la velocidad del viento, el tamaño de las gotas y de la distancia que tengan que recorrer. Utilizando la fórmula de Fisher y Allen (1988), citados por Tarjuelo (2005), se obtienen Índices de grosor de gota de 14 y 17 (boquillas de 3,0 y 1,7 mm) en el sistema semi estacionario y de 12 para el sistema estacionario; con estos resultados, considerando una evapotranspiración potencial de 5 mm d⁻¹ y velocidad del viento de 5 m s⁻¹, se obtuvieron valores de pérdidas por evaporación y arrastre 8 y 10% en el sistema semi estacionario y del 6% en el sistema estacionario, lo cual reafirma el criterio de la alta influencia del viento en la calidad del riego; estos resultados pueden considerarse elevados según Keller y Bliesner (1990) quienes señalan que estas pérdidas deben oscilar entre 5 y 10%, sin embargo reconocen que cuando las condiciones son severas los valores pueden ser considerablemente mayores. Es conocido que las gotas pequeñas son fácilmente arrastradas por el viento, distorsionando el modelo de reparto del agua y aumentando la evaporación,

mientras que las gotas gruesas tienen gran energía cinética, la cual es transferida a la superficie del suelo (Faci *et al.*, 2001).

El efecto del viento sobre la uniformidad del riego en los sistemas de riego por aspersión ha sido estudiado por diversos autores, entre estos Santos Pereira *et al.* (2010) en España y Jiménez *et al.* (2012) en Cuba, quienes coinciden en resaltar el papel fundamental del viento en las pérdidas por evaporación y arrastre producidas durante el proceso de aplicación.

CONCLUSIONES

- Los diseños hidráulicos de los sistemas de riego evaluados son satisfactorios.
- El caudal real de los emisores determinado a una presión de 25 m.c.a. fue de 0,17 y 0,20 L·s⁻¹ para los sistemas estacionario y semi estacionario respectivamente.
- Los parámetros más satisfactorios se obtienen con presiones de 25 m.c.a., altura del emisor de 0,40 m, espaciamiento de 12 x 12 m y velocidades del viento menores de 1 m·s⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJETE, M.; C. BONET y C. DUARTE. "Criterios sobre la uniformidad del riego en cultivos protegidos de las provincias centrales", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 20(2): 51-55, 2011.
- ALLEN, R.G.; SELLER, J. Y MARTÍN, D.: *Center pivot design. The irrigation association [en línea] 2000, Disponible en: www.irrigation.org [Consulta: 02 de febrero de 2015].*
- CISNEROS E., Z. PLACERES y E. JIMÉNEZ. Beneficios obtenidos con la implementación del Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) en diferentes zonas regables de la provincia Mayabeque, Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761, 3(2): 46-52, 2013.
- CHRISTIANSEN J. E: *Irrigation by Sprinkling*; Bulletin No 670, Agricultural experiment station, University of California, USA, 1942.
- FACI, J. M.; SALVADOR, R.; PLAYÁN, E. Y SOURELL, H.: Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ISSN: 0733-9437, 127(4): 224-233, 2001.
- GUERRERO P., C. BONET, D. RODRÍGUEZ y R. JIMÉNEZ: "Tecnología para el riego en viveros de frutales y forestales", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761, 2(1): 37-41, 2012.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.*, ed. L.L Barcaz, Ed. AGRINFOR, t. 1, ISBN-959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
- JIMÉNEZ, E., P. GONZÁLEZ y M. DOMÍNGUEZ: "Relación entre parámetros de uniformidad de riego en máquinas de pivote central", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(3): 18-22, 2012.
- KELLER, J., COREY, W.R. AND VAVRA, M.E.: *Evaluation of Irrigation Systems*. 95-105. En: *Irrigation Challenges of the 80's*. ASAE, ISSN: 0001-2351, St. Joseph. Michigan. USA. 1981.
- MUJICA, A.; M. LÓPEZ, D. CARMENATES, C. MUJICA y A. RIVERON. "Evaluación de los indicadores hidráulicos de las máquinas de pivote central eléctrica", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 23(1): 53-55, 2014.
- PULIDO-CALVO, I.; ROLDÁN, J.; LÓPEZ-LUQUE, R. y GUTIÉRREZ-ESTRADA, J. C.: "Water delivery system planning considering irrigation simultaneity", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ISSN: 0733-9437, 199(2): 247-255, 2003.
- SANTOS PEREIRA, L., J. VALERO, M. PICORNELL y J.M. TARJUELO. *El Riego y sus Tecnologías*, CREA-UCLM (1ra edición en castellano), ISBN: 13:978-84-692-9979-1, España, 2010.
- SEGINER, I; KANTZ, D. & NIR, D.: "The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers", *Agr. Water Management*, ISSN: 0378-3774, E-ISSN: 1873-2283, 19:341-359, 1991.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, 492pp., Ed. Ediciones Mundi Prensa, vol. 3a edición, ISBN: 84-8476-225-4, Madrid, Barcelona, México, 2005.
- TARJUELO J. M., CARRIÓN P. Y VALIENTE M: "Simulación de la distribución del riego por aspersión en condiciones de viento", *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales*, ISSN: 1131-7965, 9(2). 255-272, 1995.
- TARJUELO, J.M.; ORTEGA, J.F.; MONTERO, J. & DE JUAN, J. A.: "Modelling Evaporation and Drift Losses in Irrigation with Medium Size Impact Sprinklers under Semi-arid conditions", *Agric. Water Management*, ISSN: 0378-3774, E-ISSN: 1873-2283, 43:263-284, 2000.

Recibido: 24/06/2015.

Aprobado: 01/4/2016.

Publicado: 30/4/2016.

Camilo Bonet Pérez, Especialista, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar , km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléfono: (53) (32) 274120, 282013 Ext. 163, Correo electrónico: esp.iagric@cmg.minag.cu

Pedro A. Guerrero Posada, Correo electrónico: esp.iagric@cmg.minag.cu