

MODERNIZACIÓN DEL RIEGO SUPERFICIAL PARA MANEJAR EL AGUA EFICIENTEMENTE.

Modernization of surface irrigation to manage water efficiently.

Rafael Martin Fernández, Unidad Científico-Técnico de Base del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba. esp-iagric@dlq.pri.minag.gob.cu

Osmel Alvares Huerta, Unidad Científico-Técnico de Base del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba. esp-iagric@dlq.pri.minag.gob.cu

Calixto Domínguez Vento, Unidad Científico-Técnico de Base del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba. esp-iagric@dlq.pri.minag.gob.cu

Resumen

El riego por pulsos es la aplicación discontinua y alternada del agua a grupos de surcos simétricamente ubicados respecto a un punto de control. Su utilización ha revolucionado sustancialmente la técnica de riego por surcos; la cual es la más utilizada en el cultivo del tabaco negro cultivado al sol en Cuba, y que se caracteriza por su baja eficiencia y baja productividad del agua, de la energía y del regador. Con vistas a incrementar la eficiencia en los parámetros antes enunciados, se evaluó durante dos campañas de riego, en la finca Santa María, del municipio de Consolación del Sur, en la Provincia de Pinar del Río, en suelos del tipo Ferralítico cuarcíticos amarillo lixiviado el efecto del riego por pulsos. Los resultados obtenidos muestran que la cantidad total de agua utilizada, como promedio en las dos cosechas evaluadas fue de 14 249 m³, lo cual significó una reducción en el agua total con relación al promedio de las 3 campañas anteriores donde se regó por el sistema tradicional de 5 418 m³, alcanzado con ello una eficiencia de aplicación del 69 %, superior en un 19 % a la eficiencia planificada para los sistemas de riego por surcos tradicionales, Del mismo modo el tiempo para aplicar un riego se redujo de 17,3 horas a 12,4 horas, y los hombres necesarios se redujeron de 4 hombres por riego a un hombre por riego, además de una disminución en el consumo de energía eléctrica de 5 626 kW por cada campaña.

Palabras clave: Riego por Pulsos, Suelo, ferralítico-cuarcítico.

Abstract

Irrigation by pulses is the discontinuous and alternating application of water to groups of furrows symmetrically located with respect to a control point. Its use has substantially

revolutionized the technique of irrigation by furrows, which is the most used in the production of black tobacco cultivated in the sun in Cuba, and which is characterized by its low efficiency and low productivity of the water, of the energy and of the irrigation workers. In order to increase the efficiency in the above mentioned parameters, the effect of pulse irrigation was evaluated during two irrigation campaigns in the farm Santa María, municipality Consolación del Sur, in the Province of Pinar del Río, in Ferralitic soils of the type quartzitic yellow leached. The results obtained show that the total amount of water used, as an average in the two crops evaluated was 14,249 m³, which meant a reduction in total water in relation to the average of the previous 3 seasons where it was irrigated by the traditional system of 5 418 m³, achieving an application efficiency of 69 %, 19 % higher than the planned efficiency for traditional furrow irrigation systems. In the same way, the time to apply irrigation was reduced from 17.3 hours to 12.4 hours, and the workers needed for irrigation were reduced from 4 to 1, in addition to a decrease in the electric power consumption of 5 626 kW for each season.

Keywords: Pulse Irrigation, Quartzitic-ferralitic, Soils.

INTRODUCCIÓN

Resulta un hecho conocido, que el mal funcionamiento de los sistemas de riego superficial, no es solo consecuencia de la Organización y Gestión en el Sistema de Riego, sino que muchos de los problemas de ineficiencia achacados a este método de riego están relacionados con la no aplicación de principios básicos del mismo como requerimiento de un campo bien nivelado, excesivos gastos de entrega de agua a los surcos y no detención del riego a tiempo (Castañón, 2000). Una solución a estos problemas se ha encontrado en la aplicación de nuevas tecnologías como la nivelación del campo guiada por láser y la introducción de la automatización y control de la entrega del agua (Koech et al., 2010). Otra técnica de aplicación del agua que ha revolucionado sustancialmente el método de riego superficial, particularmente en la técnica de riego por surcos, es el denominado riego por pulsos, descrito por primera vez por Stringham y Keller en 1979, citado por Walker (1989).

El Riego por Pulsos es la aplicación discontinua y alternada del agua a grupos de surcos simétricamente ubicados respecto a un punto de control. Su principio está basado en una válvula operada por un pequeño motor alimentado por baterías que permite distribuir alternativamente agua a dos mitades de un campo a tiempos previamente programados. De este modo, el primer riego avanza en el surco en una pequeña longitud del mismo y luego la válvula cambia al otro lado del campo donde el agua avanza hasta una distancia dentro del surco, según el tiempo programado de aplicación de agua antes de cambiar hacia el otro lado. El número de ciclos de alternancia del riego en uno u otro lado del campo lo programa el regador a voluntad y depende del tipo de suelo, el tiempo de riego y de la cantidad de agua disponible para el riego (Reyes et al., 2005).

En Cuba, varios autores han estudiado el comportamiento de esta técnica de riego, todos en suelos ferralíticos rojos (Rodríguez et al., 2002, 2013, Pérez, 2014b, 2014a), entre otros. Particularmente, en el cultivo del tabaco, también en suelo ferralítico de la

provincia de Ciego de Ávila, Díaz (2000), estudió la eficiencia de esta técnica de riego y demostró, en coincidencia con los autores antes citados, que el sistema se paga en un intervalo de uno a tres años, variando su costo entre 890 a 690 USD por hectárea en dependencia de la utilización o no de tuberías de PVC como conductoras.

Los resultados obtenidos con esta técnica en Cuba y en otros países como Argentina Belaustegui (2016), Estados Unidos Williams et al. (1996) y Australia Koech et al. (2010), indujeron a la introducción de la misma, con la cooperación del Proyecto OP 15, en la finca Santa María dedicada a la producción de tabaco negro en la Provincia de Pinar del Río en suelos loam arenosos; el comportamiento de este sistema en cuanto a productividad, eficiencia del uso del agua, ahorro energético y productividad del agua fueron los objetivos de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la Finca Santa María perteneciente al productor Manolo Acosta ubicada a los 22° 26' 251'' N y 83° 28' 163'' W en el Municipio de Consolación del Sur, provincia de Pinar del Río. La finca cuenta con un área de 67 hectáreas (ver figura 1) donde el tabaco negro es el principal cultivo, el cual se rota con frijoles (*Vicia faba*) y maíz (*Zea mais*).

El suelo predominante es del tipo Ferralítico cuarcítico amarillo lixiviado según la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba Instituto de Suelos (IS) (1979), que se correlaciona con un Ferrasol según FAO/Unesco 1968 (Mesa et al., 1984). Las principales propiedades físicas de este suelo se muestran en la Tabla 1 de acuerdo con Cid et al. (2017).

TABLA 1. Principales propiedades hidrofísicas del área de estudio, elaborada a partir de Cid et al., 2017)

Prof. cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Da g cm ⁻³	Cc cm ³ cm ⁻³	Limite Productivo 80 % Cc	Saturación cm ³ cm ⁻³	Inf. Básica cm h ⁻¹
20	86,5	6,6	5,1	1,35	0,154	0,123	0,475	5
40	86,7	6,3	5,0	1,36	0,154	0,123	0,470	
60	91	5,3	3,7	1,40	0,155	0,124	0,385	
80	91,5	5,0	3,5	1,39	0,150	0,120	0,373	
100	91,6	5,1	3,5	1,41	0,125	0,100	0,379	



Figura 1. Vista aérea de la Finca Santa María, Consolación del Sur, Pinar del Río

La fuente de agua en la finca es subterránea y proviene de dos pozos con sendos equipos de bombeo y caudales de 75 y 45 L/s. Estos pozos están interconectados entre si y pueden trabajar de conjunto o individualmente según el caudal total demandado. El agua es conducida a los campos mediante un sistema de tuberías soterradas de PVC, con hidrantes localizados en cada campo para la entrega del agua al mismo (Reyes, 2010). A la salida de este hidrante se colocó un tanque de 208 litros donde vertía el agua entregada por el hidrante; al mismo se conectó la manga de polietileno (Figura 2)



Figura 2. Hidrante de salida al campo y tanque amortiguador con conexión de las mangas de polietileno.

La evaluación del comportamiento hidráulico se llevó a cabo en el paño 4 (Figura 1). Este campo constaba de 126 surcos separados a 0,9 m (Espino et al., 2012) y el sistema de riego consistía en mangas de polietileno de 150 mm dotadas con compuertas BG 40 colocadas en la manga a una distancia de 0,9 m acorde con la distancia entre surcos utilizadas. En el centro de los 126 surcos se situó la válvula de control de los pulsos (válvula p&r con controlador Star de 6, Figura 3)

En la campaña de siembra 2016-2017 se realizó la evaluación hidráulica preliminar y sus resultados fueron descritos por Cun et al. (2016). Luego de esta evaluación preliminar, en el resto de los campos se continuó con la evaluación del comportamiento del sistema (parámetros de explotación y productividad de ambas técnicas). Estos últimos resultados fueron comparados con los obtenidos mediante sistema de riego tradicional (riego continuo hasta alcanzar el final del surco, con surcos abiertos) en las campañas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016.



Figura 3. Disposición de las compuertas y válvula de control en el campo de tabaco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La norma neta total del tabaco es de $1932 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ por campaña, la cual equivale a un volumen $9833,88 \text{ m}^3$ de agua para las 5,09 ha beneficiadas, comparando este último valor con los 19668 m^3 consumidos en el riego superficial tradicional (Tabla 2) se obtiene una eficiencia en el uso del agua de 50%, sin embargo el consumo medio en las dos campañas regadas con el sistema de riego por pulsos fue de $14248,50 \text{ m}^3$ lo que equivale a una eficiencia en el uso del agua de 69%.

La Tabla 2 muestra los parámetros de explotación del sistema cuando regó por pulsos y cuando siguió la técnica tradicional. Como puede apreciarse en la misma, con el riego por pulsos se utilizaron solo 14 248 m³, lo cual significó una norma promedio bruta de 2799 m³ha⁻¹.

La norma neta prevista a utilizar en tabaco, según la resolución del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos al respecto INRH (2015), es de 1932 m³ha⁻¹, esta misma resolución indica utilizar una eficiencia del 50% para el cálculo de la norma bruta en el caso del riego por surcos, lo cual significa planificar una norma bruta total para una campaña de riego en el tabaco de 3864m³ha⁻¹. Utilizando las cifras anteriores, esto significaría para el caso de las 5,09 ha del sistema, una norma bruta total de 19667 m³.

Sin embargo, en la Tabla 2 puede observarse que al utilizar la técnica del riego por pulsos en el tabaco para estas condiciones de suelo, la cantidad total de agua utilizada como promedio en las dos cosechas evaluadas fue de 14 249 m³, lo cual significó una reducción en el agua total con relación al promedio de las 3 campañas anteriores donde se regó por el sistema tradicional de 5418 m³.

Tabla 2. Parámetros de explotación de ambos sistemas

Actividad	Sistema tradicional. Media de las campañas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016	Riego por pulsos Campaña 2016-2017	Riego por pulsos Campaña 2017-2018	% consumo agua por riego (Pulso 2016/2017 vs Tradicional)	% consumo de agua por riego (Pulso 2017/2018 vs Tradicional)
Tiempo para un riego (h)	17,3	12,7	12,4	73	72
Hombres necesarios (u)	4	2	1	50	25
Consumo eléctrico (kW)	1816	1347	1302	73	71
Consumo total de agua (m ³)	19668	14455	14042	73	71

Esta reducción en la cantidad de agua aplicada significó que al regar por pulsos, la eficiencia de aplicación alcanzada fue del 69%, superior en un 19% a la eficiencia planificada para los sistemas de riego por surcos tradicionales.

El incremento de la eficiencia en el riego por pulsos ha sido también demostrados por varios autores en Cuba, de este modo (Pérez, 2014b), trabajando en Vertisuelos y suelos ferralíticos con caña de azúcar obtuvieron incrementos de eficiencia al comparar el riego por pulsos vs el riego tradicional de un 29%, con eficiencias de aplicación en el riego por pulsos que variaron de 72 a 81 en dependencia del caudal y la longitud de surco empleada. Por su parte, Rodríguez et al. (2013) en suelos ferralíticos rojos de la provincia deiego de Ávila obtuvieron eficiencias en el riego por pulsos hasta de un 80%. Rodríguez et al. (2002), en el cultivo del tabaco en suelos ferralíticos rojos obtuvieron eficiencias del 75% cuando trabajaron con surcos de 180 m y caudales de 2 litros por segundo con ciclos variables.

Los resultados de este trabajo y los obtenidos por otros autores en el país indican las potencialidades del riego por pulsos como vía para la modernización del riego superficial, el cual con la técnica y el manejo adecuado puede alcanzar eficiencias de aplicación similares a las del riego por aspersion con un costo de inversión inferior.

Otros parámetros que destacan las ventajas del riego por pulsos al compararlo con el riego tradicional por surcos en el cultivo del tabaco, es la reducción en el tiempo para aplicar el riego y la cantidad de hombres necesarios para realizar el mismo; de este modo, en la Tabla 2 se aprecia que el tiempo para efectuar un riego se redujo de 17,3 horas a 12,4 horas, y los hombres necesarios se redujeron de 4 hombres por riego a un hombre por riego, además de una disminución en el consumo de energía eléctrica de 5626 kW por cada campaña.

La adecuada aplicación del riego en cantidad y momento oportuno como resultado de la utilización del riego por pulsos parece haber influido en los resultados de producción alcanzados en las campañas donde este fue aplicado (Tabla 3) El resultado productivo es significativo, ya que la producción obtenida con el riego por pulsos en comparación con la obtenida con el riego tradicional se incrementa en un 126% (Tabla 3), mientras que el volumen de agua utilizado para producir una tonelada de hojas de tabaco con el sistema de riego por pulsos equivale al 57% del agua utilizada para producirla con el sistema tradicional.

Tabla 3. Parámetros productivos de ambos sistemas

Rendimientos				Incremento productivo pulsos vs tradicional (%)	Productividad del agua Sist. tradicional (m ³ t ⁻¹)	Productividad del agua Sist. por pulsos (m ³ t ⁻¹)	% de agua utilizada para producir 1 t de hojas de tabaco con el sist. por pulsos vs el sist. tradicional
Medio 3 campañas con sist. tradicional (t ha ⁻¹)	Campaña con sist. por pulsos 2016-2017 (t ha ⁻¹)	Campaña con sist. por pulsos 2017-2018 (t ha ⁻¹)	medio 2 campañas por pulsos (t ha ⁻¹)				
1,37	1,71	1,75	1,73	126	2821	1594	57

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran las ventajas técnicas, económicas, productivas y medio ambientales que posee la aplicación del riego superficial por pulsos en comparación con el riego superficial tradicional en el cultivo del tabaco. Lo anterior indica la necesidad de extender la evaluación de esta técnica al resto de los cultivos que se siembran en hilera y se riegan con sistemas superficiales tradicionales en estos suelos típicos de la provincia de Pinar del Río.

Hay que señalar que los satisfactorios resultados obtenidos se lograron aun sin un alisamiento adecuado del suelo en el área evaluada, por lo que en próximas evaluaciones, la ejecución de esta labor pudiera conllevar a la obtención de mejores

resultados, ya que a pesar que se incrementaron todos los parámetros evaluados, aun distamos del 80% de la eficiencia en el uso del agua loguable con esta técnica de riego.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los resultados del Proyecto 2: “Fortalecimiento de Capacidades para la Coordinación de Información y los Sistemas de Monitoreo/MST en Áreas con Problemas de Manejo de los Recursos Hídricos”, del Programa de Asociación de País (CPP/OP 15, Country Pilot Partnership) sobre Manejo Sostenible de Tierras PIMS (3005) en Apoyo al Programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en Cuba, como donante el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), Implementadores: ONU Ambiente y PNUD, Ejecutor: Agencia de Medio Ambiente, Agencia Técnica de Colaboración FAO y con la participación de diversas instituciones nacionales. Muchas gracias por el valioso apoyo a la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Belaustegui, S. (2016): Introducción al riego por caudal discontinuo, Inst. P&R, Hoja Técnica N° 1, Argentina. 4 p.

Castañón, G. (2000). Ingeniería de riego, Ed. Madrid, ES: Paraninfo, Madrid, España.

Cid, G.; López, T.; González, F.; Herrera, J.; Ruiz, M.E. (2017). “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31.

Cun, R.; Reyes, J.; Herrera, J.; Cisneros, E. (2016). Informe técnico sobre la evaluación del sistema de riego superficial en la finca del productor José Manuel Acosta en el municipio Consolación del Sur, provincia Pinar del Río, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, Cuba.

Díaz, A. (2000). Evaluación, Manejo, y Diseño del Riego por Pulsos para el cultivo del Tabaco en un Ferrosol, Universidad Agraria de La Habana, Maestría en Riego y Drenaje, San José de Las Lajas, La Habana, Cuba.

Espino, E.; Uriarte, B.E.; Cordero, P.L.; Rodríguez, N.; Izquierdo, A.; Blanco, L.E.; Hernández, J.M.; Quintana, G.; Benítez, O.; Ibizate, J. (2012). Instructivo técnico para el cultivo del tabaco en Cuba, Ed. Ministerio de la Agricultura. Instituto de Investigaciones del Tabaco, Artemisa, Cuba, 148 p.

INRH (2015). Resolución 287/2015, Anexo 2. Índices de Consumo: Normas de Riego Netas Totales para los Cultivos Agrícolas, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Resolución, Presidencia del INRH, La Habana, Cuba.

Instituto de Suelos (1979). Clasificación genética de los suelos de Cuba, La Habana, Ed. Academia, 28 p.

Koech, R.; Smith, R.; Gillies, M.(2010): Automation and control in surface irrigation systems: current status and expected future trends, [en línea], En: *Proceedings of the 2010 Southern Region Engineering Conference (SREC 2010)*. Australia,Ed. Engineers Australia, Toowoomba, pp. 11-17, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/267297717> [Consulta: 12 de mayo de 2018].

Mesa, A.; Naranjo, M.; Cancio, R.; Martí, A.; Clemente, B.; Suárez, O.; Pacheco, E. (1984). Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos, La Habana, Ed. Científico-Técnica, Ministerio de la Agricultura. Dirección de Suelos y Fertilizantes.

Pérez, H.R. (2014a). PNO para la Evaluación de los Sistemas de Riego Metodología a utilizar en la evaluación del Riego por surcos rectos y abiertos, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Sistema de Gestión de la Calidad. Cód: PG-CA-0037, La Habana, Cuba, 19 p.

Pérez, H.R. (2014b). Resultados de eficiencias de aplicación para diferentes alternativas de diseño y manejo del riego por surcos abiertos con flujo de agua discontinuo (riego por pulsos)", *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(2): 10-14.

Reyes, J.(2010). Informe Instalación sistema de riego por pulsos en la CCS "Carlos Manuel de Céspedes", Finca de Manolo Acosta en Santa Catalina Consolación, km 125 de la Autopista a Pinar del Rio, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. La Habana, Cuba Informe relatoría Proyecto 2 OP-15.

Reyes, J.; Rodríguez, J.A.; Pujol, R.(2005). Desarrollo del Riego Intermitente en Cuba, ventajas de esta técnica en el riego por superficie, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Informe de Investigación, La Habana, Cuba.

Rodríguez, G.; Santana, S.M.; Brown, M.O.; Alonso De La Paz, F. (2013). Riego por surco con caudal intermitente asociado al cultivo de la cebolla y su eficiencia en las pérdidas de suelo y agua por escorrentía, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4): 50-54.

Rodríguez, J.A.; Cintra, A.V.D.; Reyes, F.J. (2002). Determinación de las estrategias óptimas de manejo del riego por pulsos para un suelo ferralítico rojo típico, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(1): 77-82.

Walker, W.R.(1989). Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems., Ed. FAO, Irrigation and Drainage Paper 45, M-56 ed., Rome, Italy,

Williams, J.R.R.; Llewelyn, R.V.; Reed, M.S.; Lamm, F.R.; Delano, D.R.(1996). Net returns for grain sorghum and corn under alternative irrigation systems in western Kansas", [en línea], En: The Great Plains Symposium 1996: The Ogallala Aquifer," March 5-6, 1996, The Great Plains Symposium 1996: The Ogallala Aquifer," March 5-6, 1996, Ed. Colby Community College, Colby, Kansas City, USA, 1996, Disponible en: www.prsurge.com/research/returns.html, [Consulta: 23 de agosto de 2014].

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

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de [Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.