

Evaluación hidráulica del riego superficial con flujo discontinuo en un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso

Hydraulic Evaluation of Surface Irrigation with Discontinuous Flow in Ferruginous Nodular Gleysol Soil

⑩Rafael Martín-Fernández*, ⑩Enrique Cisneros-Zayas, ⑩Reinaldo Cun-González,
 ⑩Calixto Domínguez-Vento and ⑩Julián Herrera-Puebla

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

E-mail: rafael.martin@iagric.minag.gob.cu, enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu,
 reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu, calixto.dominguez@iagric.minag.gob.cu, julian.herrera@iagric.minag.gob.cu

*Autor para correspondencia: rafael.martin@iagric.minag.gob.cu

RESUMEN: El presente trabajo tuvo como objetivo determinar diferentes parámetros hidráulicos y de diseño de la tecnología de riego superficial con flujo discontinuo comparada con el riego superficial tradicional en un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso. El estudio se realizó en la finca "Julio Noris" perteneciente a la Unidad Empresarial de Base "Sierra Maestra" de la provincia Pinar del Río, con un área de 3 ha dedicadas al cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Para el estudio se aplicaron tres variantes, la **I** (3 ciclos de avance y caudal de $1,0 \text{ L s}^{-1}$); **II** (4 ciclos de avance y caudal de $0,6 \text{ L s}^{-1}$) las que fueron comparadas con la variante **III** Testigo (flujo continuo y caudal de $1,0 \text{ L s}^{-1}$) tradicional. Los resultados muestran para este tipo de suelo con surcos de 130 m de longitud, la mejor variante es la **I**, aplicar cuatro pulsos de riego de tiempos variables y caudal de $0,6 \text{ L s}^{-1}$, con la que se logra una eficiencia de aplicación del agua de 69,23%. El riego con flujo discontinuo en comparación con el riego tradicional mejora la eficiencia de aplicación del agua en un 29,55% y disminuye el tiempo de llegada del frente de avance del agua al final del surco en 17,1 minuto.

Palabras clave: caudales de riego, eficiencia de riego, tiempo de avance del agua.

ABSTRACT: The objective of this work was to determine different hydraulic and design parameters of the surface irrigation technology with discontinuous flow compared to traditional surface irrigation in a Ferruginous Nodular Gleysol soil. The study was carried out in the farm "Julio Noris" belonging to the Base Business Unit "Sierra Maestra" in Pinar del Rio province, with an area of 3 ha dedicated to tomato (*Solanum lycopersicum* L) cultivation. Three variants were applied for the study, **I** (3 forward cycles and flow rate of $1,0 \text{ L s}^{-1}$); **II** (4 forward cycles and flow rate of $0,6 \text{ L s}^{-1}$) which were compared with the traditional variant **III** Witness (continuous flow and flow rate of $1,0 \text{ L s}^{-1}$). The results show that for this type of soil with furrows 130 m long, the best variant is I, applying four irrigation pulses of variable times and flow rate of $0,6 \text{ L s}^{-1}$, with which a water application efficiency of 69,23% is achieved. Irrigation with discontinuous flow compared to traditional irrigation improves water application efficiency by 29,55% and decreases the arrival time of the water advance front at the end of the furrow by 17,1 minutes.

Keywords: flow rates Irrigation, irrigation efficiency, water advance time.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L), es una planta herbácea anual, de origen centro y sudamericano. Actualmente es cosmopolita, cultivada para consumo fresco e industrializado. Dentro de la horticultura mundial el cultivo de tomate es uno de los rubros con mayor dinamismo (Allende, 2017). En el ámbito mundial constituye la hortaliza más consumida y de mayor valor económico (López, 2017).

A nivel mundial la tecnología de riego superficial ha sido ampliamente utilizada para el riego de los cultivos entre ellos el tomate. Este método de riego representa más del 85% de la superficie agrícola irrigada del mundo (Zabala et al., 2013). En Cuba es utilizado por la mayoría de los agricultores y ocupa el 71% del área total irrigada, siendo el método de riego más utilizado

Según Zabala et al. (2013) esta técnica de riego continuará siendo utilizada para suplir las necesidades

Recibido: 20/01/2025

Aceptado: 27/05/2025

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

Author contributions: **Conceptualization:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera. **Data curation:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera, R. Cun, C. Domínguez. **Formal analysis:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera, R. Cun, C. Domínguez. **Investigation:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera, R. Cun, C. Domínguez. **Methodology:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera, C. Domínguez. **Software:** R. Martín, E. Cisneros. **Supervision:** E. Cisneros, J. Herrera, C. Domínguez. **Validation:** R. Martín, E. Cisneros, C. Domínguez. **Writing-original draft:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera, C. Domínguez. **Writing-review & editing:** R. Martín, E. Cisneros, J. Herrera, R. Cun, C. Domínguez.

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.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



de los cultivos. No obstante, el estado económico actual de nuestro país impone la necesidad de encontrar medidas alternativas que conduzcan al incremento de la eficiencia de los sistemas de riego superficial, teniendo en cuenta que la eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución son comúnmente muy bajas. Para ello, teniendo en cuenta la escasez de recursos hídricos a nivel mundial, se está originando un gran interés en la modernización de esta técnica de riego.

La tecnología de riego por pulsos (también llamado riego intermitente) se desarrolló a finales de la década del 70 en los Estados Unidos de América y consiste en aplicar *el agua a surcos o bandas en series de "olas" o pulsos discontinuos, en vez de hacerlo continuamente*. Esta estimuló un cambio novedoso en el riego superficial, motivando su ejecución y extensión en la mayor parte de los suelos llanos de ese país, así como, en otros países de nuestro continente (Sánchez, 2018).

El riego por pulsos utiliza un efecto natural que tienen todos los suelos en mayor o menor medida en la disminución de la capacidad de infiltración, cuando una vez mojado, se retira el agua y se deja "reposar" por un corto tiempo según Roque (2000); citado por Carbajal, 2004). El proceso se repite en cada ciclo durante el tiempo de desague y, por lo tanto, durante los próximos suministros de agua se va reduciendo la infiltración y la resistencia a la rugosidad de la superficie del suelo, consiguiendo que el flujo circule con rapidez y se consiga un avance mayor y una mejor uniformidad en el riego.

Tomando en consideración los elementos antes expuestos, se desarrolla el siguiente trabajo con el objetivo de determinar diferentes parámetros hidráulicos y de diseño de la tecnología de riego superficial con flujo discontinuo comparada con el riego superficial tradicional en un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la finca "Julio Noris" perteneciente a la Unidad Empresarial de Base "Sierra Maestra" de la Empresa Integral de Granos "Los Palacios" de la provincia Pinar del Río, en un suelo Gley Ferralítico Concrecionario, según la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba IS-Cuba (1975), y se correlaciona

con el Gleysol Nodular Ferruginoso en la nueva clasificación de suelos de Cuba (Hernández et al., 2019).

Este suelo se caracteriza en el horizonte superficial por una textura franco arcilloso, de color pardo grisáceo, con presencia de perdigones. La profundidad efectiva del mismo es de 25 cm aproximadamente, debajo de la cual aparece un hard-pan ferruginoso. Posee una pendiente longitudinal de 1,13 % y con contenido de materia orgánica de 2,40%.

La densidad aparente es de 1,45 g cm⁻³, límite superior de la reserva fácilmente utilizable 0,4250 g cm⁻³, tasa de drenaje de 1,2 m día⁻¹, límite productivo 0,362 cm³ cm⁻³ y conductividad hidráulica saturada de 131,7 cm h⁻¹ (Cid et al. 2012).

El cultivo plantado en el área de estudio fue tomate (*Solanum lycopersicum* L), con una distancia de siembra de 0,3 x 1,40 m para una densidad de 23 810 plantas ha⁻¹. Las atenciones culturales se realizaron siguiendo las indicaciones de (Gómez et al. 2000).

En el estudio se aplicaron tres variantes de manejo del agua, cada uno contó con tres surcos espaciados a 1,40 m y 130 m de longitud, en caso de la variante I, se delimitaron intervalos de 30 m a lo largo de los surcos, cuatro pulsos de riego con un caudal de 0,6 L s⁻¹, La variante 2 los intervalos fueron de 40 m, y se trabajó con tres pulsos con un caudal de 1,0 L s⁻¹, en la variante 3 se regó mediante flujo continuo siendo esta la variante testigo. (Figura 1).

La caracterización de la geometría de los surcos consistió en mediciones directas de la profundidad, ancho de la cresta, ancho de fondo, ancho superficial y ancho medio utilizando un perfilómetro (Figura 2).

Para determinar la pendiente longitudinal del surco se realizó un levantamiento con un nivel topográfico su trípode y mira, dividiéndose el surco en estacionados cada 20 m. Estos datos fueron luego procesados en gabinete y determinada la pendiente longitudinal de los surcos.

El gasto máximo no erosivo sin que ocurra desbordamiento en el surco se estimó por la ecuación 1.

$$Q_{maxne} = \frac{C}{S^a} \quad (1)$$

donde:

Q_{maxne} : gasto máximo no erosivo (L s⁻¹);

S : pendiente del surco (%)



Figura 1. Sistema de riego por pulsos.



Figura 2. Uso del perfilómetro para la caracterización geométricas del surco.

C y a: coeficientes adimensionales que dependen del tipo de suelo

Tabla 1. Valores de los coeficientes (C y a) para diferentes suelos
Fuente: Criddle (1956)

Textura	Coeficiente	
	C	a
Muy fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,55
Media	0,613	0,733
Gruesa	0,644	0,704
Muy gruesa	0,665	0,548

Para la determinación del caudal o gasto mínimo en el surco se utilizó la [ecuación 2](#), teniendo en cuenta la longitud del surco y la capacidad media de infiltración.

$$Q_{min} = Ls \cdot Ci \quad (2)$$

donde:

Qmin: gasto mínimo en el surco ($L s^{-1}$)

Ls: longitud del surco (m)

Ci: capacidad media de infiltración ($L/s/m$)

Durante la evaluación, se procedió a registrar el tiempo de inicio del riego (hora, minutos), los tiempos (minutos) de arribo del frente de agua por cada estación, concluyendo cuando esta alcanza la cola del surco (Ta). Se registró el tiempo de corte del caudal de entrada en la cabecera del surco y el tiempo en que el agua desaparece de la superficie

del suelo, coincidiendo con la fase de recesión en el riego por surcos.

Para determinar el avance del frente de agua sobre la superficie fueron establecidas estaciones de medición cada 30 metros a lo largo de los surcos.

El caudal de entrada y salida se determinó a través de aforadores del tipo canaleta con umbral ([Figura 3](#)), que se instalaron en la cabecera y en el final de los surcos.

La [ecuación 3](#) representa la ecuación del caudal en función de la carga para el aforador RBC.

$$Q = 0,0794306 (h + 0,538445)^{1,991842} \quad (3)$$

donde:

Q: caudal ($L s^{-1}$);

h: carga sobre el umbral (cm)

Para el correcto funcionamiento del controlador P&R se fijó en el mismo "El TIEMPO DE AVANCE", (h), este es el tiempo necesario para que el agua llegue al final de los surcos durante el riego. Una vez ingresado este dato, el controlador calcula automáticamente el tiempo total para cada lateral de riego y lo distribuye en ciclos y un remojo final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos nos indican que para una pendiente (So) de 0,17% el gasto máximo no erosivo (Q_{max}) es de $1,4 L s^{-1}$ y el mínimo (Q_{min}) de $0,5 L s^{-1}$ para las condiciones de este tipo de suelo.

Como podemos observar en la [tabla 2](#), al aplicar un caudal de $0,6 L s^{-1}$ y cuatro ciclos de avance, los tiempos de duración de los pulsos variaron entre 5 y 25 min, siendo el tiempo de remojo de 15 min, sin embargo, cuando se aplicó un caudal de $1,0 L s^{-1}$ y 3 ciclos de avance los tiempos de duración de los pulsos variaron entre 10 y 35 min, siendo el tiempo de remojo también de 15 min. Resultados similares fueron informados por [Hongolo, et al. \(2020\)](#) evaluando el riego superficial en el cultivo del tomate.

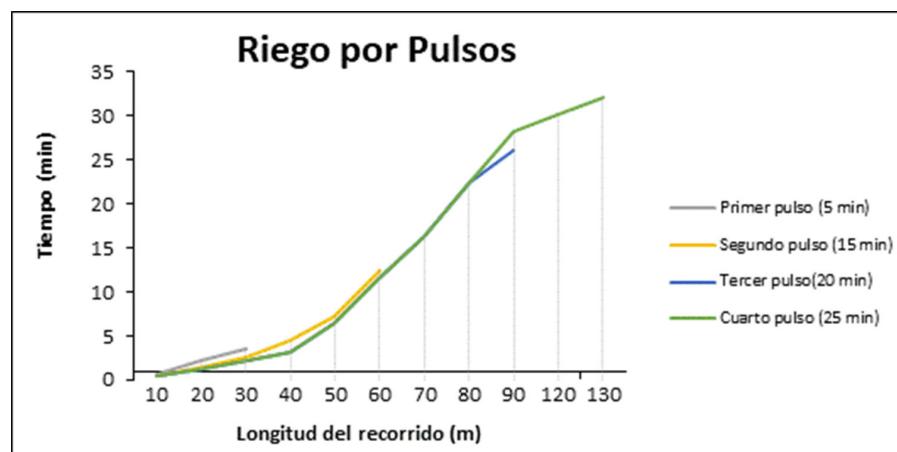
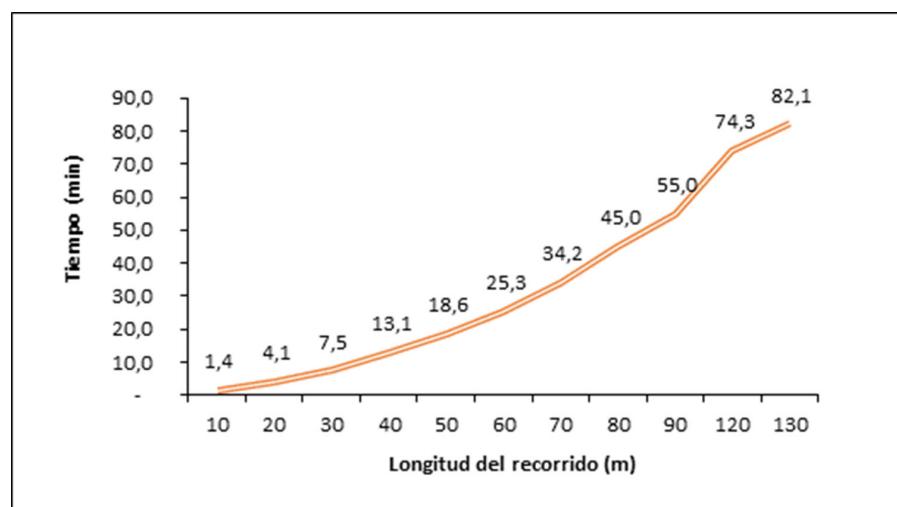
Los resultados de la prueba de avance en los surcos empleando pulsos y cuando se trabaja con riego continuo, se aprecian en las curvas de las [Figuras 4 y 5](#). Como podemos observar mediante pulsos el frente de avance llegó en menor tiempo al final del surco (65,00 minutos), mientras que con el riego continuo el frente de avance del agua llegó al final en 82,10 minutos.



Figura 3. Aforador del tipo canaleta con umbral RBC.

Tabla 2. Tiempo de duración de los pulsos en función de los caudales aplicados

Ciclos de avance	Tiempo de duración (min) para $0,6 \text{ L s}^{-1}$	Tiempo de duración (min) para $1,0 \text{ L s}^{-1}$
Primer pulso	5	10
Segundo pulso	15	20
Tercer pulso	20	35
Cuarto pulso	25	-
Tiempo de remojo	15	15

**Figura 4.** Prueba de avance para flujo discontinuo (cuatro pulsos).**Figura 5.** Prueba de avance en el flujo continuo.

En el momento del desarrollo de esta investigación, el cultivo del tomate se encontraba en la fase de maduración a primera cosecha por lo que la norma neta a aplicar fue de $225 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El promedio de las láminas totales de agua en cada una de las estaciones de medición dio como resultado que la norma bruta aplicada fue de $325 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Comparado este valor obtenido en el campo con la norma neta demandada por el cultivo se obtiene una eficiencia de aplicación del 69,23 %.

La Resolución 17/2020 del Instituto nacional de Recursos Hidráulicos según GOC-Cuba (2020), norma la eficiencia a obtener por la técnica de riego superficial en el 50%, resultando que la eficiencia obtenida en el riego

intermitente supera en un 19,23% a la establecida por la resolución antes citada y en un 29,55% a la obtenida en la variante testigo.

La Eficiencia de aplicación y prueba de avance del riego en las tres variantes estudiadas se muestra en la tabla 3, donde se aprecia que en el variante número dos de cuatro pulsos y caudal de $0,6 \text{ L s}^{-1}$ se obtiene la mayor eficiencia de aplicación.

Los resultados obtenidos coinciden con Rodríguez et al. (2013), quienes lograron incrementar la eficiencia de aplicación hasta 81%, disminuyendo sustancialmente las pérdidas de agua por escurreimiento 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; Reyes et al., 2005; Smith et al., 2009).

Según Gurovich, (2001, citado por Carabajal, 2004), el riego por pulsos presenta menores tiempos de avance como resultado de la reducción en las velocidades de infiltración, el mismo que se origina por una reducción de la permeabilidad del suelo, siendo la principal causa de esta reducción la consolidación del suelo mojado durante la interrupción del flujo, debido a un incremento en la tensión suelo-agua. También puede ser ocasionada por la disminución de la rugosidad del surco y una sección de surco más estable durante la infiltración de agua entre pulsos y la entrada y captura de aire que ocurre entre pulsos.

CONCLUSIONES

- Para un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso y surcos de 130 m de longitud, la mejor variante de diseño es aplicar cuatro pulsos de riego de flujo discontinuo con tiempos variables y caudal de 0,6 L s⁻¹, donde se tienen los mejores parámetros hidráulico de funcionamiento y se logra una eficiencia de aplicación del agua de 69,23%.
- El riego superficial con flujo discontinuo en comparación con el riego superficial tradicional mejora la eficiencia de aplicación del agua en el 29,55% y disminuye el tiempo de llegada del frente de avance del agua al final del surco en 17,1 minuto.

Tabla 3. Resultados de la eficiencia de aplicación y prueba de avance en las tres variantes estudiadas

Variante I (3 ciclos de avance)									
No.	Q (L/s)	surcos	L (m)	A.H (m ²)	T(min)	Ln (mm)	Lb mm)	Effa (%)	
1	1.0	1	130	104					
		2	130	104	55.68	6.72	17.58	38.24	
		3	130	104					
2	1.0	1	130	104					
		2	130	104	49.90	14.79	26.02	50.90	
		3	130	104					
Promedio en los dos riegos Variante I					52.79			44.57	
Variante II (4 ciclos de avance)									
1	0.6	1	130	104					
		2	130	104	67.90	6.72	10.98	68.24	
		3	130	104					
2	0.6	1	130	104					
		2	130	104	62.10	14.79	21.39	70.22	
		3	130	104					
Promedio en los dos riegos Variante II					65.00			69.23	
Variante III (Flujo continuo)									
1	1.0	1	130	104					
		2	130	104	84.02	6.72	19.58	35.29	
		3	130	104					
2	1.0	1	130	104					
		2	130	104	80.15	14.79	33.42	44.26	
		3	130	104					
Promedio en los dos riegos de flujo continuo.					82.10			39.78	

Nota: No=Número de riego, Q=caudal, L- longitud, AH= área húmeda, Effa=eficiencia de aplicación. Ln=Lámina Neta Lb=Lámina bruta

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Proyecto “Modernización del riego superficial de flujo continuo” PS131AS001-048 del Programa “Producción Sostenible de Alimentos” (01). Muchas gracias a todos los trabajadores de la finca “Julio Noris” por las facilidades brindadas y el valioso apoyo a la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allende, C. (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre Chile: Andrea Torres P.* Instituto de Desarrollo Agropecuario-Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile.
- Carbajal, L. C. M. (2004). *Metodología para el mejoramiento del uso del agua de riego empleando el sistema de riego intermitente* [Tesis (Magíster Scientiae)]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima, Perú.
- Cid, G.; López, T.; González, F.; Herrera, J.; & Ruiz, M.E. (2012). Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba, *Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31.
- Criddle, W. D. (1956). *Methods for evaluating irrigation systems* (Issue: 82). Soil Conservation Service, US Department of Agriculture.
- Cuesta, T.; Neira, X.; Alvarez, C.; & Cancela, J. (2004). Evaluation of water-use in traditional irrigation An application to the lemons Valley irrigation district, northwest of Spain, *Agricultural Water Management*, 68.
- GOC-Cuba. (2020). “Resolución 17/2020” Instituto Nacional de Recursos Hídricos. (GOC-2020-557-O61). La Habana, Cuba. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 35pp. ISSN: 0864-0793, e-ISSN: 1682-7511.
- Gómez, O.; Casanova, A.; Laterrot, H.; & Hanais, G. (2000). *Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el caribe*. Instituto de Investigaciones “Liliana Dimitrova”. La Habana. Cuba. ISBN: 959-7111-07-1.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D., & Speck, N. C. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1), ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- Hongolo, E. J.; Perez, Y.; & Cruz, R. 2020. Evaluación del riego superficial en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Avances*, 22(2), 194-207.
- IS-Cuba. (1975). *Clasificación genética de los suelos de Cuba*, Instituto de Suelos. II. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba, 25pp.
- López, M. L. M. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Tomate*, Costa Rica: Laura Ramírez Cartín, INTA.
- Playán, E.; Lecina, S.; Isidoro, D.; Dechmi, F.; Causapé, J.; & Faci, M. (2005). Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas 73 (Spain), *Agricultural Water Management*, 73: 223-245, ISSN: 0378-3774, e-ISSN: 1873-2283.
- Raine, S.; Mcclumont, D.; & Smith, R. (1998). *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.
- Reyes, J.; Rodríguez, J.A.; & Pujol, R. (2005). *Desarrollo del Riego Intermitente en Cuba, ventajas de esta técnica en el riego por superficie*, 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. ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- Sánchez, F. J. D. (2018). *Diseño hidráulico del riego por pulsos en las condiciones de la UCTB Pulido*. Intituto de Investigacines de Igeniería Agrícola; Univesidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”; Centro de Investigacines Hidráulicas, La Habana Cuba.
- Smith, R., Gillies, M., Shanahan, M., Campbell, B., & Williams, B. (2009). *Evaluating the Performance of Bay Irrigation in the GMID*. Irrigation and Drainage Conference 2009, Irrigation Australia Ltd, Swan Hill, Vic, Australia.
- Zabala, S. M. (2013). *Recomendaciones para mejorar la eficiencia en el riego discontinuo programando la valvula automática*. Facultad de Agronomía de Buenos Aires, Av. San Martín :: ingcatalinaromay@hotmail.com 4453C1417DSE, CABA.