

## RIEGO Y DRENAJE

### ARTÍCULO ORIGINAL

# Criterios hidráulicos y validación matemática para el diseño del campo arrocero

## *Hydraulic approaches and mathematical validation for the design of the rice field*

Ing. Guillermo Hervis Granda<sup>1</sup>, Ing. Julio Reyes Fernández<sup>11</sup>, Dr.C Julián Herrera Puebla<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de La Habana (UTH) “José Antonio Echeverría”-CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Marianao, La Habana, Cuba.

<sup>11</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** Para lograr un rápida y completa germinación del arroz sembrado en forma directa, el cultivo exige que el primer riego debe efectuarse antes de cumplirse las 24 horas de efectuada la siembra, por tanto, al diseñar un sistema de riego para este cultivo, el mismo debe garantizar el cumplimiento de esta exigencia a la vez que logre, la máxima eficiencia de aplicación del agua. Aplicando la herramienta de modelación matemática *SIRMOD* (Surface Irrigation Model) se determinaron, para las condiciones de producción de la arrocería de Los Palacios, Pinar del Río, las variantes de diseño que permiten incrementar la eficiencia de aplicación del agua en el suelo y a la vez cumplen con la exigencia agronómica. Se concluyó que como restricciones de diseño la longitud máxima es de 140m y se deben aplicar caudales superiores a 85 l s<sup>-1</sup> hasta 300 l s<sup>-1</sup>. Para estas condiciones se logra incrementar la eficiencia de aplicación hasta un 80%, disminuyendo las pérdidas por percolación aproximadamente en un 30%.

**Palabras clave:** modelación matemática del riego superficial, eficiencia de aplicación, diseño hidráulico.

**ABSTRACT:** In order to obtain a rapid and uniform germination, direct planting rice in dry soils, requires to be irrigated before the first 24 after seeded, it mean that, this consideration must be into account when an irrigation system is designed for rice irrigation at the same time that the system have the maximum water application efficiency. Applying the *SIRMOD* mathematical modeling tool (Surface Irrigation Model), it was determined, for the environmental conditions of “Los Palacios” rice productions enterprise, located in of Pinar del Rio, different design variants that increase the efficiency of field water application. It was concluded that using a 140 m basin length and flow rates from 85 to 300 l sec<sup>-1</sup> it is possible to increase irrigation field application efficiencies until 80% and lowed the water percolation losses in around 30%.

**Keywords:** Mathematical model, application efficiency, hydraulic design.

## INTRODUCCIÓN

El primer riego del arroz, desde el punto de vista agronómico es el más importante, pues en él se aplica una gran cantidad de agua que permite saturar la zona de aireación del cultivo y proporcionar la humedad necesaria para la germinación de la semilla<sup>1</sup>. A este criterio agronómico, el diseño del sistema hidráulico debe dar respuesta.

En el primer riego, el agua se mueve sobre la superficie del suelo seco y se infiltra rápidamente. Para cumplir las

exigencias agronómicas del cultivo, el riego debe darse antes de cumplirse las 24 horas de efectuada la siembra, el diseño hidráulico del sistema debe garantizar el cumplimiento de esta exigencia buscando siempre, la máxima eficiencia de aplicación del agua. Por esta razón y para complementar las exigencias agronómicas del cultivo, el diseño de las terrazas arroceras se basa en el comportamiento del primer riego, teniendo en cuenta las diferentes variables de decisión

<sup>1</sup> ALEMÁN, L.; GARCÍA, O.; LÓPEZ, I.; POLÓN, R.; DURANZA, A.; GUERRA, R.; PLA, A.; ALVAREZ, G.; RAMOS, J. J.: La problemática del primer riego en el cultivo de arroz, En: II Encuentro Nacional de Riego del Arroz, La Habana, 1987

como la longitud del campo, el caudal aplicado, el tiempo de aplicación, etc. (USDA, 1974).

El caudal a aplicar en el primer riego se ha calculado históricamente como hidromódulo de riego, a partir de criterios puramente agronómicos, obviándose los factores que influyen en el movimiento del agua sobre el suelo. El hidromódulo del primer riego del arroz oscila entre 2,5-7,5 l s<sup>-1</sup> por hectárea<sup>2</sup> en función del período de ejecución del riego. Este caudal resulta relativamente pequeño y si bien cumple las necesidades del cultivo, generará grandes pérdidas por percolación debido a las condiciones del suelo explicadas anteriormente. Si se aplicara un gasto mayor que no resulte erosivo al suelo y que permita un control entre la infiltración y el avance, se podrá aumentar la productividad del riego y aumentar la eficiencia de aplicación del agua en el suelo.

La mayoría de los sistemas arroceros en Cuba poseen en sus áreas sistemas de riego y drenaje diseñados a partir de esquemas típicos de diseño, extrapolados de condiciones foráneas, principalmente de la antigua Unión Soviética<sup>3</sup>. Esta situación, unida al cálculo de los caudales como hidromódulos basados en criterios puramente agronómicos, la inexistencia de evaluaciones de campo, que caractericen con exactitud las condiciones de las áreas bajo riego y las malas prácticas de manejo del agua en el campo, conduce a un bajo aprovechamiento del agua que es aplicada en el campo.

La Unidad Empresarial de Base Arroceras “Sierra Maestra”

en Los Palacios, Pinar del Río, como otras unidades arroceras del país, posee en sus áreas sistemas de riego y drenaje diseñado a partir de esquemas típicos de diseño. El presente trabajo desarrollado en sus áreas pretende obtener, a partir de la modelación matemática -método de diseño del riego superficial ampliamente difundido, los parámetros hidráulicos que permitan el incremento de la eficiencia de aplicación del agua en el suelo.

## MÉTODOS

### Generalidades del área de estudio

La Unidad Empresarial Básica Agrícola (UEBA) “Sierra Maestra” localizada en el centro sur de la provincia de Pinar del Río, municipio Los Palacios cuenta con 4015 ha dedicadas al cultivo del arroz bajo riego que demandan anualmente entre 40 y 50 millones de m<sup>3</sup>, que son entregados a través de la colosal obra del Complejo Hidráulico Sur de Pinar del Río.

Para el trabajo se demandan 25 hectáreas estudiadas (figura 1), con características representativas de toda la UEBA, se encuentran ubicada geográficamente en la latitud N 22°30'18" y longitud W 83°14'6". El área se encuentra dividida en 6 semiterrazas con dimensiones iguales (300x110 m) que son regadas a través de 2 obras de tomas de 300 mm de diámetros, que reciben el agua de un canal terciario con doble mando capaz de conducir hasta 1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.



FIGURA 1. Componentes del complejo hidráulico (sistema secundario y terciario) y delimitación del área demostrativa.

<sup>2</sup> ALEMÁN, L.; GARCÍA, O.; LÓPEZ, I.; POLÓN, R.; DURANZA, A.; GUERRA, R.; PLA, A.; ALVAREZ, G.; RAMOS, J. J. “Manejo del agua y normas de riego del arroz”, En: II Encuentro Nacional de Riego del Arroz, La Habana, 1987.

<sup>3</sup> RODRÍGUEZ, J.; FERNÁNDEZ, J.; PUJOLS, R.: Esquema de Diseño IIRD para la Modernización de los Sistemas de Riego y Drenaje del Arroz, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), 1999.

Las pendientes de los campos son llanas oscilando entre 0.05-0.2 %. El suelo predominante en el área es el Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado Típico, según la “*Clasificación genética de los suelos de Cuba*”, equivalente a un suelo *Ferrasols* de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO dado por Greco *et al.* (2012).

**Premisas del diseño hidráulico de terrazas arroceras**

1. **Empleo del esquema de diseño IIRD** (Rodríguez *et al.*, 1999): Organización que propone permite ejecutar el primer riego por etapas y no simultáneamente en todos los campos.
2. **Longitud de la terraza:** En función de la pendiente del terreno, del manejo del agua y del cultivo y de la forma de cosecha del mismo, se recomienda de 50 a 450 metros.
3. **Pendiente del terreno:** Pendiente longitudinal hasta 1% (máximo), siendo las mejores pendientes están entre 0,2 y 0,5%. La pendiente transversal debe ser cercana a cero, como límite máximo 0,2%.
4. **Eficiencia de aplicación:** Superior al 70%, sin entrar en contradicción con las demás eficiencias de riego.
5. **Productividad del riego:** Que logre regar el campo en un tiempo menor o igual a 24 horas de acuerdo a las exigencias agronómicas del cultivo.

**Modelación matemática del riego por terrazas**

El modelo matemático empleado en la simulación fue el SIRMOD (Surface Irrigation Model) (Walker, 1989). Este permite el diseño, evaluación y simulación del riego en bandas, terrazas y surcos para distintas formas de operación: uso de los caudales, reúso del agua y riego por pulsos. Sus soluciones numéricas responden a las ecuaciones de *Saint-Venant* que describen el movimiento del agua a través de un medio poroso. El modelo SIRMOD se ha convertido en un estándar mundial en la modelación del riego superficial, su eficacia ha sido probada por varios autores, entre ellos pueden citarse a Abbasi *et al.* (2003); Ebrahimian y Liaghat (2011) y Mehanna, *et al.* (2015). El modelo empleado fue validado para las condiciones de los suelos arroceros cubanos en estudios realizados por Samaké (1997).

**Entradas del modelo**

La información requerida por el programa, referida a longitud de los campos, pendiente, parámetros de infiltración y rango de gastos unitario se obtuvo a partir de evaluaciones de campo siguiendo la metodología propuesta por Walker (1989a).

Para determinar los parámetros de infiltración se ejecutaron 3 pruebas realizadas por el método del doble anillo por un período mayor de 6 horas siguiendo las indicaciones de la Norma Vigente en Cuba (NRAG-375, 1988). El modelo empleado para la caracterización de la infiltración fue el de *Kostiakov Modificado*.

El rango de gastos unitarios a aplicar tiene como valor inferior el gasto mínimo necesario para lograr una adecuada eficiencia de distribución del agua en el campo (1)

y como valor superior el gasto máximo no erosivo y sin desbordamiento (2) (Walker, 1989a). Este último se calculó para las condiciones de longitud mínima de 50 m y velocidad máxima no erosiva de 14 m min<sup>-1</sup> correspondientes a suelos estables.

$$q_{\min.} = 0.000357 * \left(\frac{L\sqrt{S}}{n}\right) \tag{1}$$

donde:

- $q_{\min.}$ : es el caudal mínimo (m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> m).
- $L$ : es la longitud de la terraza (m).
- $So$ : es la pendiente longitudinal (m m<sup>-1</sup>).
- $n$ : es el coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

$$q_{\max.} = \left[V_{\max.}^{1.67} * \frac{n}{60*\sqrt{So}}\right]^{\frac{1}{0.67}} \tag{2}$$

donde:

- $q_{\max.}$ : es el caudal máximo (m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> m).
- $V_{\max.}$ : es la velocidad máxima no erosiva (m min<sup>-1</sup>).
- $So$ : es la pendiente longitudinal (m m<sup>-1</sup>).
- $n$ : es el coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional).

**Diseño experimental**

Se ejecutaron los experimentos numéricos para el caso del primer riego, utilizando un coeficiente de rugosidad de Manning para suelos recién preparados (n=0.04). Se impusieron condiciones de flujo continuo con drenaje bloqueado y control de corte especificado para humedecer 100 mm del perfil de suelo. De los modelos de solución que posee SIRMOD se empleó el tipo Hidrodinámico Completo.

Se ejecutaron 594 corridas del modelo para cada posible combinación de longitud, pendiente y caudal unitario aplicado, de acuerdo al esquema de la figura 2. Para cada escenario (combinación de las tres variables) se obtuvieron los índices hidráulicos de funcionamiento del sistema (eficiencia potencial de aplicación, volumen de agua aplicada y las pérdidas por percolación).

Se compararon las variantes de diseño en cuanto a la eficiencia potencial de aplicación teniendo en cuenta el criterio de Roscher (1985) (Tabla 1) que considera como un resultado satisfactorio el 70%. Según este mismo autor, las eficiencias de distribución y almacenamiento deben estar en el orden de 80-90%.

**TABLA 1. Calificación de las eficiencias para métodos de riego por superficie**

Parámetros	Malo	Satisfactorio	Bueno
Eficiencia de aplicación	< 60	60-75	> 75
Eficiencia de almacenamiento	< 80	80-90	> 90
Eficiencia de distribución	< 80	80-90	> 90

**Fuente:** Roscher (1985).

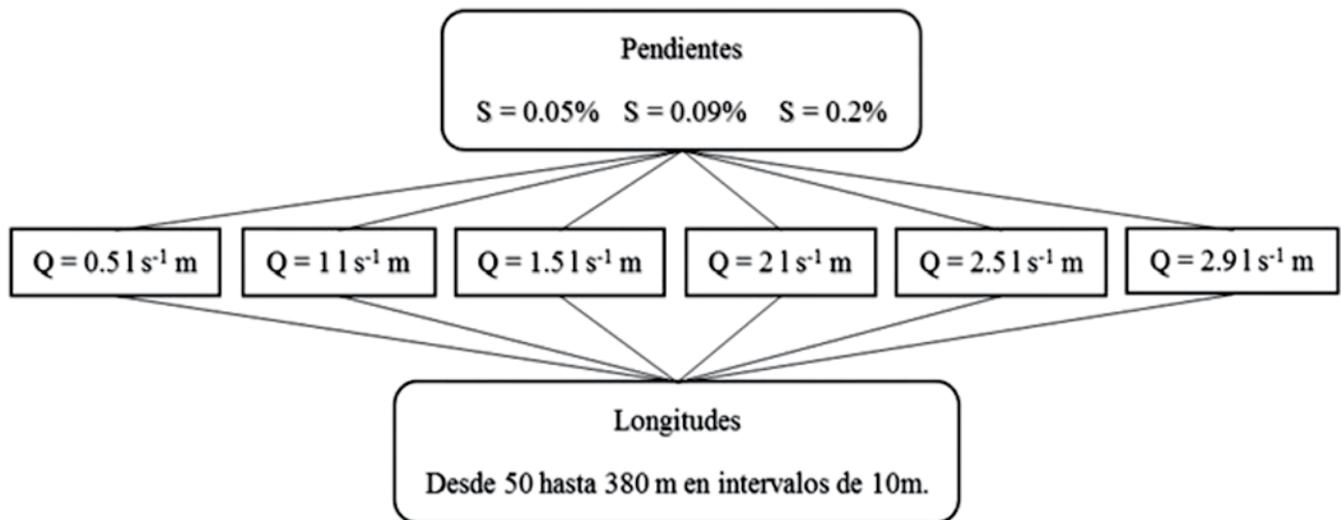


FIGURA 2. Esquema del proceso de experimentación numérica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Discusión sobre el uso del hidromódulo de riego

Como se ha explicado anteriormente el hidromódulo de riego resulta relativamente pequeño para las condiciones del primer riego del arroz, generando excesivas pérdidas por percolación profunda, en función del manejo de agua que se realice. En esta sección se analiza el empleo de un caudal mayor al hidromódulo de riego, denominado gasto unitario (Walker, 1989), el cual se refiere al caudal por metro de ancho del frente de avance. Este gasto unitario tiene en cuenta las condiciones iniciales del suelo y permite un control del agua aplicada entre la infiltración y el avance. La aplicación del agua a nivel de campo es posible a través de un canal de cabecera que actuará como una represa (Figura 3), una vez alcanzada la máxima capacidad de almacenamiento comenzará el rebose del canal aplicando un gasto uniforme en todo en ancho de la terraza.

El gasto unitario posible a aplicar dependerá de la capacidad de la red de riego, las condiciones de humedad antecedentes y

la pendiente del campo, su valor deberá ser deberá estar dentro del rango de gasto máximo y mínimo.



FIGURA 3. Aplicación del gasto unitario en el campo arrocero.

TABLA 2. Comparación entre el diseño existente y el diseño propuesto

Parámetros	Diseño con hidromódulo basado en criterios agronómicos	Diseño con gasto unitario basado en criterios hidráulicos
Caudal ( $l s^{-1} m$ )	0,61	2,7
Longitud (m)	100	100
Tiempo de riego (min)	902	123,5
Eficiencia potencial de aplicación (%)	31,6	80,89
Eficiencia de distribución (%)	31,64	83,35
Percolación (%)	68,29	16,16
Volumen ( $m^3$ )	3421	1353

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la simulación para las condiciones del suelo pendiente de la zona de estudio cuando se modela el riego utilizando el criterio de hidromódulo y el de gasto unitario máximo, posible a aplicar de acuerdo a las condiciones de la red de riego. El modelo SIRMOD trabaja con el concepto de gasto unitario; para simular el riego con el hidromódulo fue necesaria su conversión ( $2,5 \text{ l s}^{-1}$  por hectárea equivalen a  $0,6 \text{ l s}^{-1}$  por metro de ancho del frente de avance).

Los resultados de la Tabla 2 demuestran que cuando se aplica el hidromódulo de riego, que solo tiene en cuenta las necesidades agronómicas del cultivo, la eficiencia potencial

de aplicación es de 31,6%, muy por debajo de 70%, valor considerado como aceptable. Para estas condiciones la productividad del riego es superior a 1,2 horas por hectárea y se aplica un volumen considerable de agua, perdiéndose el 68,29% por percolación profunda. Sin embargo, cuando se aplica el gasto unitario máximo, se logra elevar la eficiencia de aplicación a valores aceptables, las pérdidas por percolación disminuyen considerablemente y la productividad del riego se encuentra por debajo de 1,2 horas por hectáreas. En la Figura 4 se muestran las simulaciones realizadas para cada caso, en ella se puede apreciar la diferencia entre los diferentes riegos.



FIGURA 4. Resultados de las simulaciones para los diferentes gastos aplicados.

### Variante de diseño para pendientes de 0,05%

En la Tabla 3 se muestran los parámetros de diseño para las condiciones del primer riego en terrazas con pendiente de 0,05%. Como se puede observar, la mayor eficiencia potencial de aplicación es de 89,03% y se obtiene aplicando un caudal unitario de  $2,5 \text{ l s}^{-1}$  por metro de ancho del frente de avance ( $275 \text{ l s}^{-1}$ ) a una terraza de 70 m de largo (equidistancia vertical entre diques de 3,5 cm). Para estas condiciones se pierde el 9,48% del agua aplicada y teóricamente se riega en 98 min. Los parámetros de este diseño permiten obtener una productividad del riego cercana a 1,5 horas por hectáreas.

TABLA 3. Parámetros de diseño para terrazas con pendiente igual a 0.05%

Caudal unitario ( $\text{l s}^{-1} \text{ m}$ )	Longitud (m)	Tiempo de aplicación (min)	Eficiencia potencial de aplicación (%)	Pérdidas por percolación (%)	Volumen aplicado ( $\text{m}^3$ )
0,5	30	175,2	76,85	22,9	418
1	50	149,1	81,49	18,21	660
1,5	60	123,8	86,41	13,1	748
2	70	113,4	87,46	11,31	869
2,5	70	98	89,03	8,39	858
2,7	80	102,7	87,41	9,48	1001

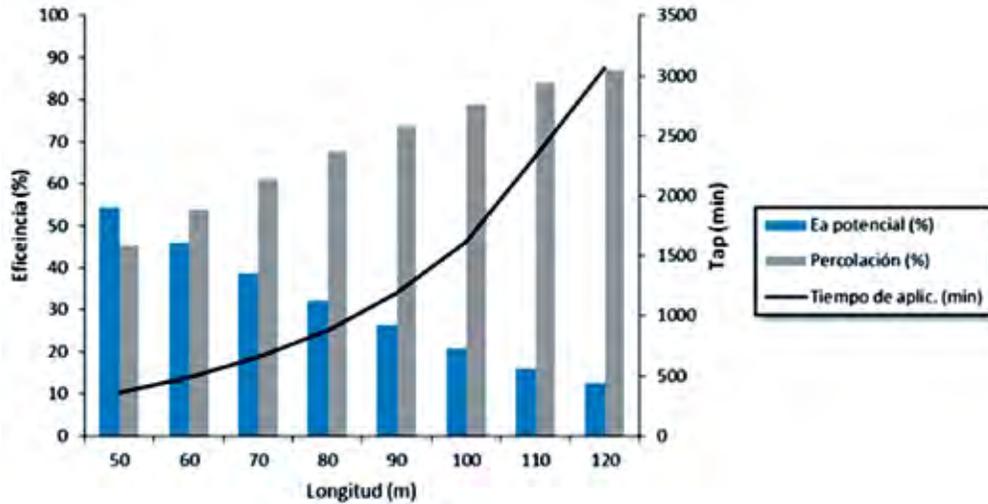


FIGURA 5. Comportamiento de la Eficiencia potencial de aplicación, percolación y tiempo de aplicación para un evento de riego donde se aplica el caudal unitario mínimo.

La Figura 5 muestra la relación inversamente proporcional que tiene la longitud de la terraza con respecto a la eficiencia de aplicación, para un mismo gasto aplicado. Además de apoyar lo planteado por Alemán *et al.* (1987) acerca de la necesidad de elegir adecuadamente el caudal y el tiempo de aplicación, para el primer riego del arroz.

(300 l s<sup>-1</sup>) a una terraza de 80 metros de longitud. Se pierde el 5,73% del agua aplicada realizando un riego productivo (<1.2 horas ha<sup>-1</sup>).

Para alcanzar valores de eficiencia de aplicación aceptables resulta recomendable aplicar caudales altos, no erosivos, que permitan el movimiento del agua sobre el suelo impidiendo la excesiva infiltración que redundaría en la pérdida de agua más allá de la zona de raíces activa. Lo expresado anteriormente se muestra en la Figura 6 que evidencia como cuando se aplica el caudal unitario máximo siempre se podrán lograr eficiencias de aplicación aceptables, y que la conveniencia de aplicar un caudal unitario superior al mínimo.

**Variante de diseño para pendientes de 0,09%**

La Tabla 4 muestra que para pendientes de 0,09% la máxima eficiencia potencial de aplicación se logra cuando se aplica un caudal de 2,7 l s<sup>-1</sup> por metro de ancho del frente de avance

TABLA 4. Parámetros de diseño para terrazas con pendiente igual a 0,09%

Caudal unitario (l s <sup>-1</sup> m)	Longitud (m)	Tiempo de aplicación (min)	Eficiencia potencial de aplicación (%)	Pérdidas por percolación (%)	Volumen aplicado (m <sup>3</sup> )
0,5	30	173,1	80,1	21,56	407
1	50	146,8	83,02	16,67	649
1,5	60	121,6	88,73	10,68	737
2	70	111,2	90,03	8,26	847
2,5	80	107,8	88,79	8,32	979
2,7	80	100,5	90,58	5,73	957

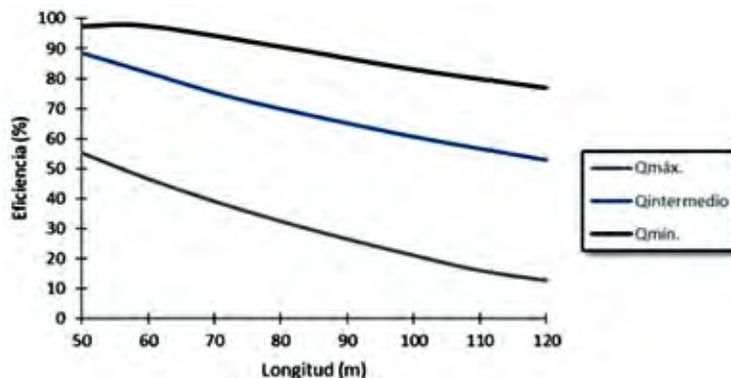


FIGURA 6. Comportamiento de la Eficiencia potencial de aplicación, para diferentes caudales unitarios.

### Apuntes sobre los diseños propuestos

Con se ha discutido anteriormente una correcta selección del caudal y la longitud permitiría alcanzar buenos valores de eficiencia de aplicación. Sin embargo, es conocido que estos valores pueden verse afectados por otros factores que influyen directamente en el caudal a aplicar, entre los cuales se encuentran la disponibilidad de agua y mal manejo del riego en campos aledaños.

El uso de los gráficos abajo expuestos (Figura 7 y 8, caso

de campos con pendiente de 0,05%) permitiría reajustar aproximadamente los valores de eficiencia de aplicación y cuantificar las pérdidas cuando el diseño implementado se vea afectado por los factores antes mencionados.

Los gráficos propuestos fueron obtenidos a partir de la experimentación numérica y pueden resultar útiles ante la variación del caudal. En su interior se encuentran los diseños óptimos mostrados en las tablas 3 y 4, aunque a partir de estos se pueden obtener nuevos diseños (satisfactorios) para condiciones específicas.

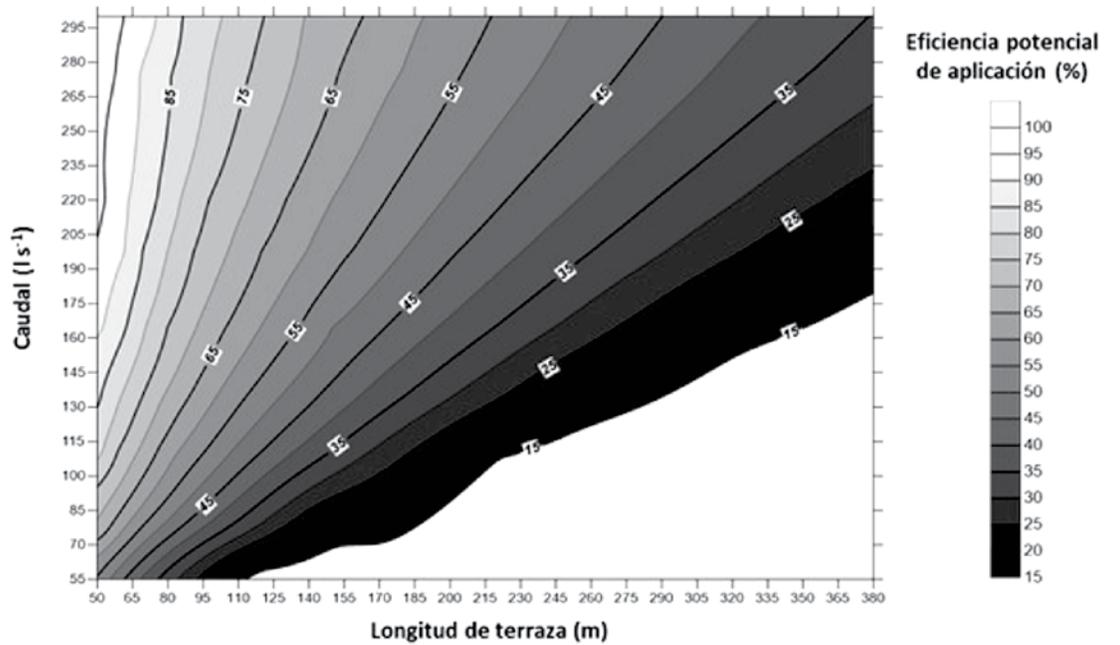


FIGURA 7. Gráfico de contorno del comportamiento de la Eficiencia Potencial de Aplicación en campos con pendiente de 0,05%.

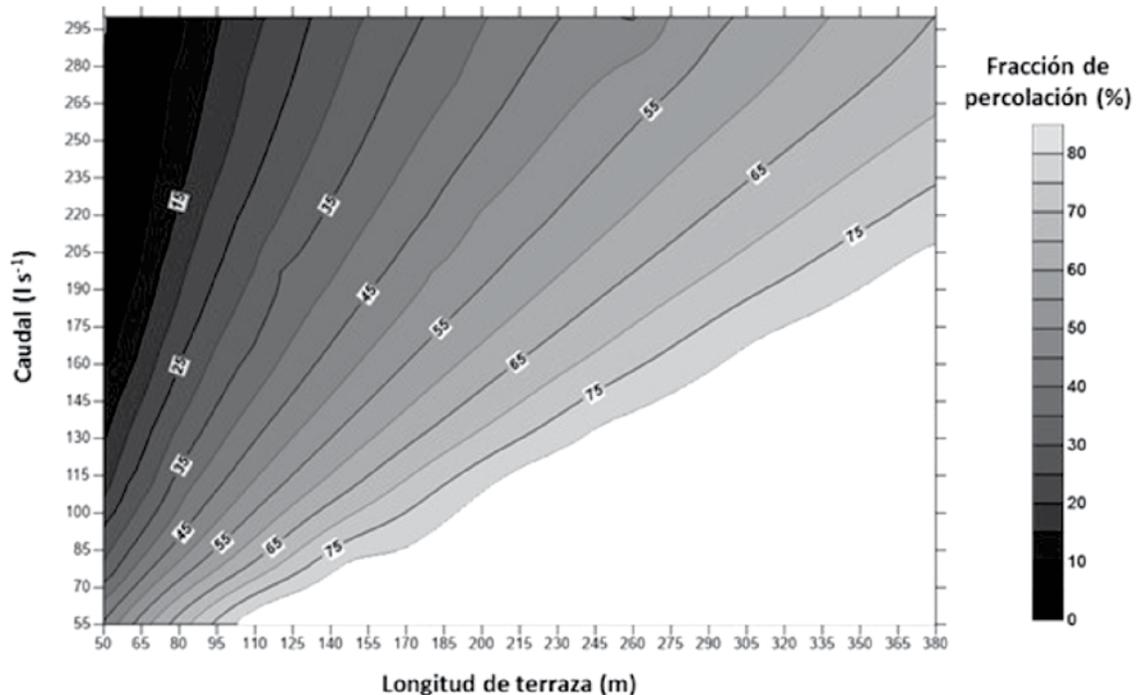


FIGURA 8. Gráfico de contorno del comportamiento de la Fracción de Percolación en campos con pendiente de 0,05%.

## CONCLUSIONES

- Para las condiciones del área estudiada las terrazas arroceras deben tener como longitud máxima 140m y se deberán aplicar caudales superiores a  $85 \text{ l s}^{-1}$  hasta  $300 \text{ l s}^{-1}$ . Los parámetros de diseño del riego superficial obtenidos permitirán incrementar la eficiencia de aplicación en terrazas arroceras hasta un 80%, disminuyendo las pérdidas por percolación
- Se recalca la necesidad de abandonar viejos conceptos sobre cálculo de los caudales a aplicar en el primer riego del arroz. Estos deben responder, ante todo, a exigencias hidráulicas que complementan a las agronómicas a fin de lograr un uso eficiente del agua destinada al riego.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, F.; SHOOSHTARI, M. M.; FEYEN, J.: "Evaluation of various Surface Irrigation numerical simulation models", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ISSN- 0733-9437, DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:3\(208\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:3(208)), 2003.
- CID, G., LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M. E.: "Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, RNPS-0622, 2(2): 25-31, julio-diciembre, 2012.
- EBRAHIMIAN, H.; ABDOLMAJID, L.: "Field evaluation of various mathematical models for furrow and border Irrigation systems", *Soil and Water Research*, ISSN 1801-5395 (Print) ISSN 1805-9384 (On-line), 6(2): 91-101, 2011.
- MEHANNA, H. M.; ABDELHAMID, M. T.; SABREEN K. P.; ABDEL-SALAM, E. N.: "SIRMOD model as a management tool for basin irrigation method in calcareous soil". *Intencional Journal of ChemTech Research*, ISSN 0974-4290, Available in: <https://www.researchgate.net/publication/287251937>, 2015.
- NRAG-375: Determinación de la velocidad de infiltración de los suelos", Norma Ramal, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 1988.
- ROSCHEK, K.: Surface irrigation. Characteristics, design and performance, In: Agricultural University. Department of irrigation and civil engineering. Wageningen, The Netherlands, 1985.
- SAMAKÉ, M.; CINTRA, A.; FERNÁNDEZ, J.; ÁLVAREZ, J.: "Familias de curvas de infiltración para los suelos arroceros cubanos y sus aplicaciones en el diseño de sistemas de riego para estos suelos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 7(1): 75-77, 1998.
- USDA (US Department of Agriculture), Natural Resource and Conservation Service. National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 4, Border Irrigation. US Government Printing Office, 1974.
- WALKER, W.: *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*, In: FAO Irrigation and Drainage No. 45, ISBN 92-5-102879-6, 1989.
- WALKER, W.: "SIRMOD (Surface Irrigation Simulation Software)", Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Logan Utah, USA: Utah State University, 2003.

**Recibido:** 27/09/2015.

**Aprobado:** 15/06/2016.

Guillermo Hervis Granda, Prof., Universidad Tecnológica de La Habana (UHT) "José Antonio Echeverría", -CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Marianao, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [ghervisg@cih.cujae.edu.cu](mailto:ghervisg@cih.cujae.edu.cu)

Julio Reyes Fernández, Correo electrónico: [dptoambiente5@iagric.cu](mailto:dptoambiente5@iagric.cu)

Julián Herrera Puebla, Correo electrónico: [direccioninvestl@iagric.cu](mailto:direccioninvestl@iagric.cu)