

RIEGO Y DRAHAJE

ARTÍCULO ORIGINAL



<http://opn.to/a/c6SuT>

Eficiencia de conducción de sistemas de riego en empresas arroceras

Efficiency conduction in irrigation systems of rice companies

Dr.C. Camilo Bonet Pérez^{1*}, Héctor Moreno Guerra¹¹ MSc. Pedro Guerrero Posada¹, Raidel Vidal González¹¹, MSc. Dania Rodríguez Correa¹, Eduardo Fernández¹¹, MSc. Bárbara Mola Fines¹, Fernando R. Puente Borrero¹¹

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Filial Camagüey, Cuba.

¹¹ Empresa Agroindustrial de Granos “Sur de Jíbaro”, Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC), Sancti Spiritus, Cuba.

RESUMEN. La determinación de la Eficiencia de Conducción en las Unidades Productivas de las empresas productoras de arroz constituye una herramienta de trabajo para técnicos y funcionarios vinculados a la operación de los sistemas de riego, por cuanto posibilita mayor precisión para la realización de las demandas de agua y el control del agua utilizada, e información veraz sobre el estado técnico de los canales, base para la programación de los mantenimientos y reparaciones. Con el objetivo de determinar en condiciones de producción el comportamiento de la Eficiencia de Conducción de un sistema de riego del cultivo del arroz y comparar los resultados con los indicadores utilizados tradicionalmente se realizó un estudio en el sistema de riego abastecido por el canal P-4 de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Sur de Jíbaro, perteneciente a la empresa del mismo nombre en la provincia Sancti Spiritus. Para la determinación del gasto se utilizaron las obras hidrotécnicas situadas en los puntos de regulación, las que habían sido previamente calibradas, y el método de sección y velocidad en los casos en que no se disponía de dichas obras. Los resultados indican una Eficiencia de Conducción general del sistema de 42%, valor que difiere considerablemente del reflejado en los documentos rectores de esa actividad, con las mayores pérdidas en los canales terciarios en los cuales se obtuvo un 57% de eficiencia.

Palabras clave: uso eficiente del agua, hidrometría, manejo del agua, obras hidrométricas.

ABSTRACT. The determination of the Efficiency of Conduction in the Productive Units of the rice companies constitutes a tool for technicians and officials linked to the operation of the watering systems, since it facilitates bigger precision for the realization of the demands of water and the control of the used water, and truthful information on the technical state of the channels, base for the programming of the maintenances and repairs. With the objective of to determine under production conditions the behavior of the Efficiency of Conduction of an irrigation system of rice fields and to compare the results with the indicators traditionally used was carried out a study in the irrigation system supplied by the channel P-4 of the Basic Unit of Cooperative Production (UBPC) Sur de Jíbaro, in Sancti Spiritus province. For the determination of the flow were used water distribution works located in the control points that had been previously gauged, and the section and speed method in the case of not having this works. The results indicate an general Efficiency of Conduction of the system of 42 %, value that differs considerably of the one reflected in the documents guiding that activity, with the biggest losses in the tertiary channels in those that a value of 57% of efficiency was obtained.

Keywords: efficient water use, hydrometry, water management, hydrometry constructions.

INTRODUCCIÓN

La situación actual del uso del agua en Cuba según Herre-
ra *et al.* (2013), citados por Duarte *et al.* (2017) indica que se

utiliza anualmente para la producción agropecuaria cerca del
60% del agua disponible. Del total del agua consumida por el

*Autor para correspondencia: Camilo Bonet Pérez, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmig.minag.gob.cu

Recibido: 23/11/2018.

Aprobado: 29/07/2019.

Ministerio de la Agricultura (Minag), más del 90% se emplea en el riego de los cultivos, con una eficiencia global promedio de 65% (Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2015).

El cultivo del arroz es el mayor consumidor de agua en el país, por tanto se requiere lograr un uso eficiente de este recurso.

Según Duarte *et al.* (2015), las normas netas totales de este cultivo superan las 10 000 m³/ha, los sistemas de riego de las empresas arroceras utilizan por tanto grandes volúmenes de agua, lo que hace que las pérdidas sean considerables; al analizar las normas brutas de riego se aprecia que los consumos planificados son muy elevados.

Refieren estudios de la FAO (2017), que entre las principales causas de las pérdidas de agua en los canales se encuentran: pérdidas en la conducción desde la fuente hasta el área sembrada, por problemas en el estado técnico de los canales, incumplimiento en el mantenimiento de los sistemas, falta de nivelación en los campos e insuficiencias agrotécnicas en el manejo del agua durante el cultivo.

Los impactos del cambio climático hacen predecir posibles incrementos en las demandas de agua de los cultivos por una mayor frecuencia e intensidad de los periodos de sequía (Planos *et al.*, 2013; Duarte *et al.*, 2017).

Durante la operación de los sistemas de riego de las grandes empresas arroceras se producen pérdidas de agua por conducción a través de la red de canales, es importante que los técnicos y profesionales vinculados a esta actividad dominen las particularidades de sus sistemas de riego, esto les permitirá mayor objetividad durante la ejecución de la demanda de agua al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), así como la planificación de los mantenimientos y las reparaciones a los sistemas de riego.

Históricamente se ha utilizado el criterio de asumir una eficiencia de conducción general para su empleo en la operación de estos sistemas de riego, lo que resulta inadecuado según Fontova y García (2001), a continuación se reflejan algunos ejemplos (Tabla 1).

TABLA 1. Eficiencia Globales de Sistemas de Riego para el cultivo del arroz

Tipo de sistema	Eficiencia (%)	
	A	B
Sistemas Ingenieros	68	70
Sistemas semi ingenieros	63	60
Sistemas tradicionales	45	50

Instructivo de riego del arroz (Minag, 2014).

Reglamento para la organización, operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje (Minag, 2012).

Estos valores de eficiencias globales incluyen la Eficiencia de Aplicación del agua al campo, lo cual implica que los valores de Eficiencia de Conducción son superiores. Los valores citados pueden ser altos o bajos, pero lo cierto es que al utilizar un valor común para todos los campos se están omitiendo las diferencias que existen entre los mismos en cuanto a las longitudes de canales de diferentes categorías que se vinculan a los campos de riego y que difieren considerablemente.

El manejo del agua en los sistemas de riego y drenaje del

cultivo del arroz requiere de una adecuada coordinación entre el suministro de agua a los campos y la evacuación del agua de los mismos, al respecto por Herrera *et al.* (2016), se refieren a la importancia de la extracción del exceso de agua en caso de lluvias, cuya frecuencia y magnitud resulta imposible de pronosticar (Bonet, 2015).

El conocimiento del consumo de agua total del cultivo es importante para la determinación de la productividad del agua y la relación agua - rendimiento (González *et al.*, 2013, 2014). Para lograr ese balance es preciso determinar las eficiencias de conducción del agua en los canales, lo que es posible con la aplicación de los principios de la hidrometría de explotación (Cun *et al.*, 2017).

El presente estudio tuvo el objetivo de determinar la Eficiencia de Conducción hasta el campo en un sistema de riego del cultivo del arroz y comparar los resultados con los valores tomados como referencia.

MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Sur de Jíbaro” perteneciente a la Empresa Agroindustrial de Granos con el mismo nombre en la provincia Sancti Spiritus, Cuba, se seleccionó para el estudio el área vinculada al sistema de riego semi ingeniero abastecido por el canal P-4, este es un canal construido en excavación, no revestido; el sistema posee los parámetros que se indican en la Tabla 2.

TABLA 2. Parámetros técnicos del sistema de riego

Categoría	Longitud (m)	Q diseño (L/s)	No. obras hidrotécnicas
Primario	13 610	3 600	11
Secundario	9 900	600	44
Terciario	48 200	180	

El sistema cuenta con un canal primario (P-4) 11 canales secundarios, cada uno de los cuales abastece 1 bloque de 4 campos, y 44 canales terciarios (Tabla 3).

TABLA 3. Dimensiones del área de riego

Cuadrícula	Dimensiones campo (m)	Área campo (ha)	Área bloque (ha)	Área total (ha)
A, B, C, D, E F, H, I	1350 x 300	40,5	162,0	1296,0
A´	1800 x 300	54,0	216,0	216,0
G	950 x 300	28,5	114,0	114,0

En cada uno de los puntos de entrega a los canales secundarios el canal P-4 posee obras de distribución con compuertas rectangulares, las cuales fueron previamente calibradas mediante la colocación de escalas aguas arriba y aguas debajo de las obras, lo que permitió medir el gasto de acuerdo a las diferencias de cotas y la sección de circulación en la compuerta; estas obras fueron previamente validadas a través del método del molinete hidrométrico, obteniéndose diferencias menores al 8%, lo que posibilita su empleo en el presente estudio.

En la Figura 1 se presenta un esquema general del sistema de riego del canal P - 4.

Para la determinación de la Eficiencia de Conducción en el canal P-4 se coordinó con el INRH la garantía de 1000 L/s en el punto de entrega situado al inicio del canal, se tomaron como referencia cuatro puntos de distribución correspondientes a las cuadrículas C, F, I, J. Las entregas a los canales secundarios situados en ruta fueron cerradas, de manera tal que la diferencia entre el gasto medido al final del canal y el gasto de entrada al mismo se debe exclusivamente a las pérdidas que se producen por diferentes causas.

Se midió el gasto utilizando las obras hidrotécnicas calibradas según Aliexpiorov *et al.* (1986); León (2002), a partir de esta información se determinaron las pérdidas específicas y con los resultados obtenidos se calculó el gasto en el resto de los puntos de distribución del canal principal, lo cual sirvió de base para la determinación de la Eficiencia de Conducción del canal en toda su longitud y de cada tramo del mismo.

La inspección visual permitió comprobar que los canales secundarios tenían idéntica longitud, estado técnico y están sustentados sobre el mismo tipo de suelo, a partir de esto se seleccionó el canal S-6 que abastece el bloque E (campos 21 al 24) como representativo del sistema por estar situado en el centro del área, y se utilizó idéntico procedimiento para determinar la Eficiencia de Conducción. En el caso de los canales terciarios se siguió el mismo criterio, se seleccionó un canal de 1350 m de longitud por ser esta la medida más representativa, y considerando que no cuentan con obras al final de los mismos, se utilizó el método de sección y velocidad, según el siguiente procedimiento: el área se midió a partir de la forma geométrica de la sección del canal (trapezoidal) utilizando cinta métrica y estacas; la velocidad del agua se midió con empleo del flotador, procedimiento que es aplicable en canales de pequeñas secciones en los cuales la velocidad superficial del agua es representativa de la velocidad de la corriente, como

sucede en el presente estudio de Herrera *et al.* (2013) e ISO 748: 2007 (2014); el tiempo se midió con cronómetro, realizando tres repeticiones para la corrección de errores, previamente se seleccionó un tramo de 10 m recto y de sección uniforme y se colocó el objeto flotante 2 m antes del punto inicial para tomar la velocidad estabilizada (Condori, 2012).

Ecuaciones utilizadas:

$$Q = A * v_a \tag{1}$$

$$Efc = \left(\frac{Q_s}{Q_e} \right) 100 \tag{2}$$

$$P_e = \frac{P}{L} \tag{3}$$

$$P = Q_s - Q_e \tag{4}$$

$$Q(ant) = Q_s + P \tag{5}$$

$$Efc(ant) = \left[\frac{Q(ant)}{Q_e} \right] 100 \tag{6}$$

$$Efc(campo) = (Efc(p) * Efc(s) * Efc(t)) 100 \tag{7}$$

donde:

A- Área de la sección (m²); v. Velocidad del agua (m/s); Efc. Eficiencia de conducción (%); Qs. Gasto de salida del tramo evaluado (L/s); Qe. Gasto de entrada al tramo evaluado (L/s); Pe. Pérdidas específicas (L/s/m); P. Pérdidas (L/s); L. Longitud del tramo evaluado (m); Q (ant) Gasto en el punto anterior al evaluado (L/s); Efc (ant). Eficiencia de conducción en el punto anterior al evaluado (%); Efc (campo). Eficiencia de conducción hasta el campo (%).

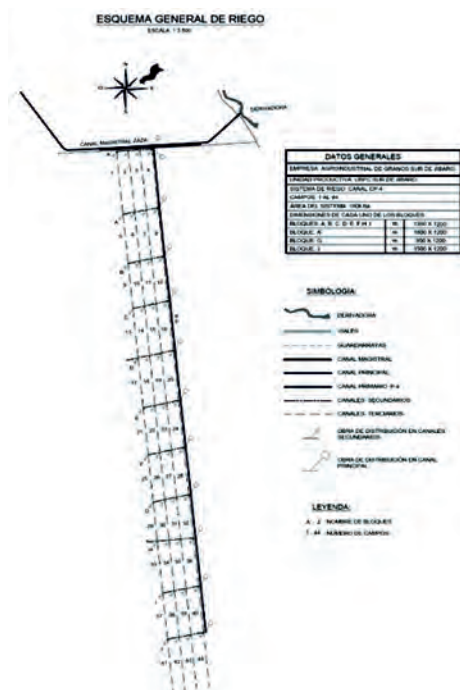


FIGURA 1. Esquema del sistema de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4 aparecen los valores de Eficiencia de Conducción en el canal primario, obtenidos en los puntos seleccionados del canal P-4.

TABLA 4. Eficiencia de Conducción en puntos de control del canal P-4

Punto de control	Q(L/s)	Efc(%)
Punto de entrega del INRH	1000	
1	880	88
2	710	71
3	650	65
4	600	60

Con estos resultados se calcularon las pérdidas específicas que se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5. Pérdidas Específicas en el Canal Primario

Tramo	Qe (L/s)	Qs (L/s)	Efc (%)	Pe (L/s/m)
4	650	600	92	0,037
3	710	650	91	0,016
2	880	710	81	0,042
1	1000	880	88	0,026

Teniendo en cuenta la distancia al resto de los puntos de distribución, a partir de las pérdidas específicas de cada tramo se estimó la Eficiencia de Conducción hasta cada uno de los puntos de distribución del canal P-4 no evaluados (Tabla 6).

TABLA 6. Eficiencia de Conducción en puntos de distribución en relación al punto de entrega

Punto de distribución	Pe (L/s/m)	L (m)	P (L/s)	Q (L/s)	Efc (%)
Bloque H	0,016	1350	22	672	67
Bloque G	0,016	950	15	687	68
Bloque E	0,042	1350	57	767	77
Bloque D	0,042	1350	57	824	82
Bloque B	0,026	1350	35	915	91
Bloque A	0,026	1350	35	950	95
Bloque A'	0,026	1800	47	997	100

En el canal P-4 el tramo crítico es el número 2, con pérdidas específicas de 42 L/s/km, esto se debe al deterioro significativo de la sección del canal en parte de ese tramo.

En el canal secundario se midieron valores del gasto a la entrada y salida, los mismos resultaron ser de 180 y 144 L/s respectivamente, con lo cual se determinó una Eficiencia de conducción de 80% y valores de pérdidas específicas de 0,040 L/s/m para la longitud total del canal. La distancia entre canales terciarios es de 300 m, de forma que para cada uno de esos tramos se calculó la Eficiencia de Conducción del canal secundario, los resultados se reflejan en la Tabla 7.

En este caso el primer tramo no se calcula por cuanto el primer canal terciario parte del inicio del canal secundario y por tanto no existen pérdidas hasta el mismo.

TABLA 7. Eficiencia de Conducción en el canal secundario

Tramo	Pe (L/s/m)	D (m)	P (L/s)	Q (L/s)	Efc (%)
T - 4		300		144	80
T - 3	0,040	300	12	156	86
T - 2		300		168	93
T - 1				180	100

En el canal terciario los valores de gasto a la entrada y salida fueron de 150 y 85 L/s respectivamente, resultando ser la Eficiencia de Conducción del 57%.

Conocida la distribución territorial del sistema y cada uno de los campos vinculados al mismo se determinó la Eficiencia de Conducción total hasta el nivel de cada campo (Tabla 8).

TABLA 8. Rangos de Eficiencia de Conducción Total (%)

Rango de Eficiencia (%)	No. Campos	Área (ha)	%
>50	6	270,0	14,9
45 - 49	7	310,5	17,2
40 - 44	9	364,5	20,2
35 - 39	10	393,0	21,8
< 35	12	468,0	25,9

Los resultados muestran valores de Eficiencia de Conducción general en relación al punto de entrega del INRH que oscilan entre 57 y 27%, con una media de 42%, que resultan característicos de estos sistemas de riego según García *et al.* (1985) y Minag (2005). En el sistema evaluado, el 67,2% del total de canales corresponden a canales terciarios, y en estos se producen las mayores pérdidas por conducción, con una Eficiencia de Conducción media de 57% y pérdidas específicas de 0,050 L/s/m. Los resultados de la Eficiencia de Conducción determinados difieren considerablemente de los indicadores utilizados para sistemas de riego del arroz; los bajos valores de eficiencia en los canales terciarios están dados por su inestabilidad, ya que deben ser reconstruidos frecuentemente por lo cual no se compacta el fondo y los taludes, y por la manipulación a que son sometidos por los anegadores debido a la falta de obras de entrega de agua al campo. Gran parte del agua perdida en el canal terciario se queda en el campo de arroz, pero con una mala distribución.

Teniendo en cuenta los valores utilizados como indicativos corresponde a este sistema de riego una Eficiencia de Conducción superior al 60%, lo cual difiere significativamente del valor medio obtenido. Estas diferencias en relación a los valores medios utilizados reafirman la importancia de su determinación en las condiciones concretas de cada sistema (Basan, 2008).

Los resultados del estudio realizado permitieron comprobar que es posible lograr información sobre la Eficiencia de Conducción a escala de producción, con errores menores al 10% en dependencia de la preparación del personal encargado de realizar las lecturas.

CONCLUSIONES

- Los valores de Eficiencia de Conducción a nivel de campo variaron entre 27 y 57%, los cuales difieren considerablemente de los recomendados por la bibliografía para sistemas de riego semi ingenieros (60 – 63%); produciéndose las mayores pérdidas en los canales terciarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIEXPIOROV, A.; SOMOZA, B.M.; LÓPEZ, I.: *Cálculo y correcta explotación de las obras hidrométricas más divulgadas en la red interna de la empresa*, Inst. Ministerio de la agricultura, DNRD – IIRD, La Habana, Cuba, 1986.
- BASAN, N.M.: *Curso. Aforadores de corrientes de agua.*, Inst. INTA-EEA, Serie informes técnicos, Santiago del Estero, España, 2008.
- BONET, P.C.: “Medición de la lluvia en la explotación de los sistemas de riego en Camagüey”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(3): 47-52, 2015, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- CONDORI, L.H.: *Hidrometría. Manual de usuario en zonas andinas*, Perú, 2012.
- CUN, G.R.; PÉREZ, L.R.; CISNEROS, Z.E.; ZAMORA, H.E.: “La hidrometría de explotación, una herramienta importante para el uso eficiente del agua en una agricultura sostenible”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(2): 66-73, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- DUARTE, D.C.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, R.F.; ZAMORA, H.E.: “Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4): 46-51, 2015, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- DUARTE, D.C.; HERRERA, P.J.; ZAMORA, H.E.: “Predicción de las normas netas de riego a futuro en el pronóstico de riego”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(3): 3-10, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- FAO: *Aquastat, FAO's Information System on Water and Agriculture, [en línea]*, Inst. FAO, Rome, Italy, 2017, Disponible en: http://www.FAO.org/nr/water/aquastat/water_use_agr./index6.st, [Consulta: 5 de julio de 2018].
- FONTOVA, de los R.E.; GARCÍA, R.E.: *Ingeniería de Riego*, Madrid, España, 2001, ISBN: 959-258-160-6.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA: “Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Resolución 287/2015. Índices de consumo de agua para las producciones, los servicios y el riego agrícola, incluido el sector no estatal”, *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, Ministerio de Justicia ed., La Habana, Cuba, 2015, ISSN: 1682-7511.
- GARCÍA, O.R.; SHISHKIM, V.K.; NAVARRO, R.: *Hidrometría de explotación en sistemas de riego*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, Cuba, 350 p., 1985.
- GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; CID, L.G.: “Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 5-11, 2013, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; CID, L.G.: “Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21-27, 2014, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HERRERA, P.J.; DUARTE, D.C.; GONZÁLEZ, R.F.; CID, L.G.: “Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento de algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(2): 3-7, 2016, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- HERRERA, P.J.; GARCÍA, L.; CUN, G.R.; RODRÍGUEZ, G.M.; PUJOL, O.R.; CID, L.G.; CISNEROS, Z.E.; ALEMÁN, G.C.; ROQUE, R.R.: *Uso eficiente de sistemas de riego. Manual práctico sobre el riego de los cultivos*, Ed. MINAG-IAgric, La Habana, Cuba, 2013, ISBN: 978-959-285-021-7.
- ISO 748: 2007: *Hidrometría. Medida de caudal de líquidos en canales abiertos utilizando flotadores*, Inst. Instituto Ecuatoriano de Normatización, Ecuador, Vig de 2014.
- LEÓN, A.: *Hidrometría de las conducciones libres y forzadas*, Inst. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE)-CUJAE, La Habana, Cuba, 2002.
- MINAG: *Manual de Hidrometría*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Proyecto Sub Sectorial de Irrigación. INRENA-UCPSI, La Habana, Cuba, 2005.
- MINAG: *Reglamento para la organización, operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje*, Inst. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 2012.
- MINAG: *Instructivo Técnico del cultivo del arroz*, Ed. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigaciones de Granos, La Habana, Cuba, 2014, ISBN: 978-959-7210-86-3.
- PLANOS, E.O.; GUEVARA, A.V.; RIVERO, R.: *Cambio Climático en Cuba: vulnerabilidad, impacto y medidas de adaptación*, Ed. AMA, vol. 8, vols. 2, La Habana, Cuba, 2013, ISBN: 978-959-300-035-2.

Camilo Bonet Pérez, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Filial Camagüey, Cuba, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Héctor Moreno Guerra, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Pedro Guerrero Posada, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Raidel Vidal González, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Dania Rodríguez Correa, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Eduardo Fernández Chinae, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Bárbara Mola Fines, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Fernando R. Puente Borrero, e-mail: esp.riego.iagric@dlg.cmg.minag.gob.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.