

## **Metodología para la planificación de los recursos hidráulicos necesarios en el primer riego del arroz mediante la utilización del SIG.**

### **Methodology for the planning of the hydraulic resources needed in the first irrigation of rice through the use of the GIS**

Ing. Carolina Tejeda Díaz<sup>1</sup>, Ing. Guillermo Hervis Granda<sup>2</sup>, Ing. Pedro P. Arias Lastre<sup>3</sup>, Dr.C Julián Herrera Puebla<sup>4</sup>, Dr.C Teresa López Seijas<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Aguas de La Habana, Cuba, [kadica@cubarte.cult.cu](mailto:kadica@cubarte.cult.cu), [carolinat@gmail.com](mailto:carolinat@gmail.com). <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), CUJAE, Cuba, [ghervisg@gmail.com](mailto:ghervisg@gmail.com), <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), CUJAE, Cuba, [pariasl@cih.cujae.edu.cu](mailto:pariasl@cih.cujae.edu.cu), <sup>4</sup>Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (Iagric-MINAG), Cuba, [direccioninvest1@iagric.cu](mailto:direccioninvest1@iagric.cu), <sup>5</sup>Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (Iagric-MINAG), Cuba, [directoradjunta@iagric.cu](mailto:directoradjunta@iagric.cu)

#### **RESUMEN**

La planificación detallada de los recursos hidráulicos necesarios en el primer riego del arroz, es tema pendiente en el proceso de modernización de estos sistemas. Este trabajo presenta una metodología que integra un procedimiento de diseño hidráulico de terrazas arroceras y un Sistema de Información Geográfico (SIG). Los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos se obtienen a partir de operaciones algebraicas entre mapas y la cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo. Como estudio de caso fue aplicado el procedimiento en un grupo de campos arroceros, su aplicación permitió obtener los volúmenes y caudales necesarios para el primer riego del arroz, y así evaluar la funcionalidad del sistema de riego.

Palabras clave: Planificación detallada de los recursos hidráulicos; primer riego del arroz; procedimiento de diseño hidráulico de terrazas arroceras; Sistema de Información Geográfico.

#### **ABSTRACT**

Detailed planning of water resources needed for the first irrigation of rice is a pending subject in the updating process of irrigation systems for this crop. To answer this need, the present work introduces a methodology based on the integration of a procedure for irrigation design in rice terraces along with a geographic information system (GIS). Parameters for water resources planning are obtained from algebraic operations between maps and the detailed quantification and resources needed for each field. Its application to a group of rice fields allowed to obtain necessary water volumes and discharges for the first irrigation of rice and, from these, to evaluate functionality of the existing irrigation system.

Keywords: zone scale application; hydraulic design; upgrade; geographic information system.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El arroz es el alimento principal de las familias cubanas, anualmente se consumen en la isla 770 mil toneladas de este cereal. El arroz es el mayor consumidor de agua de la agricultura, estimándose un consumo promedio de 15 000 m<sup>3</sup>/ha, de este volumen una parte importante es empleada en el primer riego del arroz. Uno de los problemas que incide en la demanda de agua del cultivo son las bajas eficiencias globales de los sistemas arroceros que, a nivel mundial no superan el 60%, mientras que en Cuba no sobrepasan el 40% (Herrera y González 2011).

Desde el año 2000 comenzó un proceso para la modernización de los sistemas arroceros, éste incluye un grupo importante de tareas entre las que se encuentra: el rescate de prácticas olvidadas como la nivelación y alisamientos de los campos, la valoración de estrategias para la entrega y el manejo del agua en el campo, la modernización y rescate de la infraestructura hidráulica, el mantenimiento de los canales de riego, el rescate de la hidrometría, la corrección de las deficiencias de los esquemas típicos de diseño y el cambio de viejos conceptos sobre cálculo de los caudales a aplicar en el primer riego del arroz. Éste proceso permitirá incrementar la eficiencia en el uso del agua y la rentabilidad de las producciones.

Sin embargo, su éxito depende en gran medida de un proceso de planificación detallado y preciso de los recursos hidráulicos necesarios; este permitirá evaluar la funcionalidad actual del sistema de riego y proponer la modificación parcial o total de los mismos. En la actualidad no existe una herramienta o metodología definida, que permita realizar este proceso.

Todas las acciones a desarrollar persiguen el aumento sostenible y a largo plazo de la agricultura cubana frente a los impactos del cambio climático global; en el logro de este objetivo el arroz es esencial.

### **Objetivo General**

Obtener los parámetros para la planificación a escala zonal de los recursos hídricos demandados en el riego del arroz, en la UEBA “Sierra Maestra”, empleando métodos analíticos en conjunto con un Sistema de Información Geográfico (SIG).

### **Objetivos Específicos**

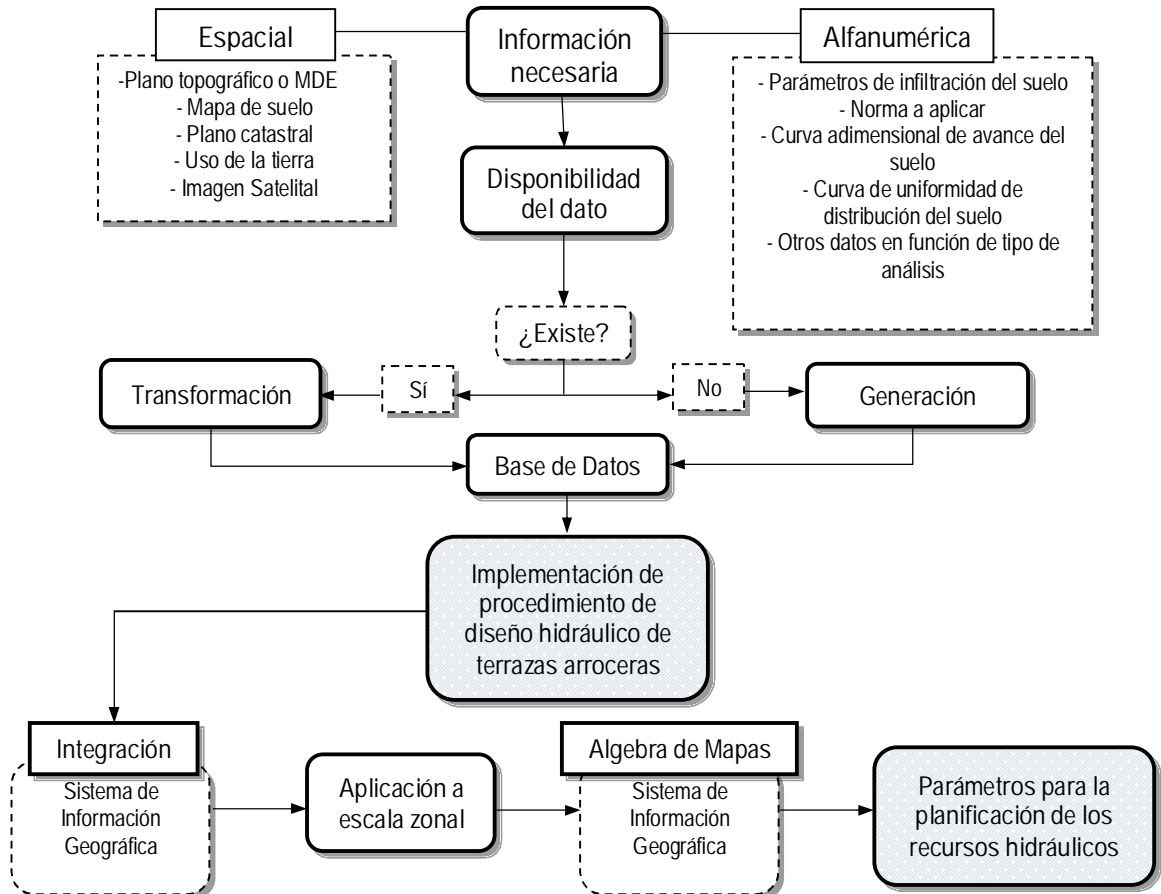
- Implementar el procedimiento analítico para el diseño hidráulico de terrazas arroceras, para las condiciones del área de estudio.
- Aplicar a escala zonal los resultados del procedimiento analítico para el diseño hidráulico de terrazas arroceras.
- Obtener los parámetros para la planificación de los recursos hídricos necesarios para la ejecución del primer riego del arroz, en las condiciones del área de estudio.

## **2. METODOLOGÍA**

El área estudiada se encuentra ubicada en la Empresa “Sierra Maestra” localizada en el centro sur del municipio Los Palacios, Pinar del Río. De la superficie analizada 154,06 ha son terrazas arroceras de distintas configuraciones, con sistemas ingenieros y semi-ingenieros, y 34,44 ha son ocupadas por canales de riego, canales de drenaje y superficies de apoyo a la producción agropecuaria.

### **Obtención de los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos.**

Este estudio tiene como antecedentes los estudios realizados por López et al. (1998) y Rodríguez y López (2000). El procedimiento propuesto en este trabajo es aporte de sus autores, aunque tiene adaptaciones de los trabajos antecedentes, pero contextualizados a la problemática actual de los sistemas de riego y drenaje del arroz. En la Figura 1 se ilustra el flujo del procedimiento seguido.



**Figura 1. Flujo del proceso para la obtención de los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos (fuente: elaboración propia)**


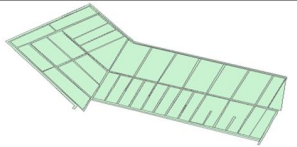
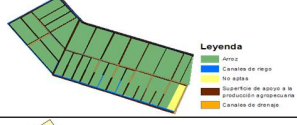
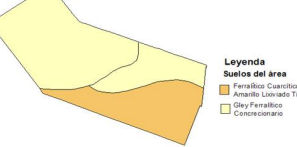
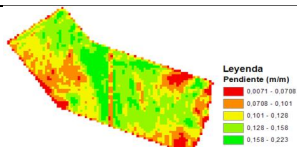
El procedimiento de diseño hidráulico de terrazas arroceras se aplica píxel a píxel; la información necesaria para el diseño es aportada por el SIG. La información espacial contenida en cada píxel se transfiere al procedimiento de diseño que permite obtener los parámetros de diseño y operación de las terrazas arroceras para la alternativa seleccionada. Los resultados del procedimiento de diseño se transfieren al SIG para su aplicación a escala zonal. A partir de operaciones lógicas y aritméticas entre capas se obtienen mapas temáticos e informes que constituyen los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos.

### Información necesaria

La información necesaria consiste en mapas y bases de datos alfanuméricas (ver Tabla 1). De ellos se puede extraer la información necesaria para implementar el procedimiento de diseño hidráulico de terrazas arroceras.

**Tabla 1. Mapas temáticos que constituyen información básica para el estudio (fuente: elaboración propia).**

Información	Descripción	Figura
-------------	-------------	--------

Modelo digital de elevaciones	Escala 1:25000(celdas 25x25m)	
Plano catastral	Se considera como unidad básica del catastro al campo arrocero, definida como el área regada por un canal de riego.	
Uso de la tierra	Uso de la tierra en la zona estudiada, identificando las distintas coberturas del suelo existentes.	
Mapa de suelos	En la zona estudiada predominan dos tipos de suelos: 129,4 ha de Gley Ferralítico Concrecionario y 59,1 ha de Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado Típico.	
Mapa de máxima pendiente	Obtenido en el SIG a partir del procesamiento del MDE mediante la herramienta HEC-Geo de ArcGIS (ESRI 2012).	

### Procedimientos de diseño hidráulico del riego en terrazas arroceras

El diseño hidráulico del riego en terrazas arroceras es particularmente complejo. Este implica el abandono de enraizados criterios sobre cálculo del caudal a aplicar, que ha sido determinado históricamente por criterios puramente agronómicos, sin tener en cuenta las condiciones del suelo en esta etapa (Hervis et al. 2016).

El procedimiento de diseño implementado, propuesto por Rodríguez et al. (1997), sigue el análisis adimensional desarrollado por Walker (1989). El procedimiento tiene en cuenta la condición del suelo, lo que implica lograr un control entre la infiltración y el avance del frente de agua, aplicando la norma requerida por el cultivo con una eficiencia aceptable (>75%). Como complemento al procedimiento, se emplean la familia de curvas de infiltración de los suelos cubanos (Samaké et al. 1998) como guía para estimar los parámetros de infiltración del modelo Kostiakov modificado.

Si se aplica el procedimiento de diseño de obtiene el hidromódulo de riego (1) y el tiempo de aplicación (2) para una uniformidad de distribución deseada. Además, se pueden obtener el gasto máximo no erosivo, sin desbordamiento de los diques y el caudal mínimo que asegura la adecuada distribución del agua en todo el ancho de la terraza (Walker 1989).

El caudal a aplicar o hidromódulo de riego se determina mediante la ecuación (1):

$$K^{**} = \frac{K \left( \frac{z_b \times L}{q} \right)^a + C \left( \frac{z_b \times L}{q} \right)^a}{\left( \frac{q \times n}{60 \times \sqrt{S_0}} \right)^{1/1.677}} \quad (1)$$

donde:

$K^{**}$ : parámetro adimensional, obtenido de la curva de uniformidad de distribución ( $U_d$ ) para una  $U_d = 75\%$ .  
 $z_b$ : lámina infiltrada necesaria para cumplir las necesidades del cultivo (mm)  
 $k$ ,  $a$  y  $C$ : parámetros del modelo de infiltración Kostiakov modificado.  
 $n$ : coeficiente de rugosidad de Manning ( $n=0,04$  para suelos recién preparados)  
 $S_o$ : pendiente del campo (m m<sup>-1</sup>)  
 $L$ : longitud de la terraza (m), distancia entre el canal de riego y de drenaje.  
 $q$ : hidromódulo de riego (m<sup>2</sup> min<sup>-1</sup>)

El tiempo de aplicación o tiempo de riego se determina mediante la ecuación (2):

$$t_l = \alpha * A_o * C^{\beta-1} * \left(\frac{L}{q}\right)^{\beta} \quad (2)$$

donde:

$A_o$ : es el área del flujo superficial (m<sup>2</sup> m<sup>-1</sup>)  
 $q$ : hidromódulo de riego (m<sup>2</sup> min<sup>-1</sup>)  
 $L$ : Longitud de la terraza (m)  
 $\alpha$  y  $\beta$ : parámetros adimensionales que definen el avance.  
 $C$ : parámetro de infiltración del modelo Kostiakov Modificado.

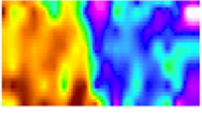
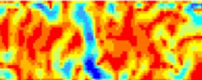
Como se expresa en secciones anteriores, el procedimiento de diseño se aplica a cada píxel que compone el campo o terraza analizada. La aplicación de esta técnica permite tener información detallada de la microtopografía, siempre que se cuente con un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) preciso. De esta forma, la pendiente que se declara en el procedimiento es la pendiente de cada píxel y no la pendiente clásica en el diseño del riego superficial (desnivel entre el inicio y final del campo entre la longitud).


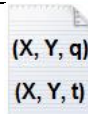
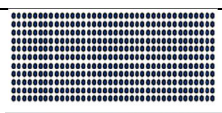
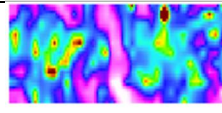
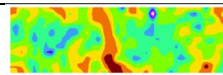
### Aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño

El proceso de aplicación a escala zonal, consiste en la elaboración de mapas temáticos de las diferentes variables de salida del procedimiento de diseño. Como herramienta de trabajo se empleó un Sistema de Información Geográfico (SIG), ArcGis 10.2 (ESRI 2012).

La tabla 2 explica el procedimiento paso a paso del trabajo en el SIG para la aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño. Este procedimiento sigue la línea de trabajo con un SIG y comprende una serie de pasos lógicos que permitieron el intercambio de información entre el procedimiento de diseño y el SIG.

**Tabla 2. Procedimiento paso a paso del trabajo en el SIG, para la aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño (fuente: elaboración propia).**

Paso	Descripción	Ejemplo
Mapa de topografía	El mapa topográfico del campo sirve como punto de partida para la integración del SIG con el procedimiento de diseño	
Mapa de pendientes	Una vez se genera el mapa de pendientes, se exporta un archivo "XYZ" que se empleará en el procedimiento de diseño y será útil para el resto de los pasos.	

Base de datos	Se crea una base de datos con las salidas del procedimiento de diseño.	
Archivo txt	En el archivo "XYZ" con los datos de pendiente se sustituye la columna Z por una de las variables de diseño. Es decir, X y Y son las coordenadas geográficas del punto, y "Z" es la variable independiente. Se generará un archivo txt con los datos X, Y y q o t.	
Mapa de puntos	Los archivos (X, Y, Z) se importan en el SIG generándose un mapa de puntos (vectorial) que representan la ubicación de los resultados del procedimiento de diseño en el mapa.	
Rasterización del mapa de puntos	El mapa de puntos se convierte a formato Raster en el SIG, mediante la herramienta Point to Raster, obteniendo así el mapa temático de la variable independiente "Z".	
Interpolación	El mapa rasterizado pasa por un proceso de interpolación mediante la herramienta Natural Neighbor (3D Analyst).	

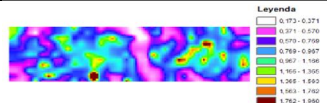
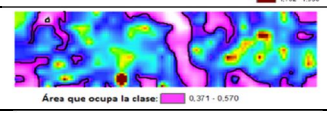
### Parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos

Los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos se obtienen mediante operaciones algebraicas entre mapas y a partir de la cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo, de acuerdo a sus características.

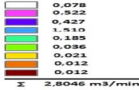

Las operaciones algebraicas entre mapas se realizaron mediante la herramienta Spatial Analyst de ArcGIS (ESRI 2012). A través de esta técnica se obtuvo el volumen necesario en el primer riego y la productividad de riego. El volumen necesario en el primer riego se obtiene a partir de álgebra de mapas, multiplicando el mapa de hidromódulo de riego por el mapa de tiempo de aplicación. La productividad de riego se obtiene dividiendo el caudal disponible en los canales terciarios entre el mapa de volumen necesario, resultante del procedimiento anterior.

La cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo es un proceso algebraico simple apoyado del SIG; esta se realizó siguiendo la metodología explicada en la tabla 3. De forma demostrativa se seleccionaron los campos 6, 11 y 24 para tener representatividad de todas las clases de los recursos y geometrías de los campos.

**Tabla 3. Procedimiento paso a paso del trabajo en el SIG para la cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo (Fuente: Elaboración propia)**

Paso	Descripción	Ejemplo
Mapa temático	Se tiene el mapa temático de un campo. Se obtiene su leyenda con rangos del recurso analizado.	
Área del recurso	Empleando un SIG, se determina el área que ocupa cada clase de la leyenda dentro del mapa.	
Alberga	Se multiplica el área que ocupa cada clase de la leyenda por la media del valor numérico de la clase.	<p>0,371 - 0,570</p> <p>Valor medio de la clase: 0,475 m<sup>3</sup>/min/ha</p> <p>Área que ocupa la clase: 1,1 ha</p> <p>0,523 m<sup>3</sup>/min</p>



Sumatoria	Se suma cada valor obtenido del proceso anterior.	
Determinación de la media del recurso	Se divide el valor de la sumatoria por el área total del campo, obteniendo el valor medio del recurso determinado.	 $\frac{\Sigma \text{ del recurso}}{\text{Área del campo}} = \frac{2,80 \text{ m}^3/\text{min}}{4 \text{ ha}} = 0,7 \text{ m}^3/\text{min/ha}$

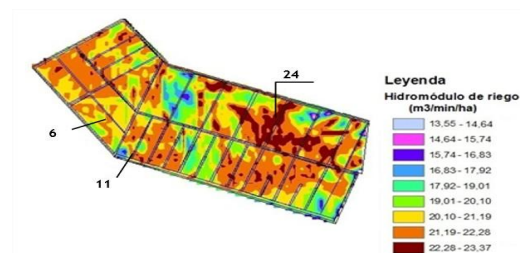
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Estudio de caso. Aplicación de la metodología.

#### Aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño.

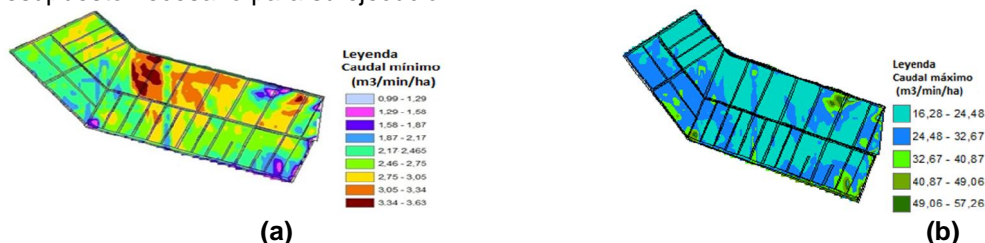
En las figuras 2, 3(a)-(b) y 4 se muestran los mapas temáticos de las variables de diseño. La figura 2 presenta el mapa de hidromódulo de riego, este permite conocer con exactitud el caudal necesario a aplicar para garantizar una eficiencia de aplicación y distribución de 75%.

La información que brinda el mapa de hidromódulo es valiosa en el análisis de las prácticas de manejo del riego y la capacidad del sistema de canales para garantizar las exigencias del riego; además de servir para el redimensionamiento y diseño de los canales, obras hidrométricas y de control asociadas al sistema.



**Figura 2. Mapa de hidromódulo de riego (m<sup>3</sup>/min por hectárea)**

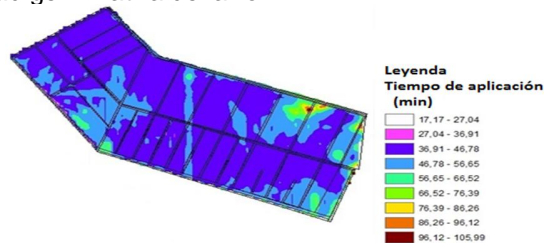
La figura 3(a)-(b), junto con el mapa de hidromódulo (Figura 2) completan la información necesaria para la correcta ejecución del primer riego del arroz en las condiciones del área estudiada. En la figura 3 (a) se observa que existen zonas que demandan caudales mayores que 50 L/s por hectárea para garantizar la correcta distribución del agua en todo el campo. Esta información puede ser útil para evaluar la necesidad de trabajos de movimiento de tierra en el campo arrocero, a fin de mejorar el manejo del agua en este. Al mismo tiempo puede conocerse en cuales campos es más urgente realizar estas acciones y planificar el presupuesto necesario para su ejecución.



**Figura 3. (a) Mapa de caudal mínimo (m<sup>3</sup>/min por hectárea), (b) Mapa de caudal máximo (m<sup>3</sup>/min por hectárea)**

En la Figura 4 se muestra el mapa del tiempo de aplicación, este brinda la información necesaria para realizar las estrategias del manejo del riego. El tiempo de aplicación definido por este mapa sigue la práctica habitual de los regadores, que tradicionalmente aplican el hidromódulo de riego en un tiempo igual, al tiempo de avance del frente de agua. La implementación de estas estrategias permitirá la

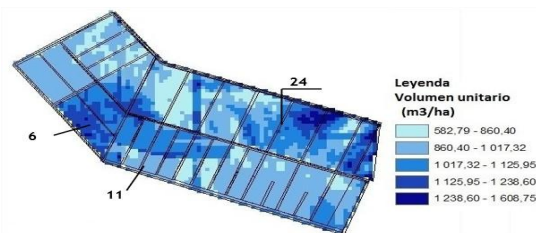
ejecución de riegos rápidos y uniformes, conformes a los requerimientos del cultivo, a fin de incidir de manera positiva en la capacidad germinativa del arroz.



**Figura 4. Mapa de tiempo de aplicación (m3/min por hectárea)**

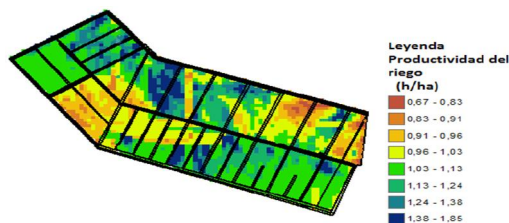
#### Parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos.

La figura 5 muestra el mapa de volumen unitario, a través de este se pueden estimar los recursos hidráulicos necesarios para la realización del primer riego. La información aportada por este mapa permitirá la correcta planificación del agua necesaria, además consituye una útil herramienta en caso de existir déficit en la asignación del recurso. A partir de él, la Empresa podrá tomar decisiones para la ejecución del riego en estas áreas o asignar los recursos hidráulicos disponibles a otras más productivas o con una menor demanda, decisiones que en todo caso dependerán de un análisis integral del problema.



**Figura 5. Mapa de volumen unitario (m3/min por hectárea).**

El mapa de productividad de riego (Figura 6) define el área que es posible regar en la unidad de tiempo. La información que brinda este mapa permitirá a la empresa realizar una planificación del riego en el área y organizar la fuerza de trabajo.



**Figura 6. Mapa de productividad de riego (m3/min por hectárea)**

#### Cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo.

En la tabla 4 se presentan los recursos hidráulicos necesarios para la ejecución del primer riego del arroz en los campos 6, 11 y 24 del área de estudio.

En los campos analizados, se puede observar que el volumen unitario medio (Vu medio) se encuentra entre 1020 y 1155 m3/ha. De aplicar este procedimiento a cada uno de los campos que componen el área estudiada, se determinó el valor promedio del volumen unitario en 976 m3/ha.



**Tabla 4. Volumen total y volumen medio de los campos 6, 11 y 24.**

Clases de Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Campo 6		Campo 11		Campo 24	
	Área (ha)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Volumen (m <sup>3</sup> )
582,79 - 860,40	0	0	0	0	0,025	17,75
860,40 - 1017,32	0,039	36,43	1,630	1530,25	1,084	1017,63
1017,32 - 1125,95	1,966	2106,83	1,853	1985,63	4,37	4679,83
1125,95 - 1238,60	4,534	5360,91	0,208	245,56	2,26	2666,03
1238,60 - 1608,75	0,190	270,50	0	0	1,014	1444,18
Total	6,729	7774,66	3,6905	3761,44	8,745	9825,42
<b>Vu medio (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>1155,43</b>		<b>1019,22</b>		<b>1123,56</b>	

La cuantificación detallada del hidromódulo de riego en cada campo, permite obtener el caudal unitario medio ( $q_u$  medio) para toda el área, en este caso asciende a 21,44 m<sup>3</sup>/min por hectárea. A partir de la tabla 5, puede conocerse, los caudales necesarios que deben conducir los canales terciarios para cumplir las necesidades del riego ( $Q_n$ ).

**Tabla 5. Caudal que debe conducir el canal terciario para cumplir las necesidades del riego de los campos 6, 11 y 24.**

Clases de $q$ (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> ha)	Campo 6		Campo 11		Campo 24	
	Área (ha)	$Q_n$ (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> )	Área (ha)	$Q_n$ (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> )	Área (ha)	$Q_n$ (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> )
11,01 - 16,88	0	0	0	0	0,198	2,761
16,88 - 18,87	0,0607	1,085	0	0	0,705	12,602
18,87 - 20,43	0,845	16,604	0	0	0,971	19,080
20,43 - 21,74	3,739	78,837	1,140	24,037	1,499	31,606
21,74 - 23,38	2,027	45,729	2,718	61,318	5,392	121,644
Total	6,6717	142,255	3,858	85,355	8,765	187,693
<b><math>q_u</math> medio (m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>21,322</b>		<b>22,124</b>		<b>21,414</b>	

#### 4. CONCLUSIONES

A partir de la metodología desarrollada, se obtuvieron los parámetros para la planificación a escala zonal de los recursos hidráulicos demandados en el primer riego en las condiciones de la Empresa Sierra Maestra. Las prácticas de manejo del riego actuales no permiten emplear la red de canales para garantizar un riego eficiente, pues su capacidad de conducción es inferior a la demandada por las nuevas exigencias del riego. Para lograr riegos eficientes en los campos arroceros estudiados, se debe valorar el redimensionamiento de estos para poder disponer de los canales de riego existentes, y en casos de extrema necesidad redimensionar estos para ponerlos a disposición del riego.

## 5. RECOMENDACIONES

Utilizar los mapas temáticos presentados para la planificación de los recursos hídricos con vista a la futura modernización de los sistemas de riego del arroz.

Informatizar la metodología seguida a fin de ser más eficiente el procesamiento de la información, la conexión con el SIG, el logro de los resultados, así como su aplicación en otras áreas arroceras del país.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Los autores consultados deben citarse en el texto. Las referencias deben escribirse de acuerdo con la Norma APA 6ta edición(actualizada).No van numeradas. Las siguientes referencias son ejemplos de: artículo de revista, libro, tesis, memoria de congreso, y documento normativo, respectivamente.

**Cid G.; López T.; González F.; Herrera J. y Ruiz M.** (2012). "Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba", Revista Ingeniería Agrícola, Vol. 2, No. 2, julio-diciembre, pp. 25-31. ISSN-2306-1545, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba.

**ESRI** (2012). "Software ArcGIS Desktop version 10.2.1.3497", Environmental Systems Research Institute, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.

**Herrera, J. y González, F.** (2011). "Sobre el uso del agua en la agricultura en Cuba", Revista Ingeniería Agrícola, Vol. 1, No. 2, pp. 1-7, julio-diciembre. E-ISSN-2227-8761. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba.

**Hervis, G.; Reyes, J. y Herrera, J.** (2016). "Criterios hidráulicos y validación matemática para el diseño del campo arrocerero", Revista Ingeniería Agrícola, Vol. 6, No. 3, (julio-agosto-septiembre), pp. 33-40. ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba.

**López G.; Barbén T.; Herrera J. y Ricardo M.** (1998). "Estudio de los problemas de salinidad en una granja de semillas de arroz mediante el uso de un SIG". Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Ministerio de la Agricultura, Cuba, (Inédito).

**Rodríguez A.; Faran M.; Díaz A.; Reyes J. y Herrera J.** (1997). "Procedimiento para el diseño hidráulico y la evaluación de las terrazas arroceras". Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Ministerio de la Agricultura, Cuba, (Inédito).

**Rodríguez J. y López G.** (2000). "Planificación de los recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG", Investigación agraria: Producción y protección vegetales, Vol. 15, No. 3, pp. 181-194. Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Ciencia y Tecnología, España.

**Samaké M.; Cintra A.; Fernández J. y Álvarez J.** (1998). "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, Vol. 7, No. 1, pp. 75-77, ISSN-1010-2760. Universidad Agraria de la Habana, Cuba.

**Walker W.** (1989). "Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems", Irrigation and Drainage, No. 45, ISBN 92-5-102879-6. Food and Agriculture Organization (FAO). United Nations.