



TECNOLOGÍA DE RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Resultados de eficiencias de aplicación para diferentes alternativas de diseño y manejo del riego por surcos, con flujo de agua continuo. Primera parte

Results of application efficiencies for different alternatives of design and handling of the furrows irrigation, with flow of continuous water. Part first

Dr.C. Ricardo Pérez Hernández

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

RESUMEN. El objetivo general de este trabajo se centró en la determinación de la eficiencia de aplicación en el riego por surcos con flujo de agua continuo para las variantes de diseño y manejo en surcos abiertos y cerrados, incluyendo al riego por surcos alternos; basada en la búsqueda bibliográfica de artículos nacionales publicados que contengan resultados de evaluaciones de campo. Fueron necesarias numerosas determinaciones adicionales de dicha eficiencia para completar las variantes de manejo no evaluadas por los autores. Para los suelos arcillosos negros con baja velocidad de infiltración básica, pendiente 0,1%, espaciamiento entre surcos 1,6 m, caudales de 5,0 y 4,3 L/s y longitudes de surcos de 250, 300 y 350 m, existe una tendencia de incremento de la eficiencia de aplicación con el aumento de la longitud de los surcos y del rango de la dosis neta parcial. En suelos arcilloso y franco arcilloso, para pendientes entre 0,13 y 0,2%, espaciamiento entre surcos 3,2 m, caudales de 3,0 y 2,5 L/s, los mejores resultados fueron para la longitud de 250 m con rangos de dosis entre, 38-42 mm y 45-52 mm.

Palabras clave: evaluaciones de campo, surcos alternos, surcos cerrados.

ABSTRACT. The general objective of this work are centered in the determination of the application efficiency in the furrow irrigation with continuous flow, in the handling variants with open and closed furrows, including the irrigation variant of alternating furrows; based on the bibliographical search of published national articles with results of field evaluations. For the black loam soils with low speed of basic infiltration, slope 0,1%, spacing 1,6 m, flows 5,0 and 4,3 L/s, and furrows longitude of 250, 300 and 350 m, a tendency of increment of the application efficiency is appreciated with the increase of the furrows longitude, as well as, with the range of the net dose partially. In loam soils and loam free (red- yellowish), with speed of basic infiltration among 15 – 50 mm/h, and for slope between 0,13 and 0,2%, spacing 3,2 m, flows of 3,0 and 2,5 L/s, the best results were for furrows of 250 m with dose ranges among: 38-42 mm and 45-52 mm. In all the cases, is bigger the application efficiency for the irrigation with closed furrows.

Keywords: field evaluations, alternating furrows, closed furrows

INTRODUCCIÓN

Para dar repuesta al lineamiento 202 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, se precisa de un uso más racional del agua, o sea, lograr en esta actividad un incremento satisfactorio de la eficiencia de aplicación. En Cuba similarmente a muchos otros países, el riego superficial es el más extendido y paradójicamente, el menos favorecido en cuanto a inversiones para su necesaria modernización; entendiéndose como modernización del riego superficial, a todo un conjunto de acciones que conduzcan

a incrementar la eficiencia general del riego en los sistemas y a escala parcelaria. Esto permitiría revertir la situación actual en Cuba, en cuanto a los derroches de los recursos agua y energía, así como, incrementar a niveles deseados los rendimientos agrícolas y la productividad del trabajo, para alcanzar en plazos menores de tiempo la ansiada seguridad alimentaria de nuestro pueblo.

La eficiencia de aplicación (E_a) se define como la relación entre el agua almacenada en la zona de raíces por efecto del riego y el agua total aplicada a la parcela de riego, Israelsen y Hansen (1970).

$$Ea = (L_{alm} / L_{ap}) \cdot 100$$

donde:

Ea-Eficiencia de aplicación (%);

L alm- Lámina almacenada (mm);

L ap- Lámina aplicada (mm).

Objetivo general del trabajo: Determinar la eficiencia de aplicación en diferentes escenarios agrícolas y variantes de manejo del riego por surcos con flujo de agua continuo, partiendo de la búsqueda y captura de trabajos de evaluaciones de campo publicados en el país, con la finalidad de contribuir al mejoramiento de, los planes de uso del agua, proyectos, y diseños de riego.

MÉTODOS

Por su complejidad intrínseca el tema de referencia requirió inicialmente, de una minuciosa búsqueda de resultados de trabajos de investigaciones desarrollados mediante evaluaciones de campo en el riego por surcos, en diferentes regiones agrícolas del país (antiguos Complejos Agroindustriales, Empresas y Unidades de Producción Investigación, Estaciones o Áreas Experimentales, etc.) y liderados por instituciones científicas como, el antiguo Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) del Ministerio de la Agricultura, el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) del Ministerio del Azúcar y Universidades Agrarias del país. Entre los diferentes autores consultados en la literatura internacional especializada, Lujan (1991), recomendó una tabla con valores de eficiencias de aplicación en función de una variable (tipos de suelo), procedencia atribuida a los autores Israelsen, Blaney y Criddle, y en otro caso con dos variables, la pendiente del terreno y la velocidad de infiltración estabilizada del suelo, procedencia atribuida a los autores Luque y Paolini. Todas ellas en general conducen a una minimización extrema del problema, que da lugar a resultados de eficiencias de aplicación pocos confiables. A diferencia de esto último, procedimos a organizar y elaborar una tabla que contenga los valores más precisos posibles de la eficiencia de aplicación, en dependencia de los múltiples factores que la condicionan, independientemente del grado de complejidad que puedan introducir. El procedimiento metodológico se resume en:

a. Captura de trabajos de investigaciones nacionales publicados y consulta de la literatura internacional especializada en relación a la temática de referencia.

- b. Confección de una tabla de Ea en dependencia de los siguientes factores: rango de velocidades de infiltración básica del suelo, rango de dosis neta parcial, longitudes de surcos, pendiente longitudinal, espaciado entre surcos, técnica de riego (surcos abiertos y surcos cerrados), algunos casos de riego por surcos alternos en caña de azúcar y el caudal o caudales de aplicación.
- c. Utilización de diferentes herramientas de cálculo, programación y simulación, para la determinación de la Ea en aquellos casos que contiene la tabla y que no fueron evaluados por los autores (longitudes de surcos, dosis neta parcial, surcos cerrados).

Se utilizaron: el modelo de simulación SIRMUD, Universidad de UTAH, USU (1993), el cual presenta como opciones de trabajo 3 modelos matemáticos, el Hidrodinámico, el de Ondas Cinemáticas y el de Cero Inercia, el software EDRIS de Rodríguez, J. A. del antiguo IIRD, además se utilizó el DIERIS, Pérez y Muhamad (2010), una programación en hojas de cálculo Excel para el diseño del riego, evaluaciones de campo y diseño de la parcela, destacándose el aporte de la solución del riego con surcos cerrados. En todos los casos la Ea fue determinada para los dos tipos de riego, con surcos abiertos en su extremo aguas abajo y cerrados (esta no fue determinada en los trabajos recopilados), así como, para algunas variantes de riego por surcos alternos en la caña de azúcar. Estimamos conveniente determinar y presentar en rangos la Ea para cada una de las longitudes de surcos en dependencia del rango de la dosis neta parcial (Dnp), de lo contrario, un valor de Ea por cada longitud de surco se asociaría a un solo valor de Dnp, por tanto sería más engorroso aún el proceso de cálculo y mucho mayor el tamaño de las tablas. Los resultados obtenidos se muestran en dos tablas, la Tabla 1, los agrupa para diferentes condiciones locales y suelos: Arcilloso negro (Vertisoles eútricos- Oscuros plásticos) del antiguo Complejo Agroindustrial Urbano Noris, la Empresa de Cultivos Varios. J. A. Serrano, de la provincia de Holguín (región del Valle del Cauto), los antiguos Complejos Agroindustriales Finalet y Batalla de Santa Clara en la provincia de Villa Clara, y del antiguo Instituto de Investigaciones del Arroz, hoy día, Instituto de Investigaciones de Granos, predominando los cultivos de la caña de azúcar y el plátano. En la Tabla 2, se presentan las eficiencias de aplicación en suelos: Arcillosos y Franco arcilloso (Ferralíticos rojos- Alítico amarillento) de las provincias de, Artemisa, Matanzas, Ciego de Ávila y Pinar del Río. Cultivos: caña de azúcar, plátano, papaya, tomate, cebolla y tabaco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 1. Eficiencias de aplicación para el riego por surcos con flujo de agua continuo en suelos: arcilloso negro (Vertisoles eútricos Oscuros plásticos)

Pendiente Longitudinal i (%)	Espacio e/surcos Esp. m	Caudal Entrega Qo L/s	Tipo Riego Abiertos Cerrados	Velocidad de infiltración básica (mm/h)								
				7,5-12,0								
				Dosis neta parcial (mm)								
				25-35			38-42			45-52		
Longitud de los surcos (m)												
				250	300	350	250	300	350	250	300	350
? 0,1	1,6	5,0-4,3	A	56-60	55-61	55-62	64-74	73-75	75-77	63-69	76-78	74-79
			C	59-62	58-63	58-63	68-76	79-76	77-79	66-71	79-80	76-80
0,13-0,2	1,6	4,3,2	A	45-60	48-62	48-52	50-55	52-57	53-59	50-60	51-55	52-57
			C	46-66	51-67	53-66	54-61	56-64	57-65	55-63	55-59	58-61
			A	70-77	69-78	67-78	78-80	79-82	81-83	71-77	77-82	81-84

Pendiente Longitudinal i (%)	Espacio e/surcos Esp. m	Caudal Entrega Qo L/s	Tipo Riego Abiertos Cerrados	Velocidad de infiltración básica (mm/h)									
				7,5-12,0									
				Dosis neta parcial (mm)									
				25-35			38-42			45-52			
Longitud de los surcos (m)													
				250	300	350	250	300	350	250	300	350	
0,2	S. Alternos	4,8	4,5	C	72-79	71-79	69-80	82-84	83-85	84-86	76-80	80-85	84-86
				A	46-48	46-47	33-45	51-54	49-53	52-48	55-59	55-58	55-58
				C	48-49	48-48	35-47	52-56	50-55	53-49	57-62	57-60	56-60
	S. Alternos	1,5	1,0	A	56-55	57-57	56-59	54-53	57-56	57-58	52-50	55-53	57-56
				C	65-65	65-66	62-69	64-63	66-65	67-67	62-60	65-63	66-65

De la tabla anterior, se destacan los siguientes aspectos:

Para una pendiente menor o igual 0,1%, espaciamiento entre surcos 1,6 m y caudales de 5,0- 4,3 L/s, longitudes de surcos de 250, 300 y 350 m, se aprecia una tendencia de ligero incremento de la eficiencia de aplicación con el aumento de la longitud del surco y del rango de la dosis neta parcial. Por ello, resulta conveniente dar prioridad a longitudes de surcos de 300 y 350 m con dosis comprendidas entre los dos últimos rangos de la tabla. Pérez (2000), para dichos caudales y dosis neta parcial de riego de 41 mm en surcos de 380 m de longitud y espaciamiento 1,6 m, reportó valores de eficiencia de aplicación de 76% para el caudal de 5 L/s y de 79% para el caudal de 4,3 L/s. Para pendientes entre 0,13 y 0,2%, espaciamiento

3,2 m y caudales 3,0-2,5 L/s, los mejores resultados para surcos abiertos se obtuvieron para longitudes de surcos de 350 m, con Ea entre 81-84% y 81-83% para rangos de Dnp entre 45- 52 mm y 38-42 mm, respectivamente, siendo aún superiores los valores de Ea para la variante de surcos cerrados. La combinación de este último con surcos alternos, resulta la mejor opción. Por otra parte, el riego con caudal de 4,5 L/s y espaciamiento entre surcos de 4,8 m, es decir, regando un surco y dos surcos no, carece de atractivo en la agricultura cañera. Para el mismo rango de pendiente anterior, espaciamiento 1,6 m y caudales de 4,0, 3,0 y 2,0 L/s, las mejores posibilidades se presentan para los rangos de dosis entre 38 – 42 mm y 45 – 52 mm, en longitudes de surcos de 300 y 350 m con ambos tipos de manejo del agua.

TABLA 2. Eficiencia de aplicación para el riego por surcos con flujo de agua continuo en suelos: arcilloso y franco arcilloso (Ferralíticos rojos- Alítico amarillento)

Pendiente Longitudinal i (%)	Espacio e/surcos Esp. (m)	Caudal Entrega Qo L/s	Tipo Riego Abiertos Cerrados	Velocidad de infiltración básica (mm/h)									
				15-50									
				Dosis neta parcial (mm)									
				25-35			38-42			45-52			
Longitud de los surcos (m)													
				130	200	250	130	200	250	130	200	250	
0,13-0,2	1,6	3,0	A	47-51	44-51	41-49	51-52	53-54	50-52	52-52	55-61	53-88	
			C	50-56	47-55	43-52	58-59	57-60	54-57	59-60	61-64	58-61	
	3,2	3,0-2,5	A	50-51	58-53	60-54	53-55	59-61	63-64	56-60	62-64	68-61	
			C	57-57	60-67	65-57	58-59	66-67	68-70	59-62	68-61	75-68	
	0,2-0,3	1,5	2,0-1,5	A	47-58	38-53	35-42	56-60	50-60	44-48	59-62	54-62	50-54
				C	49-60	39-54	36-43	58-65	50-62	45-49	62-65	56-66	51-57
1,5	2,5	2,5	A	48-49	45-52	40-50	50-48	53-54	52-54	45-44	54-54	55-57	
			C	50-55	46-55	42-52	54-52	57-59	55-58	50-50	59-60	59-62	
1,5	3,5	3,5	A	55-55	45-52	41-49	54-50	54-55	51-53	48-41	55-56	54-56	
			C	58-61	46-55	43-53	60-57	57-59	55-58	54-47	60-62	59-62	
1,6	3,0-2,0	3,0-2,0	A	41-55	31-51	32-47	54-39	44-55	47-54	57-31	49-58	50-58	
			C	43-56	34-55	35-48	56-40	45-56	50-56	59-32	50-61	52-62	
3,2	3,0	3,0	A	57-54	46-60	45-57	53-50	62-64	60-62	48-43	64-62	63-63	
			C	61-69	47-61	46-58	64-66	65-67	62-64	66-62	61-66	66-67	
0,8	1,5	1,5	A	40-49	52-58	29-39	51-53	58-57	41-44	54-56	57-55	46-51	
			C	41-52	55-63	30-40	55-58	65-66	43-47	59-63	66-64	49-55	
0,9	1,25	1,25	A	48-55	42-52	37-47	55-56	64-55	49-52	56-54	56-58	54-56	
			C	50-58	43-54	37-48	60-61	59-61	51-54	61-61	61-63	56-60	

Para pendientes entre 0,13 y 0,2%, espaciamiento entre surcos 3,2, caudales de 3 y 2,5 L/s, los mejores resultados se aprecian en surcos abiertos para las longitudes de 200 y 250 m con los 2 últimos rangos de Dnp, siendo aún superiores cuando se combina el riego por

surcos cerrados y alternos. El mejor comportamiento se logra con longitudes de 250 m, alcanzándose un rango de Ea entre 75–68% con el último rango de Dnp. En rangos de pendiente entre 0,3 y 0,4%, espaciamiento 3,2 y caudal de 3,0 L/s, los mejores resultados de Ea se obtienen para los dos últimos rangos de Dnp y longitudes de surcos de 130, 200 y 250 m, mediante la combinación del riego con surcos alternos y cerrados. Se obtuvieron rangos de valores de Ea entre 66 y 67% para longitudes de surcos de 250 m y rango de Dnp entre (45 y 52) mm. Para pendientes entre 0,2 y 0,3%, espaciamiento entre surcos 1,5 m, con caudales de aplicación de 2,0 y 1,5 L/s, el resultado más sobresaliente para la alternativa de riego por surcos abiertos, se aprecia en longitudes de surcos de 130 m, con Dnp entre (45 y 52) mm. Para el riego por surcos cerrados e idéntica longitud de los surcos, la Ea presenta valores entre de 62 y 65%. Por último, los trabajos que aportaron resultados en ambas tablas fueron: Chaviano *et al.* (1985), Santos (1987), Dehoguez y García (1989), Dehoguez *et al.* (1991), Meneses (2000), Pérez (2000), Díaz (2000), Pérez y Meneses (2004), Abreu *et al.* (2005), Pérez *et al.* (2010) y Mohamed (2010), entre otros.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos para la eficiencia de aplicación mostrados en las tablas anteriores, por su confiabilidad, consideramos que pueden ser utilizados en la elaboración de los planes de riego y de uso del agua en la agricultura cubana (incluida la cañera), así como, en la actividad de proyectos de sistemas de riego por surcos, entre otras aplicaciones.
- Los resultados de referencia, sin antecedentes en el país, permiten seleccionar las longitudes de surcos y rango de dosis neta parcial de riego, asociadas a los valores de eficiencias de aplicación más satisfactorios.
- Se demuestra en todos los casos que la alternativa más eficiente de manejo del agua en el riego de la caña de azúcar, es la del riego por surcos cerrados y alternos (3,2 m) lo cual favorece aún más, los ahorros de agua y energía, garantizándose la entrega de la lámina de agua requerida en toda la longitud de los surcos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, E. O.; O. BROWN; B. RODRÍGUEZ; C. BONET; S. CABRERA; N. H. GARCÍA; J.N. BARRIOS; J. GONZÁLEZ: Manejo del agua en condiciones de flujo continuo e intermitente en el cultivo del tomate y cebolla. Su efecto sobre los rendimientos En: Congreso Internacional de Riego y Drenaje. **Cuba Riego 2005**, ISBN 959-7164-95-7. La Habana, Cuba, 2005.
- CHAVIANO, H.: Resultados del riego por surcos abiertos continuos y alternos, con espaciamientos de: (1,6, 3,2, 4,8 y 6,4) m, en el CAI Batalla de Santa Clara, Villa Clara. En: **Primera Jornada Científica del Centro Nacional de Capacitación Azucarera (CNCA)** del Ministerio del Azúcar (MINAZ) y Revista Científico-Técnica CNCA, pp. 5-7, La Habana, Cuba, 1985,
- DEHOGUEZ, E.; O. R. GARCÍA; R. PÉREZ: Determinación de los principales parámetros del riego por surcos en vertisuelos, Etapa 03 Programa Ramal (511- 03). IIRD-MINAGRI. La Habana, 1989 En: **Memorias de la Primera Jornada Nacional de Riego y Drenaje**. Unión de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, La Habana, Cuba, 1991.
- DÍAZ, A.: *Evaluación, Manejo, y Diseño del Riego por Pulsos para el cultivo del Tabaco en un Ferrosol*, **Tesis (en opción al título de Master en Riego y Drenaje)**, Universidad Agraria de La Habana-Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 2000.
- ISRAELSEN-HANSEN: *Principios y aplicaciones del riego*, Edición Revolucionaria. Instituto Cubano del Libro, 2ª Edición. La Habana, Cuba, 1970.
- LUJAN, J.: *Eficiencia del Riego*, Editora Centro de Estudios Hidrográficos y Experimentación de Obras Públicas, pp. 7–16, ISSN: 0211-6499; M22, Madrid, España, 1992
- MENESES, P. J.: *Determinación de los parámetros de diseño del riego superficial en la caña de azúcar*, **Tesis (en opción al título de Master en Riego y Drenaje)**, Universidad Agraria de La Habana-Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 2000.
- MOHAMED, M.: *Mejoramiento del Diseño y Evaluación del Riego por Surcos para diferentes escenarios agrícolas en Cuba*, 115pp., **Trabajo de Diploma (en opción al título en Ingeniería Hidráulica)** Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE, La Habana, 2010.
- PÉREZ, R.: “Eficiencias del Riego por Surcos”, ISSN-0590-2916, *Cuba Azúcar*, (3): julio–septiembre, La Habana, 2000.
- PÉREZ, R.; J. MENESES: Impacto de las evaluaciones del riego por surcos en la caña de azúcar, En: **Novena Convención Internacional y Feria de las Industrias Metalúrgicas, Mecanización y del Reciclaje**. METÁNICA, Palacio de Convenciones de La Habana, ISSN 1607-6281, Cuba, 2004.
- PÉREZ, R.; E. Jiménez; L. Montero; O. Sarmiento; J. Guzmán: Resultados de diferentes alternativas de manejo del riego superficial tecnificado en el cultivo de la papaya maradol roja plantada con marco extradensado, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 17-22, 2010.
- SANTOS, S.: *Estudio de la Técnica de Riego por Surcos en caña de azúcar*. Estudio de Post grado de Riego y Drenaje, Centro Nacional de Capacitación Azucarera, Jesús Menéndez, CNCA-MINAZ-ISCAH, 1987, Ed. *Revista Científico-Técnica CNCA*, pp. 3-6, La Habana, Cuba, 1987.
- USU, SIRMOD: “The surface irrigation model”, User’s guide Irrigation Software Engineering Division, Dept. of Biological and Irrigation Engineering, Logan, Utah. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 114(1): 4-17, 1993.

Recibido: 12 de septiembre de 2012.

Aprobado: 5 de septiembre de 2013.

Ricardo Pérez Hernández, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Riego y Drenaje. Carretera de Fontanar, km 2 ½, Rpto. Abel Santamaria, Boyeros, La Habana, Cuba. Telf: (53) (07) 645- 1731; 645 – 1353., Correo electrónico: ricardo@iagric.cu.