

RIEGO Y DRAHAJE

ARTÍCULO ORIGINAL



<http://opn.to/a/k38gm>

El viento y su influencia en los parámetros de calidad del riego

The wind and their influence in irrigation quality parameters

Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas*, Ing. Yobal Venero-Delgado, MSc. Zenén Placeres-Miranda,
Dr.C. Felicita González-Robaina.

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue definir los parámetros de calidad y explotación en un sistema de riego por aspersión de baja intensidad en condiciones de producción en la finca “La Rebeca”, contribuyendo en una mejor gestión del agua para uso agrario. Para las evaluaciones de campo se siguió las metodologías propuestas en la ISO 15886-3 en 2004 y la UNE 68-072-86 en 1986, fueron determinadas además la Uniformidad de Distribución según Merriam y Keller en 1978; Coeficiente de Uniformidad de Christiansen de 1942; Eficiencia de Descarga como indicó Tarjuelo en 2005, también siguiendo sus criterios fueron calculados los porcentos de áreas regadas. Los resultados obtenidos muestran que en la finca el viento tiene gran incidencia en el deterioro de los parámetros de calidad del riego, reduciendo el radio de alcance efectivo del aspersor en 0,90 m con respecto al del proyecto. Al evaluar las diferentes disposiciones del lateral se tiene, que en el marco de cobertura triangular se logran los mejores resultados de Coeficiente de Uniformidad de Christiansen con 90,46%; Uniformidad de Distribución de 84,20% y el mejor porcentaje de área regada adecuadamente con un 61,22%, confirmando lo efectivo de este marco de puesta para el área de estudio y otras con características similares de altas velocidades del viento.

Palabras clave: aspersión, coeficiente de uniformidad, eficiencia de descarga, uniformidad de distribución.

ABSTRACT. The goal of the present work was to define the quality parameters and exploitation in low intensity irrigation system under production conditions in “La Rebeca” farm, contributing in a better management of water for agrarian use. For the field evaluations the methodologies use was UNE 68-072-86 in 1986 and ISO 15886-3 in 2004, were also determined the Uniformity Distribution according to Merriam and Keller in 1978; Uniformity Coefficient of Christiansen of 1942; Discharge efficiency like Tarjuelo in 2005 indicates, the percent of irrigation areas were also calculated. The obtained results show that the wind in the farm has great incidence in the deterioration of the irrigation quality parameters, reducing the effective radio reach of the sprinkler in 0,90 m with respect to the project. In the triangular covering mark the best results in Uniformity Coefficient of Christiansen are obtained with 90,46%; Uniformity Distribution of 84,20% and the best irrigation percent area with 61,22%, confirming the effective of this setting mark for the study area and others with similar characteristic of high wind speeds.

Keyword: Irrigation sprinkler, Uniformity Coefficient, Discharge Efficiency, Distribution Uniformity.

INTRODUCCIÓN

El agua representa casi las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta y constituye un elemento imprescindible para la vida. Con los conocimientos de que hoy se dispone se puede afirmar que sin agua no hay vida (Fernández *et al.*, 2010).

El sector agrícola realiza el mayor consumo de agua en el mundo y por tanto la agricultura irrigada debe ser eficiente para tener sostenibilidad ambiental y económica. Un parámetro principal para evaluar sistemas de riego es la uniformidad de

*Autor para correspondencia: Enrique Cisneros-Zayas, e-mail: dptoriego1@iagric.cu

Recibido: 12/02/2019.

Aprobado: 29/07/2019.

aplicación de agua en la superficie del área irrigada, reflejándose directamente en el manejo y desempeño del cultivo, en la calidad y cantidad de los productos, en la eficiencia del uso del agua, en el costo del riego y por tanto de la producción según Bernardo *et al.* (2009) citado por Flórez *et al.* (2013), es por ello que a la luz de las proyecciones demográficas y económicas, los recursos de agua dulce de los que todavía se puede disponer constituyen una base estratégica para el desarrollo, la seguridad alimentaria, la salud del medio ambiente acuático y, en algunos casos, la seguridad nacional (FAOSTAT, 2006).

En Cuba es de vital importancia el aumento de la producción agrícola, debido a la demanda creciente de alimentos por la población, uno de los factores que incide en el incremento de la producción es el riego donde el 70% del agua disponible se utiliza principalmente para esta actividad, y aun así, es insuficiente en relación con las áreas potencialmente cultivables (Minag, 2010).

Dado que el agua es un bien cada vez más escaso y dado que la energía asociada a los sistemas de riego presurizados es cada vez más cara, los riegos deben ser más eficientes para poder mantener o incrementar la producción actual de los cultivos con una menor disponibilidad de agua y energía. Asimismo, los riegos del futuro deberán ser sostenibles con el medio natural. En este sentido, la evaluación en campo de los sistemas de riego permite conocer su funcionamiento, y establecer criterios de manejo que mejoren su eficiencia y los resultados del riego (Naroua *et al.*, 2012).

El municipio Güira de Melena se encuentra ubicado en una de las zonas más productivas del país, aportando una parte importante de los alimentos que consumen los habitantes de la capital y de sus provincias aledañas, para garantizar dichas producciones posee una gran infraestructura de riego (Basal, 2017).

Aunque en los últimos años se han introducido otras tecnologías de riego de mayor eficiencia, como son las máquinas de pivote central eléctricas, que ocupan hoy alrededor del 15% de la superficie bajo riego de este municipio, otras técnicas eficientes como el riego por aspersión de baja intensidad, ha tenido muy poca difusión en pequeñas áreas en producción.

Dicho municipio, al situarse en un acuífero subterráneo costero abierto al mar donde el fenómeno de la intrusión salina está presente se hace necesario disminuir los volúmenes de agua extraídos mediante el empleo de sistemas de riego eficientes. En este sentido se requiere del estudio de otras tecnologías que sean economizadoras en el uso del agua y que contribuyan a preservar tan importante recurso.

El objetivo del presente trabajo es definir los parámetros de calidad y explotación en un sistema de riego por aspersión de baja intensidad en condiciones de producción en la finca “La Rebeca”, que contribuya en una mejor gestión del agua para uso agrario.

MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la finca “La Rebeca”, la que pertenece a la CPA “Niceto Pérez” ubicada al Sur del municipio Güira de Melena, provincia Artemisa. Las coordenadas

geográficas son Cuba Norte 22 43 de Latitud Norte y 82 27 de Longitud Oeste. La altura sobre el nivel medio del mar es de 8 m y se encuentra a una distancia de 9,85 km de la costa Sur.

El suelo en que se efectuaron los estudios se clasifica como Ferralítico Rojo, subtipo compactado según Instituto de Suelos (1980), en la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba, que se corresponde con un Alítico Amarillento de Baja Actividad Arcillosa Típico según Cid *et al.* (2012).

La finca tiene la particularidad de contar con una estación Agrometeorológica (Registro de la estación H 349 del INRH) según INRH (2018), con más de 23 años de observaciones donde se registran las variables climáticas como son: Precipitación, Humedad Relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

El área se caracteriza por tener una pluviometría promedio de 1050,0 mm donde ocurre el 80% en el periodo lluvioso y 20% en el periodo poco lluvioso, la temperatura promedio es de 24°C, la Humedad Relativa promedio es de 85%; la velocidad promedio de los vientos son de 8 km·h⁻¹ (2,22 m s⁻¹) y la dirección predominante de Norte Noroeste (NNO) (Registro de la estación H 349 del INRH (2018).

El sistema de riego evaluado fue la aspersión de baja intensidad que cubre un área de 4 ha, el aspersor utilizado es el F 46L, el cual se caracteriza por ser de impacto, con doble boquilla (9/64” + 3/32”), con giro completo de 360°, ángulo de salida de 23°, presión nominal de 250 kPa, gasto nominal de 0,298 L s⁻¹ y radio efectivo de 11,90 m.

Para la evaluación del sistema de riego se utilizaron las siguientes normas:

ASAE (1987) ASAE STANDARD S330.1 (1987): “Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes”.

UNE 68-072-86 (1986). Aspersores rotativos. Requisitos generales y métodos de ensayo.

ISO 15886-3 (2004). *Agricultural irrigation equipment. Sprinklers. Characterization of distribution and test methods*

También se tuvo en cuenta la metodología descrita por:

Merriam y Keller (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*.

Merriam *et al.* (1980). *Evaluating irrigation systems and practices*. In. “Design and operation of farm irrigation systems”.

La determinación del caudal del aspersor se realizó mediante el aforo volumétrico al aspersor utilizado utilizando la siguiente expresión:

$$q = \frac{v}{t} \quad (1)$$

donde: q : caudal del aspersor, (L/s); V : volumen de la cubeta de aforo, (L) y t : tiempo de aforo, (s).

Se obtiene la ecuación que rige el comportamiento del gasto en función de la presión, con sus correspondientes coeficientes de determinación y correlación. Dicha ecuación característica viene dada por:

$$q = K_e \cdot H^x \quad (2)$$

donde: q : caudal emitido, (L/s); H : presión de trabajo, (kPa); K_e y x : constantes características de cada aspersor.

Durante la prueba se midieron las variables climáticas temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento antes

Se efectuaron dos ensayos uno en las primeras horas de la mañana y otro al medio día, se probaron además dos posturas del lateral, marco cobertura cuadrado y triangular.

La uniformidad de distribución se calculó según Merriam y Keller (1978), y se define como:

$$UD = \frac{\text{Altura media del agua recogida en el 25\% de área menos regada}}{\text{altura media de agua recogida}} \cdot 100 \quad (3)$$

donde: *UD*: Uniformidad de Distribución, (%).

Keller y Bliesner (1990, citado por Cardoso y Montiel (2016), definen la Uniformidad de Distribución del Sistema como:

$$UDs = UD \cdot \frac{1}{4} \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{P_n}{P_a} \right)^{0,5} \right] \quad (4)$$

donde: *UDs*: Uniformidad de Distribución del Sistema, (%); *UD*: Uniformidad de Distribución, (%); *P_n*: presión mínima en un aspersor del bloque de riego, (kPa) y *P_a*: presión media de los aspersores del bloque, (kPa).

El Coeficiente de Uniformidad fue desarrollado por Christiansen (1942). Se expresa mediante la expresión siguiente:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

donde: *CU*: Coeficiente de Uniformidad, (%); *X_i*: altura de agua recogida por cada pluviómetro, (mm/h); altura media de agua recogida en el total de los pluviómetros, (mm/h) y *n*: número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

Keller y Bliesner (1990, citado por Cardoso y Montiel (2016), definen el Coeficiente de Uniformidad del Sistema como:

$$CUs = CU \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{P_n}{P_a} \right)^{0,5} \right] \quad (6)$$

donde: *CUs*: Coeficiente de Uniformidad del Sistema, (%); *CU*: Coeficiente de Uniformidad, (%); *P_n*: presión mínima en un aspersor del bloque de riego, (kPa) y *P_a*: presión media de los aspersores del bloque, (kPa).

La eficiencia de descarga se determinó utilizando la expresión propuesta por Tarjuelo (2005).

$$Ed = \frac{\text{altura media de agua recogida}}{\text{altura media de agua descargada}} \cdot 100 \quad (7)$$

donde: *Ed*: Eficiencia de Aplicación, (%).

Los porcentos de áreas regadas se definieron teniendo en cuenta el criterio de Tarjuelo (2005).

Área adecuadamente regada: Porcentaje del área total de la prueba donde se colectaron valores de pluviometría entre el 90 % y el 110 % de la lámina media de la prueba.

Área insuficientemente regada: Porcentaje del área total de la prueba donde se colectaron valores de pluviometría menores que el 90 % de la lámina media de la prueba.

Área excesivamente regada: Porcentaje del área total de la prueba donde se colectaron valores de pluviometría mayores al 110 % de la lámina media de la prueba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la evaluación volumétrica del aspersor (F46-L)

La técnica analítica que se aplica para obtener información de un sistema de riego es la evaluación del riego. Ésta permite realizar un diagnóstico del mismo, determinar su nivel de calidad, y establecer sus debilidades y ventajas. La evaluación del riego no sólo sirve para el diseño, sino que es una fuente primaria de información para el manejo. En ocasiones, la calidad de un sistema de riego puede ser sustancialmente mejorada por acciones que no modifican las infraestructuras de riego (González y Méndez, 2004). En la Tabla 1 se muestra los datos tomados durante la evaluación volumétrica del aspersor en condiciones de campo, donde se puede constatar que para una presión de 250 kPa el caudal del aspersor es de 0,30 L·s⁻¹ lo que equivale a 1 080,0 L·h⁻¹.

TABLA 1. Datos tomados durante la evaluación

Presión (kPa)	Tiempo de aforo (s)				Volumen de aforo (L)	Caudal (L·s ⁻¹)
	T1	T2	T3	Tmed.		
120	71,00	72,00	72,00	71,67	15	0,21
190	56,04	57,10	56,36	56,50		0,27
250	50,36	50,81	49,24	50,14		0,30
360	42,19	42,34	42,98	42,50		0,35

Si comparamos este caudal obtenido en campo, con el suministrado por el fabricante mediante el informe de ensayo realizado por el Laboratorio Central para Ensayo de Materiales y Equipos de Riego del Centro Nacional de Tecnologías de

Riego de Madrid, España según Center (2011), de 1 124 L·h⁻¹ para una presión de trabajo de 250 kPa, solo difiere en - 44 L·h⁻¹ que representa un 4%, valor inferior a la desviación admisible de un ± 5% especificado por la norma.

Con la información de la Tabla 1 se construyó la curva caudal-presión del aspersor de la cual se tiene la ecuación que rige el comportamiento del gasto en función de las presiones, resultando ser de $Q=0,0129H^{0,4727}$ con un coeficiente de determinación de $R^2=0,9983$; que se muestra en la Figura 1.

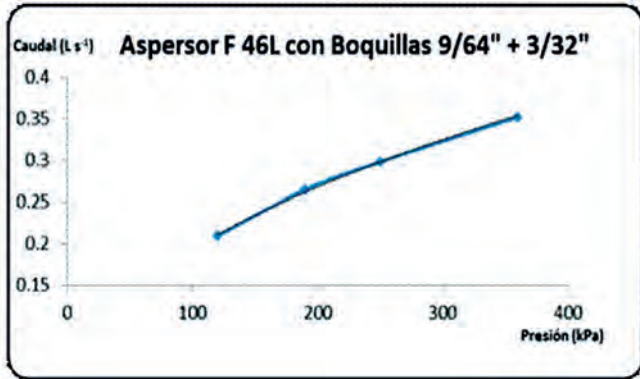


FIGURA 1. Curva caudal-presión del aspersor F46-L.

Comportamiento del patrón de distribución pluviométrica del aspersor individual para diferentes condiciones de viento

El factor climático de mayor relevancia en el comportamiento del patrón de distribución del agua es el viento, debiendo considerarse su velocidad, dirección y persistencia; todo lo cual afecta al diseño general del equipo, así como la disposición de las tuberías. La planificación de operación deberá considerar las horas sin viento y las horas con viento de velocidades menores a 2,5 m·s⁻¹. Faci y Bercero (1991) y Tarjuelo *et al.* (1994), sitúan entre 2,5 y 3,5 m·s⁻¹ el límite general de velocidad del viento por encima del cual no resulta recomendable regar en riego por aspersión.

Ensayo 1

Al aspersor (F46-L) se le realizaron dos evaluaciones, una en las primeras horas de la mañana y otra al medio día, durante las pruebas se efectuaron mediciones de humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento cada 5 minutos. La información recolectada durante el ensayo uno, se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. Datos tomados durante la evaluación número 1, primeras horas de la mañana (9:00 am)

Tiempo (min)	0	5	10	15	20	Promedio
Temperatura (°C)	25,0	25,6	25,6	25,9	26,2	25,7
Humedad relativa (%)	81,0	72,0	72,0	74,4	76,9	75,3
Vel. Viento (m·s ⁻¹)	2,0	3,3	2,8	2,9	1,7	2,5
Dirección del viento	NN-O		NN-O		NN-O	NN-O

Para la evaluación número uno, la velocidad del viento promedio fue de 2,5 m·s⁻¹ con dirección del viento de NN-O.

En la Figura 2 se muestra el patrón de distribución del agua aplicada por el aspersor individual, donde se puede apreciar la gran influencia que provoca tanto la dirección como la velocidad del viento. En la figura se aprecia como el reparto de agua incide mayormente sobre el cuadrante NN-O.

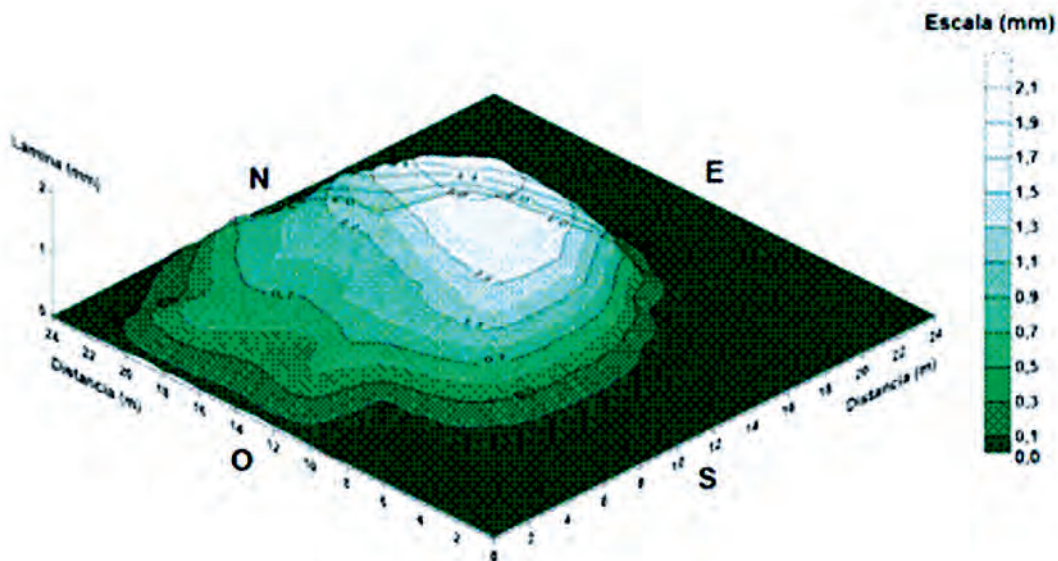


FIGURA 2. Distribución espacial de la pluviometría del aspersor individual con velocidad del viento promedio de 2,5 m·s⁻¹ y dirección predominante del viento NN-O.

En la Tabla 3 se resumen los parámetros de calidad del riego obtenidos donde se aprecia que la lámina media real es inferior en 0,28 mm, mientras que el coeficiente de uniformidad de Christiansen es de 74,42% el cual se considera deficiente para el riego por aspersión semiestacionario según el criterio de Phocaidis (2007), que plantea valores mínimos entre 75% y 80%.

TABLA 3. Parámetros de calidad de riego calculados en la evaluación pluviométrica para velocidad del viento promedio 2,5 m·s⁻¹

Parámetros calculados	Valor
Lámina media real (mm)	0,35
Lámina media teórica (mm)	0,63
Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (%)	74,42
Uniformidad de Distribución (%)	71,47
Eficiencia de Descarga (%)	55,44
Área adecuadamente regada (%)	4,73
Área excesivamente regada (%)	29,00
Área insuficientemente regada (%)	66,27

En correspondencia la uniformidad de distribución y la eficiencia de descarga son bajas con un 71,47% y 55,44% respectivamente, lo que demuestra lo sensible a las variaciones en la distribución del agua de un sistema de riego por aspersión porque considera apenas la media del menor cuartil del total de datos. Paulino *et al.* (2009) y Flórez *et al.*, (2013), muestran observaciones similares al evaluar sistemas de riego por aspersión en cultivo de solanáceas irrigadas y usando varios coeficientes de uniformidad.

En cuanto a los porcentos de áreas regadas se aprecia que el área regada insuficientemente es la mayor con 66,27%.

Ensayo 2

En la Tabla 4 se muestran las variables climáticas monitoreadas durante la prueba donde la temperatura promedio fue de 31,1 °C y la humedad relativa del 48,7%.

TABLA 4. Datos tomados durante la evaluación número 2, al medio día (12:00 am)

Tiempo (min)	0	5	10	15	20	Promedio
Temperatura (°C)	28,6	31,5	33,5	31,3	30,5	31,1
Humedad relativa (%)	51,4	47,2	45,1	50,4	49,5	48,7
Vel. Viento (m·s ⁻¹)	8,5	5,5	5,6	7,9	6,6	6,8
Dirección del viento	NN-O		NN-O		NN-O	NN-O

Para dicha evaluación la velocidad del viento promedio fue de 6,8 m·s⁻¹ con dirección del viento de NN-O. En la Figura 3 se muestra el patrón de distribución del agua aplicada por el aspersor individual, donde se puede reafirmar la gran influencia que provoca tanto la dirección como la velocidad del viento. En la figura se percibe como el reparto de agua incide mayormente sobre el cuadrante NN-O, al igual que en el ensayo uno.

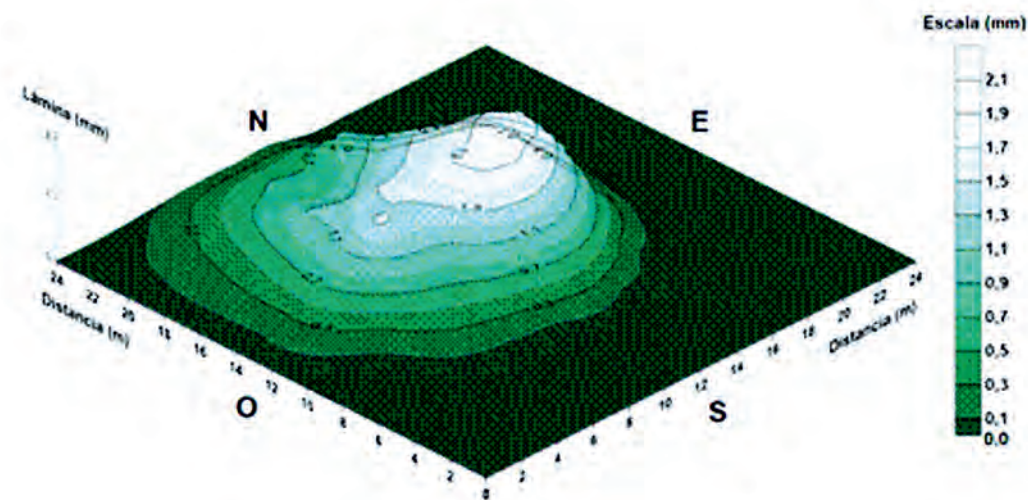


FIGURA 3. Distribución espacial de la pluviometría del aspersor individual con velocidad del viento promedio de 6,8 m·s⁻¹ y dirección predominante del viento NN-O.

Analizando los parámetros de calidad del riego en la Tabla 5 para las nuevas condiciones se aprecia que la lámina teórica difiere de la lámina real en 0,31 mm, el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen alcanza el valor de 70,69% el que también se clasifica de deficiente para el riego por aspersión teniendo en cuenta los mismos criterios antes citados.

Indudablemente el elevado promedio de la velocidad del viento hace que el coeficiente de distribución y descarga sean

inferiores a los obtenidos con la velocidad promedio de 2,5 m·s⁻¹. En evaluaciones llevadas a cabo por Playán *et al.* (2006), informan que dentro de las condiciones meteorológicas el viento es el que más afecta el buen funcionamiento de los sistemas de riego por aspersión. Según Faci y Bercero (1991) y Stambouli *et al.* (2014), también informan que el viento es la variable climática que mayor peso tiene en los resultados de coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución.

TABLA 5. Parámetros de calidad de riego calculados en la evaluación pluviométrica para velocidad del viento promedio 6,8 m·s⁻¹

Parámetros calculados	Valor
Lámina media real (mm)	0,32
Lámina media teórica (mm)	0,63
Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (%)	70,69
Uniformidad de Distribución (%)	43,81
Eficiencia de Descarga (%)	51,54
Área adecuadamente regada (%)	1,18
Área excesivamente regada (%)	29,0
Área insuficientemente regada (%)	69,82

Del estudio realizado se pudo obtener además la pluviometría media para cada presión de trabajo evaluada, como aparece en la Tabla 6.

TABLA 6. Lámina aplicada en (mm h⁻¹) por el aspersor F46-L para las diferentes presiones estudiadas

Presión (kPa)	Lámina media aplicada (mm ·h ⁻¹)
120	0,44
190	0,55
250	0,63
360	0,74

En las Figuras 4 y 5 se muestra la distribución de la lámina aplicada por el aspersor F46-L para la presión de trabajo, así como la distancia de alcance, en estas figuras se obtiene el radio efectivo con el 10% de la pluviometría media.

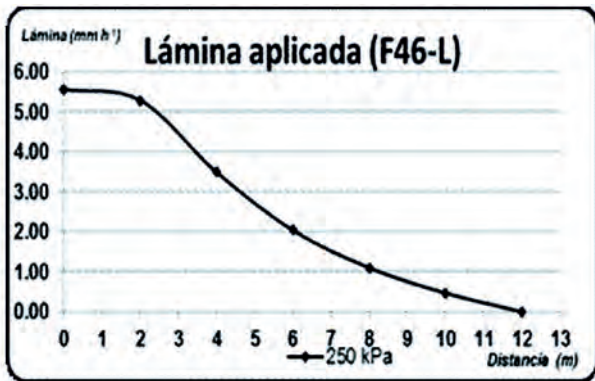


FIGURA 4. Curva lámina aplicada (mm h⁻¹) contra distancia (m) para el aspersor F46-L con presión de trabajo de 250 kPa y velocidad del viento de 2,5 m·s⁻¹.

Para la velocidad del viento de 2,5 m·s⁻¹ y presión de 250 kPa el radio efectivo fue de 11,35 m, mientras que, para la misma presión de trabajo, pero con una velocidad del viento mayor de 6,8 m·s⁻¹ fue de 11,00 m, resultando inferior en 0,35 m. En evaluaciones de campo realizadas por Rodríguez *et al.* (2012), pudo comprobar que en la medida que aumenta la velocidad del viento el alcance efectivo del aspersor disminuye recíprocamente, lo que trae consigo una mala distribución del

agua en la parcela. Por otra parte Keller *et al.* (1981), indicaron que los mismos dependen además del diámetro de la gota que se logra en función de la presión de operación.

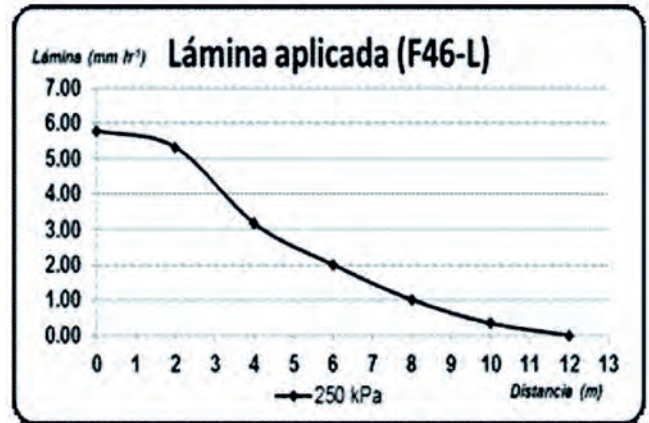


FIGURA 5. Curva lámina aplicada (mm h⁻¹) contra distancia (m) para el aspersor F46-L con presión de trabajo de 250 kPa y velocidad del viento de 6,8 m·s⁻¹

Resultados de la evaluación pluviométrica en cobertura marco cuadrado

Durante la evaluación se tomaron cada cinco minutos valores de velocidad, humedad relativa, temperatura y dirección del viento. La velocidad promedio fue de 1,2 m·s⁻¹, la temperatura promedio fue de 29,4 °C, la humedad relativa media fue del 84,3% y la dirección del viento predominante fue de NN-O.

En la Figura 6 se muestra el diagrama del volumen de agua aplicado por los aspersores en un marco cuadrado de 12 x 12 metros.

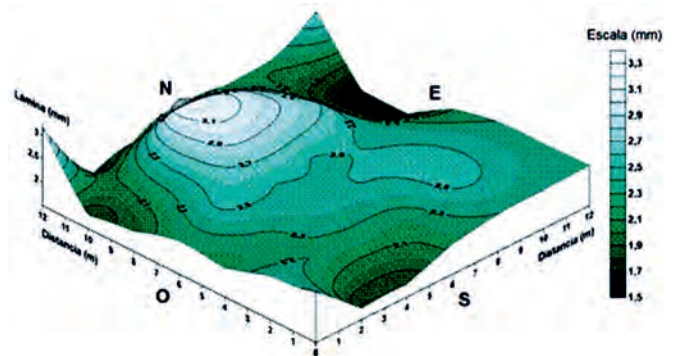


FIGURA 6. Distribución espacial de la pluviometría en el área comprendida entre los cuatro aspersores de la prueba para velocidad del viento promedio de 1,2 m·s⁻¹ y dirección predominante del viento NN-O.

Al estudiar los parámetros de calidad del riego se tiene en la Tabla 7 que el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen se clasifica como bueno para este tipo de sistema de riego por aspersión según Tarjuelo (2005), aunque la Eficiencia de Descarga es elevada resulta razonable si tenemos en cuenta que la velocidad del viento durante la prueba fue de 1,2 m·s⁻¹. El porcentaje de área regada adecuadamente mostró el mayor porcentaje con 57,14%.

TABLA 7. Parámetros de calidad de riego obtenidos para cobertura marco cuadrado

Parámetros calculados	Valor
Lámina media real (mm)	2,31
Lámina media teórica (mm)	2,50
Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (%)	87,14
Uniformidad de Distribución (%)	78,01
Eficiencia de Descarga (%)	92,54
Coefficiente de Uniformidad del Sistema (%)	87,12
Uniformidad de Distribución del Sistema (%)	77,99
Área adecuadamente regada (%)	57,14
Área excesivamente regada (%)	22,45
Área insuficientemente regada (%)	20,41

Resultados de la evaluación pluviométrica en cobertura marco triangular

Durante la evaluación se tomaron cada cinco minutos valores de velocidad, humedad relativa, temperatura y dirección del viento. La velocidad promedio fue de $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la temperatura promedio fue de $30,1 \text{ }^\circ\text{C}$, la humedad relativa media fue del $78,4\%$ y la dirección del viento predominante fue de N-O.

En la Figura 7 se muestra el diagrama del volumen de agua aplicado por los aspersores en un marco triangular de $12 \times 12 \text{ m}$, pero con la distancia de la tubería al primer aspersor de 6 m .

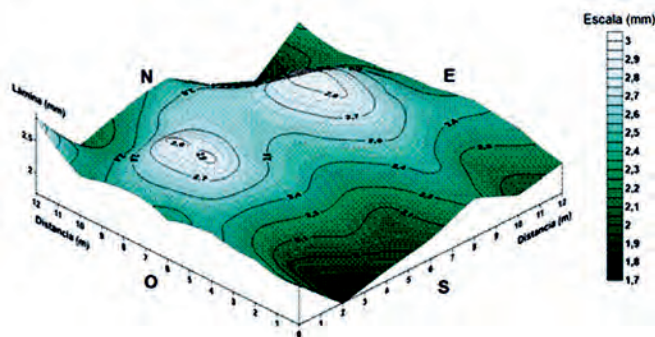


FIGURA 7. Distribución espacial de la pluviometría en el área comprendida entre los cuatro aspersores de la prueba para velocidad del viento promedio de $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y dirección predominante del viento N-O.

Al estudiar los idénticos parámetros, para la condición cobertura marco triangular se observa en la Tabla 8 que el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen es excelente según el criterio de Phocaidés (2007). Para este tipo de disposición del marco de puesta, la uniformidad de distribución y descarga son superiores al marco cuadrado, lo que ratifica la necesidad de adoptar dicha disposición para las condiciones del área de estudio. El mayor porcentaje de área regada es el adecuadamente con $63,26\%$.

TABLA 8. Parámetros de calidad de riego obtenido para cobertura marco triangular

Parámetros calculados	Valor
Lámina media real (mm)	2,35
Lámina media teórica (mm)	2,50
Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (%)	90,46
Uniformidad de Distribución (%)	84,20
Eficiencia de Descarga (%)	94,03
Coefficiente de Uniformidad del Sistema (%)	90,45
Uniformidad de Distribución del Sistema (%)	84,18
Área adecuadamente regada (%)	63,26
Área excesivamente regada (%)	18,37
Área insuficientemente regada (%)	18,37

Consideraciones generales

El Coeficiente de Uniformidad del riego de Christiansen alcanzó valores de $87,14\%$ y $90,46\%$, Tarjuelo (2005), establece una clasificación de la calidad del riego a partir del coeficiente de Uniformidad, donde plantea que, si este parámetro es superior al 90% , la parcela está muy bien regada, cuando oscila entre el 85% y 90% está bien regada y cuando es menor del 85% está mal regada. Atendiendo a este criterio se considera la parcela como bien regada para la prueba entre cuatro aspersores, mientras que para la prueba entre aspersores colocados a tres bolillos se considera como que está muy bien regada. Al respecto Montero *et al.* (1998), en 33 evaluaciones en una zona regable de 700 ha de riego por aspersión en cobertura total, reportan que con velocidades de viento meno-

res de $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ el CU medio fue del $87,4\%$, muy cercano al $87,14\%$ alcanzado en la evaluación con viento de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Al analizar los resultados de la Uniformidad de Distribución, podemos ver claramente el efecto que sobre la distribución del agua en la parcela tiene la acción del viento disminuyendo este parámetro, consecuencia que puede ser vista claramente en la Figura 6 y Figura 7 donde se incrementa la lámina aplicada en el cuadrante NN-O. Según criterios planteados por Bernardo *et al.* (2009), que considera valores de $UD > 84\%$ como excelente y valores de UD entre 68% y 84% como bueno, se puede plantear que la prueba con aspersores colocados a tres bolillos o marco triangular arrojó un valor excelente mientras que la evaluación entre cuatro aspersores o marco cuadrado el resultado obtenido es bueno.

La Eficiencia de descarga puede considerarse como buena según criterios de Tarjuelo *et al.* (1994) y Tarjuelo, (1995). Estimándose unas pérdidas medias por evaporación y arrastre del 7,46% y 5,97% respectivamente para velocidad del viento de 1,2 m·s⁻¹ y 0,9 m·s⁻¹ respectivamente, pérdidas que pueden variar según el propio autor entre un 5 y un 10% para viento cero y aumentar según la velocidad del viento.

El Coeficiente de Uniformidad del Sistema y la Uniformidad de Distribución del Sistema siguieron la tendencia del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen y de la Uniformidad de Distribución, pues al ser un sistema pequeño, instalado en un terreno horizontal las pérdidas de carga en laterales y en la tubería principal fueron despreciables, por tanto la relación entre la presión media de trabajo del aspersor de 250 kPa y la mínima en el aspersor más alejado con valor de 249,8 kPa, es de 0,999 y tiene poca influencia en ambos parámetros en un orden de 0,01% a 0,02% al ser un terreno plano.

Al analizar las áreas adecuadamente, insuficiente y excesivamente regadas podemos constatar, que en ambas pruebas alrededor del 60% del área se humedece adecuadamente y el 80% recibe la media o más del agua que necesita el cultivo como dosis de riego. Por lo tanto, solo un 20% del área queda

insuficientemente regada.

CONCLUSIONES

- El estudio permitió precisar los nuevos parámetros de calidad y explotación del sistema de riego, demostrando que en el marco de cobertura triangular se obtienen los mejores resultados de Coeficiente de Uniformidad de Christiansen con 90,46% y Uniformidad de Distribución de 84,20%.
- En la finca “La Rebeca”, el viento tiene gran incidencia en el deterioro de los parámetros de calidad del riego con el marco de puesta actual, reduciendo el radio de alcance efectivo del aspersor en 0,90 m con respecto al del proyecto, afectando además, el porcentaje de solapamiento.
- Los porcentajes de áreas regadas adecuadamente fueron superiores en la cobertura marco triangular con un 61,22%, confirmando lo efectivo de este marco de puesta para el área de estudio y otras con características similares, de altas velocidades del viento.
- Con la finalidad de mejorar los parámetros de explotación y la gestión del riego en la finca “La Rebeca” adoptar el marco de cobertura triangular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE: *Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes*, Inst. ASAE STANDARD S330.1, 10 p., 1987.
- BASAL: *Informe anual del proyecto Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local*, Inst. BASAL, La Habana, Cuba, 84 p., 2017.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, C.: *Manual de Irrigação*, Ed. Imprensa Universitária, 8.ª ed., Viçosa, Minas de Gerais, Brazil, 2009.
- CARDOSO, B.M.; MONTIEL, V.A.: “Estrategia para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales”, *Revista Ingeniería y Región*, 16(2): 65-71, 2016.
- CENTER: *Informe de ensayo IE-228A11.*, Inst. Laboratorio Central para Ensayo de Materiales y Equipos de Riego del Centro Nacional de Tecnologías de Riego de Madrid, España (CENTER), Madrid, España, 16 p., 2011.
- CHRISTIANSEN, J.E.: *Irrigation by sprinkling*, Inst. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Bulletin 670, Berkeley, California, USA, 1942.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31, 2012, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- FACI, J.M.; BERCERO, A.: “Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión”, *Investigación Agraria: Producción e Protección Vegetal*, 6(2): 171-182, 1991.
- FAOSTAT: *FAOSTAT Database Results, [en línea]*, Inst. Food Agricultural Organization (FAO), 2006, Disponible en: <http://faostat.fao.org>.
- FERNÁNDEZ, R.; AVILA, R.; LÓPEZ, M.; GAVILÁN, P.; OYONARTE, N.: *Manual de riego para agricultores: Módulo 1. Fundamentos del riego*, Ed. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones, Sevilla, España, 2010.
- FLÓREZ, T.N.; ZUTION, G.I.; FEITOSA, D.R.; AGNELLOS, B.E.A.; DEUS, F.P.; DIEGO, R.M.; EIJI, M.E.: “Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión”, *Agro-Ciencia*, 47(2): 107-119, 2013, ISSN: 0716-1689.
- GONZÁLEZ, P.; MÉNDEZ, M.A.: “Panorama del riego y el drenaje en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2): 1-10, 2004, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- INRH: *Registro de la estación H 349 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Güira de Melena, Artemisa, Cuba, 2018.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Clasificación genética de los Suelos de Cuba*, Ed. Editorial Academia, La Habana, Cuba, 28 p., 1980.
- ISO 15886-3: *Agricultural irrigation equipment. Sprinklers. Characterization of distribution and test methods*, 8 p., Vig de 2004.
- KELLER, J.; COREY, F.; WALKER, W.R.; VAVRA, M.: *Evaluation of irrigation systems*, Inst. Irrigation: challenges of the 80's, USA, 95-105 p., 1981.

- Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 9, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre, pp. 27-35), 2019
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J.: *Farm Irrigation System Evaluation: a Guide for Management*, Ed. UTAH State University, USA, 1978.
- MERRIAM, J.L.; SHEARER, M.N.; BURT, C.M.: "Evaluating irrigation systems and practices", En: *Desing and operation of farm irrigation systems*, no. ser. M.E Jensen ASAE monograph n° 3., Ed. ASAE, USA, p. 721 760, 1980.
- MINAG: *Balance de áreas bajo riego*, Inst. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 2010.
- MONTERO, J.; ORTEGA, F.; TARJUELO, J.M.; HONRUBIA, T.: "Análisis de las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión", En: *XV Congreso Nacional de Riegos, Palma de Mallorca*, Palma de Mallorca, España, 1998.
- NAROUA, I.; RODRÍGUEZ, S.L.; SÁNCHEZ, C.R.: "Evaluación de los sistemas de riego por aspersión en la Comunidad de Regantes" Río Adaja" y propuestas para la mejora del manejo del riego", [en línea], En: *XXX Congreso Nacional de Riegos, Albacete 2012*, Ed. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2012, Disponible en: http://oa.upm.es/19378/1/INVE_MEM_2012_140545.pdf.
- PAULINO, M. de O.; FIGUEIREDO, F.P.; FERNANDES, R.C.; MAIA, J.T.; GUILHERME, D. de O.; BARBOSA, F.S.: "Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional", *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 3(2): 48-54, 2009.
- PHOCAIDES, A.: *Handbook on pressurized irrigation techniques*, Ed. Food & Agriculture Org. FAO, 2.ª ed., Rome, Italy, 2007.
- PLAYÁN, E.; ZAPATA, N.; FACI, J.M.; TOLOSA, D.; LACUEVA, J.L.; PELEGRÍN, J.; SALVADOR, R.; SÁNCHEZ, L.; LAFITA, A.: "Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model", *Agricultural Water Management*, 84(1-2): 89-100, 2006, ISSN: 0378-3774, e-ISSN: 1873-2283.
- RODRÍGUEZ, R.; SARMIENTO, O.; COFFINI, J.: *Informe Técnico. Certificación de los resultados de ensayo. Sistema de riego semiestacionario de baja intensidad 1,03 ha*, Inst. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 21 p., 2012.
- STAMBOULI, T.; ZAPATA, N.; FACI, J.M.: "La uniformidad del riego en coberturas fijas de aspersión con aspersores provistos de boquillas de plástico", *Revista Tierras*, (220): 124-131, 2014.
- TARJUELO, J.M.; CARRIÓN, P.; VALIENTE, M.: "Simulación de la distribución del riego por aspersión en condiciones de viento", *Investigación Agraria: Producción e Protección Vegetal*, 9(2): 255-271, 1994.
- TARJUELO, M.B.J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, 1995.
- TARJUELO, M.B.J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi-Prensa, 3.a ed., Madrid, España, Vig de 2005.
- UNE 68-072-86: *Material de riego. Aspersores rotativos. Requisitos generales y métodos de ensayo*, Inst. IRANOR, Vig de 1986.

Enrique Cisneros-Zayas, Investigador y Profesor Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoriegol@iagric.cu

Yobal Venero-Delgado, Ingeniero, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoriegol@iagric.cu

Zenén Placeres-Miranda, Especialista, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoriegol1@iagric.cu

Felicita González-Robaina Investigadora y Profesora Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dpto-ambiente4@iagric.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

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.