

# Evaluación hidráulica del aspersor de impacto modelo RC-FARM

## Hydraulic evaluation of the impact sprinkler RC-FARM model



<https://cu-id.com/2284/v14n1e03>

✉ Enrique Cisneros-Zayas\*, ✉ Carmen Duarte-Díaz,  
✉ Felicitá González-Robaina, ✉ Luis H. Riverol-Marrero

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

**RESUMEN:** Con el objetivo de definir los parámetros hidráulicos de funcionamiento del aspersor modelo *RC FARM* para su utilización en el diseño de los sistemas de riego por aspersión, se desarrolló una evaluación de campo en áreas del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola ubicado en La Habana, Cuba. En la evaluación se probaron dos juegos de boquillas y se siguió el procedimiento que aparece en la Norma Cubana NC ISO 8026:2014. Para caracterizar el rendimiento del aspersor se utilizaron de los indicadores: Coeficiente de uniformidad (CU), Coeficiente Estadístico de Uniformidad (CEU), Uniformidad de Distribución (UD) y Eficiencia de Descarga (Ed). Se evaluó como parte del trabajo las pérdidas que se producen por evaporación y arrastre durante el ensayo. Los resultados muestran que el aspersor modelo *RC FARM* con boquilla 4,70 mm + 3,18 mm se caracteriza por tener un caudal de 1697,0 L h<sup>-1</sup> y un radio de alcance efectivo de 11,28 m mientras que con la boquilla 3,97 mm + 3,18 mm el caudal es de 1476,0 L h<sup>-1</sup> y radio efectivo de 10,15 m, en ambos casos para una presión de 250 kPa. La calidad del reparto de agua para el aspersor evaluado se define como aceptable al tener valores de CU mayores del 70%, CEU por encima del 65% e indicadores de UD y Ed que sobrepasan los de 55 y 63%, respectivamente. Las pérdidas por evaporación y arrastres durante los ensayos alcanzaron valores de 11,54% y 10,61%.

**Palabras clave:** emisor, boquillas, coeficiente de uniformidad, eficiencia de descarga, pérdidas.

**ABSTRACT:** In order to define the hydraulic operating parameters of the *RC FARM* model sprinkler for use in the design of sprinkler irrigation systems, a field evaluation was developed in areas of the Agricultural Engineering Research Institute located in Havana, Cuba. In the evaluation, two sets of nozzles were tested and the procedure that appears in the Cuban Standard NC ISO 8026:2014 was followed. To characterize the performance of the sprinkler, the following indicators were used: Uniformity Coefficient (CU), Statistical Uniformity of Uniformity (CEU), Uniformity of Distribution (UD) and Discharge Efficiency (Ed). The losses produced by evaporation and carryover during the test were evaluated as part of the work. The results show that the sprinkler model *RC FARM* with nozzle 4, 70 mm + 3, 18 mm is characterized by having a flow of 1697,0 L h<sup>-1</sup> and an effective reach radius of 11,28 m while with the nozzle 3,97 mm + 3,18 mm the flow is 1476,0 L h<sup>-1</sup> and effective radius of 10,15 m, in both cases for a pressure of 250 kPa. The quality of the water distribution for the evaluated sprinkler is defined as acceptable as having CU values greater than 70%, CEU above 65% and UD and Ed indicators that exceed 55 and 63%, respectively. Evaporation and carryover losses during the test reached values of 11,54% and 10,61%.

**Keywords:** Emitter, Nozzles, Uniformity Coefficient, Discharge Efficiency, Losses.

### INTRODUCCIÓN

El riego constituye en un factor decisivo en la agricultura para obtener un adecuado rendimiento, por tanto, se requiere incidir en una buena producción que contribuya a la seguridad y soberanía alimentaria de la población (Baltazar & Chipana, 2016). En este entendido, es importante hacer conciencia sobre la necesidad de un manejo apropiado del recurso agua,

utilizándolo con mayor eficiencia y eficacia al momento de aplicar el riego a nivel parcelario, lo cual debería ser el resultado de una planificación acorde con las realidades, sociales, técnicas y productivas. El riego por aspersión es una alternativa tecnológica accesible para el productor y para que este sistema de riego tenga un buen desempeño es necesario realizar un control de la eficiencia y la distribución espacial

\*Autor para correspondencia: Enrique Cisneros-Zayas, [enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu](mailto:enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu), [cisneroszayasenrique@gmail.com](mailto:cisneroszayasenrique@gmail.com)

Recibido: 20/09/2023

Aceptado: 08/12/2023

de la lámina de agua a nivel de la parcela. Asimismo, la dirección y velocidad del viento también son factores que influyen en la adecuada distribución de la lámina del agua de riego.

El uso del sistema de irrigación en los cultivos tiene que ser visto como herramienta que brinda eficiencia, rentabilidad e incremento en la producción, teniendo como función dos aspectos por un lado la indispensabilidad del agua durante la época seca y otro constituir la garantía de la producción como riego complementario cuando la época lluviosa se presenta de forma irregular ([Díaz-Quiroz & Herrera-Pérez, 2019](#)).

La eficiencia del riego por aspersión no pasa sólo por una buena aplicación del agua, sino también por un correcto diseño, es decir, en la selección adecuada de sus principales componentes que incluyen las tuberías, aspersores y accesorios ([Holzapfel et al., 2007](#)).

La evaluación de un sistema de riego, permite determinar, a partir de parámetros cuantitativos, problemas en algún elemento del mismo y determinar la forma en que se está aplicando el riego ([Mansour et al., 2019](#); [Zhang et al., 2019](#)). La uniformidad de aplicación es el parámetro más importante en la evaluación de un sistema de riego, el cual depende del tipo de aspersor, de las condiciones de operación, así como del espaciamiento entre laterales y aspersores ([Mohamed et al., 2019](#); [Tamagi et al., 2018](#)).

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego, permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua, basándose en ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego ([Cisneros et al., 2015](#)).

La modernización de la agricultura cubana y su desarrollo armónico con el resto de la economía nacional requiere aumentar la productividad de los cultivos, para garantizar la estabilidad de los rendimientos y no supeditarlos a las condiciones climáticas. Es por ello que se ha venido ejecutando un amplio plan hidráulico que permita la utilización masiva de distintos sistemas de riego y en especial el riego por aspersión.

En el riego por aspersión, el aspersor constituye el elemento más importante del sistema, pues es el responsable de repartir el agua uniformemente en el terreno. De sus características de caudal y presión depende el diseño agronómico e hidráulico del sistema en general y de la estación de bombeo.

En la actualidad muchos sistemas de riego por aspersión en Cuba han perdido su capacidad de funcionamiento debido, entre otros factores, a la falta de aspersores para su reposición lo que incide en la disminución del tiempo de vida útil del mencionado sistema de riego y a la reducción de áreas irrigadas con este método de riego. Como una posible solución

a la problemática antes mencionada, el país está importando una amplia gama de aspersores, pero se desconocen en muchos casos los parámetros hidráulicos de funcionamiento que faciliten la información necesaria para la proyección y toma de decisión de su importación a gran escala.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se desarrolló en presente trabajo que tiene como finalidad definir los parámetros hidráulicos de funcionamiento del aspersor modelo *RC FARM* para su utilización en el diseño de los sistemas de riego por aspersión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en áreas pertenecientes al Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) del Minag, institución autorizada para la evaluación y validación de sistemas de riego y accesorios. La misma se encuentra ubicada en el municipio de Boyeros, La Habana, Cuba.

Los ensayos se realizaron en las primeras horas de la mañana donde las velocidades del viento son menores. Fueron estudiadas tres presiones de trabajo: 100, 250 y 300 kPa.

El área de los pluviómetros utilizados es de 68,69 cm<sup>2</sup>; Altura del elevador (m): 1,0 m; Tiempo de la prueba: 1h

Para la caracterización del aspersor modelo *RC FARM* a partir de la inspección visual y cálculos teóricos se tuvo en cuenta los criterios de [Fontova de los R & García \(2009\)](#); [Tarjuelo \(2005\)](#).

El caudal teórico y radio de alcance teórico del aspersor se determinó a partir de las expresiones 1 y 2 citadas por [Fontova de los R & García \(2009\)](#).

$$Q_0 = C_g * A_s \sqrt{2g \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \Delta Z \right)} \quad (1)$$

donde:

Q<sub>0</sub>: caudal del aspersor (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

A: área de salida del aspersor (m<sup>2</sup>)

P<sub>1</sub>/γ: carga de presión medida en la base del aspersor (m)

ΔZ: diferencia de nivel entre la base y la sección contraída del chorro (m)

V<sub>1</sub><sup>2</sup>/2g: Carga velocidad en la base del aspersor (m)

C<sub>g</sub>: Coeficiente de gasto (oscila entre 0,7 y 0,9)

Para el estudio se eligió 0,85 según criterio de [González \(2006\)](#)

$$R = 1,55H_0 \left( 1 - \frac{0,95H_0}{4,9 + H_0} \right) \sqrt{1000d} \quad (2)$$

donde:

R: Es el radio de alcance en metros

H<sub>0</sub>: Es la carga a presión en el aspersor en metros de agua.

d: Es el diámetro de la boquilla (que produce el chorro principal) en metros.

Mientras que el radio de alcance efectivo se determinó como la distancia desde el aspersor hasta el punto más remoto en que se deposita un caudal

mínimo del 10% de la pluviometría (mm h<sup>-1</sup>). La determinación del caudal de descarga se realizó por el método de aforo el aspersor

Para la evaluación se utilizó la norma cubana [NC ISO 8026 \(2014\)](#): equipamiento de riego agrícola - aspersores - requisitos generales y métodos de ensayo, la norma [ISO 15886-1: 2015 \(2015\)](#): equipamiento de riego agrícola - aspersores- parte 1: definición de los términos y clasificación, y la norma [ISO 15886-3: 2015 \(2015\)](#): equipamiento de riego agrícola - aspersores- parte 3: caracterización de la distribución y métodos de ensayo.

Los colectores fueron colocados sobre una superficie a nivel a lo largo de ocho radios que son determinados por líneas que se extienden desde el aspersor en ángulos de 45°. En los radios, los colectores serán espaciados a 0,25 m para los aspersores con un diámetro de cobertura de hasta 6 m, o 0,5 m para los aspersores con un diámetro de cobertura mayor de 6 m. El aspersor es colocado en el centro del área de ensayo ([Figura 1](#)).

Inmediatamente después de terminado el ensayo se realizó la lectura de la cantidad del agua en cada uno de los colectores en el área de cobertura del aspersor. El caudal de aplicación de agua, h (mm/h), usando la [expresión \(3\)](#):

$$h = \frac{V}{A} \times \frac{1}{t} \quad (3)$$

donde:

V- volumen colectado en cada colector (mL);

A- área de apertura del colector (m<sup>2</sup>);

t- duración del ensayo (h).

Las condiciones atmosféricas se monitorearon a través de mediciones de la humedad relativa y la temperatura ambiente durante iguales intervalos de tiempo durante el ensayo. Las mediciones de la velocidad y dirección del viento se efectuaron con instrumento colocado a una altura correspondiente a ± 10 % de la altura máxima de la trayectoria del aspersor y se monitorearon constantemente durante el período de ensayo.

#### Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CUC)

El CUC es uno de los indicadores más comunes de la uniformidad del aspersor, predominantemente por razones históricas, el mismo se calculó utilizando la [expresión \(4\)](#).

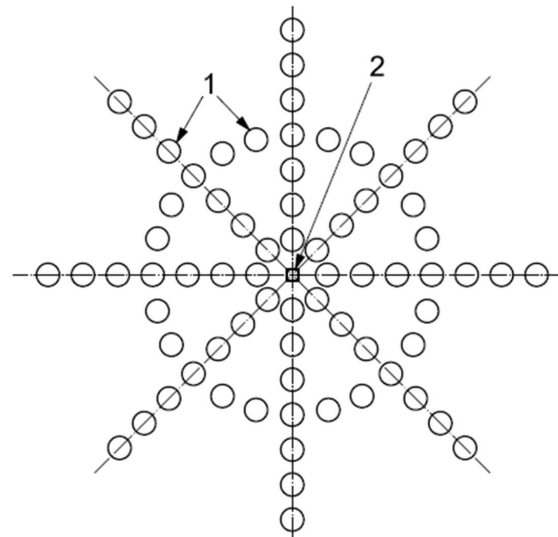
$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{d}{m}\right] \quad (4)$$

donde:

CUC: coeficiente de uniformidad de Christiansen

#### Coefficiente estadístico de uniformidad (CEU)

Este coeficiente fue propuesto por primera vez por Wilcox y Swailes (1947 citado por norma cubana [NC ISO 15886-1: 2015 \(2015\)](#)). Lo preferían al CUC debido a la utilidad de la desviación estándar como una medida de la dispersión en la teoría de la



1) Colector y 2) Aspersor de ensayo

**FIGURA 1.** Cobertura del patrón de cobertura del aspersor usando en el ensayo.

estadística. También ha sido llamado coeficiente Wilcox-Swailes, en honor a sus proponentes, [expresión 5](#).

$$CEU = 100 \cdot \left[1 - \frac{s}{m}\right] \quad (5)$$

donde:

CEU: coeficiente de uniformidad estadístico

#### Uniformidad de distribución (UD)

La uniformidad de distribución se calculó según Merriam and Keller (1978) citado por [Tarjuelo \(2005\)](#), y se define según la [expresión 6](#) como:

$$UD_{25\%} = 100 \frac{V_{25\%}}{V} = \frac{100}{V} \left( \frac{\sum Li \cdot Si}{\sum Si} \right)_{25\%} \quad (6)$$

donde:

UD<sub>25%</sub>: Uniformidad de Distribución, (%)

V<sub>25%</sub>: promedio del volumen recogido del 25% de los valores más bajos

V: promedio de todos los valores.

#### Eficiencia de Descarga (Ed)

Indica la relación entre el agua recogida por los pluviómetros y el agua descargada por los aspersores para ello se auxilió de la metodología propuesta por [Tarjuelo \(2005\)](#), mediante la [expresión 7](#).

$$Ed = \frac{\text{alturamediadeguarrecogida}}{\text{alturamediadeguaadescargada}} \cdot 100 \quad (7)$$

donde:

Ed: Eficiencia de Descarga, (%).

Para definir los por ciento de áreas regadas se siguió el criterio propuesto por [Tarjuelo \(2005\)](#).

#### Determinación de las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA)

El Déficit de presión de vapor (DPV) mide la diferencia, en términos de presión, entre el vapor de

agua en el aire y el punto de saturación del aire, que es la cantidad máxima que el aire puede transportar a su temperatura actual; el punto de saturación completa también se llama punto de rocío.

El DPV se puede obtener a partir de la [expresión 8](#) (Allen et al., 1998).

$$ea - es = 0,6108$$

$$\left\{ \left[ \exp\left(\frac{17,29T_a}{T_a + 237,3}\right) \right] - \left[ \exp\left(\frac{17,27T_{rocio}}{T_{rocio} + 237,3}\right) \right] \right\} \quad (8)$$

donde:

(ea -es) Déficit de presión de vapor (kPa)

Ta. Temperatura ambiente (°C)

Trocio. Temperatura de rocío (°C)

Para los efectos de este estudio, las Pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) han sido estimadas a partir de la [ecuación 9](#) (Medina, 2006 citado por Bonet-Pérez et al. (2023).

$$PEA = 4,85 + 0,37Vv + 3,34DPV \quad (9)$$

donde:

PEA: Pérdidas por evaporación y arrastre (%)

Vv: Velocidad del viento (m s<sup>-1</sup>)

DPV: Déficit de presión de vapor (kPa)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Caracterización del aspersor modelo RC FARM a partir de la inspección visual y cálculos teóricos*

El aspersor en estudio a partir de la inspección visual se caracteriza por ser de choque o impacto, de doble boquillas (principal y auxiliar) con un ángulo de salida de la boquilla principal de 23°, construido con materia prima de alta calidad (definido por la calidad en la terminación y el criterio de expertos), el mismo es de giro completo (360°) y por el tiempo de giro se caracteriza por ser de giro lento. La boquilla auxiliar consta de una ranura de 2,0 mm que le permite una mejor distribución del agua cerca del aspersor. Según el radio de alcance es de chorro corto y por la intensidad de la lluvia clasifica de media intensidad. Por último, es denominado de baja presión. Para el retorno del brazo oscilante posee un muelle de acero inoxidable de 10 vueltas y un diámetro Ø de 1,4 mm. La rosca base es de -" hembra. En las [Figuras 2](#) a la [4](#) se muestran al aspersor con los dos tipos de boquillas principales y el detalle de la boquilla auxiliar.

A partir de los cálculos teóricos el caudal del aspersor con la combinación de boquillas 4,70 mm + 3,18 mm es de 1747,9 L h<sup>-1</sup> con un radio de alcance de 17,28 m. Para la combinación 3,97 mm + 3,18 mm el caudal es de 1697,0 L h<sup>-1</sup> y un radio de alcance de 15,88 m. Ambos parámetros fueron determinados para una presión de operación de 2,5 atm (250 kPa). La intensidad de la lluvia es de 7,38 mm h<sup>-1</sup> y 7,01 mm h<sup>-1</sup> para ambas combinaciones de boquillas, respectivamente.



FIGURA 2. Aspersor con boquilla azul  
4,70 mm + 3,18 mm.



FIGURA 3. Aspersor con boquilla verde  
3,97 mm + 3,18 mm.



FIGURA 4. Detalle de la boquilla auxiliar 3,18 mm.

**Condiciones atmosféricas durante la prueba**

Conocer el comportamiento de las variables climáticas durante la evaluación hidráulica de un sistema de riego por aspersión en condiciones de campo adquiere gran importancia teniendo en cuenta que las mayores pérdidas de agua en una parcela se producen entre otras causas por evaporación y el arrastre del viento. En las [Tablas 1](#) y [2](#) se aprecian el comportamiento de las variables climáticas durante las pruebas.

Como se observa en las tablas anteriores durante el ensayo temperatura tuvo comportamiento muy similar y en correspondencia con la temperatura histórica de la zona, la humedad relativa también mostro idéntico valor y la velocidad del viento se comportó por debajo de los límites permisibles para el riego por aspersión para las pruebas o ensayos según la [Norma Cubana NC ISO 8026 \(2014\)](#), donde indica que la velocidad del viento media permisible no excederá de 1,3 m s<sup>-1</sup> y, en ningún caso, la velocidad del viento máxima excederá de 2,2 m s<sup>-1</sup>.

**Definición de los parámetros hidráulico de funcionamiento**

**Determinación de la curva caudal - presión para el aspersor modelo RC FARM con dos juegos de boquillas.**

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, 2007](#)).

Para la boquilla de 4,70 mm + 3,18 mm el caudal teórico trabajando a una presión de 25 m (250 kPa) es de 1747,9 L h<sup>-1</sup> equivalente a 0,49 L s<sup>-1</sup>. Para la boquilla de 3,97 mm + 3,18 mm dicho caudal teórico trabajando a idéntica presión de 25 m (250 kPa) es de 1549,8 L h<sup>-1</sup> que equivale a 0,43 L s<sup>-1</sup>. Como muestran la [Figura 5](#) y [Figura 6](#).

Al comparar los valores teóricos con los obtenidos de la evaluación de campo, se pudo conocer que para la misma presión de trabajo estos alcanzan un valor de 1697,0 L h<sup>-1</sup> para la boquilla 4,70 mm + 3,18 mm y 1476,0 L h<sup>-1</sup> para las boquillas 3,97 mm + 3,18 m, que representan el 3% y 5% inferiores al teórico, respectivamente.

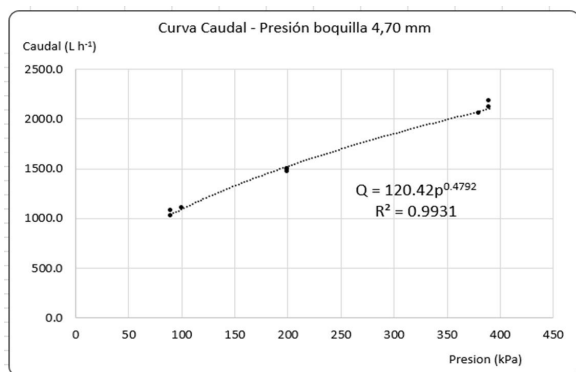
Estudios similares ha sido informados por [Rodríguez et al. \(2012\)](#) evaluando un sistema de riego por aspersión en condiciones parecidas a la del estudio, donde la diferencia de caudal entre el teórico y el real determinado en prueba de aforo, está en el orden del 5%.

**TABLA 1.** Variables climáticas durante la prueba con Boquillas 4,70 mm + 3,18 mm

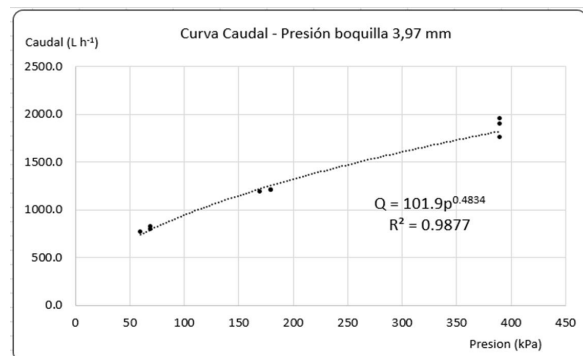
Variables climáticas	1	2	promedio
Temperatura (°C)	30,4	31,9	31,2
HR (%)	82,3	75,14	78,72
Vv (m s <sup>-1</sup> )	0,59	1,09	0,84

**TABLA 2.** Variables climáticas durante la prueba con Boquillas 3,97 mm + 3,18 mm

Variables climáticas	1	2	promedio
Temperatura (°C)	31,3	29,4	30,3
HR (%)	66,3	81,1	73,7
Vv (m s <sup>-1</sup> )	0,50	0,26	0,38



**FIGURA 5.** Curva caudal presión boquilla 4,70 + 3,18 mm.



**FIGURA 6.** Curva caudal -presión boquilla 3,97 + 3,18 mm.

**Determinación del radio de alcance efectivo del aspersor modelo RC FARM**

El radio de alcance es el parámetro que define el marco de puesta entre aspersores y laterales, por tanto, tiene un gran peso en el diseño agronómico e hidráulico del sistema.

Rodríguez et al. (2012) citados por Uribe et al. (2021), exponen que el viento tiene gran incidencia en el deterioro de los parámetros de calidad del riego, reduciendo el radio de alcance efectivo del aspersor; en evaluaciones de campo realizadas en sistemas de riego por aspersión, pudieron comprobar que en la medida en 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.

Del estudio de pluviometría realizado a ambos aspersores se puede observar en las Figuras 7 y 8 el comportamiento de la distribución de la lámina para las diferentes presiones, en todos los casos se tiene la mayor lámina aproximadamente entre los 2 y 6 m, seguidamente existe una caída de las mismas hasta llegar a cero. En las dos combinaciones de boquillas los radios de alcance se encuentran entre los 8 y 14 m.

Para definir el radio de alcance efectivo se tomó el 10% de la pluviometría media de cada aspersor resultando ser de 11,28 m para la boquilla 4,70 mm + 3,18 mm y de 10,15 m para la boquilla 3,97 mm + 3,18 mm

3,18 mm, en ambos casos para la presión de operación de 250 kPa.

En estudios realizados por Cisneros-Zayas et al. (2019) informan que el radio de alcance efectivo por lo general es menor que el radio de alcance teórico ya que el mismo es afectado por el viento y por factores constructivos. 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.

**Caracterización de la uniformidad de los patrones del aspersor**

Conocer el patrón de distribución de un aspersor es importante porque nos indica cómo será el reparto del agua dentro de la parcela. En la Figura 9 se puede observar como para la boquilla principal con diámetro de 4,70 mm existe una zona de alta pluviometría próxima al aspersor la que disminuye en la medida que se aleja, la vista en planta, muestra como el reparto del agua es muy similar en todos los sentidos con un modelo de distribución triangular característico de los aspersores que trabajan con dos boquillas (principal y auxiliar) y donde según Tarjuelo (2005) se consiguen los mayores coeficientes de uniformidad. Para dicha boquilla la lámina aplicada en algunas zonas llega a los 9,5 mm h<sup>-1</sup>.

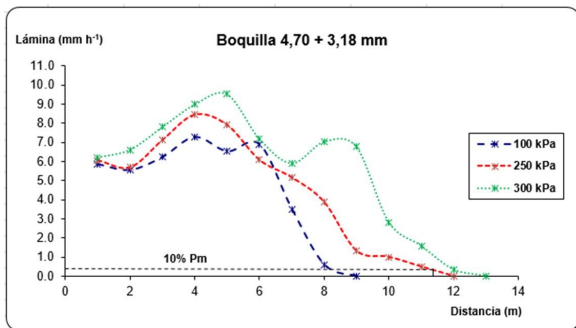


FIGURA 7. Pluviometría vs Radio de alcance del aspersor modelo RC FARM

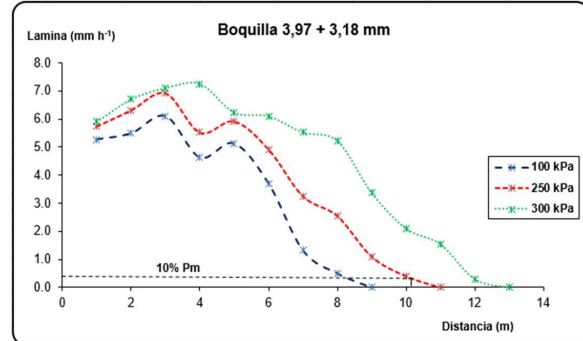


FIGURA 8. Pluviometría vs Radio de alcance del aspersor modelo RC FARM.

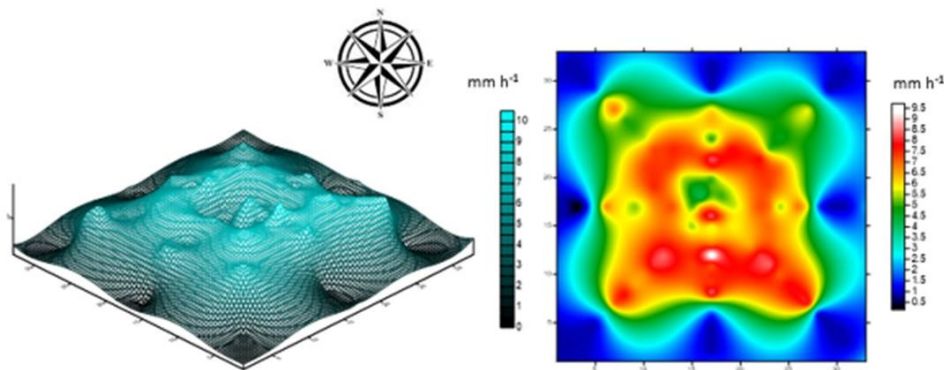


FIGURA 9. Boquilla 4,70 + 3,18 mm a la presión de 250 kPa

Cuando realizamos idéntico análisis para la boquilla principal 3,97 mm tenemos en la [Figura 10](#), que el comportamiento es muy similar al anterior, un modelo de distribución triangular con un ligero aumento de la distancia en la dirección Sur-Este. Obsérvese que aun con intensidades de aplicación muy próximas a las de la boquilla de 4,70 mm, existe una reducción del diámetro efectivo. Elementos a tener en cuenta cuando diseñamos sistemas de riego por aspersión, pues de ello depende la separación entre los mismos y la intensidad de la lluvia.

La terminología utilizada para describir el comportamiento del riego al nivel de parcela incluye normalmente los términos de eficiencia y uniformidad, refiriéndose esta última al grado de igualdad de dosis recibida por los diferentes puntos de la parcela. Lamentablemente, no existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios parámetros a la vez ([Nin, 2008](#)).

Haciendo un análisis de la calidad de riego a través de sus diferentes parámetros se tiene en la [Tabla 3](#) que la lámina media aplicada es de 6,68 mm; el coeficiente de Christiansen es de 73,56% el cual se cataloga como regular para los sistemas de riego por aspersión según [Tarjuelo et al. \(1994\)](#). En consecuencia, la eficiencia de descarga es de 65,49%.

En la [Tabla 4](#) aparecen los resultados obtenidos de la evaluación de campo para el mismo aspersor, pero con diferente juego de boquillas donde la lámina aplicada es de 6,35 mm h<sup>-1</sup>, el Coeficiente de Uniformidad obtenido es de 70,42% y una

Uniformidad de Distribución del 54,20%. Al contrastar los valores obtenidos con lo que se observa en los patrones de distribución del agua confirmamos que existe una correspondencia, lo que indica la fiabilidad de dichos parámetros para clasificar la calidad del riego en una parcela.

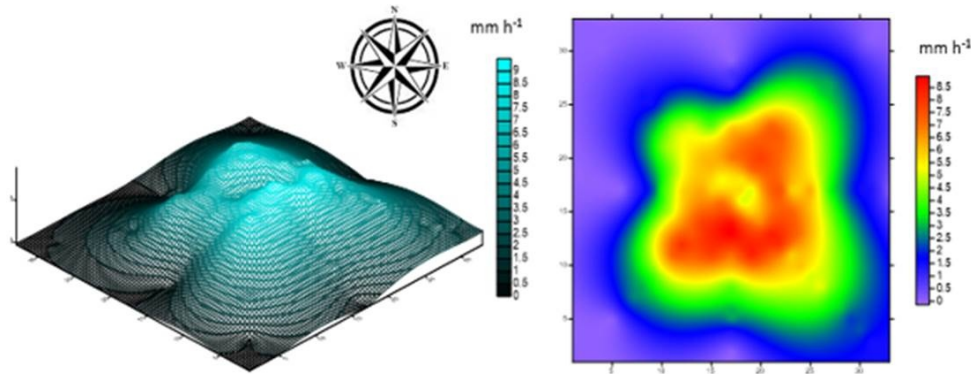
Al analizar el comportamiento de los parámetros de porcentaje de CU y UD de acuerdo a la velocidad del viento [Monterroso et al. \(2020\)](#) informaron que de manera general un aumento y descenso casi en la misma proporción de los parámetros de acuerdo a las condiciones de viento.

En sentido general cuando se hace una valoración del comportamiento del aspersor trabajando a una presión de 250 kPa para ambas boquillas se tiene que los valores de CU > 70% son considerados como aceptables cuando se trabaja con un solo aspersor, como es el caso, según [Stambouli et al. \(2014\)](#).

La Uniformidad de Distribución y la Eficiencia de Descarga mostraron valores muy similares para ambas boquillas encontrándose eficiencias de descarga por encima del 63%. Resultados similares fueron informados por [Tarjuelo \(2005\)](#) realizando estudio con diferentes modelos de aspersores y bajo disimiles presiones y velocidades del viento.

#### *Estudio de las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre durante la evaluación de campo*

La determinación de las pérdidas por evaporación y arrastre durante el proceso de riego por aspersión es compleja al estar afectada por gran cantidad de



**FIGURA 10.** Boquilla 3,97 + 3,18 mm a la presión de 250 kPa.

**TABLA 3.** Parámetros de calidad del riego para boquilla 4,70 mm + 3,18 mm trabajando a la presión de 250 kPa

Parámetros calculados	Unidad	valor
Caudal	L h <sup>-1</sup>	1697,0
Radio de alcance	m	11,28
Velocidad del viento	m s <sup>-1</sup>	0,84
Lámina real	mm h <sup>-1</sup>	6,68
Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	%	73,56
Coefficiente Estadístico de Uniformidad (CEU)	%	69,87
Uniformidad de Distribución (UD)	%	58,12
Eficiencia de Descarga (Ed)	%	65,49

variables, en muchos casos difíciles de medir y controlar con precisión (Seginer et al., 1991).

A partir del valor de Déficit de Presión de Vapor (DPV) obtenido y las velocidades de viento consideradas para cada ensayo, con boquilla principal de 4,70 mm el déficit (DPV) (ea-es) es de 1,91 kPa y las Pérdidas por Evaporación y Arrastre (PEA) son del 11,54%.

Para la prueba con boquilla principal de 3,97 mm el DPV (ea-es) es de 1,68 kPa y las PEA son del 10,61%. Estas se consideran aceptables teniendo en cuenta lo señalado por Talel et al. (2011) que argumentan que las PEA pueden alcanzar valores de hasta 40%, mayoritariamente entre 2 y 15%; por encima del 15% no se recomienda el riego.

Refiriéndose a las PEA, Martínez-Cob et al. (2005) expresan que algunos autores señalan que estas pérdidas son del orden del 5-10% bajo condiciones de demanda evaporativa moderada, sin embargo, otros han indicado que las PEA pueden superar el 20%. Mientras que autores como Playán et al. (2006) y Tarjuelo (2005) donde se refieren a las pérdidas que se producen por evaporación y arrastre durante el riego informan que estas pueden alcanzar hasta un 40%.

#### Referencia para la selección del aspersor modelo RC FARM

Una información necesaria para el dimensionamiento de los sistemas de riego por aspersión es la referida a las características de los aspersores, pues de ellos depende en gran medida el diseño agronómico e hidráulico, incide en el dimensionamiento de las tuberías y en la presión necesaria en la estación de bombeo. Además, es de gran utilidad para los ingenieros y proyectistas de las

diferentes instituciones encargadas de los proyectos ingenieros en áreas agrícolas y de técnicos encargados de la explotación y mantenimiento de dichos sistemas de riego por aspersión. En la [Tabla 5](#) se resumen para el aspersor estudiado el caudal y radio de alcance para diferentes presiones de trabajo.

#### Especificaciones

- Aspersor de impacto círculo completo.
- Rosca base –” hembra.
- Doble boquilla, principal y secundaria.
- Ángulo trayectoria boquilla 23°.
- Eje brazo y muelles en acero inoxidable.
- Eje brazo con el diámetro del extremo superior.
- Expandido para una mejor fijación en el cuerpo aspersor.
- Boquillas codificadas por colores y medidas grabadas en milímetros y pulgadas para una inequívoca identificación.
- Retén con anti giro entre cuerpo aspersor y muelle de compresión.

#### CONCLUSIONES

- El aspersor estudiado clasifica como de choque o impacto, de doble boquillas, con un ángulo de salida de 23°, el mismo es de giro lento y círculo completo (360°). Según el radio de alcance es de chorro corto y por la intensidad de la lluvia clasifica de media intensidad. Por último, es denominado de baja presión.

**TABLA 4.** Parámetros de calidad del riego para boquilla 3,97 mm + 3,18 mm trabajando a la presión de 250 kPa

Parámetros calculados	Unidad	valor
Caudal	L h <sup>-1</sup>	1476,0
Radio de alcance	m	10,15
Velocidad del viento	m s <sup>-1</sup>	0,38
Lámina real	mm h <sup>-1</sup>	6,35
Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	%	70,42
Coefficiente Estadístico de Uniformidad (CEU)	%	65,95
Uniformidad de Distribución (UD)	%	54,20
Eficiencia de Descarga (Ed)	%	63,42

**TABLA 5.** Resumen del aspersor modelo RC FARM

RC FARM	Presión (kPa)	Boquillas 4,70 mm + 3,18 mm		Boquillas 3,97 mm + 3,18 mm	
		L h <sup>-1</sup>	R (m)	L h <sup>-1</sup>	R (m)
Dos Boquillas	100	783,8	9,18	662,1	8,00
	250	1697,0	11,28	1476,0	10,15
	300	2351,5	12,49	1986,2	11,99



- Los parámetros hidráulicos de funcionamiento del aspersor modelo *RC FARM* con boquilla 4,70 mm + 3,18 mm se caracteriza por tener un caudal de 1697,0 L h<sup>-1</sup> y un radio de alcance efectivo de 11,28 m. Con la boquilla 3,97 mm + 3,18 mm el caudal es de 1476,0 L h<sup>-1</sup> y radio efectivo de 10,15 m, en ambos casos para una presión de operación de 250 kPa.
- La calidad del reparto de agua para el aspersor evaluado se define como aceptable al tener valores de Coeficiente de Uniformidad mayores del 70%, Coeficiente Estadístico de Uniformidad por encima del 65% e indicadores de Uniformidad de Distribución y Eficiencia de Descarga que sobrepasan los 55 y 63%, respectivamente.
- En el polígono de evaluación las pérdidas por evaporación y arrastres durante el ensayo alcanzaron valores de 11,54% y 10,61%.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56, 300.
- Baltazar, P. I., & Chipana, M. G. (2016). Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación, mediante el método de riego por aspersión en la Estación Experimental Choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(1), 18-29, ISSN: 2409-1618.
- Bonet-Pérez, C., Agramonte-Almanza, A., Mola-Fines, B., Rodríguez, D., Guerrero-Posada, P. A., & Morales-Avilés, Y. (2023). Evaporation and Drag Losses in Different Techniques of Sprinkler Irrigation. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(1), e-ISSN: 2071-0054.
- Cisneros, Z. E., Cun, G. R., & Duarte, D. C. (2015). Como mejorar la operación de los sistemas de riego utilizados para la producción de hortalizas en condiciones de agricultura urban. *Agrotecnia de Cuba*, 39(7), 7-19.
- Cisneros-Zayas, E., Venero-Delgado, Y., Placeres-Miranda, Z., & González-Robaina, F. (2019). El viento y su influencia en los parámetros de calidad del riego. *Ingeniería Agrícola*, 9(4), 27-35, ISSN-2306-1545, ISSN-2227-8761.
- Díaz-Quiroz, V. S., & Herrera-Pérez, M. R. (2019). *Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del sistema de riego por aspersión, en la finca experimental el Plantel, de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, 2016-2017* (pp. 58, Publisher: Universidad Nacional Agraria). Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua.
- Fontova de los R, M. Y., & García, R. E. (2009). *Ingeniería de Riego*. LT. Editora Félix Varela, La Habana, Cuba.
- González, P. (2006). Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las maquinas de riego por aspersión. *Informe final, Proyecto*, 22-18.
- González, P. (2007). Introducción al riego y drenaje. *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje Instituto de Investigaciones del Riego y Drenaje. Cuba*, 66.
- Holzappel, E. A., Pardo, X. M., Paz, V. P. da S., Rodrigues, A., Orrego, X. C., & Lopez, M. A. (2007). Análisis técnico-económico para selección de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11, 557-563, ISSN: 1807-1929, Publisher: SciELO Brasil.
- ISO 15886-1: 2015. (2015). *Equipamiento de riego agrícola—Aspersores- Parte 1: Definición de los términos y Clasificación* [Publicada por la ISO en 2012]. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba.
- ISO 15886-3: 2015. (2015). *Equipamiento de riego agrícola – aspersores –parte 3: Caracterización de la distribución y métodos de ensayo* [Publicada por la ISO en 2012]. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba.
- Keller, J., Corey, F., Walker, W. R., & Vavra, M. (1981). *Evaluation of irrigation systems*. Irrigation: challenges of the 80's, USA.
- Mansour, H. A., El-Hady, M., Eldardiry, E., & Aziz, A. (2019). Wheat crop yield and water use as influenced by sprinkler irrigation uniformity. *Plant Archives*, 19(2), 2296-2303.
- Martínez-Cob, A., Zapata-Ruiz, N., Sánchez-Marcos, I., Playán-Jubillar, E., Salvador-Esteban, R., & Faci-González, J. M. (2005). *Variabilidad espacio-temporal de las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre en el valle medio del Ebro*. XXIII Congreso Nacional de Riegos (Elche, España. 14-16 junio 2005), 113-115.
- Mohamed, A., Peters, R. T., Zhu, X., & Sarwar, A. (2019). Adjusting irrigation uniformity coefficients for unimportant variability on a small scale. *Agricultural Water Management*, 213, 1078-1083, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.017>.
- Monterroso, H., Chang, M., Calderón, J. Y., & Montejo, V. (2020). *Evaluación de calidad de riego de aspersores de mediana presión y estrategia para mejorar su operación*. Cengicaña: Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2019 – 2020.
- NC ISO 8026: 2014. (2014). *Equipamiento de riego agrícola – aspersores. Requisitos generales y*

- métodos de ensayo [NC ISO]. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba.
- Nin, R. (2008). *Tecnología del Riego por aspersión estacionario. Calibración y validación de un modelo de simulación* [Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España]. [www.academia.edu/download/36944150/117446\\_RIEGO\\_TECNIFICADO.pdf](http://www.academia.edu/download/36944150/117446_RIEGO_TECNIFICADO.pdf)
- Playán, E., Zapata, N., Faci, J., Tolosa, D., Lacueva, J., Pelegrín, J., Salvador, R., Sánchez, I., & Lafita, A. (2006). Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. *Agricultural Water Management*, 84(1-2), 89-100, ISSN: 0378-3774, Publisher: Elsevier.
- Rodríguez, R., Sarmiento, O., & Coffini, J. (2012). *Informe Técnico. Certificación de los resultados de ensayo. Sistema de riego semiestacionario de baja intensidad 1,03 ha* (p. 21) [Informe técnico]. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- Seginer, I., Kantz, D., & Balmori, D. M. (1991). The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. *Agricultural water management*, 19(4), 341-359, ISSN: 0378-3774, Publisher: Elsevier.
- Stambouli, T., Zapata-Ruiz, N., Playán-Jubillar, E., & Faci-González, J. M. (2014). La uniformidad del riego en coberturas fijas de aspersión con aspersores provistos de boquillas de plástico. *Revista Tierras*, 220, 124-131, ISSN: 1889-0776, Publisher: Gestora de Comunicaciones de Castilla y León.
- Talel, B. S., Zapata, R. N., Martínez, C. A., & Faci, J. G. M. (2011). *Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre y de los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión de alfalfa*. XXIX Congreso Nacional de Riegos «Hacia un regadío eficiente y rentable» (29º. Córdoba. 7-9 junio 2011), Córdoba.
- Tamagi, J. T., Uribe-Opazo, M. A., Vilas-Boas, M. A., Johann, J. A., & Guedes, L. P. C. (2018). Spatial variability of the water depth applied by fixed sprinkler irrigation systems. *Engenharia Agrícola*, 38, 188-196, 0100-6916, DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n2p188-196/>.
- Tarjuelo, J., Carrión, P., & Valiente, M. (1994). Simulación de la distribución del riego por aspersión en condiciones de viento. *Investigación Agraria: Producción e Protección Vegetal*, 9(2), 255-271, ISSN: 0213-5000.
- Tarjuelo, J. M. B. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología* (Centro Regional de Estudios del Agua-CREA-Universidad de Castilla-La Mancha). Ediciones Mundi Prensa. 3ª Edición. Madrid, España.
- Uribe, C., Lagos, L., & Holzaphel, E. (2021). *Pivote central, Inst* [Informe central]. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Riego. Corporación de Fomento de la Producción. Gobierno de Chile, Informe central.
- Zhang, Y., Guo, J., Sun, B., Fang, H., Zhu, D., & Wang, H. (2019). Modeling and dynamic-simulating the water distribution of a fixed spray-plate sprinkler on a lateral-move sprinkler irrigation system. *Water*, 11(11), 2296, ISSN: 2073-4441, DOI: <https://doi.org/10.3390/w11112296>.

Enrique Cisneros-Zayas, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353a. Carmen Duarte Díaz, Inv. Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353a, e-mail: [carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu](mailto:carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu).

Felicita González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: [felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu](mailto:felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu).

Luis Hirán Riverol Marrero, Ing. Hidráulico, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: [luis.riverol@iagric.minag.gob.cu](mailto:luis.riverol@iagric.minag.gob.cu).

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

**AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization:** E. Cisneros, C. Duarte. **Data curation:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González, L.H. Riverol. **Formal analysis:** E. Cisneros, F. González, L.H. Riverol. **Investigation:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González, L.H. Riverol. **Methodology:** E. Cisneros, F. González, L.H. Riverol. **Software:** E. Cisneros, F. González, L.H. Riverol. **Supervision:** E. Cisneros, C. Duarte, **Validation:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González. **Writing-original draft:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González. **Writing-review & editing:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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.