

## **RIEGO Y DRENAJE**

### **ARTÍCULO ORIGINAL**

# **Evaluación de la calidad de riego de máquinas móviles (enrolladores)**

## *Evaluation of the irrigation quality of reel machines*

M.Sc. Esequiel R. J. Espinosa<sup>1</sup>, M.Sc. Lorenzo M. San José<sup>1</sup>, Ing. Josemar Zanette<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>11</sup> Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN.** El objetivo de este artículo es determinar los parámetros de calidad de riego de los enrolladores en condiciones reales de operación. Para la evaluación se procedió con la metodología ISO 8224-1, donde se determinaron parámetros de calidad de riego como coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) e intensidad de aplicación (*Ia*). Sobre este último indicador se realizaron mediciones de caudal y anchura mojada a diferentes presiones de trabajo (130, 150 y 250 kPa) en una modalidad de enrollador con ala piovana y luego se comparó con la velocidad de infiltración del suelo. Para la determinación de las áreas regadas adecuadamente, excesivamente e insuficientemente (ARA, ARE y ARI), se procedió con la metodología ISO 11545:2009 basándose en el 10% por encima y por debajo de la lámina media. También se realizó un análisis de correlación (*r*) para valorar la asociación entre las variables de calidad de riego con la velocidad del viento. Como resultado se obtuvo que no hubo correspondencia entre la velocidad del viento y los parámetros de calidad de riego, pero sí influye negativamente cuando esta variable climática incide de manera diagonal y perpendicular a la dirección del movimiento del aspersor. En cuanto al ala piovana, se obtuvieron los mejores parámetros de calidad de riego a la presión de trabajo de 150 kPa y la *Ia* fue inferior; pero superan la velocidad de infiltración básica del suelo. Por tanto se concluyó que la solución sería aumentar la anchura mojada de los emisores para repartir el caudal en mayor área humedecida. Finalmente se recomendó realizar estudios sobre la combinación óptima entre la distribución del agua de los aspersores y el porcentaje de solapamiento.

**Palabras clave:** solapamiento, aspersor, ala piovana, intensidad de aplicación.

**ABSTRACT.** The objective of this paper is to determine the parameters of quality of irrigation of the reel machines under real conditions of operation. For the evaluation was used the methodology of ISO 8224-1, being determined the parameters of irrigation quality as coefficient of uniformity of Christiansen (CU) and intensity of application (*Ia*). On this last one were carried out flow measurements and wetted width to different work pressures (130, 150 and 250 kPa) in a modality of reel machine with piován wing and then it was compared with the speed of infiltration in the soil. For the determination of the areas irrigated appropriately, excessively and insufficiently (ARA, ARE and ARI), was used the methodology of ISO 11545:2009 being based on 10% for above and below the half-sheet. Also was carried out a correlation analysis (*r*) to value the association among the variables of quality of irrigation with the speed of the wind. As a result it was obtained that there was not correspondence between the speed of the wind and the parameters of quality of irrigation, but it influences negatively when this climatic variable impacts from a diagonal and perpendicular way to the direction of the movement of the sprinkler. As for the piován wing, the best parameters of quality of irrigation were obtained the pressure of work of 150 kPa and *Ia* was inferior; but they overcome the speed of basic infiltration of the soil. Therefore it was concluded that the solution would be to increase the wet width of the sprinklers to distribute the flow in a bigger area humidified. Finally it was recommended to carry out studies on the good combination between the distribution of the water of the sprinklers and the percent of overlapping.

**Keywords:** overlapping, sprinkler, piován wing, intensity of irrigation.

## **INTRODUCCIÓN**

La perfeccionada técnica de las máquinas de riego con enrolladores, ha propiciado gran expansión de su utilización en el mundo (González, 2003). En Cuba se están utilizando ampliamente; debido a su fácil explotación y amplio uso en condiciones adversas que ha motivado la aceptación de los mismos por parte de los productores (González y Méndez, 2004). Cuenta el país, con varias marcas de estas máquinas; que

a su vez, presentan una amplia diversidad de particularidades técnicas; las cuales no han sido estudiadas detalladamente, en su interrelación con el medio ambiente (González *et al.*, 2002).

Estos equipos han evolucionado con los años ampliando su utilización en terrenos con pendientes considerables, además de lograr un alto aprovechamiento de la energía hidráulica, debido a unas generaciones de aspersores y alas sobre carro, y también

al diseño de turbinas más eficientes (Manual de Instrucciones IRTEC<sup>1</sup>, 2009; Allen *et al.*, 2000; Uribe *et al.*, 2001).

Los primeros estudios del riego con estos equipos se han desarrollado en el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola por Montero *et al.*<sup>2</sup> (2009), donde determinaron los parámetros adecuados de explotación de la técnica de riego de referencia para la plantación del plátano por el sistema extra denso. Además se lleva a cabo un proyecto de investigación para valorar estos equipos desde el punto de vista técnico y económico trabajando en diferentes sistemas de producción, donde Montero *et al.*<sup>3</sup> (2010) realizó un diagnóstico inicial para detectar las principales dificultades en la explotación de esta técnica de riego en diversos escenarios productivos (Jiménez *et al.*, 2012).

En el riego con enrolladores existe una modalidad de barra con difusores (ala piovana), para el riego de cultivos de porte bajo que tiene la ventaja que durante su funcionamiento requiere de baja presión de trabajo. Sin embargo, lo que atenta contra esta técnica de riego por aspersión, es la intensidad de aplicación tan alta, restringiéndose su uso a suelos de alta velocidad de infiltración. Otra

problemática es que los porcentos de solapamiento establecidos para el diseño de estos equipos con aspersor, son inadecuados por las altas velocidades de viento predominantes en nuestro país y por la distribución del agua del emisor en el radio de alcance.

Por tanto, el objetivo de este artículo es **determinar los parámetros de calidad de riego de los enrolladores en condiciones reales de operación**.

## MÉTODOS

El trabajo se realizó en diferentes sistemas productivos de la provincia Artemisa, Cuba. Todos los sistemas con enrolladores están diseñados para un 25% de solapamiento entre posiciones de riego.

La Tabla 1 muestra los sistemas productivos así como los equipos y la cantidad de evaluaciones que fueron realizadas con un total de 9. En el caso de la UCTB del IAgri, aparecen varias mediciones en un mismo enrollador, ya que es una Estación Experimental donde a estos equipos se le realizaron otras pruebas de interés.

**TABLA 1. Enrolladores evaluados en varios sistemas productivos y marca de los aspersores**

| Sistema productivo                    | Área que ocupa (ha) | Marca del equipo | Marca del aspersor | Número de evaluaciones |
|---------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| UCTB del IAgri (Alquízar)             | 5                   | Irrimec          | SYNKRO             | 3                      |
|                                       | 3                   | Bauer            | HT-BAUER 50        | 3                      |
| Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita | 10                  | Irrimec          | RANGER             | 1                      |
| BSR Fajardo. MINAZ                    | 15                  | Valducci         | TWIN KOMET 160     | 1                      |
| El Cerezo, Cítrico Ceiba              | 10                  | Valducci         | TWIN KOMET 160     | 1                      |

En la Tabla 2 se muestran los parámetros de operación con que los aspersores aplicaron el agua en cada una de las evaluaciones.

**TABLA 2. Características de los aspersores utilizados en las evaluaciones**

| Marca del aspersor | Diámetro de la boquilla (mm) | Presión de trabajo (kPa) | Radio de alcance (m) | Caudal (L/s) |
|--------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------|
| SYNKRO             | 22                           | 200                      | 33                   | 7,50         |
|                    | 14                           | 400                      | 32                   | 4,08         |
|                    | 18                           | 300                      | 33                   | 5,83         |
| HT-BAUER 50        | 10                           | 300                      | 24                   | 2,30         |
|                    | 10                           | 200                      | 21,5                 | 1,88         |
|                    | 14                           | 200                      | 24                   | 3,27         |
| RANGER             | 22                           | 570                      | 44                   | 13,0         |
| TWIN KOMET 160     | 30                           | 320                      | 42                   | 17,6         |
| TWIN KOMET 160     | 25                           | 400                      | 49,9                 | 13,06        |

El montaje de los ensayos en cuanto a posición de trabajo y colocación de las líneas transversales de colectores, fue realizado según la metodología NC ISO 8224-1 (2011). Para la determinación de los parámetros de calidad de riego como el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) y la uniformidad de distribución (UD<sub>25%</sub>), se procedió según NC ISO 11545 (2011) y Keller y Bliesner<sup>4</sup> (1990). Las fórmulas se muestran a continuación:

<sup>1</sup> INTERNATIONAL STANDARD: Agricultural irrigation equipment—Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles—Determination of water distribution. Second edition, ISO 11545:2009.

<sup>2</sup> IRTEC. Manual de instrucciones, Comercializadora Fabrez, 2009.

<sup>3</sup> MONTERO, L; M, DOMÍNGUEZ; R. PÉREZ; R. CUN Y E. JIMÉNEZ: Estudio Técnico-Económico de la tecnología de riego con aspersor viajero sectorial (enrolladores) en el cultivo del plátano, 26pp., Informe final de proyecto de investigación, Código 22-36. IAgri. MINAG. Cuba. 2009.

<sup>4</sup> MONTERO, L; M, DOMÍNGUEZ; R. CUN Y E. JIMÉNEZ: Comprobación de las características técnicas explotativas de enrolladores introducidos en el país, 16pp., Informe de Etapa. Proyecto 22-72. IAgri, MINAG. Cuba. 2010.

$$UD_{25\%} = 100 \cdot \frac{V_{25\%}}{V} \quad (\%) \quad (1)$$

donde:

UD<sub>25%</sub>- uniformidad de distribución del cuarto más bajo;  
V<sub>25%</sub>-valor promedio de las láminas al 25% de las observaciones menores;  
V, - volumen promedio recogido por todos los colectores.

$$CU = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |C_i - M_c|}{\sum_{i=1}^n C_i} \right] \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

donde:

CU-coeficiente de uniformidad de Christiansen, en %.  
n- número de colectores usados en el análisis de los datos.  
Ci-valor recogido por cada colector.  
i-número asignado para designar un colector en particular.  
Mc-volumen promedio medido del agua recogida. Se calcula como:

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (3)$$

En la determinación de los porcentajes de áreas regadas adecuadamente, excesivamente e insuficientemente (ARA, ARE y ARI respectivamente) nos basamos en el criterio de la metodología ISO 11545 (2009), donde restringe una zona regada adecuadamente si el valor obtenido está en el rango del 10% por encima y por debajo de la lámina media. El resto es excesivo o insuficiente.

Con el objetivo de valorar la asociación entre los parámetros de calidad de riego y la velocidad del viento, se realizó un estudio de correlación entre estos mediante el programa estadístico STATGRAPHICS Plus de la siguiente manera:

- Coeficiente de uniformidad-velocidad del viento.
- Uniformidad de distribución-velocidad del viento.
- Porcentaje de área regada adecuadamente-velocidad del viento.

Por otra parte, se realizó un análisis de la incidencia de la dirección predominante del viento respecto al movimiento del aspersor, en la uniformidad de riego.

Para la determinación de la intensidad de aplicación (Ia) según la expresión 4, solamente se midió para un enrollador con sistema de distribución de agua de tipo ramal de difusores (alas piovanas)

ubicado en la cooperativa Jorge Dimitrov de San Antonio de los Baños. Para determinar este parámetro se tomó un recipiente de 4.38 L y se aforaron tres difusores (dos de los extremos y uno del centro), midiendo el tiempo de llenado del recipiente. Al unísono se midió la anchura mojada de los emisores en tres puntos, así como la franja humedecida del ala piovana con una cinta graduada. Esto se realizó a tres presiones de trabajo diferentes en tres posiciones de la franja mojada por el enrollador. El tipo de suelo de este escenario productivo es Ferralítico Rojo típico según Hernández *et al.* (2005), donde se tomó según Cid *et al.* (2012), el valor de velocidad de infiltración básica para ser comparado con la Intensidad de Aplicación.

$$Ia = 3600 \cdot \frac{Qa}{AM \cdot FH} \quad (\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (4)$$

donde:

Qa-caudal aforado (L/s);  
AM-anchura mojada de los difusores (m);  
FM-franja humedecida por el ala piovana (m).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las evaluaciones realizadas a los enrolladores en los diferentes escenarios productivos. Se puede apreciar en algunos casos que el aumento de la velocidad el viento incide en la disminución de la uniformidad del riego cuando se observa por ejemplo un CU de 91% para 2,93 m.s<sup>-1</sup> y 81,4% para 3,39 m.s<sup>-1</sup>. Sin embargo si se observa la velocidad de viento de 1,6 m.s<sup>-1</sup>, el CU que se obtuvo fue de 52,65%. Lo mismo ocurrió con 0,21 y 1,6 m.s<sup>-1</sup> para 70,12 y 79,3% respectivamente. Estos resultados no coinciden con Tarjuelo (2005), donde recomendó un solapamiento del 75% del diámetro mojado (equivalente a 25% solapamiento) para velocidades de viento entre 1 y 1,5 m.s<sup>-1</sup>. Tampoco coinciden con Keller (1990), donde plantea valores de CU de 82 y 70% para rangos de velocidad de 0 a 2 m.s<sup>-1</sup> y 2 a 4 m.s<sup>-1</sup> respectivamente.

Sin embargo, existe coincidencia con Silva *et al.* (2007), donde arrojó, para un porcentaje de solapamiento del 25%, similares valores de CU de 61 y 63% para rangos de velocidad de viento de 1,6 a 3,2 m.s<sup>-1</sup> y 2,7 a 3,5 m.s<sup>-1</sup> respectivamente y para un rango de 2 a 2,8 m.s<sup>-1</sup>, el CU fue de 47%.

Lo anterior se demuestra en la Figura 1, donde no existe relación de los parámetros CU, UD<sub>25%</sub> y ARA con la velocidad del viento dando valores de coeficiente de correlación (r) igual a: -0,18, -0,25 y 0,12 respectivamente. Esto sugiere que pueden existir otras variables que inciden en los valores de uniformidad como pueden ser: la dirección del viento y la relación entre el porcentaje de solapamiento y el patrón de distribución de agua de los aspersores.

**TABLA 3. Parámetros de calidad de riego a un 25% de solapamiento de los diferentes enrolladores evaluados**

| Lugar                     | Marca del equipo | V. Viento (m s <sup>-1</sup> ) | CU (%) | UD <sub>25%</sub> (%) | ARA (%) | ARE (%) | ARI (%) |
|---------------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------------|---------|---------|---------|
| UCTB del IAgri (Alquízar) | Irrimec          | 2,93                           | 91,00  | 90,57                 | 77      | 8       | 15      |
|                           | Irrimec          | 3,39                           | 81,40  | 74,25                 | 31      | 31      | 38      |
|                           | Irrimec          | 1,60                           | 52,65  | 40,69                 | 0       | 50      | 50      |
|                           | Bauer            | 2,50                           | 82,94  | 78,42                 | 40      | 30      | 30      |
|                           | Bauer            | 3,92                           | 38,20  | 29,46                 | 0       | 36      | 64      |
|                           | Bauer            | 1,31                           | 91,00  | 86,23                 | 55      | 27      | 18      |

| Lugar                                 | Marca del equipo | V. Viento (m s <sup>-1</sup> ) | CU (%) | UD <sub>25%</sub> (%) | ARA (%) | ARE (%) | ARI (%) |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------------|---------|---------|---------|
| Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita | Irrimec          | 3,00                           | 80,50  | 66,62                 | 33      | 40      | 27      |
| BSR Fajardo. MINAZ                    | Valducci         | 0,21                           | 70,12  | 70,73                 | 9       | 24      | 67      |
| El Cerezo, Cítrico Ceiba              | Valducci         | 1,60                           | 79,30  | 70,52                 | 25      | 33      | 42      |

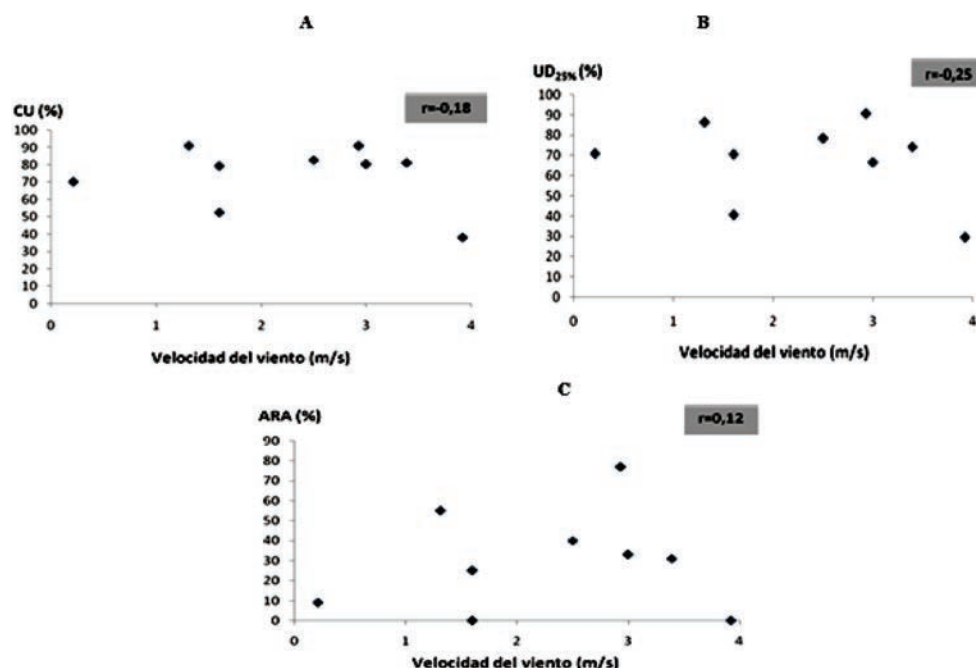


FIGURA 1. Correlación entre parámetros de calidad de riego y velocidad del viento en los enrolladores estudiados. A: con el coeficiente de uniformidad; B: con la uniformidad de distribución; C: con el área regada adecuadamente.

En la Tabla 4 se relaciona la dirección del viento predominante respecto al movimiento del aspersor y la velocidad del mismo con el coeficiente de uniformidad. Puede observarse que las direcciones de viento diagonales y perpendiculares inciden en la disminución del coeficiente de uniformidad, incluso se acentúa más cuando la velocidad el viento es mayor indicándose en dicha tabla el valor de 38,2%. Sin embargo, cuando el viento actúa paralelo al movimiento, no importa la velocidad del mismo ya que se obtienen valores altos de CU de un 91%. Sin embargo, Santos *et al.* (2010) plantean que la velocidad y dirección del viento inciden en menor medida, en la uniformidad del reparto de agua.

Por otra parte, Smith *et al.* (2008), en sus trabajos de simulación del patrón de distribución de agua de los cañones, tienen en cuenta, entre otros factores, la dirección del viento. También Richards y Weatherhead (1993) y Al-Naeem<sup>5</sup> (1993), establecieron un modelo de patrón del aspersor como herramienta de toma de decisiones, donde tienen en cuenta el ángulo que se forma entre la dirección del movimiento del

aspersor y la dirección del viento.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del aforo del ala piovana, donde se obtienen los valores de caudal que experimentan un incremento producto al aumento de la presión de trabajo. Lo más significativo es que se mantuvo la misma franja humedecida. A partir de lo anterior se obtuvieron otros resultados reflejados en la Tabla 6, donde a la presión de 150 kPa se arrojaron los mejores valores de CU y ARA de 86,53% y 53% respectivamente. En la Figura 2 puede observarse como los diferentes indicadores de calidad de riego son favorables a dicha presión de trabajo. Sin embargo, en la tabla mencionada anteriormente, los valores de intensidad de aplicación son muy elevados. Esto es debido a que la anchura mojada de los difusores en el ramal es pequeña y el caudal se descarga en menos área. Al respecto, Tarjuelo (2005) plantea que con las alas sobre carro, se obtiene mejor uniformidad en la distribución del agua que con los aspersores, pero tienen que estar bien calculadas para que no se produzca escorrentía

<sup>5</sup> AL-NAEEM M.A.H.: Optimization of Hosereel Rain Gun Irrigation Systems in Wind; Simulation of the effect of trajectory angle, sector angle, sector position and lane spacing on water distribution and crop yield. PhD Dissertation, Silsoe College, Cranfield University, USA, 1993.

<sup>6</sup> BARGIACCHI, L. Enrolladores de manguera para el riego (parte primera). Seminario Grupo B.M. La Habana, 2012.

dada la pequeña anchura mojada. También Bargiacchi<sup>6</sup> (2012) plantea que mojan un ancho reducido, son sensibles al viento, no permiten obstáculos en el campo, y requieren delicadeza en su manejo.

**Tabla 4. Relación entre el coeficiente de uniformidad y la dirección del viento predominante respecto al movimiento del aspersor.**

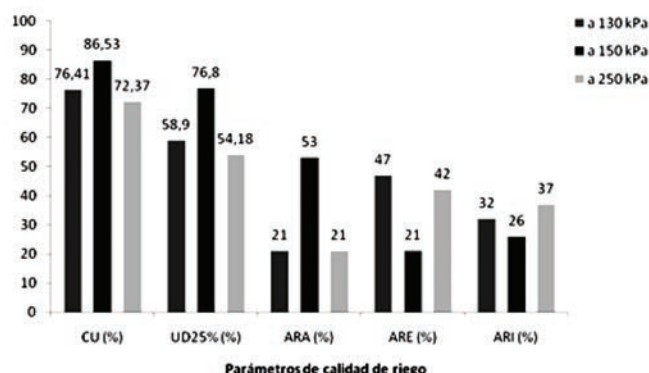
| Equipo evaluado | Velocidad del viento (m·s <sup>-1</sup> ) | Dirección predominante del viento respecto al movimiento del aspersor | CU (%) |
|-----------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Irrimec</b>  | 2,93                                      | Paralelo al movimiento                                                | 91,00  |
|                 | 3,39                                      | Diagonal al movimiento                                                | 81,40  |
|                 | 1,60                                      | Diagonal al movimiento                                                | 52,65  |
| <b>Bauer</b>    | 2,50                                      | Perpendicular al movimiento                                           | 82,94  |
|                 | 3,92                                      | Perpendicular al movimiento                                           | 38,20  |
|                 | 1,31                                      | Paralelo al movimiento                                                | 91,00  |

**TABLA 5. Lecturas tomadas en el equipo para determinar la intensidad de aplicación en el enrollador con ala piovana. Escenario: cooperativa Jorge Dimitrov**

| PRESION DE TRABAJO |                   | MEDICIONES                 |                       |                                    |                       |                        |
|--------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Entrada (kPa)      | Ala piovana (kPa) | Volumen del recipiente (L) | Tiempo de llenado (s) | Anchura mojada de los emisores (m) | Franja humedecida (m) | Caudal en el ala (L/s) |
| 250                | 130               | 4,38                       | 25,64                 | 1,08                               | 27                    | 4,44                   |
| 350                | 150               | 4,38                       | 21,7                  | 1,5                                |                       | 5,24                   |
| 500                | 250               | 4,38                       | 18,03                 | 2,05                               |                       | 6,31                   |

**TABLA 6. Parámetros de calidad de riego asociados al enrollador con alas piovanas**

| PRESION DE TRABAJO |                   | PARAMETROS DE CALIDAD DE RIEGO E INTENSIDAD DE APLICACIÓN |                       |         |         |         |                          |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|--------------------------|
| Entrada (kPa)      | Ala piovana (kPa) | CU (%)                                                    | UD <sub>25%</sub> (%) | ARA (%) | ARE (%) | ARI (%) | Ia (mm·h <sup>-1</sup> ) |
| 250                | 130               | 76,41                                                     | 58,9                  | 21      | 47      | 32      | 548,11                   |
| 350                | 150               | 86,53                                                     | 76,8                  | 53      | 21      | 26      | 465,77                   |
| 500                | 250               | 72,37                                                     | 54,18                 | 21      | 42      | 37      | 410,4                    |



**FIGURA 2. Comportamiento de los indicadores de calidad de riego a diferentes presiones de trabajo en el enrollador con ala piovana.**

Si se observa la Figura 3, la intensidad de aplicación sobrepasa considerablemente a la capacidad que tiene el suelo de infiltrar el agua, por lo que provoca escurrimiento y baja eficiencia de aplicación. Sobre este aspecto Tarjuelo (2005)

recomienda aumentar la velocidad para aplicar la dosis en mayor número de riegos. Sin embargo, si se analiza la fórmula 5 utilizada por la metodología NC ISO 8224-1 (2011), los parámetros que intervienen en la intensidad de aplicación (Ia) como la velocidad de desplazamiento y la lámina aplicada, son inversamente proporcionales, lo que significa que un aumento de la velocidad disminuye la lámina de riego, y al mantenerse constante la anchura mojada, la multiplicación entre Lr y V no altera el valor de Ia, lo que indica que la posible solución sería utilizar emisores con mayor anchura mojada para descargar el caudal en mayor área.

$$Ia = Lr \cdot \frac{V}{AM} \text{ (mm} \cdot \text{h}^{-1}\text{)} \quad (5)$$

donde:

L-media de la lámina de riego recogida por colectores, en mm;

V-velocidad de avance promedio del sistema de distribución de agua (ala piovana), en m/h;

AM-anchura mojada de los difusores, en m

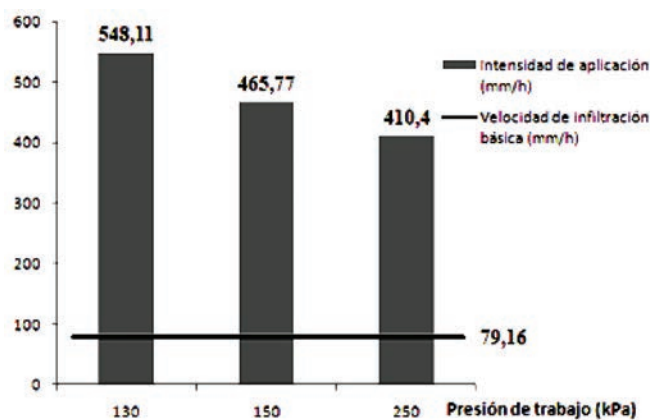


FIGURA 3. Comportamiento de la intensidad de aplicación a diferentes presiones de trabajo en el enrollador con ala piovana y su relación con la velocidad de infiltración para un suelo ferralítico rojo compactado.

## CONCLUSIONES

- Existe gran variabilidad entre los valores de uniformidad de riego en los enrolladores estudiados, donde no hay relación entre estos parámetros y la velocidad del viento. Sin embargo la dirección del viento actúa negativamente en la uniformidad del riego sobre todo cuando es perpendicular o diagonal al movimiento del aspersor.
- La intensidad de aplicación en el enrollador con alas piovanas es muy alta en comparación con la velocidad de infiltración básica del suelo, por lo que la solución sería aumentar la anchura mojada de los emisores para que se reparta el caudal en mayor área humedecida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; SELLER, J., & MARTIN, D.: *Center pivot design. The irrigation association*, [en línea] 2000, Disponible en: <http://www.irrigation.org> [Consulta: enero 18 2014].
- CID, G.; LOPEZ, T.; GONZALEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: "Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, V. 2 (2): 25-31, 2012.
- GONZÁLEZ, P.: "Avances del riego en el cultivo de la papa en Cuba: Las máquinas de pivote central", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, V. 12 (4): 39-43, 2003.
- GONZÁLEZ, P.; MENDEZ, M.: "Panorama del riego en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, V. 14 (2): 51-54, 2004.
- GONZÁLEZ, P.; STINCER, J.; ROQUE, R.: "Algunas consideraciones para el diseño, explotación y adquisición de máquinas de pivote central", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, V. 11 (1): 47-53, 2002.
- JIMÉNEZ, E. E.R., P. GONZÁLEZ y M. DOMÍNGUEZ: Relación entre parámetros de uniformidad de riego en máquinas de pivote central, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, V. 21 (3): 18-22, 2012.
- HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, J. M., BOSCH, D., RIVERO, L.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, 64pp., AGRINFOR, ISBN: 959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
- MUJICA, A.; LÓPEZ, M.; CARMENATES, D.; MUJICA, C.; RIVERON, A.R.: "Evaluación de los indicadores hidráulicos de las máquinas de pivote central eléctrica", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -2071-0054, 23 (1): 53-55, 2014.
- NORMA CUBANA NC 8224-1: "Máquinas de riego móviles-parte 1: Características del funcionamiento y métodos de ensayo de laboratorio y de campo". NC 8224-1: 2011. Vig. 2012.
- RICHARDS P.J.; WEATHERHEAD E.K.: "Prediction of raingun application patterns in windy conditions", *J. Agric. Eng. Res.*, ISSN: 0021-8596, 54: 281-291, 1993.
- SANTOS PEREIRA, L., JUAN VALERO J.A., PICORNELL M.R. TARJUELO J.M.: *El Riego y sus Tecnologías*, CREA-UCLM (1ª edición en castellano), ISBN: 13:978-84-692-9979-1, España, 2010.
- SILVA L.L.; SERRALHEIRO R.; SANTOS N.: "Improving Irrigation Performance in Hose-drawn Traveller Sprinkler Systems", Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas (ICAM), Évora University, Portugal, *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, E-ISSN: 1537-5129, 96 (1): 121-127 2007.
- SMITH R.J.; GILLIES M.H.; NEWELL G.; FOLEY J.P.: "A decision support model for travelling gun irrigation machines", Cooperative Research Centre for Irrigation Futures and National Centre for Engineering in Agriculture. University of Southern Queensland, Australia, *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, E-ISSN: 1537-5129, 100 (1): 1-148 (May), 2008.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Ediciones Mundi Prens, vol. 3a edición, ISBN: 84-8476-225-4, Madrid, Barcelona, México, 2005.
- URIBE, H.C.; LAGOS, L.O.; HOLZAPHEL, E.: *Pivote Central*, Comisión Nacional de Riego, Corporación de Fomento de la Producción. Chile, [en línea] 2001, Disponible en: <http://www.cnr.gob.cl> [Consulta: enero 18 2014].

Recibido: 22/09/2014.

Aprobado: 16/07/2015.

Publicado: 05/09/2015.

Esequiel R. J. Espinosa, Ing., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola: Carretera de Fontanar, km 2 ½, Rpto. Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [esequieljimenez79@gmail.com](mailto:esequieljimenez79@gmail.com)

Lorenzo M. San José, Corero electrónico: [esequieljimenez79@gmail.com](mailto:esequieljimenez79@gmail.com)

Josemar Zanette, Corero electrónico: [esequieljimenez79@gmail.com](mailto:esequieljimenez79@gmail.com)