

ARTÍCULO ORIGINAL



<https://eqrcode.co/a/W8Ri64>

Evaluación del riego discontinuo del cultivo del tabaco sobre suelo Ferralítico Cuarácítico Amarillo Lixiviado

Evaluation of Surge Flow Irrigation in a Yellow Ferralitic Quarcitic Soil Planted with Tobacco

Ing. Osmel Alvarez-Huerta^{*,} MSc. Rafael Martín-Fernández¹, Dr.C. Julián Herrera-Puebla^{II}

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba.

^{II} Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El objetivo principal de este estudio fue la evaluación de un sistema de riego discontinuo en un suelo Ferralítico Cuarácítico Amarillo Lixiviado plantado con el cultivo de tabaco. Se evaluó en condiciones de producción de la Finca Santa María, municipio Consolación del Sur, un sistema de riego por caudal discontinuo con mangas de polietileno, compuertas BG40, válvula P&R de 6", controlador "Star" y tanques de compensación, en un área con una longitud de surcos de 200 m dedicada al cultivo del tabaco negro. Los resultados demostraron la factibilidad técnica de la aplicación del riego por caudal discontinuo con ciclos variables en el cultivo del tabaco sembrado en suelo Ferralítico Cuarácítico Amarillo Lixiviado y además las ventajas de este sobre el riego superficial tradicional. La aplicación del riego discontinuo con ciclos de tiempo variables incrementó la Eficiencia de Aplicación en un 20% y redujo el Volumen de Agua Aplicada en más del 27% respecto al riego con flujo continuo. De igual manera se obtuvo un incremento de la Uniformidad de Distribución y reducciones de las Pérdidas por Percolación Profunda para una longitud de surcos de 200 m y un caudal de 0,6 L/s.

Palabras clave: Caudal discontinuo, ciclos variables, eficiencia de aplicación.

ABSTRACT. The main objective of this study was the evaluation of a discontinuous irrigation system in a leached Yellow Quartzitic Ferralitic soil planted with the tobacco crop. Under production conditions of the Finca Santa María, Consolación del Sur municipality, a discontinuous flow irrigation system with polyethylene sleeves, BG40 gates, P&R 6" valve, "Star" controller and compensation tanks was evaluated in an area with a length of furrows of 200 m dedicated to the cultivation of black tobacco. The results demonstrated the technical feasibility of the application of the irrigation by discontinuous flow with variable cycles in the cultivation of the tobacco sown in the Ferralitic Quartzitic Yellow Leachate soil and also the advantages of this over the traditional superficial irrigation. The application of discontinuous irrigation with variable time cycles increased the Application Efficiency by 20% and reduced the Volume of Water Applied by more than 27% compared to irrigation with continuous flow. Likewise, an increase in Distribution Uniformity and reductions in Deep Percolation Losses are obtained for a furrow length of 200 m and a flow rate of 0.6 L/s.

Keywords: Surge flow, variable cycles, application efficiency.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del tabaco es un renglón fundamental de exportación en la economía cubana, y en 2016, ocupó el 10% del valor de las mercancías exportadas agrupadas estas por grupo de productos según la Oficina Nacional de Estadísticas e In-

formación (ONEI, 2018a). Para garantizar esta exportación se siembran en el país alrededor de 42 500 ha y de ellas 27 000 son irrigadas (ONEI, 2018b). Del total de área irrigada en este cultivo, el 70.6% se riegan mediante la técnica de riego superficial.

*Autor para correspondencia: Osmel Alvarez-Huerta, e-mail: osmeldeljesus@gmail.com

Recibido: 17/12/2019.

Aprobado: 12/06/2020.

Este método de riego, por tradición y razones de conservación de la calidad del producto, principalmente en la producción de capas para puros, es el preferido por los productores de la zona de Vuelta Abajo (Pinar del Río) donde el 94% del área regada se realiza con esta técnica.

El riego superficial, a pesar de sus ventajas en cuanto a costo de inversión inicial, muy a menudo es sometido a fuertes críticas por la baja eficiencia global que con él se obtiene, sin embargo, desde principios de la década de los años 80 se han introducido tecnologías que han permitido el incremento de su eficiencia sin alterar sustancialmente los costos de inversión.

Un desarrollo reciente en tecnología del riego por superficie lo constituye el llamado riego discontinuo (también conocido como riego por pulsos) y con él se ha logrado aumentar la eficiencia de riego y reducir la necesidad de mano de obra (fácil automatización), logrando eficiencias comparadas con sistemas presurizados.

El concepto de riego superficial discontinuo o riego por pulsos (Surge Flow) fue introducido en la Universidad del Estado de Utah por Stringham y Keller (1979), concebido originalmente como un medio para reducir el tiempo de corte de entrada de agua al surco manteniendo al mismo tiempo una entrada constante de agua al surco. Estos autores encontraron que las aplicaciones de agua intermitentes al surco durante la fase de avance reducían generalmente la infiltración al proveer de un periodo más corto de tiempo para el drenaje, resultando con ello en un avance más rápido del frente humedecido al compararlo con el flujo de agua continuo. De este modo, la diferencia en el tiempo de oportunidad entre la parte superior e inferior del surco era menor y por tanto hay una mejor uniformidad de distribución del agua aplicada a lo largo del surco.

De lo anterior se deduce que el riego discontinuo es una técnica de aplicación del agua al surco de manera intermitente. Esta sucesión de entregas y cortes se denominan ciclos, pudiendo tener una duración de segundos hasta horas en dependencia fundamentalmente de la longitud del surco. Basta con una presurización leve para el correcto manejo del caudal de entrega y los tiempos de aplicación.

En Cuba, desde 1992, el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) desarrolló investigaciones con esta tecnología y demostró que, en dependencia de la longitud del surco, en suelos Ferralíticos Rojos, era posible obtener ahorros de agua entre 10 al 50%, un incremento de la productividad hasta el 80% y un ahorro energético en el bombeo cuando se empleó agua subterránea hasta un 45% (Rodríguez *et al.*, 1999). Por su parte Díaz (2000) y Rodríguez (2004), demostraron la factibilidad técnica de la aplicación del riego discontinuo en el cultivo del tabaco sembrado en suelos Ferralíticos Rojos y las ventajas de este sobre el riego superficial continuo tradicional, al mostrar incrementos de la eficiencia de aplicación en más de 6 veces y reducir el volumen de Agua Aplicada en más del 80% respecto al flujo continuo. Pérez *et al.* (2008, 2010), también en suelos Ferralíticos Rojos en la Habana demostraron las

ventajas del riego superficial discontinuo en el riego del Plátano y la Papaya.

Como puede observarse de la revisión anterior, existen suficientes evidencias de las ventajas de la modernización del riego superficial utilizando la técnica de riego intermitente para los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba, sin embargo en suelos de textura más arenosa, donde la velocidad de infiltración es mayor, y donde además se cultiva la mayor parte del tabaco en Cuba, esta técnica no ha sido evaluada, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento del riego discontinuo en un suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado plantado con el cultivo de tabaco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del área

El trabajo se desarrolló en la Finca Santa María de la Cooperativa de Créditos y Servicio (CCS) Carlos Manuel de Céspedes, la cual se encuentra ubicada en los 22° 26' 251'' N y 83° 28' 163'' W en el Municipio de Consolación del Sur, provincia de Pinar del Río. Esta finca cuenta con un área de 67 hectáreas donde el tabaco negro (*Nicotiana tabacum* L) es el principal cultivo.

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 sí y pueden trabajar de conjunto o individualmente según el caudal total demandado, aunque por razones de proximidad y de consumo energético solo es utilizado el equipo de bombeo con 75 L/s para el riego del área de estudio. El agua es conducida a los campos mediante un sistema ya existente de tuberías soterradas de PVC, con hidrantes localizados en cada campo para la entrega del agua, el cual fue diseñado para el riego superficial con flujo continuo; para el riego con caudal discontinuo, a la salida de cada hidrante se colocó un tanque de compensación de carga, asegurando una presión baja para este sistema.

El campo donde se realizó la evaluación constaba de 126 surcos separados a 0,9 m y el sistema de riego donado por el proyecto OP 15, 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 mariposa P&R con computadora alimentada por un panel solar (Belaustegui, 2018).

Para las condiciones de carga existente se estimó la carga de trabajo de la compuerta, lo cual permitió definir los caudales a evaluar. Conociendo que la capacidad del equipo de bombeo es de 75 L/s, se estimó que con la carga disponible y con las boquillas a la máxima abertura les corresponde un caudal unitario de 1,3 L/s, lo que permitía regar simultáneamente 63 surcos en cada lateral. El suministrador del sistema establece una relación entre la abertura de la compuerta, el nivel del tanque de compensación (eje de las abscisas, metros) y el caudal que entrega a la compuerta (eje de las ordenadas, L/s), según se muestra en la Figura 1.

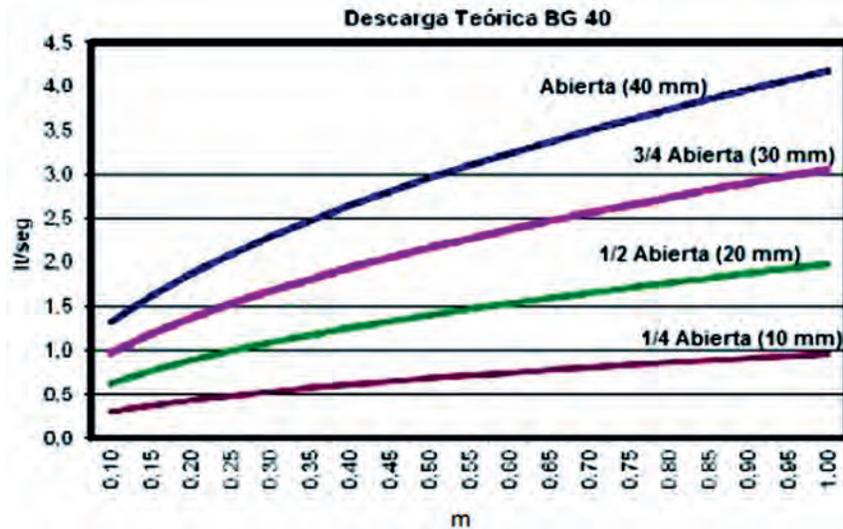


FIGURA 1. Curvas de descarga teórica de la compuerta BG 40.

De la Figura 1 se obtuvo el rango de gasto a evaluar en la modelación:

- 0.3 l/s (25% de la abertura)
- 0.6 l/s (50% de la abertura)
- 1.0 l/s (75% de la abertura)
- 1.3 l/s (100% de la abertura)

Características de operación del riego superficial discontinuo

La técnica de riego por caudal discontinuo se completa en dos etapas, avance y remojo. Durante el avance el agua es impulsada a través de la superficie del surco hasta mojar su longitud total. Los remojos son los ciclos adicionales a fin de incrementar la profundidad de agua en el perfil reponiendo la lámina de riego.

Existen dos variantes fundamentales para ejecutar el avance, y aunque las investigaciones se han basado principalmente en aplicar tiempos constantes a cada ciclo, el método que ha ganado más aceptación es el de distancias constantes en el cual el tiempo de avance se incrementa con cada ciclo.

El Servicio de Conservación del Suelo USDA (1985), recomienda aplicar 4 a 5 ciclos durante la etapa de avance para surcos de hasta 400 metros de longitud. Mientras que para surcos mayores de 400 metros aplican de 5 a 6 ciclos.

Para la etapa de remojo Izuno y Podmore (1986), propusieron una reducción continua del caudal como método de disminución de la velocidad de infiltración. Según el fabricante P & R (2017), la válvula automática P&R posibilita una opción de reducción de tiempos de aplicación durante la etapa de remojo.

Alemi *et al.* (1987), encontraron que se optimiza la eficiencia de aplicación regando por riego superficial discontinuo cuando se programa 4 a 6 ciclos durante la fase de avance, seguido de continuas reducciones de caudales en la etapa de remojo.

Walker (1993), propuso un factor de remojo (relación entre el tiempo del remojo y el tiempo total que dura el avance) de 0,1 a 0,2 para maximizar la eficiencia de aplicación.

Yonts *et al.* (1996), desarrollaron una relación entre el tiempo requerido para el primer ciclo de avance respecto al tiempo necesario en los ciclos siguientes, para concretar aproximadamente la misma distancia.

Para el funcionamiento de la válvula P&R con su controlador “Star” solo requiere el dato inicial de cuánto tiempo dura el avance del frente de agua para llegar al final del surco aplicando agua de forma continua. A partir de este dato el programa calcula automáticamente cuantos ciclos de avance son necesarios, cuáles son los tiempos de cada ciclo de avance y cuál es el tiempo de los ciclos de remojo.

A partir del modelo desarrollado por Fekersillassie y Eisenhauer (2000) basados en Yonts *et al.* (1996), se presentan las reglas operacionales para programar adecuadamente el sistema de riego por caudal discontinuo con la válvula comercial P&R Surge System.

El modelo planteado por Fekersillassie y Eisenhauer (2000) clasifica cuatro categorías representativas de suelo definiendo el exponente “a” de la ecuación (1) de infiltración de Kostiakov Modificado según Lewis y Milne (1936): Textura fina “a” = 0,3, Textura media “a” = 0,5, Textura gruesa “a” = 0,7 y un caso particular de velocidad de infiltración muy lenta con el coeficiente “a” = 0,5.

$$z = k \cdot t^a + f_0 \quad (1)$$

donde:

z: Velocidad de infiltración en cualquier tiempo t (cm·min⁻¹).

t: Tiempo de infiltración (min).

f₀: Tasa de infiltración básica (cm·min⁻¹).

a: Coeficiente empírico (adimensional).

k: Coeficiente empírico que representa el valor de z para t=1 (cm·[min·a]⁻¹).

En dependencia de la categoría otorgada al suelo (Tabla 1) Fekersillassie y Eisenhauer (2000), determinaron una Relación de Corte (RC = tiempo que dura la etapa de avance respecto al tiempo que dura el riego o tiempo de aplicación) y el Factor de Remojo (FR = tiempo que dura el remojo respecto al tiempo de avance).

TABLA 1. Relación de Corte y Factor de Remojo según la textura del suelo y el exponente "a" de la ecuación de Kostiakov, según Fekersillassie y Eisenhauer (2000)

Clase de Textura	Gruesa	Media	Fina	Baja Infiltración
	a = 0,7	a = 0,5	a = 0,3	a = 0,5
Relación de Corte (RC)	0,7	0,8	0,9	1,0
Factor de Remojo (FR)	0,2	0,15	0,1	0,1

Una vez definido la relación de corte (RC) y el factor de remojo (FR) se calculan las variables de manejo para el riego intermitente.

Para la etapa de avance se determina la Relación Ciclos de Avance (RCA) definido como el incremento de tiempo requerido por un ciclo dado respecto del primer ciclo de avance, calculado según ecuación (2)

$$RCA = CN_i^{1,52} - (CN_i - 1)^{1,52} \quad (2)$$

En donde CN_i es el ciclo número i

Para la etapa de remojo se determina Relación Ciclo de Remojo (RCR) definido como el incremento de tiempo requerido por los ciclos de remojo respecto del primer ciclo de avance, calculado según ecuación (3).

$$RCR = NCA^{1,52} \times FR \quad (3)$$

En donde NCA es la cantidad de ciclos durante la fase de avance y FR es el factor de remojo según clase de textura definido anteriormente.

Diseño del riego por caudal discontinuo

Los datos necesarios para el diseño del riego discontinuo con ciclos de avance variable y ciclos de remojo con igual

duración fueron:

Longitud del lote 200 m, espaciamiento entre surcos = 0,9 m, pendiente = 0,4%, suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado (textura franco limosa, clase de textura media según modelo Fekersillassie y Eisenhauer (2000).

Longitud menor a 400 m (Nº de ciclos de avance 4, según USDA (1985).

El tiempo que tarda el agua en llegar al primer cuarto del surco, fue medido de forma manual, y para las condiciones hidráulicas del área estudiada fue de 16 minutos.

Aplicando ecuación (1) RPA (Relación Ciclos de Avance) se obtuvieron los valores de los ciclos de avance, que fueron de 16, 29, 39 y 47 minutos.

Al aplicar la ecuación (2) RPR (Relación Ciclo de Remojo), y como se trata de un suelo de textura franco limosa, clase de textura media con Factor de Remojo igual a 0,15, según se plantea en la tabla 1, se determinó un tiempo de aplicación para los ciclos de remojo de 20 minutos.

Al calcular los tiempos de los ciclos es posible comparar estos con la programación del microprocesador de la válvula P&R. Al programar la válvula P&R ingresando 4:30 horas en la función avance, la válvula programa 2:15 horas para cada lateral de riego y lo distribuye en 4 ciclos de 19, 27, 38 y 51 minutos con remojos de 20 minutos (Tabla 2).

TABLA 2. Datos para programación de la válvula P&R

Ciclo	Tiempo (minutos)													
	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30
1	14	18	22	15	17	19	21	23	25	27	25	27	29	31
2	19	24	29	21	24	27	30	33	36	39	34	36	38	41
3	27	33	39	29	33	38	42	46	50	55	42	45	48	51
4				40	46	51	57	63	69	74	50	54	58	61
5											59	63	67	71
R	9	11	14	16	18	20	23	25	27	29	32	34	36	38

Obtenidos los parámetros necesarios para efectuar la simulación con el modelo SIRMOD III según Walker (1993) y utilizando diferentes caudales, es posible seleccionar la variante óptima que garantice maximizar la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución del riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la simulación (con el modelo SIRMOD III), bajo diferentes condiciones de manejo de caudales, son comparados y analizados en la Figura 2.

Como se observa en la Figura 2, la eficiencia de aplicación disminuye a medida que se aumentan los caudales. En el caso

del riego para $Q=0,3$ L/s a pesar que la eficiencia de aplicación alcanza el 100% y no existe pérdida de agua por percolación ni escorrentía, la uniformidad de distribución es de solo un 62%, convirtiéndolo en un riego deficitario. Al aplicar los gastos $Q=1$ L/s y $Q=1,3$ L/s la eficiencia de aplicación no supera el 60% y las pérdidas de agua por percolación profunda y escorrentía son elevadas. Los mejores resultados obtenidos en la simulación corresponden al riego con $Q=0,6$ L/s, obteniéndose los mejores valores de eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución y bajos niveles de percolación profunda y escorrentía.

La evaluación de campo programando la válvula P&R con 4:30 horas de tiempo de avance (corresponde 2:15 horas para

cada lateral), la programación automática del controlador dio 4 ciclos de avance (19+27+38+51 minutos), sumado a ciclos de remojo de 20 minutos. Se obtuvo como resultado un 84% de

Eficiencia de aplicación (Ea), un 12% de Relación de escurrimiento al pie (Ep) y un 2% de Relación de percolación profunda (Pp), aplicándose un volumen de riego de 19 m³.

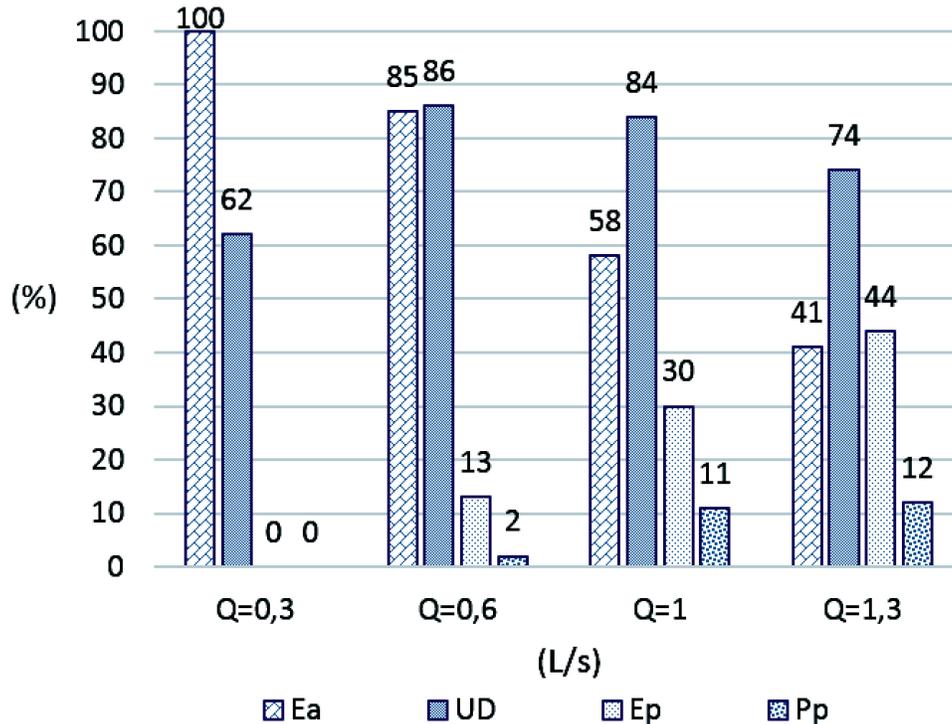


FIGURA 2. Eficiencia de aplicación (Ea), Uniformidad de distribución (UD), Relación de escurrimiento al pie (Ep), Relación de percolación profunda (Pp), para cuatro caudales unitarios (Q=0,3; Q=0,6; Q=1; Q=1,3) L/s.

Los valores obtenidos coinciden con (Rodríguez *et al.*, 2013), quienes lograron incrementar la eficiencia de aplicación hasta 81%, disminuyendo sustancialmente las pérdidas de agua por escurrimiento al pie y percolación profunda, resultados que coinciden también con los obtenidos por investigadores en diferentes partes del mundo al estudiar el riego mediante caudal discontinuo (Raine *et al.*, 1998; Cuesta *et al.*, 2004; Playán *et al.*, 2005; Schilardi *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2009).

Para iguales condiciones de campo y aplicando un caudal de 0,6 L·s⁻¹, se simuló también mediante el programa SIRMOD III el riego superficial continuo. Los resultados obtenidos muestran (Figura 3) una eficiencia de aplicación (Ea) del 65%, un 10% de Relación de escurrimiento al pie (Ep) y un 25% de relación de percolación profunda (Pp), cuando se aplicó un volumen total de agua equivalente a 27,1 m³.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se compara en la Figura 3, los índices de idoneidad del riego por surco con flujo continuo con los correspondientes al riego por ciclos de tiempo variable, al ser este el manejo más adecuado para las condiciones de estudio analizadas.

Como se observa en la Figura 3, el valor de la eficiencia de aplicación en el caso del riego discontinuo supera en un 20% el valor correspondiente al riego continuo, lo cual coincide con lo planteado por Díaz (2000), quien obtuvo un incremento de hasta 6 veces de la Ea en el riego discontinuo al compararlo con el riego continuo. La suma de las pérdidas por percolación profunda y por escurrimiento al pie del surco es superior en el

riego continuo, lo que implica en esta forma de aplicación del riego la pérdida de grandes volúmenes de agua.

El volumen de agua aplicado por unidad de ancho por espaciamiento del surco en el riego continuo (Vapl=27,1 m³) supera en valor al volumen de agua aplicado en el riego discontinuo (Vapl=19,8 m³), lo que refleja la necesidad de aplicar mucha más agua en el riego continuo para lograr satisfacer el volumen necesario almacenado en la zona radicular. En la figura 4 se muestran los resultados de los volúmenes infiltrados (Vinf), y las pérdidas de volúmenes por escurrimiento (Vesc) y percolación profunda (Vper).

Al analizar la Figura 4 y teniendo en cuenta que en el riego discontinuo con ciclos variables se ahorra un 27% del agua aplicada con relación al riego continuo tradicional, se puede observar que el volumen infiltrado (Vinf) es menor en el caso del riego discontinuo. Aunque las pérdidas por escurrimiento son similares, en el caso del riego continuo es mucho mayor el volumen de agua perdido por percolación profunda, esto se debe a que la magnitud del tiempo de oportunidad de toma es mayor para este riego (con flujo de entrada de 0,6 L/s). De lo anterior se infiere que el volumen de agua infiltrado es mejor distribuido a lo largo del surco, haciendo más eficiente el aprovechamiento del volumen aplicado.

Al considerar el comportamiento global de los índices de idoneidad analizados para el riego superficial discontinuo y el riego continuo sobresalen las ventajas del primero respecto a eficiencia de aplicación, volumen aplicado, percolación profun-

da y volumen escurrido frente al riego convencional en surcos con flujo continuo. Esto significa que, para estos parámetros de diseño, el riego superficial discontinuo con ciclos de tiempo variable no solo permite un ahorro importante de agua frente al

riego convencional, sino además presenta una alternativa ecológica y sostenible al disminuir los riesgos de contaminación del entorno con fertilizantes y otros productos químicos necesarios para el desarrollo de la agricultura convencional moderna.

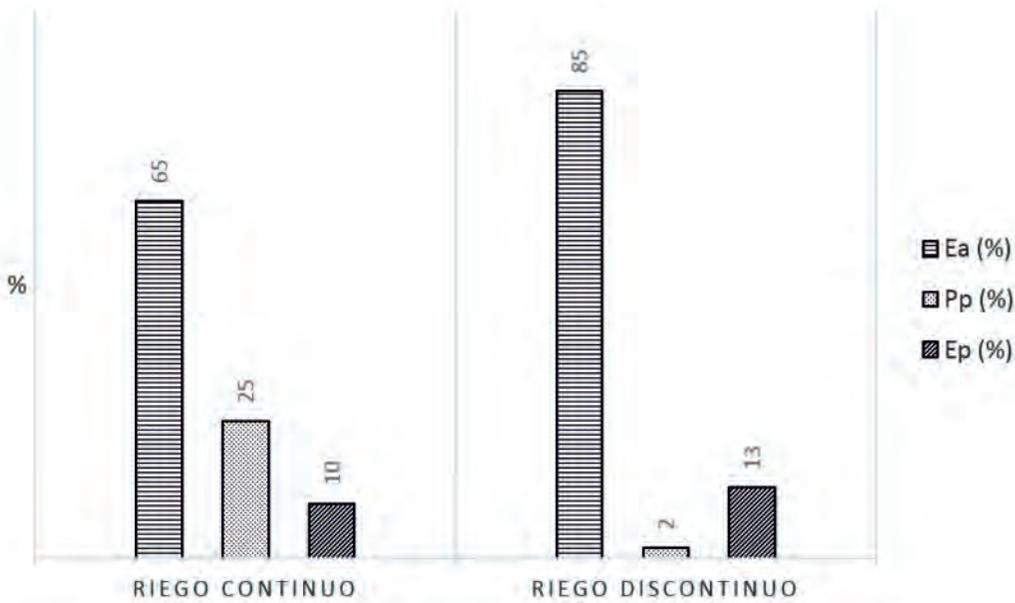


FIGURA 3. Comparación entre el riego con flujo continuo y riego discontinuo, teniendo en cuenta Eficiencia de aplicación (Ea), Percolación profunda (Pp) y Escurrimiento al pie (Ep).

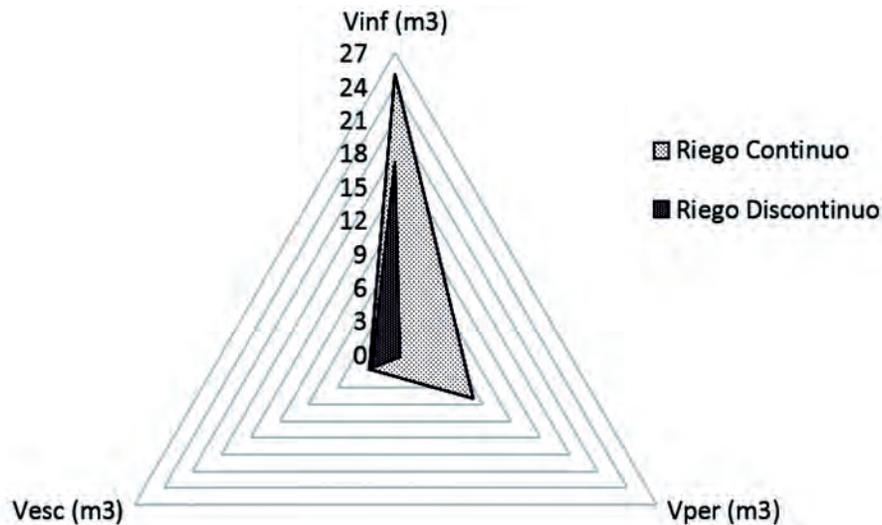


FIGURA 4. Comparación del riego continuo y riego discontinuo teniendo en cuenta volúmenes infiltrados (Vinf), y las pérdidas de volúmenes por escurrimiento (Vesc) y percolación profunda (Vper).

Estos valores son superiores a los reportados por Playán *et al.* (2005); Schilardi *et al.* (2009); Smith *et al.* (2009) con sistemas de riego superficiales tecnificados (Surge Flow) en Australia y en la cuenca del río Tunuyán Superior en Argentina.

CONCLUSIONES

Los resultados de la programación utilizando el modelo SIRMOD III, con una mínima información de campo, permitió la simulación del riego superficial discontinuo con ciclos de

tiempo variables con una alta concordancia con los resultados de campo.

La aplicación del flujo intermitente con ciclos de tiempo variables para las condiciones ensayadas, incrementó la eficiencia de aplicación en un 20% y redujo el volumen de agua aplicada en un 27% respecto al riego con flujo continuo. Este incremento de la eficiencia de aplicación y la reducción del volumen de agua aplicada se deben básicamente a la disminución de las pérdidas de agua por percolación profunda que se logra durante la fase de avance del riego con caudal discontinuo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEMI, M.; GOLDHAMER, D.; PHENE, R.: "Continuous Flow Irrigation," *California Agricultural Research and Environmental Quality*, 41(9-10): 29-32, 1987.
- BELAUSTEGUI, S.: *Hoja Técnica Nº 2. Descripción y funcionamiento del equipo de riego P&R.*, [en línea], pyargentina.com.ar, 2018, Disponible en: <https://pyargentina.com.ar>.
- CUESTA, T.; NEIRA, X.; ALVAREZ, C.; CANCELA, J.: "Evaluation of water-use in traditional irrigation An application to the lemons Valley irrigation district, northwest of Spain", *Agricultural Water Management*, 68, 2004.
- DÍAZ, A.: *Evaluación, Manejo, y Diseño del Riego por Pulsos para el cultivo del Tabaco en un Ferrosol*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Tesis de Maestría, San José de las Lajas. Habana, Cuba, 70 p., 2000.
- FEKERSILLASSIE, D.; EISENHAUER, D.E.: *Operating rules for surge flow furrow Irrigation*, University of Nebraska, Lincoln, USA, 2000.
- IZUNO, F.T.; PODMORE, T.H.: "Surge Irrigation Management", *Agriculture Water Management*, 11: 279-291, 1986.
- LEWIS, W.; MILNE, W.: "Analysis of border irrigation", *Agricultural Engineering*,: 207-277, 1936.
- ONEI: *Anuario Estadístico de Cuba, Edición 2017*, Inst. Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), La Habana, Cuba, 2018a.
- ONEI: *Panorama Uso de la Tierra. Cuba 2017*, Inst. Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), La Habana, Cuba, 2018b.
- P & R: *Manual del Usuario. Controlador START parte I y II*, [en línea], pyargentina.com.ar, 2017, Disponible en: <https://pyargentina.com.ar>.
- PÉREZ, R.; JIMÉNEZ, E.; MONTERO, L.; CUN, R.; SARMIENTO, O.: "Resultados de la Modernización del Riego superficial en el cultivo de Plátano extra denso", [en línea], En: *Taller Internacional Red Riegos CYTED 2008*, Ed. CYTED, Florianópolis, Brasil, 2008, Disponible en: <http://ceer.isa.utl.pt/cyted/brasil/>.
- PÉREZ, R.; JIMÉNEZ, E.; MONTERO, L.; SARMIENTO, O.; GUZMÁN, J.: "Resultados de diferentes alternativas de manejo del riego superficial tecnificado en el cultivo de la papaya Maradol Roja plantada con marco extradenso", *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 17-22, 2010, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- PLAYÁN, E.; LECINA, S.; ISIDORO, D.; DECHMI, F.; CAUSAPÉ, J.; FACI, M.: "Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas (Spain)", *Agricultural Water Management*, 73: 223-245, 2005, ISSN: 0378-3774, e-ISSN: 1873-2283.
- RAINE, S.; MCCLUMONT, D.; SMITH, R.: *The Effect of Variable Infiltration on Desing and Management Guidelines for Surface Irrigation. National*, Inst. Centre for Engineering in Agriculture: The University of Southern Queensland, Queensland 4350, Australia, 1998.
- RODRÍGUEZ, J.A.; REYES, J.; FELIPPE, M.: *Tecnología Integral de Riego Superficial Convencional en Cultivos Varios*, Inst. Instituto de Investigaciones Riego y Drenaje (IIRD), Informe de investigación, La Habana, Cuba, 1999.
- RODRÍGUEZ, M.: *El riego por surco con caudal intermitente una alternativa sostenible en la zona de Banao, Sancti Spiritus*, [en línea], e-campo.com Argentina, 2004, Disponible en: <http://e-campo.com>.
- RODRÍGUEZ, M.; SANTANA, M.; BROWN, O.; ALONSO, F.: "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, 2013, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- SCHILARDI, C.; MORÁBITO, A.; VALLONE, R.: *Parámetros físicos del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del Río Tunuyán superior Argentina*, Inst. Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino y la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo, Mendoza, Argentina, 2009.
- SMITH, R.; GILLIES, M.; SHANAHAN, M.; CAMPBELL, B.; WILLIAMSO, B.: "Evaluating the Performance of Bay Irrigation in the GMID.", En: *Irrigation and Drainage conference, 2009*, Ed. Irrigation Australia Ltd, Swan Hill, Vic, Australia, 18 de octubre de 2009.
- STRINGHAM, G.E.; KELLER, J.: "Surge flow for automatic irrigation", En: *ASCE Irrigation and Drainage Specialty Conference*, Ed. ASCE Irrigation and Drainage, Albuquerque, New Mexico, USA, 1979.
- USDA: *Soil Conservation Service*, Ed. U.S. Department of Agriculture, vol. National Engineering Handbook: Section 4-Hydrology, Washington, D.C., USA, 1985.
- WALKER, W.R.: *Sirmod III, Surface Irrigation Simulation Software, Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University Surface Irrigation Simulation Software*, Inst. Utah State University, Biological and Irrigation Engineering Department, Logan. Utah 84322 – 4104 USA, 1993.
- YONTS, C.D.; EISENHAUER, D.E.; FEKERSILLASSIE, D.: "Impact of surge irrigation on furrow water advance", *ASAE*, 39(3): 973-979, 1996, ISSN: 1682-1130.

Osmel Alvarez-Huerta, Aspirante a Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cub, Teléfono: (53)64-5843, e-mail: osmeldeljesus@gmail.com

Rafael Martín-Fernández, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba, e-mail: osmeldeljesus@gmail.com

Julián Herrera-Puebla, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: direccioninvesti@iagric.cu

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

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 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.