

ARTÍCULO ORIGINAL

Programación del riego de la caña de azúcar en la provincia de Villa Clara, Cuba

Irrigation scheduling of sugar cane in the Villa Clara province, Cuba

Julio L. Avalos Clavelo¹ y Juan Pacheco Seguí²

RESUMEN. El trabajo se realizó con el objetivo de desarrollar un sistema de asesoramiento para la programación del riego de la caña de azúcar en el territorio de Villa Clara que le permita al productor decidir el momento de riego y la cantidad de agua a aplicar según la edad de la plantación y las condiciones edafoclimáticas. Se calcularon las normas parciales netas para diferentes tipos de suelo y edades de las plantaciones, las cuales, varían de 20 a 44 mm, se estableció el cálculo de la Evapotranspiración de referencia mediante la fórmula de Penman-Monteith y se comprobó que los valores más altos ocurren en Santo Domingo, mientras que Caibarién y Sagua la Grande presentan valores semejantes. El intervalo de riego crítico en caña-planta varía de 4 a 8 días para los diferentes suelos, mientras que en los retoños es de 6 a 11 días. Se diseñó un sistema de tráfico de información que contiene un reporte, el cual, reciben los productores cada 7 días, de donde deben seleccionar la norma parcial neta y el intervalo de riego según el suelo predominante, la cepa y la edad del cultivo.

Palabras clave: riego de la caña de azúcar, evapotranspiración de referencia, régimen de riego.

ABSTRACT. The aim of this study is to develop an advisory system for irrigation scheduling of sugarcane in the territory of Villa Clara, which allows the farmer to decide when and how much irrigation water to apply depending of plantation age, climatic demand and soil properties. Calculated the net irrigation depth for different soil types and ages of the plantations, which vary from 20 to 44 mm, was established calculation of reference evapotranspiration by Penman-Monteith formula, proving that the highest values occur in Santo Domingo, while Caibarién and Sagua la Grande have similar values. The critical irrigation interval in plant-cane varies from 4 to 8 days for different soils, while for the shoots are 6 to 11 days. A system traffic information containing a report was designed, which is received by farmer every 7 days, and they should select the net irrigation depth and the irrigation interval depending of the predominant soil, age of the stub and age of the crop.

Keywords: sugar cane irrigation, reference evapotranspiration, irrigation regime.

INTRODUCCIÓN

A pesar de los esfuerzos realizados, la programación del riego en Cuba continúa siendo empírica. En los sistemas de riego situados en la costa norte de la provincia de Villa Clara, en el quinquenio 2005/2009 se consumieron como promedio 48,1 millones de metros cúbicos de agua y se beneficiaron como promedio 26 203,4 ha, esto hace que se regara con una eficiencia del 24%. Sin embargo, Pacheco *et al.*, (1977), en experimentos realizados en suelos arcillosos pesados dedicados al cultivo de la caña de azúcar en el norte de la provincia, reportaron un consumo total de agua de 1 410 mm en caña planta de 13 meses, y obtuvieron un rendimiento agrícola de

116,64 t·ha⁻¹; la norma de riego total aplicada fue de 5966 m³·ha⁻¹.

Hernández (1978), en Alquizar, trabajando con la variedad B 4362 para determinar los efectos del régimen de riego sobre el crecimiento y el rendimiento en un suelo latosólico, con un diseño de bloques al azar y utilizando como método de riego el goteo, encontró correlación entre los rendimientos y la cantidad de agua aplicada, $r=0,89$, con una respuesta media de 0,17 t·ha⁻¹ por milímetro de agua aplicada. Ruiz *et al.*, (1979), determinaron para Jove-llanos un régimen de riego anual de 22 riegos, con norma total de 7 194 m³·ha⁻¹. Se consideró una lluvia del 80% de probabilidad. Del número total de riegos, 17 se deben apli-

Recibido 14/02/11, aprobado 20/07/12, trabajo 57/12, artículo original.

¹ Ing. Especialista en Riego y Drenaje, AZCUBA Villa Clara, Cuba, E-✉: juanps@uclv.edu.cu

² Dr. C., Profesor Titular, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Cuba.

car en el período seco (noviembre-abril) y 5 en el lluvioso (mayo-octubre). Alonso *et al.*, (1982), en los estudios realizados en la Costa Norte de Villa Clara concluyeron, que el número de riegos en años medio secos para obtener altos rendimientos con buenas condiciones agronómicas está entre 6 y 11, dependiendo de la cepa y fecha de siembra o cosecha. Recomiendan para estas condiciones, normas totales para caña de azúcar que oscilan entre 4 300 y 5 900 m³.ha⁻¹, según la edad y tipo de cepa. González *et al.*, (1982), en suelos Ferralíticos rojos llegaron a conclusiones de que en las plantaciones de frío se obtiene mayor respuesta al riego, en los que se logra 6 t.ha⁻¹ de caña por cada 100 mm de agua aplicada.

Pacheco (1984), analizó los resultados obtenidos de 20 años de estudio en los suelos arcillosos pesados de la costa norte de Villa Clara, y usando un modelo matemático realizó balances diarios de los ingresos y egresos de la humedad, obteniendo normas totales netas de 2 684 m³.ha⁻¹ para retoños de enero, ciclo de 12 meses y límite productivo del 70% CC; el número de riegos para el 80% de los años fue de 1-4. En caña planta de enero con límite productivo del 80% CC, la norma total neta fue de 3 866 m³ ha⁻¹ y el número de riegos máximo fue de 7. Vidal *et al.* (1984), estudiaron el régimen de riego de los retoños cosechados en abril, en un suelo Oscuro Plástico Gleysoso de la costa norte de Villa Clara, y determinaron que el riego no tiene influencia en el número de tallos y que las diferencias en el rendimiento se deben sobre todo al crecimiento de estos; también encontraron que la cepas de retoño en estas condiciones necesitan entre 3 y 5 riegos en dependencia del año climático.

En España existen sistemas de asesoramiento al regante (Juan *et al.*, 2002), que indican el momento en que debe regarse determinado cultivo o el intervalo de riego que le corresponde en determinada decena de cada mes, siempre haciendo uso del cálculo de la evapotranspiración de referencia. Ahkoon *et al.* (2005), estudiando en Mauricio el ordenamiento de los riegos en la caña de azúcar crearon el Software IRRIPIVO, para ayudar a los usuarios de las máquinas de pivote central en la conducción de los riegos. En Brasil en un proyecto denominado Sistema Irriga de la Universidad Federal de Santa María, de Carlesso *et al.* (2007), ofrece vía Internet una asesoría total a los agricultores del centro y sur de Brasil que han decidido contratar sus servicios mediante el monitoreo del clima en las diferentes regiones a través de estaciones meteorológicas automáticas, las cuales suministran los datos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman-Monteith.

En el presente trabajo se pretende desarrollar un sistema de asesoramiento al regante para la programación del riego de la caña de azúcar en el territorio de Villa Clara, el cual, le permita al productor decidir el momento de riego y la cantidad de agua a aplicar según edad de la plantación, exigencias del clima y propiedades del suelo.

MÉTODOS

Ubicación geográfica del lugar de la investigación, y las características del clima

La investigación se realizó en la provincia de Villa Clara, situada en la región norte central de Cuba, que limita al norte con el Océano Atlántico, al oeste con la provincia Matanzas, al sudoeste con la provincia Cienfuegos y al este sudeste con la provincia Sancti Spiritus. Según el estudio de Moya y Estrada (2012), las Estaciones Meteorológicas cubren las áreas de las plantaciones cañeras (Tabla 1).

TABLA 1. Vinculación de las UEB a las Estaciones Meteorológicas

Estación meteorológica	UEB que se vinculan
Caibarién	Heriberto Duquesne
	José María Pérez
	Abel Santamaría
Sagua La Grande	Perucho Figueredo
	Héctor Rodríguez
	Panchito Gómez Toro
Santo Domingo	Quintín Banderas
	Carlos Baliño
	George Washington
	Ifraín Alfonso

Características de los suelos bajo riego dedicados a la caña de azúcar en Villa Clara

El 94% de las áreas con riego en la provincia se concentran en la costa norte. La superficie en cuestión es una franja de tierra que se extiende paralela a la costa, que comprende unas 60 000 ha, las cuales pertenecen a los municipios de Sagua la Grande, Encrucijada, Camajuaní y Caibarién. En la Tabla 2 se resumen los principales suelos cañeros de las áreas bajo riego, se incluyen además, los valores medios de sus principales propiedades hidrofísicas que son necesarias para el cálculo de la norma neta parcial de riego. La topografía de la zona es llana, con pendientes que oscilan entre 2 y 3%; los suelos más abundantes son los Hidromórficos (Hernández *et al.*, 1999), en los que durante años ha predominado el cultivo de la caña de azúcar, la crianza de ganado vacuno y en menor cuantía el cultivo del arroz, este último con tendencia reciente al incremento.

A partir de los datos de las propiedades hidrofísicas (capacidad de campo y densidad aparente) que aparecen en la Tabla 2, se calcularon las normas parciales netas (Mp) utilizando la expresión:

$$M_p = 100 H \text{ da } (C_c - L_p)$$

Donde:

H - profundidad a humedecer en metros.

Tabla 2. Propiedades hidrofísicas de los principales suelos cañeros de la provincia

Agrupamiento Agroproductivo	Cc % ss	PMP % ss	Lp % ss	da g/cm3	Vi mm/h	Textura %<0,02mm
Gleyzado sialitizado	52,30	27,50	41,80	1,06	1,00	74,50
Ferralitizado cálcico	31,90	17,40	25,50	1,28	48,00	62,40
Sialitizado cálcico	38,10	23,40	30,50	1,20	17,50	59,50
Sialitizado no cálcico	17,40	9,50	13,90	1,57	25,00	25,00

Leyenda:(CC%ss) Capacidad de campo, (PMP) Punto de marchitez permanente, (Lp) Limite productivo, da densidad aparente, (Vi) Velocidad de infiltración.

La evapotranspiración de referencia (ET_o), es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, debido a su importancia para este trabajo se determinaron sus valores para las tres Estaciones Meteorológicas seleccionadas.

El intervalo de riego se estableció para una ET_o de probabilidad de ocurrencia media (probabilidad del 50%) y para el año de más demanda climática, en este caso el año del 25% de probabilidad de la ET_o.

Con los valores de ET_o y las normas de riego parciales se determinaron para cada Estación Meteorológica los intervalos de riego críticos y medios de cada cepa, según el Agrupamiento Agroproductivo de los suelos. Para determinar la Evapotranspiración del cultivo se usaron coeficientes K_c calculados a partir de experimentos de campo realizados en el norte de Villa Clara (Pacheco, 1983).

Se realizó la propuesta de sistema de información para que el agricultor decida la Programación del riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las normas parciales netas de los principales suelos, calculadas para las profundidades de 0,3 y 0,4 m se presentan en la Tabla 3. La norma bruta de riego la calculará el productor en

función de la tecnología de riego que esté usando.

TABLA 3. Normas netas parciales de riego para los principales suelos

Agrupamiento Agroproductivo	Norma parcial neta (mm)	
	H = 0.30 m	H = 0.40 m
Sialitizado no cálcico	20	27
Ferrertilizado cálcico	24	33
Sialitizado cálcico	27	37
Gleyzado sialitizado	33	44

Evapotranspiración de referencia diaria media mensual para la caña de azúcar

La Estación Meteorológica de Santo Domingo alcanza el valor medio diario mayor para cada uno de los meses (Figura 1), siendo muy similares estos valores en las Estaciones de Caibarién y Sagua la Grande. Los mayores valores de la media diaria de ET_o se registran durante los meses de abril a agosto. Estos resultados coinciden con los reportados por Pacheco *et al.* (2006).

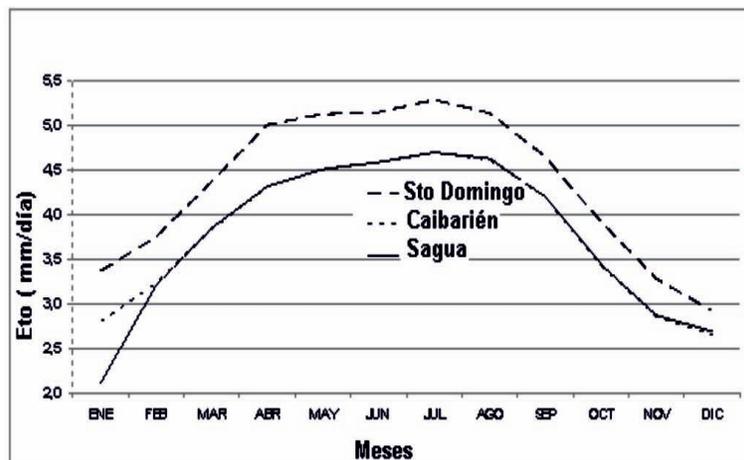


FIGURA 1. Evapotranspiración de referencia diaria media mensual por estaciones meteorológicas.

Intervalo de riego probable y crítico para la caña de azúcar según cepa, tipo de suelo y la ET_o de las Estaciones meteorológicas

Conocer las características del intervalo de riego por parte del productor es sumamente importante, pues esto le

permite adaptar a sus condiciones la tecnología de riego y estar preparado para enfrentar las posibles demandas climáticas que se puedan presentar. En la Tabla 4, aparecen por meses los valores de ET_o en mm/día para las probabilidades estudiadas.

TABLA 4. Valores medios diarios de ETo para las probabilidades del 50 y el 25%

Meses	Estaciones meteorológicas					
	Caibarién		Sagua la Grande		Santo Domingo	
	50% P	25% P	50% P	25% P	50% P	25% P
Enero	2,3	2,13	2,74	3,07	3,15	3,23
Febrero	2,9	2,77	3,30	3,33	3,64	3,76
Marzo	2,92	3,26	3,78	4,25	4,5	4,15
Abril	3,98	3,87	4,04	4,35	5,17	5,00
Mayo	3,82	4,20	4,39	4,46	5,18	5,23
Junio	3,93	4,27	4,49	4,64	4,92	5,58
Julio	4,35	4,13	4,68	4,93	5,33	5,30
Agosto	4,11	4,42	4,65	4,65	5,02	5,10
Septiembre	3,88	3,88	4,14	3,98	4,34	4,65
Octubre	3,04	2,93	3,58	3,41	4,11	4,11
Noviembre	2,39	2,23	2,94	2,76	3,44	3,52
Diciembre	2,24	2,21	2,85	2,51	3,13	3,16
<i>Total anual</i>	1 257,48	1 276,24	1 423,47	1 447,42	1 304,30	1 170,80

Los intervalos críticos (Tabla 5) se mueven en un rango que oscila entre 4 y 11 días y los valores de intervalos medios pueden alcanzar desde un máximo de 22 días y hasta un mínimo de 9 días.

El productor tiene que estar preparado con su tecnología de riego para enfrentar los intervalos de riego críticos, de manera

que pueda cubrir con el riego las exigencias del clima y que el cultivo no sufra de estrés hídrico en determinadas etapas de su desarrollo, que afectaría el rendimiento de la cosecha. La Estación donde se presentan los intervalos más bajos es la de Santo Domingo, donde los intervalos críticos se presentan entre 4 y 9 días y los valores medios están entre 9 y 16 días.

TABLA 5. Intervalos de riego críticos y medios en días por Estaciones Meteorológicas

Tipo de intervalo	Estación Meteorológica Sagua la Grande							
	Sialitizado no cálcico		Ferralitizado cálcico		Sialitizado cálcico		Gleyzado sialitizado	
	Planta	Retoño	Planta	Retoño	Planta	Retoño	Planta	Retoño
Crítico	5	6	6	7	6	8	8	11
Medio	10	11	12	14	14	15	17	18
	Estación Meteorológica de Caibarién							
Crítico	5	7	6	8	7	9	8	11
Medio	12	13	14	16	16	18	19	22
	Estación Meteorológica de Santo Domingo							
Crítico	4	6	5	7	6	8	7	9
Medio	9	10	11	12	12	14	15	16

Propuesta de sistema de información para que el agricultor decida la Programación del riego

El flujo de información desde la Estación Meteorológica hasta el productor, se muestra en la Figura 2, donde en un esquema simplificado se representa este servicio de asesoramiento al regante. En el Centro Meteorológico Provincial se calculan los valores de ETo para cada Estación Meteorológica, basados en los datos climáticos que estas aportan vía correo electrónico y que son necesarios para aplicar la ecuación FAO Penman-Monteith, esta información deberá fluir semanalmente (preferentemente los lunes) vía correo

electrónico, al área de atención a productores de la Empresa Azucarera Villa Clara.

El reporte mostrado en la Tabla 6 es calculado para cada Estación Meteorológica y es enviado el propio lunes vía correo electrónico a cada una de las Unidades Empresariales de Base (UEB), de atención a productores cañeros. Por último, de las UEB se les hace llegar a los productores, ya sea por correo electrónico, teléfono, planta de radio u otra vía. En el reporte aparecen con claridad los días de intervalos de riego probables para un grupo de situaciones: 64 en total, las cuales cubren la mayoría de las posibles que se puedan presentar. También se proponen normas de riego parciales para cada una de ellas.

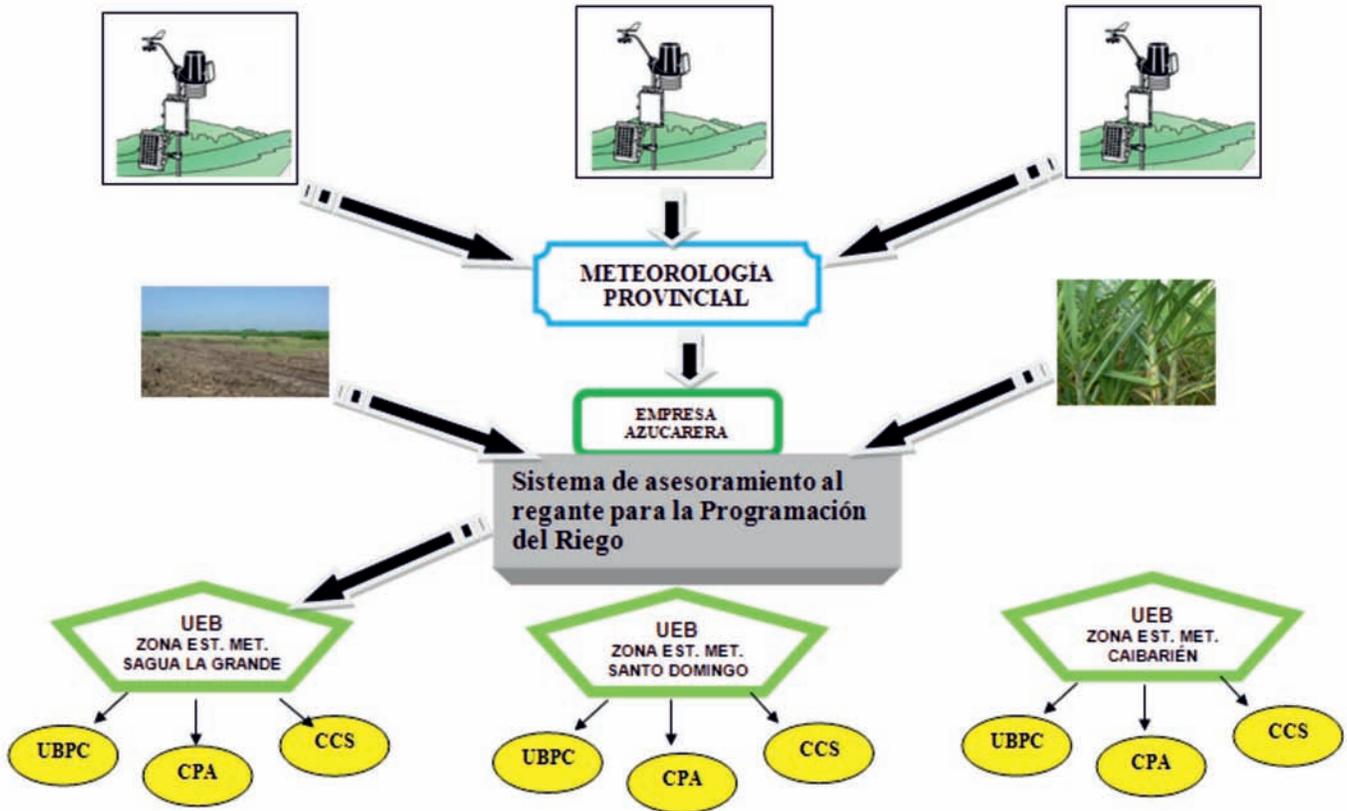


FIGURA 2. Esquema simplificado de funcionamiento del Sistema de Asesoramiento al Regante para la Programación del Riego.

Tabla 6. Reporte para la Programación del Riego
ESTACIÓN METEOROLÓGICA: SAGUA LA GRANDE

Fecha 6-04-11

VALIDO PARA LOS PRÓXIMOS 7 DÍAS

ETo promedio para los próximos 7 días		3,7										
Tipo de cepa y suelo		ETo	Norma de riego neta parcial en mm		Intervalo de riego en días							
			Cañas de 1 a 3 meses	Cañas > de 3 meses	Edades en meses							
					1 a 3	4	5	6	7	8, 9 y 10	11	12 o más
Caña planta	Ferralitizado no cálcico	3,7	20	27	14	13	11	9	8	6	8	9
	Ferralitizado cálcico	3,7	24	33	17	16	13	11	9	8	9	11
	Sialitizado cálcico	3,7	27	37	19	18	15	13	11	9	11	13
	Gleizado sialitizado	3,7	33	44	23	21	18	15	13	10	13	15
Socas y retoños	Ferralitizado no cálcico	3,7	20	27	15	14	12	9	8	8	10	11
	Ferralitizado cálcico	3,7	24	33	18	17	14	12	10	10	12	14
	Sialitizado cálcico	3,7	27	37	20	19	16	13	11	11	13	16
	Gleizado sialitizado	3,7	33	44	24	23	19	15	13	13	16	19
		Valores de coeficiente de Kc	Planta		0,38	0,57	0,67	0,79	0,95	1,15	0,94	0,80
			Retoño		0,37	0,52	0,63	0,77	0,88	0,92	0,76	0,64

Observaciones:

Estos coeficientes fueron obtenidos en suelos Gleysados sialitizados, los cuales deben irse ajustando a los demás suelos, en la medida que se trabajan con ellos. En los suelos Gleysados sialitizados hay que tener en cuenta el tiempo de sobrehumedecimiento que se produce por el drenaje.

Este reporte se puede acompañar de un mapa con las zonas de lluvia recientemente caídas en los distintos territorios que abarcan las Estaciones Meteorológicas, así como las posibles lluvias que puedan ocurrir en un plazo no mayor de siete días. En ambos casos el mapa aparecerá coloreado con los distintos rangos de lluvia acordados.

El productor recibe el reporte con una periodicidad semanal y escoge las variantes de intervalo de riego que se adaptan a sus condiciones; para esto, tiene que tener identificado el suelo predominante según el mapa donde aparece el Agrupamiento Agroproductivo propuesto, después fácilmente puede buscar en la tabla cuáles son las dos normas de riego netas parciales que le pertenecen a ese suelo, las cuales se agrupan para plantaciones de hasta tres meses y de más de tres meses, lo que facilita su identificación. También basado en la edad de la plantación y la cepa a que pertenece, sea caña planta o

retoño, se identifican los días de intervalos en que debe mediar de un riego a otro.

CONCLUSIONES

- Las normas parciales netas calculadas para diferentes tipos de suelos y edades de las plantaciones varían de 20 a 44 mm, las mayores corresponden al suelo Gleyzado Sialitizado cuando la capa activa es 40 cm.
- La evapotranspiración de referencia resulta más alta en Santo Domingo, mientras que Caibarién y Sagua la Grande presentan valores semejantes y en general para las tres estaciones Meteorológicas sus valores medios diarios para el año de 25% de probabilidades de excedencia varían de 2,13 a 5,58 mm/día.
- El intervalo crítico en caña planta varía de 4 a 8 días para los diferentes suelos, mientras que en los retoños es de 6 a 11 días
- Se concibió un sistema de tráfico de información que contiene un reporte, el cual, reciben los productores cada 7 días, de donde deben seleccionar la norma parcial neta y el intervalo de riego según el suelo predominante, la cepa y la edad del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKOON, P.D; M. TEELICK y R.D. RATNA: *Irrigación de caña de azúcar: de la investigación a la práctica de campo*, Procc. ISSCT, Vol.25, pp. 253-258, Guatemala, 2005.
2. ALONSO, N.; J. PACHECO y A. GUTIÉRREZ: Recomendaciones sobre el régimen de riego de la caña de azúcar para la Costa Norte de Villa Clara, En: **43 Congreso de la ATAC**, pp. 12-16, La Habana, Cuba, 1982.
3. CARLESSO, R., TERESINHA M & TROIS C.: Rede de estações meteorológicas automáticas para prover a necessidade de irrigação das culturas, En: **Taller Internacional: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información**, La Paz, Bolivia, Septiembre 2007.
4. GONZÁLEZ, R; N. LATIFOV y E. LLERENA: Régimen de riego para la caña de azúcar en suelo ferralítico rojo, En: **Conferencia Científica Técnica “20 años de desarrollo hidráulico en la Revolución”**, La Habana, Cuba, 1982.
5. HERNÁNDEZ, A.: “Estudio de varias formas de régimen de riego en el cultivo de la caña de azúcar”, *Rev. Ciencia y Técnica de la Agricultura: Riego y Drenaje*, 1(2): 5-32, 1978.
6. HERNÁNDEZ, A., M. PÉREZ, D. BOSCH y L. RIVERO.: *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, Ed. AGRINFOR, La Habana, Cuba, 1999.
7. JUAN, J. A., F. ORTEGA, N. ALVAREZ & M. TARJUELO: Irrigation Advisory Services and Participatory Extension in Irrigation Management for farmers (SIAR) in Castilla la Mancha: Action and Limitations, In: **Workshop organized by FAO – ICID**, Montreal, Canada 2002.
8. MOYA, A. y A. ESTRADA: *Estudio de las temperaturas representativas para cada Estación Meteorológica. CITMA Villa Clara*. Sin publicar, Comunicación personal, Villa Clara, Cuba 2012.
9. PACHECO, J., N. ALONSO y A. GUTIÉRREZ.: “Respuesta de la caña de azúcar a diferentes niveles de humedad en el suelo”, Universidad Central de Las Villas, *Rev. Centro Agrícola*, 4(1), 1977.
10. PACHECO, J.: *Establecimiento del régimen de riego de la caña de azúcar*, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Instituto de Hidrotecnia y Mejoramiento de Tierras, Sofía, Bulgaria, 1983.
11. PACHECO, J.: Estudio del régimen de riego de la caña de azúcar en suelos arcillosos pesados, En: **Memorias 44 Congreso de la ATAC**, pp. 104-105, La Habana, Cuba, 1984.
12. PACHECO J; I. DOMÍNGUEZ y J. LAMADRID J.: “Lluvia y evapotranspiración de referencia en cuatro puntos representativos de la Provincia de Villa Clara, Cuba”, *Rev. Centro Agrícola*, 33(4): 67-70, 2006.
13. RUIZ, J.; R. GONZÁLEZ y E. LLERENA: Cálculo de un régimen de riego óptimo para la caña de azúcar en la región de Jovellanos, En: **Resúmenes I Forum Científico del Centro Universitario de Matanzas**, Cuba, 1979.
14. VIDAL, L.; A. GUTIÉRREZ y J. PACHECO: “Régimen de riego de la caña de azúcar Retoño II”, *Rev. Ingeniería Hidráulica*, (3): 20-26, 1984.