

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de la calidad del riego de la máquina con enrollador modelo IRROMOTOR

Evaluation of irrigation quality in reel machine type IRROMOTOR

Norge Tornés Oliveras¹, Yarisbel Gómez Masjuán¹ y Tony Boicet Fabre²

RESUMEN. La investigación se realizó en el bloque 178, campo 1, El Boris, CPA “Omar Rivero” (Manzanillo, Granma, Cuba), con el objetivo de evaluar los principales parámetros que determinan la calidad del riego para hacerlo más eficiente. Se empleó la “Norma Cubana Máquinas de riegos móviles—parte 1: características del funcionamiento y métodos de ensayo de laboratorio y campo. Los resultados expresan que la tasa de aplicación para la parcela tuvo un valor medio de 16,08 mm·h⁻¹, 18,86, 15,20, y 17,80 mm h⁻¹ para las líneas I₁, I₂ y I₃ respectivamente. Estos valores son menores que la velocidad media de infiltración del agua en el suelo, cuyo valor fue de 22,00 mm·h⁻¹. En los parámetros estadísticos del riego los valores del coeficiente de uniformidad oscilaron entre 67% y 70% para las líneas y para la franja, fue de 68% lo que permite calificar el riego como aceptable. La uniformidad de distribución osciló entre 89% y 73% para las hileras y 77% para la franja. Se observó una tendencia al incremento de las velocidades del viento desde las horas de la mañana 1,28 m s⁻¹ hasta horas de la tarde 1,55 m s⁻¹. El índice del grosor de la gota tuvo un valor demasiado pequeño (2), lo que significa riesgos para las propiedades hidrofísicas del suelo.

Palabras clave: enrollador, coeficiente de uniformidad, índice de la gota.

ABSTRACT. The research was carried out in the block 178, field 1, El Boris, in the Agricultural Production Cooperative “Omar Rivero” in Manzanillo (Granma, Cuba). It was aimed to evaluate the principal parameters that determine the quality of the watering in order to make it more efficient. The methodology employed was the Cuban Norm for Traveller Irrigation Machine- part 1: characteristic of the operation and methods of rehearsal of laboratory and field. The results express that the appraisals of application for the parcel have values of 16,08 mm h⁻¹, 18,86; 15,20; 17,80 mm h⁻¹ for the I₁, I₂ and I₃ lines respectively. These values are lower than the half speed of water infiltration into the floor, 22,00 mm h⁻¹. In the statistical parameters of watering the values of the rate of uniformity oscillated between 68% and 70% for the rows and for the fringe, it was 68%. The uniformity of distribution oscillated between 89% and 73% for the rows and 77% for the fringe. A tendency to an increment of the wind speed from the morning 1.28 mm h⁻¹ to the afternoon 1,55 mm h⁻¹ was observed. The drop-thickness index had a too small value (2), what means a risk for the hydro-physical properties of the soil.

Keywords: reel machine, uniformity coefficient, drop thickness index.

INTRODUCCIÓN

Los primeros cañones móviles surgen en 1965, en los Estados Unidos, los cuales eran modelos de cables y su uso se extendió rápidamente (Keller *et al.*, 1990).

Existen básicamente dos máquinas con cañones móviles: los cañones viajero y los enrolladores. Estos últimos tuvieron mayor desarrollo, al menos en Europa, por ser más cómodos

de manejar y necesitar menos mano de obra para su funcionamiento. Surgen como consecuencia de cubrir mayores superficies por posición de riego, con el objeto de evitar la utilización de mano de obra, desde un solo punto de aspersión, cañón, que proyecta un chorro de agua a una distancia de 30 a 70 m de radio según el modelo (Simpfendörfer, 2001).

Recibido 21/06/12, aprobado 12/12/12, trabajo 07/13, artículo original.

¹ M.Sc., Prof., Universidad de Granma, Carretera a Manzanillo km 17,5, Bayamo, Granma, Cuba, teléfono: 481015, ext. 188, E-✉: ntorneso@udg.co.cu

² Dr.C., Prof. Titular, Universidad de Granma, Cuba.

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.

La serie **IRROMOTOR** constituye la cuarta generación de las creadas hasta este momento; sin dudas, es la más extensa, completa y competitiva. Los nuevos modelos han sido proyectados para ser cada vez más eficaces, manejables y competitivos.

En la provincia Granma se ha introducido las nuevas tecnologías de máquina de riego con enrollador para cultivos de mucha importancia económica como la caña de azúcar y el cultivo del frijol.

No se debe olvidar que el riego por aspersor con carretes es del tipo tecnificado, por lo que se requieren de operadores capacitados para mantener los equipos activos, en condiciones donde la mano de obra es reducida (Tarjuelo, 2005).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los principales parámetros de calidad del riego para determinar posibles

deficiencias de manejo y hacerlo más eficiente.

MÉTODOS

Lugar de la evaluación

La investigación se realizó en el mes abril del año 2012 en el bloque 178, campo 1, El Boris, CPA “Omar Rivero” de Faja, Vuelta el Caño, Manzanillo, Granma, Cuba, que está vinculado a la UEB “Bartolomé Masó Márquez”, perteneciente al GEA “Grupo Empresarial Agroindustrial Azucarero”.

Caracterización de la máquina evaluada

Las características fundamentales de la máquina se describen en las Tablas 1; 2 y 3.

TABLA 1. Principales características del cañón de riego

Marca	Referencia	Descripción	Caudal, m ³ ·h	Presión, kg·cm ²
CAÑONES KOMET TWIN	160/PLUS-24	Cañón de riego 160 plus	26 a 122	3 a 7

TABLA 2. Principales características del motor

Tipo	V _{máx} , min ⁻¹	Potencia, kW
LDW 2 204/TB4	2 500	10,60

TABLA 3. Principales características de la bomba

Bomba CAPRARI	V _{máx} , min ⁻¹	Fv _{máx} , N	Fh _{máx} , N	Mt _{máx} , N
0/3	2 000	1 200	825	275

Fv= Fuerza vertical. Fh= Fuerza horizontal. Mt= Momento.

Metodología empleada

La metodología empleada para la investigación fue la Norma Cubana - Máquinas de riego móviles – parte 1: características del funcionamiento y métodos de ensayo de laboratorio y de campo (ISO 8224-1:2003, IDT). Donde Los parámetros determinados fueron:

Tasa de aplicación para la parcela

$$I_s = hAs \frac{vs}{Rwet} \quad (1)$$

donde:

I_s- tasa de aplicación para la parcela, mm·h⁻¹;
 hAs-profundidad media de aplicación en la parcela, mm;
 vs-Velocidad media de traslación del sistema de distribución, m·h;
 Rwet-radio humedecido, m.

Velocidad media de infiltración del agua en el suelo

$$V_t = \frac{v_i}{t_p^n} \quad (2)$$

donde:

V_t-velocidad media de infiltración del agua en el suelo, mm·h⁻¹;
 V_i- velocidad de infiltración en la primera unidad de tiempo, mm·h⁻¹;
 t_p- tiempo de riego (h);
 n-parámetro de infiltración, se utilizó 0,5.

Coefficiente de uniformidad

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{nx} \right] \quad (3)$$

donde:

CU-coeficiente de uniformidad de Christiansen,%;
 \bar{x} -media aritmética de los volúmenes recogidos, mL;
 x_i-volúmenes recogidos en cada pluviómetro, mL;
 n-número de pluviómetros en cada hilera.

Coefficiente de variación

$$CV = \frac{\sigma}{M} 100 \quad (4)$$

donde:

CV-coeficiente de variación,%;
 σ-desviación típica;
 M-media aritmética de los volúmenes recogidos, mL;

Uniformidad de distribución

$$UD = \frac{AM_{25\%}}{M} 100 \quad (5)$$

donde:

UD -uniformidad de distribución,%;
 $AM_{25\%}$ -altura media recogida en el (25%) más desfavorable, mm;
 M -altura media, mm.

Lámina evaporada

$$LE = A_{evap} \cdot 0,11 \quad (6)$$

donde:

LE -lámina evaporada, mm;
 A_{evap} -agua evaporada durante el riego, ml.

Altura media descargada a lo largo del segmento

$$h_{Gaseg} = \Delta V_{seg} \frac{1000}{E \cdot x \Delta L_{seg}} \quad (7)$$

donde:

h_{Gaseg} -altura media descargada a lo largo del segmento, mm;
 ΔV_{seg} - volumen de agua distribuido sobre el segmento, m³;
 E -anchura de la franja de riego, m;
 ΔL_{seg} - longitud del segmento, m.

Índice de grosor de la gota

$$IG = 12,85 \frac{p^{1,3}}{d} \quad (8)$$

donde:

IG -índice de grosor de la gota.
 p -presión a la salida del cañón, bar,
 d -diámetro interior de la boquilla, mm.

Eficiencia de descarga o proporción de agua que llega al suelo

$$Ed = \frac{M}{h_{Gaseg}} \quad (9)$$

donde:

Ed -eficiencia de descarga o proporción de agua que llega al suelo,%;
 M -altura media de agua recogida por los pluviómetros, mm;
 h_{Gaseg} -altura media descargada a lo largo del segmento. mm.

RECURSOS UTILIZADOS

Los instrumentos utilizados fueron: brújula, anemómetro, pluviómetro, pie de rey y cinta métrica. Para los análisis realizados se utilizaron los software Microft Excel y Statistica versión 6.1 (2006), con el cual se determinaron los valores máximos y mínimos, la desviación estándar de la uniformidad longitudinal de la velocidad de avance y de las láminas de aplicación de cada línea de pluviómetros dentro de la anchura de la franja (+E/2;-E/2) y la desviación típica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de aplicación de referencia para la parcela y para las líneas

La tasa de aplicación para la parcela tuvo un valor medio de 16,08 mm·h⁻¹ y de 18,86, 15,20 y 17,80 mm·h⁻¹ para las líneas I_1 , I_2 y I_3 respectivamente. Todos los valores señalados anteriormente son menores que la velocidad media de infiltración del agua en el suelo que tuvo un valor de 22,00 mm·h⁻¹, como puede observarse en la Tabla 4; significando que no hubo peligro de erosión durante el riego, este aspecto debe ser bien analizado cuando se utiliza esta técnica de riego debido a que puede tener alta pluviometría y el tamaño de las gotas puede ser grande. La variación de las tasas aplicadas en cada una de las líneas puede explicarse, parcialmente a las horas del día en que se hicieron cada una de las mediciones correspondientes. La medición de la primera hilera se realizó desde las 7:00 am a 10:00 am, la segunda desde las 11:00 am a 1:00 pm y la tercera desde las 2:00 pm a las 5:00 pm, las tasas de evaporación debieron ser más altas en horas del mediodía y el atardecer y menores en horas de la mañana.

TABLA 4. Tasa de aplicación de referencia para la parcela y para las líneas

IS (mm ·h ⁻¹)	I_1 (mm ·h ⁻¹)	I_2 (mm ·h ⁻¹)	I_3 (mm ·h ⁻¹)	Vt (mm ·h ⁻¹)
16,08	18,86	15,20	17,80	22,00

La velocidad de infiltración de los suelos a regar debe ser mayor de 7 mm·h⁻¹ según Tarjuelo (2005).

La relación entre la pluviometría del aspersor y la velocidad de infiltración es muy importante en el diseño hidráulico del sistema, con una pluviometría del aspersor menor que la velocidad de infiltración, evita encharcamientos y escorrentías de acuerdo con Prado (2005). Los resultados obtenidos por el autor antes citado no son coincidentes con los de esta investigación. La evaluación técnica y económica del riego se realizó en sitios representativos que se seleccionaron acorde al grado de importancia en el uso del sistema de riego tipo cañón en un zona cañera de Guatemala teniendo como resultado que solo en una de las 8 localidades estudiadas la tasa de aplicación era inferior a la infiltración básica del suelo y que en el resto la tasa de aplicación superaba en 3 mm ·h⁻¹ a la infiltración básica.

Lámina de aplicación de cada línea de pluviómetros (+E/2;-E/2)

Los valores de lámina media fueron de 17,00; 14,89 y 16,92 mm para las hileras I_1 , I_2 y I_3 respectivamente como se muestra en la Tabla 5 y la lámina media general fue de 16,54 mm. Las láminas mínimas aplicadas para las hileras variaron de 1,55 hasta 2,22 mm y la general fue de 1,99 mm. Los valores de las láminas máximas para las hileras estuvieron entre 30,22 y 40 mm. La media para el segmento fue de 33,7 mm. Las desviaciones estándar oscilaron entre 6,44 y 7,83 y la media general fue de 7,20.

TABLA 5. Lámina de aplicación de cada línea de pluviómetros y dentro de la anchura de la franja (+E/2;-E/2)

	Media (mm)	Mínima (mm)	Máxima (mm)	DE
I_1	17,00	2,22	40,00	7,83
I_2	14,89	1,55	31,11	6,44
I_3	16,92	2,22	30,22	7,22
I_m	16,54	1,99	33,77	7,20

La lámina requerida es de 17,4 mm es decir igual a la altura media descargada por lo que todas la hileras recibieron menos agua que la necesaria, encontrándose la mayor diferencia en la línea dos con un valor de 2,51 mm, un equivalente a 25.1 m³ ha⁻¹. Este resultado tiene una estrecha relación con la tasa de aplicación de referencia la cual ya fue discutida.

Mateo *et al.* (2002), en un estudio de la uniformidad y la eficiencia de la precipitación arrojada por sistemas de riego presurizado encontraron que las láminas aplicadas eran menores del 50% de las láminas deseadas.

Parámetros estadísticos del riego

Los resultados de los principales parámetros que caracterizan la calidad del riego se presentan en la Tabla 6. Los valores del coeficiente de uniformidad oscilaron entre 67 y 70% para las hileras y para la franja fue de 68%. Para la uniformidad de distribución los valores oscilaron entre 89 y 73% para las líneas y 77% para la franja. El coeficiente variación tuvo un comportamiento similar al coeficiente de uniformidad. A pesar de ser el sistema de riego con cañones muy criticado por la mala uniformidad de reparto, el gran tamaño de gota, la elevada presión de trabajo, la alta pluviometría, la experiencia parece demostrar que se puede conseguir una buena uniformidad de aplicación y un tamaño medio de gota, si se elige bien la presión de trabajo, el tamaño y tipo de boquilla y el espaciamiento entre las posiciones de riego (Faria *et al.*, 2009). La forma de las curvas de precipitación a que habitualmente dan lugar los aspersores utilizados en estos equipos, obligan a una cierta superposición de las áreas mojadas por el cañón en su recorrido sucesivo, alturas de agua homogéneas (uniformidad del riego). El grado de superposición necesario en cada caso determina la anchura práctica de las franjas regadas en cada trayecto del aspersor.

La uniformidad de distribución del agua con los cañones de riego móviles depende principalmente de: la variación de la velocidad de avance, las características propias del aspersor y de sus condiciones de trabajo (presión, boquilla, ángulo de descarga), así como de la correcta selección de las condiciones de funcionamiento del equipo de riego (ángulo sectorial de majamiento y traslape de las franjas regadas). A todo esto hay que añadir la distorsión producida por el viento según su intensidad y dirección (Tarjuelo *et al.*, 2000). El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) y la eficiencia de aplicación (Ea), pueden alcanzar con un buen diseño y manejo. Valores como: para velocidades del viento de 0 a 2 m s⁻¹ los valores del

(CU) y (Ea) pueden ser de 82 y 77% respectivamente, mientras para velocidades del viento de 2 a 4 m s⁻¹ los valores del (CU) y (Ea) pueden ser de 70 y 65% respectivamente.

Tabla 6. Parámetros estadísticos del riego

Parámetros	I_1	I_2	I_3	FR
CU,%	70	68	67	68
UD,%	89	73	81	77
CV,%	8,3	8,1	8,0	4,7

Tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por determinados valores de uniformidad y eficiencia. Sin embargo, Keller *et al.* (1990) indicaron que la uniformidad depende mucho más del manejo de los sistemas de riego que el tipo de sistema utilizado.

Montero *et al.* (1997), son del criterio que la uniformidad de distribución del agua en los sistemas de aspersión es necesaria para un uso más eficiente del agua disponible, y que además, un riego eficiente permite maximizar la producción y limitar las pérdidas por percolación profunda.

Valores medios (V_v , LE , h_{Gase} , IG y Ed)

En las evaluaciones realizadas durante el pase del cañón por las tres hileras se produjeron variaciones de la velocidad del viento. En la Tabla 7 se observa una tendencia al incremento de las velocidades del viento desde las horas de la mañana 1,28 m s⁻¹ hasta horas de la tarde 1,55 m s⁻¹. Estas velocidades hacen que el viento clasifique como suave, al encontrarse por debajo de 2 m s⁻¹. Aunque el viento haya clasificado como suave es bueno recordar que se recomienda el riego en las primeras horas de la mañana o en horas de la noche, debido a que las velocidades del viento son menores al compararlas con las velocidades del mediodía y la tarde.

La velocidad del viento se incrementa con la altura según una función logarítmica, por lo que, en el diseño del sistema el aspersor se colocará lo más bajo posible según la altura de los cultivos a regar. Esta es también la razón por la que el ángulo de descarga de la mayor parte de los aspersores agrícolas es de 25° en lugar de los 32° que sería el ángulo que consigue mayor alcance en ausencia del viento (Herrera, 2002).

Otras características a considerar en el manejo del sistema es la frecuente reducción de la velocidad del viento por la noche. Esto aconsejaría alternar el riego diurno y el nocturno de cada zona para aumentar la uniformidad de reparto acumulada de varios riegos (Tarjuelo *et al.*, 1994).

La lámina evaporada fue de 3,35 mm y la lámina media descargada fue de 17,17 mm, Tabla 7. Las pérdidas por evaporación en el aire depende principalmente de: humedad ambiente, la temperatura del aire y del agua, la altura del emisor, el tamaño de las gotas y la velocidad del viento. Las pérdidas por arrastre dependen de la velocidad del viento, del tamaño de las gotas y de la distancia que tengan que recorrer hasta llegar el suelo.

En la realidad, cuando se manejan estos conceptos no hay que olvidar que no puede hablarse estrictamente de pérdidas,

ya que el microclima que se produce alrededor del cultivo durante el riego origina, entre otros efectos, una disminución considerable de la transpiración del cultivo. En experiencias con pluviómetros, las pérdidas se cuantifican entre el 2% y el 40% (mayoritariamente entre 5 y 15%), calculando éstas con diferencia entre el volumen emitido por los aspersores y el recogido en los pluviómetros (Yazar, 1998).

El arrastre por el viento varía mucho con el tamaño de gota producido por el aspersor. En este sentido deben evitarse los aspersores que tengan una curva radial con pluviometría superior a unos 7 a 9 mm·h⁻¹ en las proximidades del aspersor al ser indicativo de tamaño de gota muy pequeña en esa zona por lo que origina un descenso muy rápido del (CU) al aumentar la velocidad del viento por ser gotas fácilmente arrastradas por el viento.

TABLA 7. Valores medios de la velocidad del viento (Vv), lámina evaporada (LE), altura media descargada (H_{Gaseg}), índice de grosor de la gota (IG) y eficiencia de descarga (Ed)

Líneas	Vv (m s ⁻¹)	LE (mm)	H _{Gaseg} (mm)	IG	Ed (%)
I ₁	1,28				99
I ₂	1,46	3,35	17,17	2	86
I ₃	1,55				98
I _m	1,43				94

Los tres factores de mayor influencia en la eficiencia de descarga son la velocidad del viento, la temperatura por su influencia en la evaporación del agua y la presión de trabajo que influye en el tamaño de la gota, este indicador se mide con el índice de la gota (IG). En la evaluación realizada el valor fue de 2 por lo que se considera que las gotas son grandes (Tabla 7). La presión óptima de trabajo para este cañón es 6 atm y se encontraba trabajando a 3 atm es decir 0,3 MPa. Debe recordarse que con el aumento de la presión disminuye el tamaño de la gota. Sobre este aspecto es bueno analizar lo siguiente, la eficiencia de descarga tuvo su valor mínimo de 86% (Tabla 7) en la medición de la segunda hilera la cual se realizó en horas del mediodía, por lo que la temperatura debió influir en

la cantidad de agua evaporada.

Como efectos derivados de esta aplicación están: la relación con la capacidad de infiltración del terreno y la existencias de escorrentía, el deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas y su repercusión en la infiltración, formación de costra y erosión, la uniformidad de distribución en superficie, así como la posterior reducción dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico.

Las gotas pequeñas son fácilmente arrastradas por el viento, distorsionando el modelo de reparto del agua y el aumentando de la evaporación. Las gotas gruesas tienen gran energía cinética, las cuales son transferidas a la superficie del suelo, pudiendo romper los agregados y afectar a la capacidad de infiltración o a la formación de costra. (Vories *et al.*, 1997).

El efecto del tamaño de la boquilla es menor que el de la presión. Hay una mayor proporción de gotas pequeñas cuanto menor es el tamaño de la boquilla, explicándose porque el aire llega más rápidamente hasta el centro del chorro cuando menor es el diámetro de éste (Bernardo *et al.*, 2005)

Uniformidad transversal

La distribución del agua por el aspersor cumple con el modelo de reparto que caracteriza al mismo Figura 1. Las diferencias de las láminas aplicadas pueden explicarse fundamentalmente al patrón de humedecimiento del emisor. Al producirse un cambio de posición de riego se compensan las diferencias por el solapamiento entre las láminas aplicadas y en alguna medida por el efecto distorsionador del viento el cual tuvo una dirección predominante noroeste, por tanto cuando el chorro estaba sobre la parte (+E/2) sufrió mayor deformación en su patrón.

En los sistemas autopropulsados de riego, la uniformidad de aplicación del agua, la mayoría de las veces, no es adecuada, fundamentalmente por el desconocimiento de las mejores condiciones de operación de los equipos de riego, (Rocha *et al.*, 2005). De acuerdo con Prado y Colombo (2005), estas recomendaciones inadecuadas son consecuencia de la falta de conocimiento de las características reales de distribución del agua de los aspersores utilizados en estos equipamientos.

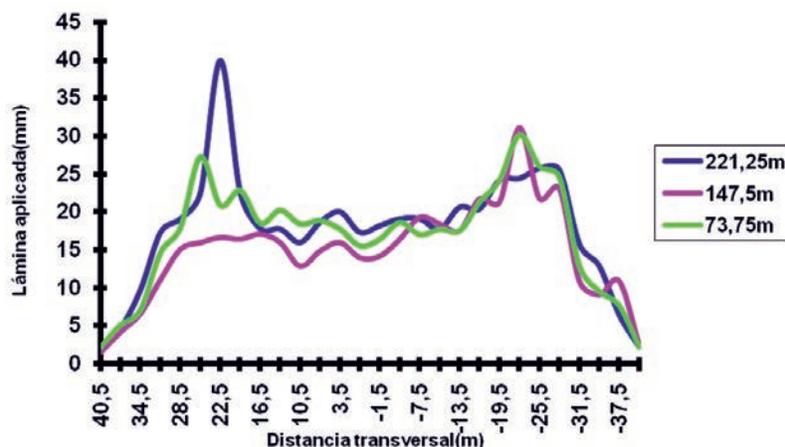


FIGURA 1. Láminas aplicadas en las líneas transversales (+E/2;-E/2).

El conocimiento de las características de distribución del agua de los aspersores es importante para que los proyectistas establezcan mejores condiciones de operación del sistema de riego por aspersión, de manera que se pueda optimizar la uniformidad de aplicación del agua (Prado *et al.*, 2007).

Bernardo *et al.* (2005) y Faria *et al.* (2009) sostienen que las características de distribución del agua de los aspersores dependen del modelo del aspersor considerado, de sus condiciones operacionales, altura de instalación, diámetro de la boquilla, presión de trabajo y ángulo de giro y las condiciones climáticas durante su operación

CONCLUSIONES

- Las láminas recogidas son ligeramente inferior a la aplicada, siendo la menor de 14,86 mm correspondiente a la línea 2, con un valor de eficiencia de descarga de 86%.
- Los valores del (CU) y (UD) estuvieron en el rango de lo permitido para esta tecnología en 68% y 77% respectivamente, por lo que el riego en términos de uniformidad se puede calificar como aceptable.
- El índice del grosor de la gota tuvo un valor demasiado pequeño (2), lo que significa que las propiedades hidrofísicas del suelo pueden sufrir variaciones

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERNARDO, S., A. SOARES & C. MANTOVANI: *Manual de irrigação*, 596pp. Sétima ed. Viçosa-MG, Imprensa Universitária, 2005.
2. CHRISTIAN SIMPFENDÖRFER: *Carretes de riego*, 32pp., Instituto de investigaciones agropecuarias INIA-Carillanca, Chile, 2001.
3. KELLER, J. & R. D. BLIESNER: *Sprinkle and trickle irrigation*, 652pp., NY, Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1990.
4. MATEO, J., PEDRO, P. y RAÚL, J.: "Riego con equipos presurizados", *Re. FCA UNCuyo*, 34(2): 27-32, 2002.
5. MONTERO, J., J.F. ORTEGA, J.M. TARJUELO y F.T. HONRUBIA: Análisis de las pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión, En: **XV Congreso Nacional de Riego**, 25 a 27 de junio de 1997, Lleida, Cataluña, España, 1997.
6. PRADO, G. A. COLOMBO & P.F BIAGIONI: "Ângulo de giro e espaçamento entre carreadores em sistemas autopropelidos de irrigação com o PLONA-RL400", Jaboticabal, Brasil, *Engenharia Agrícola*, 27(2): 36-41, 2007.
7. PRADO, G. & A. COLOMBO: Interpolação de perfis radiais de aplicação de água de aspersores. In: **Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola**, 34. Canoas, Anais, Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, Brasil, 2005.
8. ROCHA, F.A., G.M. PEREIRA, F.S. ROCHA & J.O. SILVA: "Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido", *Irriga Botucatu*, 10(1): 96-106, 2005.
9. TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, 581pp., 3ª Edición revisada y ampliada, Mundi-Prensa, España, 2005.
10. TARJUELO, J.M., P. CARRIÓN & M. VALIENTE: "Simulación de la distribución del riego por aspersión en condiciones de viento", *Revista de Investigación Agrícola, Producción y Protección Vegetal*, 9(2): 255-271, 1994.
11. TARJUELO, J. M., F. ORTEGA & J. MONTERO: Modelling Evaporation and Drift Losses in Irrigation with Medium Size Impact Sprinklers Under Semi-arid condition", *Agric. Water Manage*, 43(3): 263-284, 2000.
12. VORIES, E., R. VON BERNUTH & R. MICHELSON: "Simulating sprinkler performance in wind", *Journal of Irrigation and Draage Engineering*, 113(1): 119-130, 1997.
13. YAZAR, A.: "Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions", *Agr. Water Mngt*, 8 (4): 339-449, 1984.