

ARTÍCULO ORIGINAL

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

Evaluation of the irrigation quality of travellers irrigation machines (reel machines)

Esequiel Rolando Jiménez Espinosa¹ y Lorenzo Montero San José²

RESUMEN. El objetivo de este trabajo fue valorar la calidad de riego de los enrolladores ubicados en los diferentes escenarios de producción. 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 Desviación Típica (δ_p) y Coeficiente de Variación (CV) para valorar la variabilidad de la uniformidad del riego con la dirección predominante del viento respecto al movimiento de los aspersores. Como resultado se obtuvo que no hubiera correspondencia entre la velocidad y dirección del viento y los parámetros de calidad de riego, siendo la combinación de la distribución del agua de los aspersores y el solapamiento los mayores influyentes. 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 superando a la velocidad de infiltración del suelo. Por tanto se debe aplicar la dosis en mayor número de riegos y aumentar la anchura mojada de los emisores.

Palabras clave: enrollador, ala piovana, calidad de riego, intensidad de aplicación.

ABSTRACT. The objective was to value the irrigation quality of the reel machines located in the different production scenarios. The methodology ISO 8224-1 was used for the field test, where parameters of irrigation quality as coefficient of uniformity of Christiansen (CU) and precipitation intensity (Ia) were determined. In relation to the last one indicator, flow and wet width measurements were carried out to different working pressures (130, 150 and 250 kPa) in a modality of reel machine with boom with sprayers and then it was compared with the basic intake rate of the soil. For the determination of the areas watered appropriately, excessively and insufficiently (AWA, AWE and AWI), the methodology ISO 11545:2009 was used being based on 10% above and below the depth average. An analysis of Standard Deviation (δ_p) and Coefficient of Variation (CV) was also carried out, to estimate the variability of the irrigation uniformity with predominant wind direction regarding the movement of the sprinklers. As result was obtained that there was not correspondence between the speed and wind direction and irrigation quality parameters, being the combination of the sprinklers' water distribution and the sloping the higher influential. As for the boom with sprayers, to the pressure of 150 kPa the best parameters of irrigation quality were obtained and the Ia was lower; but overcoming to the speed of infiltration of the soil. Therefore the dose should be applied in higher amounts of irrigations and to increase wet width of emitters.

Keywords: reel machine, boom with sprayers, irrigation quality, precipitation intensity.

Recibido 07/05/11, **aprobado** 12/12/12, **trabajo** 09/13, artículo original.

¹ M.Sc., Investigador Agregado, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Ave. Camilo Cienfuegos y Calle 27. Apdo. 6090, Arroyo Naranjo, La Habana, Cuba, E-✉: esequiel@iagric.cu

² M.Sc., Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

Nota: 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.

INTRODUCCIÓN

La perfeccionada técnica de las máquinas de riego con enrolladores, ha concedido gran expansión de su utilización en el mundo. 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. 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.

Los primeros estudios del riego con estos equipos se han desarrollado en el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola por Montero *et al* (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. Tal es así, que Montero *et al.* (2010) realizó un diagnóstico inicial para detectar las principales dificultades en la explotación de esta técnica de riego en diversos escenarios productivos.

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 velo-

cidad de infiltración. Otra problemática es que los porcentajes 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 evaluar los parámetros de calidad de riego de enrolladores, así como valorar su uso para las condiciones reales de explotación.

MÉTODOS

El trabajo se realizó en diferentes escenarios productivos de la provincia Artemisa, Cuba. Todos los sistemas con enrolladores están diseñados para un 25% de solapamiento entre aspersores. Para la determinación de los parámetros de calidad de riego como el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU), la uniformidad de distribución ($UD_{25\%}$) y la intensidad de aplicación (I_a), se procedió con la metodología ISO 8224-1:2003. En el caso de la intensidad de aplicación, solamente se midió para un enrollador con alas piovanas y en la Tabla 1 se muestran las mediciones realizadas para determinar este parámetro. La norma que se utilizó para determinar los porcentajes de áreas regadas adecuadamente, excesivamente e insuficientemente (ARA, ARE y ARI respectivamente) fue la ISO 11545:2009, o sea, basado en el rango del 10% por encima y por debajo de la lámina media. El valor de velocidad de infiltración del suelo se obtuvo según Cid *et al.* (2011).

TABLA 1. Lecturas tomadas en el equipo para determinar la intensidad de aplicación en el enrollador con ala piovana

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

Con el objetivo de valorar la asociación entre los parámetros de calidad de riego y la velocidad del viento, se realizaron correlaciones entre ellos de la siguiente manera:

- Coeficiente de Uniformidad - Velocidad del viento;
- Uniformidad de Distribución - Velocidad del viento;
- Área regada Adecuadamente - Velocidad del viento.

También se realizó el análisis de la incidencia de la dirección del viento predominante respecto al movimiento del aspersor, en la uniformidad de riego. Para ello se determinaron los estadígrafos Desviación Típica (δ_r) y Coeficiente de Variación (CV) con el objetivo de valorar la variabilidad del coeficiente de uniformidad para cada dirección del viento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las evaluaciones realizadas a los enrolladores en los diferentes escenarios productivos. Se puede deducir que el aumento de la velocidad del viento incide en la disminución de la uniformidad del riego cuando observamos por ejemplo un CU de 91% para $2,93 \text{ m s}^{-1}$ y 81,4% para $3,39 \text{ m s}^{-1}$. Sin embargo si observamos la velocidad de viento de $1,6 \text{ m s}^{-1}$, el CU que se obtuvo fue de 52,65%. Lo mismo ocurrió con 0,21 y $1,6 \text{ m s}^{-1}$ 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^{-1} . Tampoco coinciden con Keller (1990), donde plantea valores de CU de 82 y 70% para rangos de velocidad de 0 a 2 y 2 a 4 m s^{-1} respectivamente.

TABLA 2. Parámetros de calidad de riego de los diferentes enrolladores evaluados

Lugar	Marca del equipo	V. Viento (m s ⁻¹)	CU (%)	UD _{25%} (%)	ARA (%)	ARE (%)	ARI (%)
UDCT del IAgric (Alquízar)	Irrimec	2,93	91	90,57	77	8	15
	Irrimec	3,39	81,4	74,25	31	31	38
	Bauer	2,5	82,94	78,42	40	30	30
	Bauer	3,92	38,2	29,46	0	36	64
	Bauer	1,31	91	86,23	55	27	18
	Irrimec	1,6	52,65	40,69	0	50	50
Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita	Irrimec	3	80,5	66,62	33	40	27
BSR Fajardo. MINAZ	Valducci	0,21	70,12	70,73	9	24	67
El Cerezo, Cítrico Ceiba	Valducci	1,6	79,3	70,52	25	33	42

Lo anterior se demuestra en la Figura 1, donde no existe correlación entre los parámetros CU, UD_{25%}, ARA y velocidad del viento con valores de r igual a: -0,18, -0,25 y 0,12. Por tanto los valores bajos de uniformidad están asociados a la no correspondencia entre el solapamiento y el patrón de distribución de los aspersores.

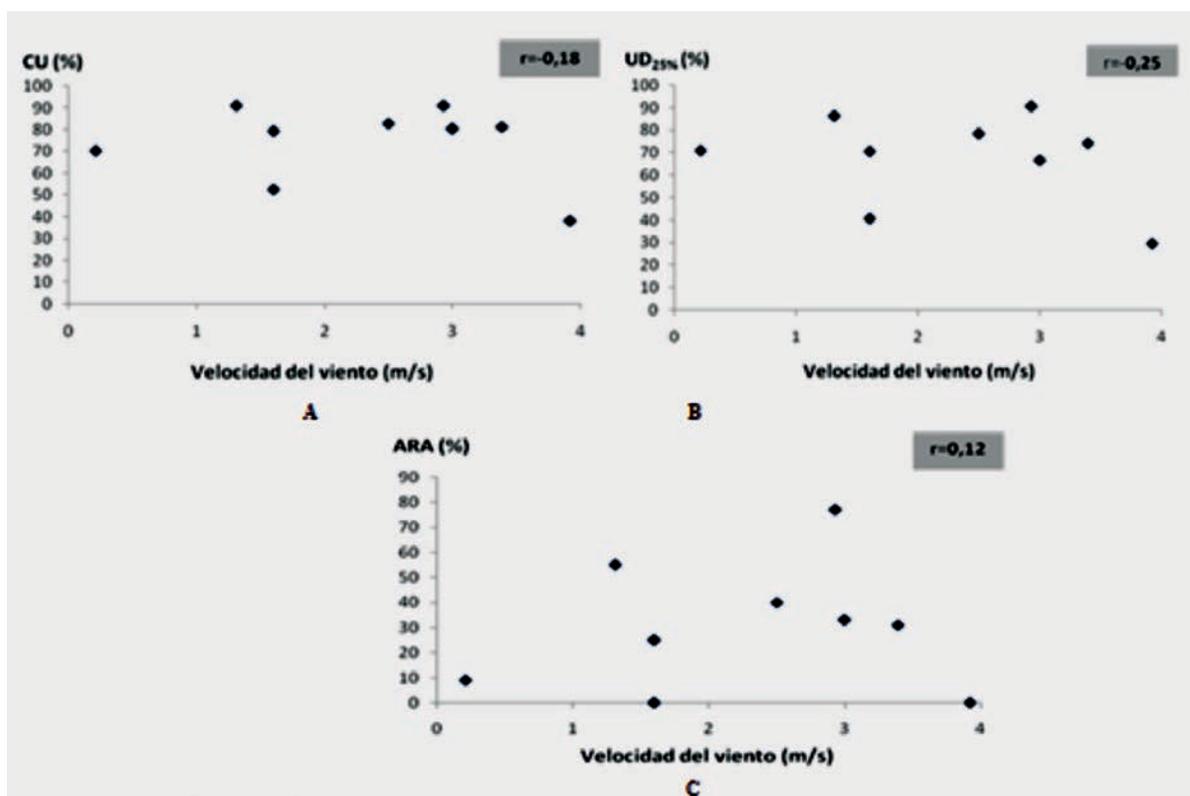


FIGURA 1. Correlación entre parámetros de calidad de riego y velocidad del viento en los enrolladores estudiados. A: con el coeficiente de uniformidad (CU); B: con la uniformidad de distribución (UD); C: con el área regada adecuadamente (ARA).

En la Tabla 3 se relaciona la dirección del viento predominante respecto al movimiento del aspersor y su incidencia en el coeficiente de uniformidad. Puede observarse una variabilidad en los valores de CU en los casos donde el viento incidió de manera diagonal y perpendicular al movimiento del aspersor. Así lo registran los resultados con valores de δ_r de 23,04 y 16,43, y CV de 0,36 y 0,22 respectivamente. Esto indica que este factor

no afecta la uniformidad del riego, coincidiendo con Santos *et al.* (2010), donde plantea que la velocidad y dirección del viento incide en menor medida, en la uniformidad del reparto de agua.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la evaluación del enrollador con alas piovanas a diferentes presiones de trabajo. Los mejores resultados se obtuvieron con una presión de 150 kPa donde se obtuvo un 86,53% de CU y un 53% de ARA. 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, los valores de intensidad de aplicación son muy elevados. Esto es debido a que la anchura mojada de los difusores en el ala es pequeña (Tabla 1)

y el caudal se descarga en menos área. Al respecto, Tarjuelo (2005) plantea que con las alas 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 dada la pequeña anchura mojada.

TABLA 3. Relación entre el coeficiente de uniformidad y la dirección del viento predominante respecto al movimiento del aspersor

Dirección de viento predominante respecto al movimiento del aspersor	CU (%)	Desviación Típica (δ_T)	Coefficiente de variación (CV)
Perpendicular al movimiento	82,94	23,04	0,36
	38,2		
	70,12		
Paralelo al movimiento	91	7,42	0,09
	80,5		
Diagonal al movimiento	81,4	16,43	0,22
	91		
	52,65		
	79,3		

TABLA 4. Parámetros de calidad de riego asociados al enrollador con alas piovanas

PRESIÓN DE TRABAJO		PARÁMETROS DE CALIDAD DE RIEGO E INTENSIDAD DE APLICACIÓN					
Entrada (kPa)	Ala piovana (kPa)	CU (%)	UD _{25%} (%)	ARA (%)	ARE (%)	ARI (%)	Ia (mm·h ⁻¹)
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

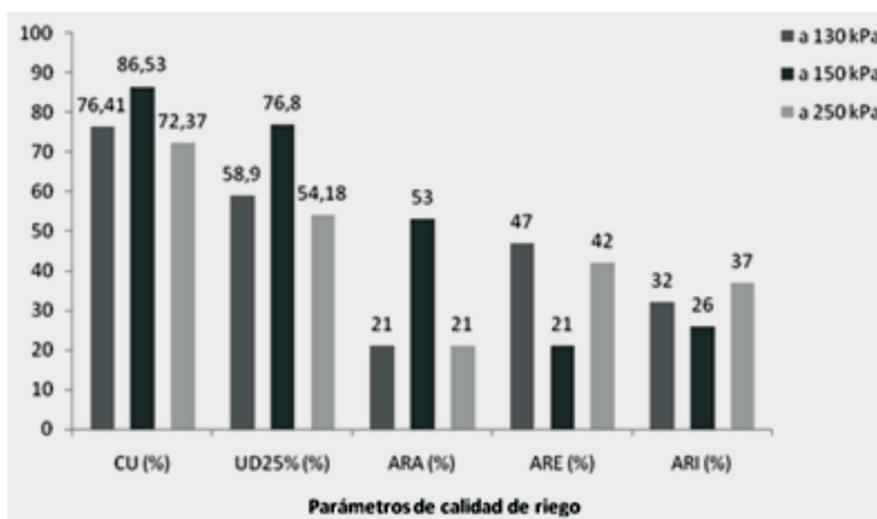


FIGURA 2. Comportamiento de los indicadores de calidad de riego a diferentes presiones de trabajo en el enrollador con ala piovana.

Si observamos 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. Por tanto, en este sistema de distribu-

ción de agua, la velocidad de desplazamiento es muy baja para los valores de intensidad de la lluvia, y entonces habría que aumentar la velocidad para aplicar la dosis en mayor número de riegos.

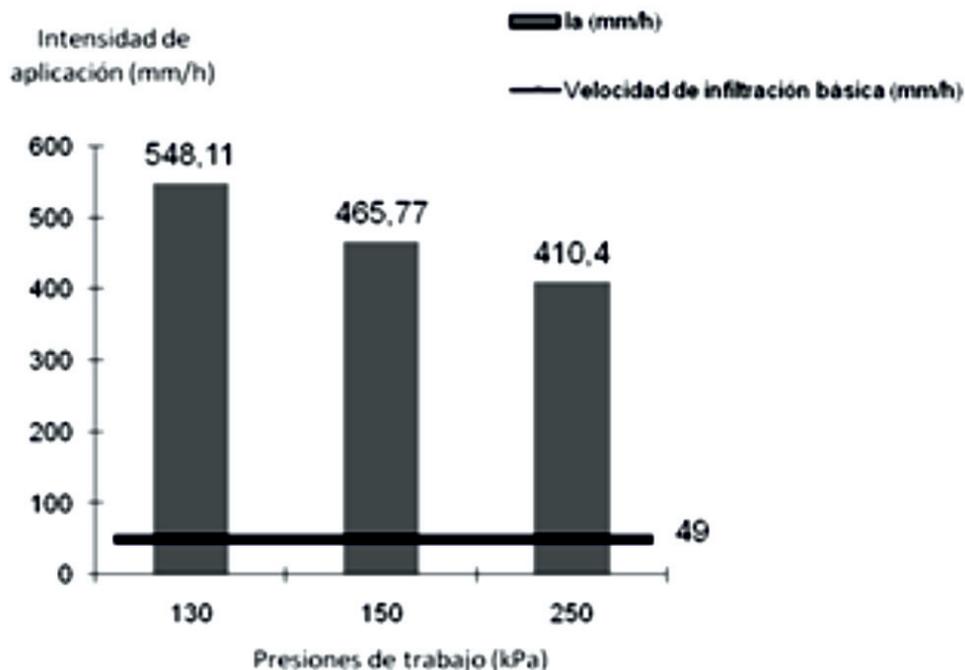


FIGURA 3. Comportamiento de la intensidad de aplicación a diferentes presiones de trabajo en el enrollador con ala piovana y su relación con la velocidad de infiltración para un suelo ferralítico rojo compactado.

CONCLUSIONES

- Existe gran variabilidad entre los valores de uniformidad de riego en los enrolladores estudiados, donde no existe relación entre estos parámetros y la velocidad y dirección del viento. Por tanto el factor que incide es la combinación óptima entre el patrón de distribución de agua del aspersor y el porcentaje de solapamiento.
- 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 y aplicar la dosis en mayor número de riegos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARGIACCHI, L.: Enrolladores de manguera para el riego (parte primera). En: **Seminario Grupo B.M.** La Habana, 2012.
2. CID, G., T. LOPEZ, F. GONZALEZ, J. HERRERA y M.E RUIZ: Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, 2011.
3. ISO 11545:2009: *Agricultural irrigation equipment—Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles—Determination of water distribution. Second edition*, Vig. 2010.
4. ISO 8224-1:2003 *Traveller irrigation machines-Part 1: Operational characteristics and laboratory and field test methods. Second edition*, Vig. 2004.
5. KELLER, J., & R.D. BUESNER: *Sprinkle and trickle irrigation*, AVI Book. Van Nostrand Reinhold., New York, 1990.
6. MANUAL DE INSTRUCCIONES IRTEC. Comercializadora Fabrez, Castelvetro (Modena), Italia, 2009.
7. 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, IAgric, MINAG, Cuba, 2010.
8. 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. IAgric. MINAG. Cuba, 2009.
9. SANTOS, P., L., J. VALERO, M.R. PICORNELL y J.M. TARJUELO: *El Riego y sus Tecnologías*. CREA-UCLM (1ª edición en castellano). ISBN: 13:978-84-692-9979-1, España, 2010.
10. TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, 569pp., 3.ed. Madrid: Editorial Mundi-Prensa, España, 2005.