

## SOFTWARE PARA LA EMISIÓN DE RECOMENDACIONES DE RIEGO Y DRENAJE EN CAÑA DE AZÚCAR Y OTROS CULTIVOS

## SOFTWARE TO ISSUE RECOMMENDATIONS ON IRRIGATION AND DRAINAGE IN SUGAR CANE AND OTHER CROPS

Autores:

Carlos Vázquez-Acuña, [carlos@etica.ciges.inf.cu](mailto:carlos@etica.ciges.inf.cu). Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente Sur, Santiago de Cuba, Cuba.

Carlos Lamelas-Felipe, [lamela@inica.minaz.cu](mailto:lamela@inica.minaz.cu) Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Cuba.

### RESUMEN

*Se presenta un software desarrollado con la finalidad de emitir recomendaciones de riego y drenaje en caña de azúcar y otros cultivos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, especificaciones del suelo y características de cada cultivo. El software está basado en los métodos matemáticos de Penman-Monteih para determinar las condiciones de riego y drenaje de los cultivos. Ha sido validado en las provincias de Santiago de Cuba, Villa Clara y La Habana. Sus resultados han sido satisfactorios ya que brindan recomendaciones adecuadas para el riego, el drenaje y los requerimientos de agua en la caña de azúcar. Con estos resultados se emiten recomendaciones más acertadas, mediante el aprovechamiento máximo del uso del agua en los cultivos, así como el riego en el momento exacto y preciso. Este software es el eje fundamental del servicio de recomendaciones que comenzará a prestarse en todas las empresas azucareras y agropecuarias del país.*

**Palabras clave:** software, caña de azúcar, riego, drenaje.

### ABSTRACT

*This paper presents a software developed in order to provide recommendations on irrigation and drainage in sugar cane and other crops, taking into account climatic conditions, soil specifications and the characteristics of each crop. The software is based on the mathematical methods of Penman-Monteih to determine the drainage and irrigation conditions of crops. It has been validated in the cities of Santiago de Cuba, Villa Clara and Havana, with satisfactory results. The software provides appropriate recommendations for irrigation, drainage and water requirements for sugar cane. It also contributes to an effective decision-making by specialists in this field. After these results, more accurate recommendations are issued, making a maximum use of water in crops; as well as irrigating the soil at the right moment. This software is the cornerstone of the recommendation service that will be provided in all Cuban Sugar and Agricultural Enterprises this year.*

**Key words:** software, sugar cane, irrigation, drainage.

## INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC) están generando cambios revolucionarios en todas las actividades del hombre, incluyendo la agricultura. Su influencia abarca desde la investigación para el mejoramiento genético hasta el uso de sistemas informáticos de control y gestión de parcelas y fincas, la agricultura de precisión, la vinculación de la producción a los mercados internacionales en tiempo real, la realidad virtual y el uso de sistemas de inteligencia artificial. Sin embargo, su incorporación ha sido más intensa en los entornos rurales de los países desarrollados. Las NTIC también se están extendiendo a los países subdesarrollados, en los cuales establecen sus impactos e implicaciones sociales y territoriales.

En el caso de Cuba, como país que posee un clima tropical y una economía basada en la agricultura, fundamentalmente, muchas veces se aprecian las afectaciones por intensas sequías o por exceso de precipitaciones; esto, unido a la intensa radiación solar, implica un control adecuado sobre el momento exacto para la entrega de la cantidad de agua requerida por los diferentes tipos de cultivos, según sus características y ciclos de desarrollo.

El Ministerio del Azúcar (MINAZ) ha venido invirtiendo cuantiosos recursos financieros en la adquisición de equipamiento y tecnologías avanzadas para brindar riego en aquellos lugares donde se justifique dicha inversión, y que además sea factible utilizarlo. En este contexto realiza un papel decisivo el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), que constituye el pilar investigativo en materia de cultivos (caña de azúcar y otros) de dicho ministerio, pues realiza investigaciones que luego brinda como servicios al productor, entre los que se destacan: el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), Servicio de Recomendaciones de Variedades y Semillas (SERVAS), Servicio Fitosanitario (SEFIT) y Servicio de Control Integral de Malezas (SERCIM). Cada uno de ellos se ofrece por medio de un *software* que muestra las condiciones que tienen los productores, además se añaden recomendaciones personalizadas para cada

situación. Debe agregarse que el *software* empleado en estos servicios utiliza codificadores comunes, que hoy día están repetidos en cada uno de estos; lo que en ocasiones provoca incompatibilidades que originan una separación entre servicios que deben brindar salidas sobre estructuras y codificadores similares. En estos momentos se está trabajando en la implementación de un nuevo servicio, que es el Servicio de Recomendaciones de Riego y Drenaje, además de la explotación adecuada de los sistemas existentes y de otros que se adquieran en dependencia de las necesidades. En la actualidad se puede afirmar que las tecnologías de riego y drenaje no se están explotando adecuadamente, debido a la complejidad de los cálculos y a las dificultades reales del *software* existente.

Los investigadores del INICA, durante décadas, han venido investigando sobre estrategias que permitan brindar una adecuada solución al riego, el drenaje, los requerimientos de agua del cultivo y la explotación óptima de los métodos y técnicas de riego. Existen múltiples metodologías para el cálculo, aprovechamiento y uso racional de los recursos hídricos, en los que intervienen múltiples factores cuantificables, tales como las propiedades del clima, el suelo y las características del cultivo. Estos métodos están descritos por ecuaciones matemáticas en función de dichos factores (Lamelas, 2004).

La Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO) ha elaborado metodologías sólidas para el aprovechamiento óptimo del agua por los cultivos; para ello ha elaborado el *software* CROPWAT, que brinda la posibilidad de emitir recomendaciones sobre requerimientos de agua, en dependencia de las condiciones, los factores climáticos y la ubicación geográfica de los cultivos; pero el mismo tiene limitaciones que impiden dar estas recomendaciones de forma adecuada. (Allen, Pereira, Raes y Smith, 1998, p. 290).

La información sobre cultivos y suelos se recoge, en un inicio, directamente por los productores en las empresas azucareras o agropecuarias, luego se envía a las Estaciones Territoriales de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA, EPICA o GESA), en las cuales se emiten las orientaciones para los productores, quienes toman decisiones a partir de estas; finalmente, se envían

al INICA los resúmenes sobre las tecnologías en los territorios, para luego ser analizadas a nivel del país. En esta institución se realizan los resúmenes centrales y se toman las decisiones correspondientes a este nivel. Para el uso de la entrada y salida de datos es necesario apoyarse en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para ello se cuenta con un soporte que está desarrollando el INICA en todas las empresas con el sistema MAPINFO. En este soporte se asocian mapas de datos que permiten brindar una salida adecuada. Teniendo en cuenta estas metodologías y atendiendo a las fortalezas y debilidades de este y otros *software*, se acudió al análisis, diseño e implementación de un *software* que, aprovechando estas metodologías, lograra implementarlas, además de ofrecer salidas lo más cercanas posibles a la realidad. Con vistas a lograr este fin se desarrolla la ingeniería del *software*, mediante la metodología RUP (*Rational Unified Process*), y el modelado, a través del lenguaje UML (*Unified Modeling Language*), para lograr una implementación apropiada de este *software*, de forma que minimice las entradas y maximice las salidas.

### MÉTODO O METODOLOGÍA

Existen diferentes métodos mediante los cuales se pueden inferir las recomendaciones de riego para una zona dada; entre ellos, los que se apoyan en el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $E_{t_0}$ ); este a su vez puede efectuarse por métodos directos e indirectos diferentes, como los desarrollados por Blaney y Criddle (1950, pp. 8-9), Doorenbos y Pruitt (1977, p.144) y Monteith (1965, pp. 205-234). Este último desarrolló un modelo que incluye, en el modelo de Penman (1948, pp. 120-145), la resistencia a la superficie de la cubierta vegetal.

La FAO publicó una metodología para las recomendaciones de riego y drenaje en los cultivos, basada en el método *Penman-Monteith* (Allen, et. al.).

Una de las cuestiones más importantes en la práctica del riego es conocer el momento y la cantidad en que debe aplicarse este a cada cultivo; lo cual es

variable con la época de siembra, edad del cultivo, cepa, en el caso de la caña, y depende además de las condiciones climáticas.

Los métodos bioclimáticos tienen en cuenta las necesidades de agua que tiene una planta a lo largo de su ciclo vegetativo, para establecer las mismas se basan en las relaciones entre el consumo de agua por la planta y algún elemento climático. Los avances recientes en las investigaciones de riego han contribuido a que estos métodos sean cada vez más usados en el mundo. En Cuba, los resultados de investigaciones han demostrado que la evaporación es un elemento climático de buena correlación con las necesidades de agua de los cultivos; por esas condiciones se ha aprobado el uso del método bioclimático para la determinación del momento de riego.

El método se basa en la ecuación de balance hídrico, la cual puede simplificarse de la siguiente forma:

$$W_f = W_i + LLa + n - E_{tr}$$

Donde:

$W_f$ : reserva final de humedad

$W_i$ : reserva inicial de humedad

LLa: lluvia aprovechable

n: norma neta parcial

Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ( $ET_o$ )

Con los datos de temperatura del aire, humedad relativa, insolación y velocidad del viento se calcula la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) por el método de Penman – Monteith:

$$Eth = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R' n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} Ea$$

La relación entre la evapotranspiración potencial ( $Etp$ ), la de Doorenbos y Pruitt ( $Etg$ ), y la de Penman - Monteith viene dada por:

$$Etp = Kc^{DP} Etg = Kc^{PM} Eth$$

$$Kc^{PM} = (Etg/Eth) Kc^{DP}$$

donde:

$Kc^{DP}$  - Coeficiente de cultivo de Doorenbos y Pruitt

$Kc^{PM}$  - Coeficiente de cultivo de Penman - Monteith

$\frac{E_{tg}}{E_{th}}$  - Factor de conversión que puede ser derivado fácilmente a partir de los registros meteorológicos para períodos de 10 días.

$\Delta$  - Pendiente de la curva de presión de vapor a la temperatura del aire ( $T_a$ ), en  $Kpa/^\circ C$ .

$\Delta = \frac{4098 ea}{(T_a + 273.3)^2}$
$ea = 0.6108 \frac{17.27T_a}{T_a + 273.3}; \text{ en Kpa}$
$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}; \text{ en } ^\circ C$
$\gamma = 1615 \frac{Pa}{\lambda}$
$\lambda = 2.45 * 10^6$
$Pa = 101.3 \left( \frac{T_a + 273.16 - 0.0065H}{T_a + 273.16} \right)^{5.256}$

donde:

H es la altitud sobre el nivel del mar (m)

Pa: presión atmosférica

$$\gamma^* = \gamma + 0.337u_2 \gamma$$

donde:

$u_2$  es la velocidad del viento medida a dos metros de altura (m/s)

$$R'n = 86400 \frac{R_n - G}{\lambda}$$

donde:

R'n es el equivalente de evaporación radiactiva (mm/d)

G es la densidad del flujo de calor para el suelo ( $w/m^2$ )= 0 para períodos de 10-30 días.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

donde  $\alpha = 0.23$

$R_s$  es la radiación solar ( $w/m^2$ )

$$R_{nl} = \left( 0.9 \frac{n}{N} + 0.1 \right) (0.34 - 0.139 \sqrt{e_d}) \sigma \left( \frac{TK^4_{max} + TK^4_{min}}{2} \right)$$

donde:

n: duración diaria de la iluminación solar (horas)

N: duración del día (horas)

$$E_d = \frac{RH}{100} \cdot e_a$$

donde:

$e_d$  es la presión de vapor real (Kpa)

RH: humedad relativa (en porcentaje)

$\sigma = 5.6745 \cdot 10^{-8}$  (constante de Stefan-Boltzmann)

$T_k$  máx: máxima temperatura absoluta

$T_k$  mín: mínima temperatura absoluta

$$E_a = \frac{900}{(T_a + 273)^2} (e_a - e_d)$$

$E_a$ : equivalente de evaporación aerodinámica

Para estaciones que no posean solarímetro, la radiación solar se puede estimar satisfactoriamente por la expresión:

$$R_s = \left( a + b \frac{n}{N} \right) R_a$$

donde:

a: fracción de la radiación extraterrestre en días nublados

a+b: fracción de la radiación extraterrestre en días claros

$R_a$ : radiación extraterrestre (valor de Angot); en  $w/m^2$

Para condiciones climáticas promedio,  $a = 0.25$  y  $b = 0.50$

$$Ra = 435dr (\text{wssen } \phi \text{ sen } \delta + \cos \phi \cos \delta \text{ sen } ws)$$

dr: distancia relativa entre la tierra y el sol

ws: ángulo de la puesta de sol (radianes)

$\delta$ : declinación del sol

$\phi$ : latitud. (rad)

$$dr = 1 + 0.033 \cos \frac{2\pi J}{365}$$

donde:

J: día juliano o día del año (J=1 para el 1º de enero)

Para valores mensuales,  $J = 30.42 * M - 15.23$ ; M es el número del mes

$$\delta = 0.4093 \text{sen} \left( 2\pi \frac{J + 284}{365} \right)$$

$$Ws = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$N = \frac{24}{\pi} Ws$$

### El Proceso Unificado de *Rational*

El Proceso Unificado utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (*Unified Modeling Language*, UML) para preparar todos los esquemas de un sistema *software*. De hecho, UML es una parte esencial del Proceso Unificado, pues sus desarrollos fueron paralelos. No obstante, los verdaderos aspectos definitorios del Proceso Unificado se resumen en tres frases claves: dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, e iterativo y en incremento. Esto es lo que hace único al Proceso Unificado.

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) es un lenguaje estándar de modelado para *software*, para la visualización, especificación, construcción y documentación de los artefactos de sistemas en los que el *software* realiza un papel importante. Básicamente, UML permite a los desarrolladores visualizar los resultados de su trabajo en esquemas o diagramas estandarizados. (Favre, 2003).

Además de estar basado en componentes y de utilizar el UML, el proceso de desarrollo de *software* se rige por aspectos distintivos del Proceso Unificado. Estos están capturados en tres conceptos claves:

- Dirigido por casos de uso
- Centrado en la arquitectura
- Iterativo y en incremento (Jacobson, Booch y Rumbaugh, 1999)

El RUP divide el proceso de desarrollo en ciclos y tiene un producto final al culminar cada uno de ellos. Estos a su vez se dividen en fases que finalizan con un hito donde se debe tomar una decisión importante:

- Concepción: se hace un plan de fases, se identifican los principales casos de uso y los riesgos.
- Elaboración: se hace un plan de proyecto, se completan los casos de uso y se eliminan los riesgos.
- Construcción: se concentra en la elaboración de un producto totalmente operativo y eficiente, además del manual de usuario.
- Transición: se instala el producto en el cliente y se entrena a los usuarios. Como consecuencia de esto suelen surgir nuevos requisitos que deben ser analizados.
- Mantenimiento: una vez instalado el producto, el usuario realiza requerimientos de ajuste, esto se hace de acuerdo con las solicitudes generadas como consecuencia de la interacción con el producto.

#### Bases de datos

El SIRIED como un sistema de gestión de bases de datos (SGBD) tiene como objetivo:

1. Independencia de los datos y de los programas de aplicación.
2. Minimización de la redundancia.
3. Integración y sincronización de las bases de datos.
4. Integridad de los datos.
5. Seguridad y protección de los datos.
6. Facilidad de manipulación de la información.

## 7. Control centralizado.

A partir de las dependencias funcionales se obtuvo que el modelo diseñado cumple con la propiedad de unión natural sin pérdida de la información (LLJ) y la propiedad de preservación de las dependencias funcionales (PPDF). Se han normalizado las tablas al ser llevadas a la Forma Normal de *Boyce Codd* (Mato, 1996).

## RESULTADOS

La implementación del mismo ha sido realizada en el lenguaje *Borland C++ Builder 6.0*, con una arquitectura cliente servidor y la implementación de las bases de datos en el servidor *PostgreSQL* en su versión 8.3 para *Windows*.

El *software* implementado permite una iteración con el usuario mediante una Interfaz de Documentos Múltiples MDI (*Multiple Document Interface* – por sus siglas en inglés), la cual facilita la captura de datos al cambiar fácilmente de una ventana a otra.

La importación de los datos se realiza de manera personalizada, lo cual permite que esta se haga desde diversas fuentes, tales como TXT, DBF, DB, XLS y DOC. Esta importación personalizada permite que desde estructuras compatibles los datos sean validados, sin que ocasionen ningún problema a la estabilidad y funcionamiento del *software*. Finalmente, existen grandes cantidades de datos importados en un tiempo mínimo razonable con información acerca de series de datos climatológicos (evaporación, humedad relativa, velocidad del viento, brillo solar, temperatura y lluvia) de varios años. La planificación del riego se realiza basada en el año medio seco que es el de peor comportamiento del factor lluvia.

El *software* ofrece salidas gráficas y de texto que permiten una mejor comprensión de los resultados. Las salidas ofrecidas en texto se realizaron mediante reportes personalizados.

Una vez seleccionados los bloques que serán objeto de estudio e introducidos los factores climáticos y de suelo, se señalan los requerimientos de agua.

Los requerimientos y planificación de riego para el año actual fueron emitidos para los bloques pertenecientes a las empresas azucareras Héctor Molina (Habana), Perucho Figueredo (Villa Clara) y Julio A. Mella (Santiago de Cuba). De este modo se comprobó que el *software* funciona, según lo esperado, con el empleo del cálculo de la evapotranspiración de referencia.

Se pudo apreciar que se obtienen resultados más precisos a partir de la utilización de 10 series de variables climáticas como mínimo.

### **DISCUSIÓN**

Los reportes que posee esta herramienta interrelacionan de forma directa cada bloque cañero con la norma de riego, la cantidad de riegos que se deben efectuar y su distribución por meses para cada una de las cepas. Se ofrecen además las recomendaciones de drenaje y las técnicas y métodos de riego que se deben utilizar, según la disponibilidad de agua en el área que se riega.

La captura y procesamiento de datos climatológicos en múltiples latitudes del país (Oriente, Centro y Occidente), con diferentes tipos de suelos, ha brindado la posibilidad de establecer comparaciones acerca de cómo influyen estos factores en las recomendaciones finales.

Las salidas ofrecidas permiten el tratamiento de cepas de caña de azúcar, que fue el cultivo que se estudió, de hasta 24 meses. El caso de la primavera es el que daba el ciclo más largo, que solamente llega hasta los 20 meses de edad.

Las salidas de riego y drenaje se muestran en las siguientes tablas:

**Recomendaciones de técnicas de riego**

Bloque	Suelo	Cepa	Pendiente	Pef	Np	l n tr	M r	G st	V v	Me t	Téc.
298	Verti suelo	Planta(Pri mavera)	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
326	Verti suelo	Planta(Pri mavera)	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
332	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
333	Verti suelo	Retoño	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
337	Verti suelo	Retoño	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
338	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
342	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05
343	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0.6y10%	0.5	69.3	16	14	31	2.39	01,03	01,02,03,05

344	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
349	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
350	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
351	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
352	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
353	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
358	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
380	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
381	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0. 5	6 9. 3	1 6	1 4 9	3 1	2. 3 9	01, 03	01,02, 03,05
382	Verti	Planta	Entre0.	0.	6	1	1	3	2.	01,	01,02,

	suelo	(Frío)	6y10%	5	9.	6	4	1	3	03	03,05
					3		9		9		
385	Verti suelo	Planta (Frío)	Entre0. 6y10%	0.	6	1	1	3	2.	01,	01,02,
				5	9.	6	4	1	3	03	03,05
					3		9		9		

Donde:

Bloque: número del bloque

Suelo: tipo de suelo del bloque

Cepa: tipo de cepa en caña de azúcar

Pendiente: inclinación del suelo (%)

Pef: profundidad efectiva

Np: norma parcial neta (mm)

Intr: intervalo de riego (días)

Mr: microrrelieve (m<sup>3</sup>/ha)

Gst: gasto de la fuente de abasto (Litro/seg)

Vv: velocidad del viento (m/s)

Met: métodos de riego recomendados

Téc: técnicas de riego recomendadas

### Recomendaciones de técnicas y categorías de drenaje

Bloque	Suelo	Npr of	Int	V i	Ks at	Ca rc	Na g	Ss t	Pend	D l	D S	Re c
298	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
326	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
332	Vertisu	10	14	3	0.1	70.	2.	0.	0.3 a	I	I	03,

	elo		.3			1	1	15	0.5%	D	D	04
333	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
337	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
338	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
342	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
343	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
344	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
349	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
350	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
351	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
352	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
353	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
358	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
380	Vertisu elo	10	14 .3	3	0.1	70. 1	2. 1	0. 15	0.3 a 0.5%	I D	I D	03, 04
381	Vertisu	10	14	3	0.1	70.	2.	0.	0.3 a	I	I	03,

	elo		.3			1	1	15	0.5%	D	D	04
382	Vertisu	10	14	3	0.1	70.	2.	0.	0.3 a	I	I	03,
	elo		.3			1	1	15	0.5%	D	D	04
385	Vertisu	10	14	3	0.1	70.	2.	0.	0.3 a	I	I	03,
	elo		.3			1	1	15	0.5%	D	D	04

Donde:

Bloque: número del bloque

Suelo: tipo de suelo del bloque

Nprof: nivel de profundidad del acuífero (m)

Int: intensidad del agua caída crítica (mm/h)

Vi: velocidad de infiltración (m/s)

Ksat: conductividad hidráulica de la capa subyacente (mm)

Carc: contenido de arcilla (%)

Nag: nivel del agua subterránea (m)

Sst: sales solubles totales (%)

Pendiente: inclinación del suelo para drenaje (%)

DI: drenaje interno

DS: drenaje superficial

Rec: recomendación para eliminar los problemas de drenaje

En la aplicación del SIRIED se ha comprobado que se obtienen resultados más efectivos para la caña de azúcar en comparación con el *software* CROPWAT. Se consideran todas las cepas de este cultivo, el CROPWAT no posee respuesta para cepas de 13 meses o más.

La incorporación de este *software* orienta al productor acerca de los requerimientos hídricos: distribución, momento y técnicas de riego, y el drenaje aplicado; además, permite comparar si debido a las técnicas implicadas hubo incidencias positivas o negativas en el rendimiento agrícola, de un año al siguiente.

## CONCLUSIONES

1. El diseño e implementación del *software* SIRIED provee a los especialistas en riego y drenaje de una herramienta informática adecuada para la ayuda en la toma de decisiones.
2. El tiempo de cálculo y procesamiento de la información se ha reducido, en comparación con los métodos tradicionales, lo que ha permitido un aumento de la eficiencia en el procesamiento de los mismos.
3. La probabilidad de introducir errores en los cálculos ha sido minimizada.
4. Las recomendaciones emitidas por el *software* SIRIED se corresponden con los resultados esperados por los especialistas en la materia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*, ISBN 92-5-104219-5, Rome, p. 290.
- Blaney, H. F.; Criddle, W. D. (1950). *Determining Water needs From Climatological Data. USDA. Soil Conservation Service. SOS –TP*. pp. 8-9.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements. Irrig. Drain. Pap., 24*, FAO. Roma, Italia, p. 144.
- Favre, L. (2003) *UML and the Unified Process*. IRM Press.
- Jacobson I., Booch G., Rumbaugh J. (1999). *El proceso unificado de desarrollo de software*. Addison Wesley.
- Lamelas, C. (2004) *Planificación y manejo eficiente del riego en el CAI Gregorio A. Mañalich*. Tesis para optar por el grado de Máster en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana.
- Mato, R. (1996). *Sistemas de Bases de Datos*. Puerto Ordaz.
- Monteih, J.L. (1965). *Evaporation and the environment*. Proc. Soc. Exp. Biol. 19, pp. 205-234.
- Penman H.L. (1948). *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc.

R. Soc. London, Ser. A. 193, pp. 120-145.

Recibido: abril de 2010

Aceptado: agosto de 2011