



<http://opn.to/a/210iC>

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Contribución a la protección del recurso agua en el municipio Güira de Melena

Contribution to the Water Resource Protection in Guira de Melena Municipality

Ing. Homero Matos Cremé^{*}, Dr.C. Enrique Cisneros Zayas^{II}, Dr.C. Julián Herrera Puebla^{II}, Dr.C. Felicita González Robaina^{II}, Dr.C. Carmen Duarte Díaz^{II}

^I Dirección Riego y Mecanización, Provincia Artemisa, Cuba.

^{II} Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El presente trabajo se desarrolló en la Empresa Agropecuaria Güira de Melena con el objetivo de evaluar el comportamiento de la programación del riego en función de las nuevas condiciones climáticas, que permita un uso racional del agua con una adecuada respuesta productiva. Para el estudio fueron seleccionadas dos formas productivas dentro de la empresa ubicadas en diferentes zonas del municipio, dos en la zona Sur, dos en la Centro y tres en la zona Norte que sembraron papa durante la campaña 2018-2019 en máquinas de pivote central. Todas las máquinas fueron evaluadas hidráulicamente para conocer el estado de funcionamiento según la NC ISO 11545, el riego se ejecutó utilizando la herramienta “*Pronóstico de riego*” diseñada para esos fines y por último se determinó la productividad agronómica del agua. Los resultados mostraron que la programación del riego a través de la herramienta “*Pronóstico de riego*” en las entidades evaluadas fue efectiva al reducir los volúmenes de agua consumidos en un 23% y contribuir en el incremento del rendimiento agrícola en 23,2% con respecto a los sistemas de riego donde se asume el criterio de intervalos y normas fijas, contribuyendo además a reducir los volúmenes de agua demandados por la empresa en un 3,8%.

Palabras clave: Necesidades hídricas, evaluación hidráulica, programación del riego, rendimiento.

ABSTRACT. The present work was developed in the Agricultural Enterprise Güira de Melena with the objective of evaluating the behavior of irrigation programming based on the new climatic conditions that allow a rational use of water with an adequate productive response. For the study, two productive forms were selected within the company located in different areas of the municipality, two in the South zone, two in the Center and three in the North zone that planted potatoes during the 2018-2019 campaign on central pivot machines. All machines were hydraulically evaluated to determine the operating status according to NC ISO 11545, the irrigation was executed using the “*Irrigation schedule*” tool designed for these purposes and finally the agronomic productivity of the water was determined. The results showed that the irrigation programming through the “*Irrigation schedule*” tool in the entities evaluated was effective by reducing the volumes of water consumed by 23% and increasing the agricultural yield by 23,2% with respect to the systems of irrigation where the criterion of intervals and fixed standards is assumed, also contributing to reduce the volumes of water demanded by the enterprise by 3,8%.

Keywords: water requirement, hydraulic evaluation, irrigation schedule, yield.

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola consume más de 70% del agua disponible a nivel mundial, se considera una gran consumidora de los recursos hídricos, esto se debe al desperdicio de agua que se presenta, aun en sistemas tecnificados ya que

*Autor para correspondencia: Homero Matos Cremé, e-mail: dptoriego1@iagric.cu

Recibido: 15/10/2019.

Aprobado: 13/03/2020

se desconocen los requerimientos hídricos de los cultivos (Servín *et al.*, 2017).

El principal objetivo del riego es maximizar la producción manteniendo a la planta transpirando, pero sin asfixiar las raíces. Según (McCarthy *et al.*, 2013), la cantidad total de agua a aplicar depende del cultivo y de parámetros climáticos, pero normalmente el suelo juega un rol clave para determinar la frecuencia de riego.

Para (Servín *et al.*, 2018), un programa de riego busca reponer el agua evapotranspirada por el cultivo, pero con el desafío de mantener la humedad del suelo entre dos umbrales. Por un lado, se debe evitar el cierre estomático, provocado por la falta de agua fácilmente extraíble por las plantas, con el fin de no frenar la fotosíntesis y poder optar al máximo rendimiento potencial del cultivo.

La programación del riego se refiere a: cuánto, cuándo, y cómo regar los cultivos para obtener máxima eficiencia y productividad del agua. En la programación de los riegos se destaca la cuantificación de las necesidades hídricas de los cultivos, lo cuales se obtienen por los parámetros de evaporación y transpiración según Trezza *et al.* (2008).

En Cuba el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), desde los años 80, propuso la planificación y explotación del riego de los cultivos mediante el llamado “pronóstico del riego” donde la aplicación de este método cuantificó ahorros de agua hasta un 32%, con incrementos en los rendimientos de 2,6 – 33,3% (Rey *et al.*, 1982).

El cultivo de la papa ocupa un lugar primordial en el mundo por su valor alimenticio y se ubica en Cuba en una posición privilegiada, al constituir el tubérculo de mayor demanda y prioridad entre los productos agrícolas, dada la posibilidad de producir grandes cantidades de alimentos en poco tiempo, razón por la cual existe un empeño nacional en lograr en cada campaña producciones de mayor volumen y calidad (Castellanos, 2000).

En ese sentido, anualmente el país destina cuantiosas sumas de dinero para la adquisición de insumos y sistemas de riego destinados a la obtención de elevadas producciones. Uno de los

elementos que aún continúan incidiendo en los rendimientos actuales es la inadecuada planificación del riego, lo que ha conllevado a la utilización de grandes volúmenes de agua sin el adecuado respaldo productivo (González, 2003).

Actualmente, alrededor del 90% del área total de papa plantada en el país se beneficia con el riego por máquinas de pivote central eléctricas, que garantizan una eficiencia de aplicación media entre 0,75 y 0,85 (Jiménez *et al.*, 2013; Placeres *et al.*, 2013). Las máquinas con bajantes y boquillas colocadas por encima y próximas al follaje de la planta han demostrado su efectividad en el riego de la papa y otros cultivos al garantizar una aplicación uniforme por tener menor influencia del viento. Esta tecnología por su productividad, baja presión de trabajo, ahorro de combustible, factibilidad para la fertirrigación y alta eficiencia de aplicación, es considerada como la de mayor perspectiva para el cultivo en áreas mayores a las 13,42 ha (González, 2003).

Güira de Melena es uno de los grandes productores de papa; en los últimos años este municipio se ha visto afectado por la reducción de sus precipitaciones, lo que ha provocado una disminución en la disponibilidad de agua para el riego (Basal, 2016).

Teniendo en cuenta todo lo anterior el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la programación del riego en función de las nuevas condiciones climáticas que permita un uso racional del agua con una adecuada respuesta productiva.

MÉTODOS

El trabajo se realizó en condiciones de producción de la Empresa Agropecuaria Güira de Melena de la provincia Artemisa, con coordenadas geográficas 22° 44' 6,39", latitud Norte y 82° 30' 11,54" longitud Oeste y ubicada al Sur de la provincia La Habana. La altura sobre el nivel medio del mar es de 8 m. En la Figura 1, se muestra la ubicación geográfica del municipio y las máquinas seleccionadas para el estudio.

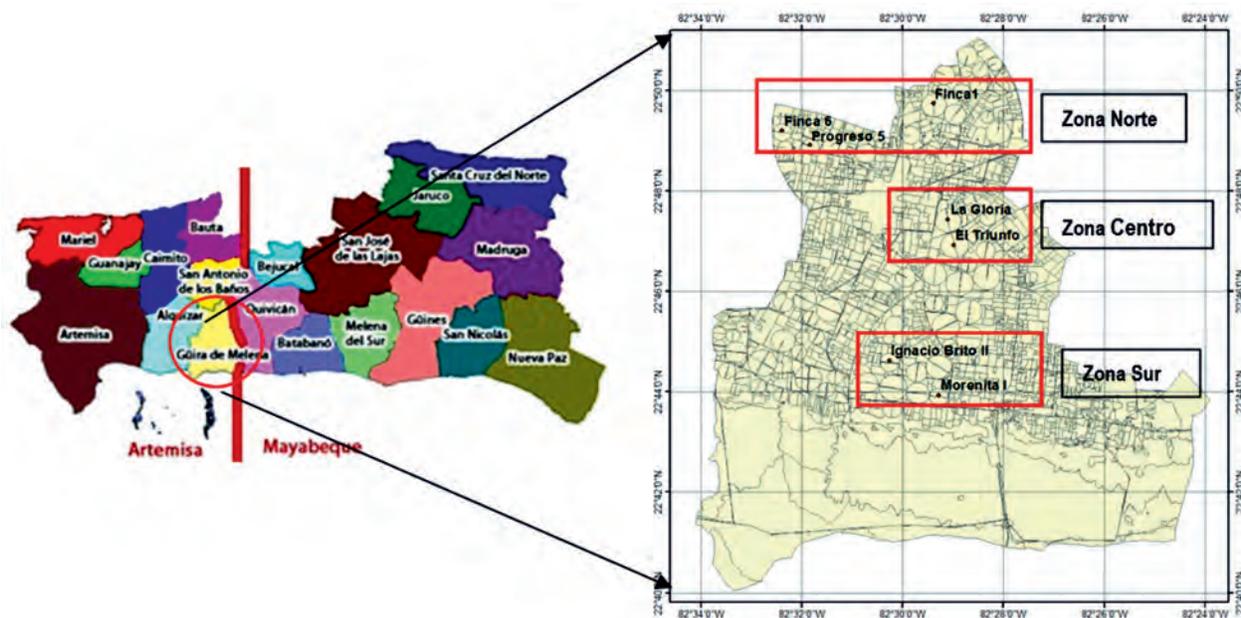


FIGURA 1. Ubicación geográfica del municipio Güira de Melena en la provincia Artemisa y las máquinas en las entidades estudiadas en las diferentes zonas.

Para el trabajo fueron seleccionadas dos formas productivas Unida Básica de Producción Cooperativa (UBPC) y Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) dentro de la Empresa Agropecuaria, ubicadas en diferentes zonas dentro del municipio, dos en la zona Sur, dos en la Centro y tres en la zona Norte (Figura 1), que sembraron papa durante la campaña 2018-2019 en máquinas de pivote central con fechas de siembra muy similares. Dicha empresa sembró un total de 340 hectáreas del cultivo la papa, de ellas el total de área bajo pronóstico de riego fue de 124,4 hectáreas que representa aproximadamente el 37% del área sembrada.

El suelo predominante en las zonas de estudios se clasifica como Ferralítico Rojo compactado según la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba Instituto de Suelos (1979), que se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado hidratado según Hernández *et al.* (1975) y Hernández *et al.* (2003), citado por Cid *et al.* (2012).

Para la puesta a punto de todos los sistemas de riego con máquina de pivote central seleccionados se utilizó un software denominado Pivote (herramienta de cálculo de Excel), que define la ubicación correcta de las boquillas por diámetros de salida. La determinación de la velocidad real de avance de las máquinas en estudio se procedió por la norma (NC ISO 11545, 2005), poniendo a trabajar a la máquina a la velocidad máxima (100%).

La programación del riego se utilizó mediante la herramienta de cálculo en formato Excel “Hoja Pronóstico de Riego” definida por (Cisneros *et al.*, 2007), como resultado de un proyecto de investigación del Programa Ramal Científico Técnico No. 22 de Riego y Drenaje, para la implementación del Servicio de Asesoramiento al Regante.

El programa consta de cinco ventanas con los nombres: *glosario términos*, *entrada datos y pronóstico*, *procesamiento balance*, *datos suelo*, *coeficientes de cultivo y profundidad de raíces*. La hoja *glosario términos* contiene todos los términos utilizados en la hoja y su significado, lo que facilita al interesado la operación del programa. La hoja *entrada datos y pronóstico* permite al usuario introducir toda la información necesaria para el balance de humedad, entre los que se encuentran: fecha de siembra, datos del cultivo: coeficiente de cultivo (Kc), profundidad de las raíces (Zr), datos del clima: evapotranspiración de referencia (ETo) y precipitaciones, datos del suelo: tipo de suelo, humedad inicial, humedad a capacidad de campo y limite productivo (figura 2). En la hoja *procesamiento balance* se muestra el algoritmo utilizado en la programación del riego. Las hojas *datos suelo*, *coeficientes de cultivo y profundidad de raíces* poseen información útil o complementaria para facilitar al cliente la utilización del software.

Fecha		Datos Cultivo		Datos Clima		Datos Suelo			Nn riego inicial	PRONOSTICO INICIAL	PRONOSTICO AJUSTADO	Riego NO efectuado	Observaciones	
Mes	Día	Día cultivo	Zr (m)	Kc	ETo (mm)	Precip. (mm)	Wzr Inicial (m³/m³)	Wzr a Cc (m³/m³)	LP (x Wzr a Cc)	(mm)	(mm)	(mm)		
nov	26-nov-17	1	0,15	0,91	2,88		0,394	0,394	85	0	0,0	0,0		
	27-nov-17	2	0,15	0,91	2,88	20		0,394	85		0,0	0,0		
	28-nov-17	3	0,16	0,91	2,88			0,394	85		0,0	0,0		
	29-nov-17	4	0,16	0,91	2,88	21		0,394	85		0,0	0,0		
	30-nov-17	5	0,17	0,91	2,88			0,394	85		0,0	0,0		
	1-dic-17	6	0,17	0,91	2,7			0,394	85		0,0	0,0		
	2-dic-17	7	0,18	0,91	2,7			0,394	85		11,1	11,1		
	3-dic-17	8	0,18	0,91	2,7			0,394	85		0,0	0,0		
	4-dic-17	9	0,19	0,91	2,7			0,394	85		0,0	0,0		
	5-dic-17	10	0,19	0,91	2,7			0,394	85		12,7	12,7		
	6-dic-17	11	0,20	0,91	2,7			0,394	85		0,0	0,0		
	7-dic-17	12	0,20	0,91	2,7			0,394	85		0,0	0,0		
	8-dic-17	13	0,20	0,91	2,7			0,394	85		12,7	12,7		
	9-dic-17	14	0,21	0,91	2,7	10		0,394	85		0,0	0,0		
	10-dic-17	15	0,21	0,91	2,7			0,394	85		0,0	0,0		

FIGURA 2. Ventana entrada de datos y pronóstico.

Esta herramienta de cálculo tiene como base un algoritmo de balance hídrico simplificado según la expresión 1, definidas por (López, 2002; López *et al.*, 2003):

$$AZ_{r_2} = AZ_{r_1} + R + P_{efect} - ETc \quad (1)$$

donde:

AZ_{r1} y AZ_{r2}: láminas de agua en mm almacenadas en la zona radical efectiva del cultivo, Zr, para los días iniciales y final del periodo de tiempo considerado en el balance, que fue diario.

R: lámina de agua diaria en mm ingresada por el riego efectuado.
 P_{efect}: lámina de agua diaria en mm ingresada por las precipitaciones efectivas. Los datos de las precipitaciones se tomaron a partir de un pluviómetro colocado en el área y para el cálculo de la precipitación efectiva se consideró la diferencia entre la lámina de agua almacenada en el momento antes de la precipitación y el límite superior del agua disponible o lámina a capacidad de campo (Cc). La diferencia se asumió como pérdidas por drenaje interno (D).

ET_c: evapotranspiración diaria del cultivo en mm estimada por el enfoque de coeficiente único según lo definido en el boletín FAO 56 de Allen *et al.* (1998) con la expresión 2:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (2)$$

Para estos cálculos se utilizaron los datos de ETo pronosticados para Güira de Melena por el Instituto de Meteorología (2018) de la estación 320 y los datos de coeficientes de cultivo (K_c), profundidad radical efectiva (Z_r), definidos para cada fase de desarrollo del cultivo de la papa así como el criterio de riego utilizando el valor de la lámina de agua almacenada a la profundidad radical correspondiente a la fracción de agotamiento crítica (p), del agua disponible en el suelo (ADS), definidos por (Roque, 1995).

El agua disponible en el suelo, ADS (en mm), para cada profundidad Z_r (en m) se calculó a partir de los datos de capacidad de campo y PMP dados por Cid *et al.* (2012), según la expresión:

$$ADS = (Cc - PMP) * Z_r \quad (3)$$

La norma neta de riego (en mm) se calculó como:

$$N_n = p * ADS \quad (4)$$

Régimen de riego aplicado en la Empresa Agropecuaria Güira de Melena

El manejo del riego se ha realizado teniendo en cuenta los elementos contenidos en la tabla 1, partiendo siempre de la necesidad según el período vegetativo del cultivo, aplicando durante todo su ciclo de vida un promedio de 21 riegos, con un intervalo de 4 días.

TABLA 1. Régimen de riego de la papa para el ciclo vegetativo del cultivo

Período vegetativo (días)	Profundidad a Humedecer (m)	Intervalo de riego (días)	Norma Neta Parcial (m ³ ha ⁻¹)	ETR Promedio (mm día ⁻¹)
Mine	-	-	250 - 400	-
Siembra – brote (0-15)	0,20	Manejo (4-6)	130	2,2 – 3,3
Brote-crecimiento (16-25)	0,25	4 – 5	160	3,2 – 4,0
Crecimiento–Tuberización (26- 60)	0,30	3 – 5	250	3,8 – 6,3
Maduración 60 hasta final	0,30	4 – 7	250	2,7 – 4,8

Fuente: Minag-IIRD (2001).

La productividad agronómica del agua se determinó según Molden *et al.* (2003): mediante la expresión (5):

$$WPI \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{R \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{I \left(\frac{m^3}{m^3} \right)} \quad (5)$$

donde:

WPI - productividad agronómica del agua utilizada por riego (I) (kg m⁻³); I- volumen de agua aplicado por riego (m³). R- rendimiento (kg).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las variables precipitación y evapotranspiración de referencia durante la campaña 2018-2019 en las unidades estudiadas

Para la campaña 2018-19 en la figura 3 se puede observar como durante el período donde se cultiva la papa de noviembre a abril en las tres zonas la evapotranspiración de referencia (ETo) supera las precipitaciones por tanto se confirma que el riego juega un papel importante.

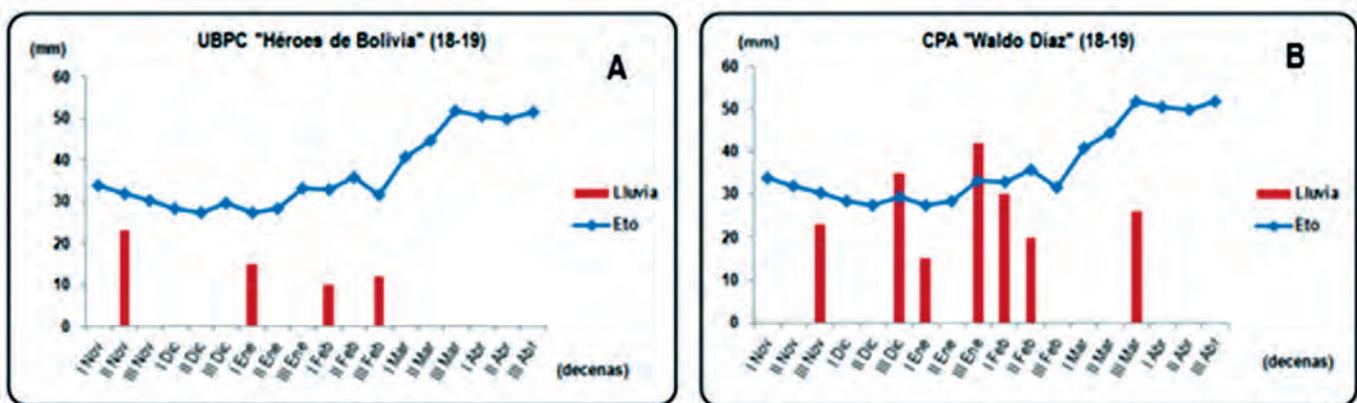


FIGURA 3. Comportamiento de las precipitaciones y la ETo, durante la campaña 2018-19 A) UBPC “Héroes de Bolivia”; B) CPA “Waldo Díaz”

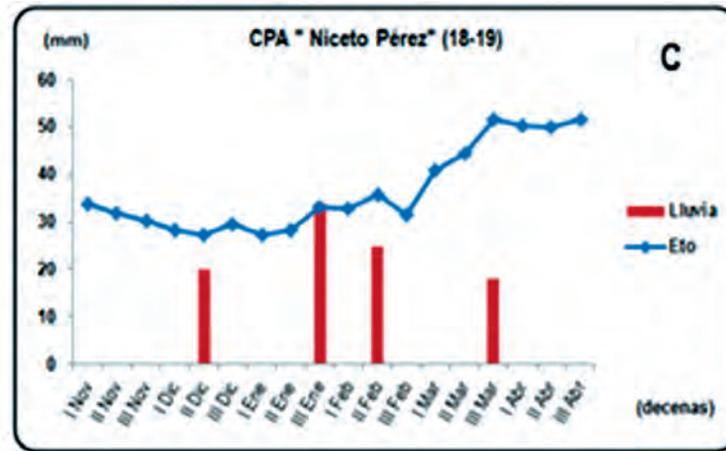


FIGURA 3. C) CPA "Niceto Pérez".

En el balance hídrico por zonas de estudio se tiene que en la zona Sur precipitaron 60 mm en cuatro eventos, en la zona centro 191 mm en siete eventos y en la zona Norte 97 mm en cuatro eventos.

Teniendo en cuenta lo planteado por Montero (2008), que para lograr altos rendimientos, se necesita un suministro adecuado de agua, por lo que dentro del cálculo del régimen de riego, la cantidad de agua que se suministra es importante, nos conlleva a conocer la pluviometría de la zona para una mejor gestión del riego de cara a un uso eficiente de la misma.

Programación del riego de la papa durante la campaña 2018-19 en las áreas seleccionadas y el monitoreo del contenido de humedad en el suelo

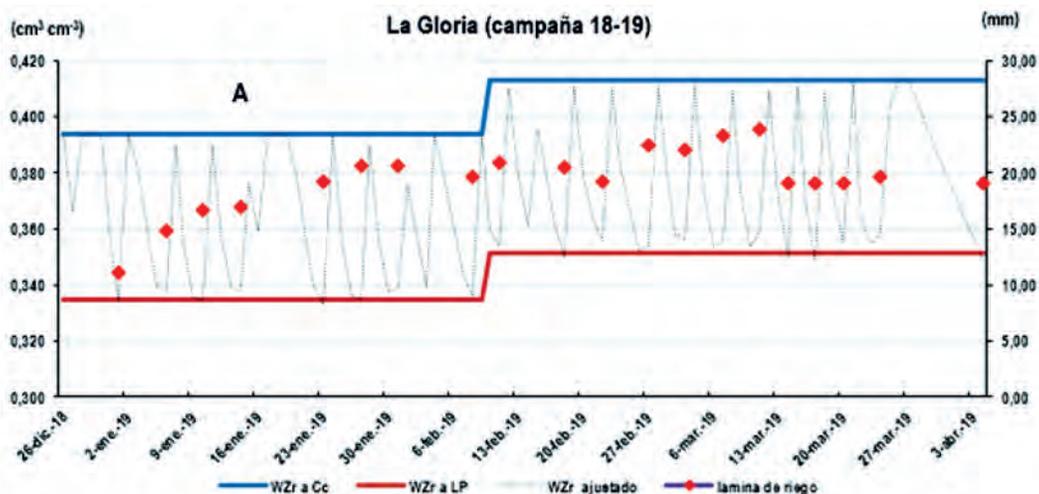
Aunque en el presente trabajo solo se muestra el comportamiento de la lámina de agua almacenada en la zona radical efectiva del cultivo considerando el riego programado para las maquinas "La Gloria" y "El Triunfo", el mismo análisis se realizó para los demás sistemas donde se pudo comprobar que el contenido de humedad en el suelo durante todo el ciclo de vida de la papa para las entidades "Ignacio Brito II" y "La Morenita I" se mantuvo entre el límite superior de agua en el suelo ($0,394 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y el límite inferior

($0,335 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), lo que corrobora que el cultivo dispuso del agua planificada para satisfacer sus necesidades hídricas en todas sus fases fenológicas.

Para estas áreas las láminas aplicadas variaron entre los 14 mm en las primeras fases y los 20 mm en el momento de máximo desarrollo y engrose del tubérculo fases en las cuales según Solís *et al.* (2014), es importante mantener niveles de humedad adecuados en el cultivo de la papa para lograr rendimientos elevados.

Similares resultados se obtuvieron en las entidades "La Gloria" y "El Triunfo" que se ubican en la zona Centro (Figura 4), donde la humedad se mantuvo entre los mismos límites fijados. Destacándose en esta zona que la pluviometría fue superior. En la Figura 4 A aparecen mesetas que están asociados con el programa que considera hasta tres días el suelo al límite superior de agua disponible, a partir de ese momento comienza el balance de humedad, siguiendo el criterio del balance hídrico simplificado según López (2002).

Para estos sistemas la lámina aplicada varió entre los 13 y 14 mm en las fases iniciales y los 20-25 mm en las fases de máxima demanda, laminas que se corresponden con las necesarias para elevar la humedad del límite inferior fijado al límite superior de agua disponible o capacidad de campo como también se conoce.



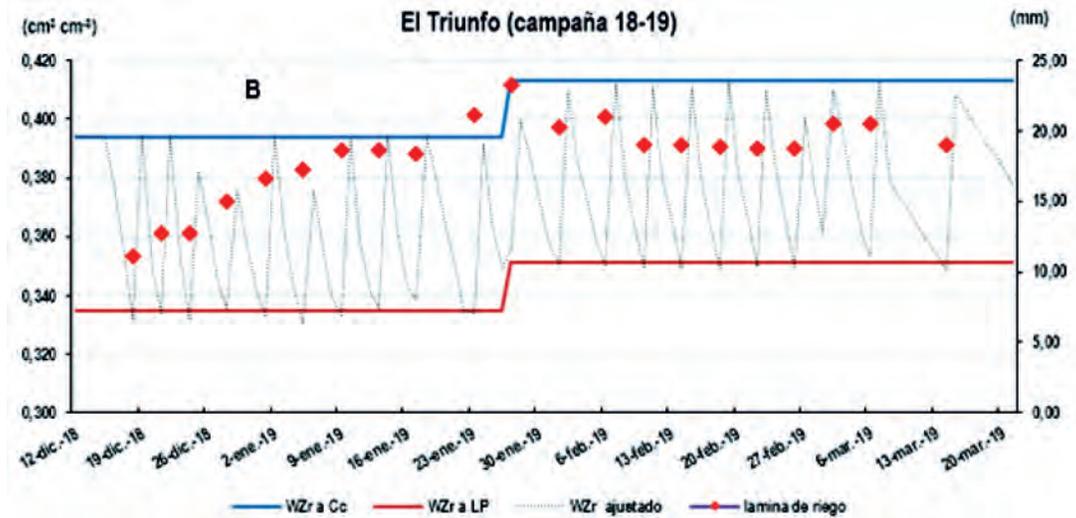


FIGURA 4. Comportamiento de la lámina de agua almacenada en la zona radical efectiva del cultivo de la papa considerando el riego programado, durante la campaña 2018-19. En la CPA “Waldo Díaz”; A) “La Gloria”; B) “El Triunfo”.

Por otra parte, la dinámica de humedad para la zona Norte donde están ubicadas las fincas “Progreso 5”, “Finca I” y “Finca 6”, el cultivo se mantuvo durante el ciclo de vida con un contenido de agua en el suelo suficiente para todas sus actividades biológicas. Lo que concuerda con Bazza (1994), que plantea que el rendimiento máximo de un cultivo se puede obtener si se suplen adecuadamente sus necesidades de agua siempre que los demás factores que afectan el rendimiento estén en sus niveles óptimos.

Durante la campaña 2018-19 la lámina de agua suministrada al cultivo permaneció en el rango de 14,5 mm para las

tres áreas en los inicios del ciclo de vida y los 23 mm en los momentos punta, es de interés destacar que las mismas fueron suficientes para elevar la humedad hasta el límite superior de agua disponible ($0,394 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Cuando analizamos las necesidades de agua acumuladas para el riego programado y el aplicado por la empresa como se muestra en la Figura 5, al final del ciclo del cultivo para suplir las necesidades de riego siguiendo el criterio de la programación se demandan $3600,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mientras que con la programación tradicional (aplicado por la empresa) son necesarios $5000,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, evidentemente existe una reducción de $1400,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a favor de la programación.

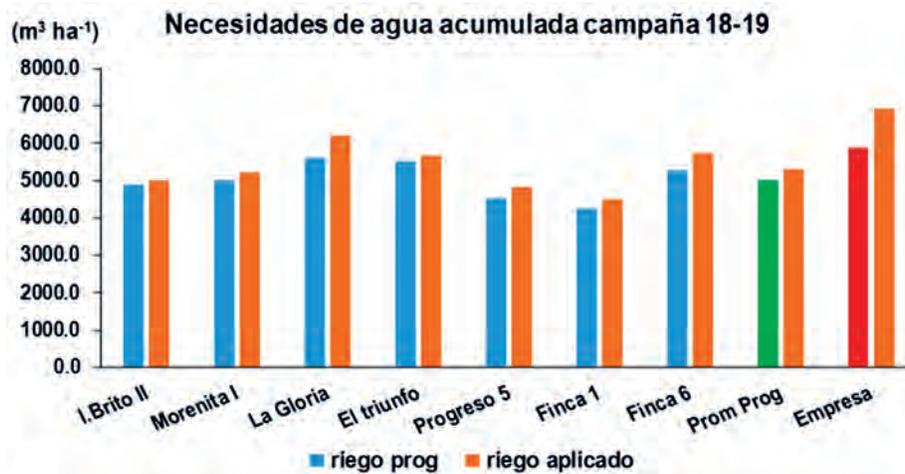


FIGURA 5. Necesidades de agua acumulada durante el ciclo de vida del cultivo programado y aplicado.

Consecuencias similares fueron notificadas por Ojeda *et al.* (2004) en un estudio sobre la generalización de la programación del riego en la papa utilizando el concepto de grados día.

Influencia de la programación del riego en los consumos de agua y el rendimiento del cultivo

En la Tabla 2 aparece el comportamiento de la programación del riego en las entidades estudiadas durante la *campaña 2018-19*, el número de riego se mantuvo en el rango de 15 a 21, también en dependencia de la zona, el intervalo de riego se comportó

entre los 3,10 y 3,89 días en función de las fechas de siembra y la evapotranspiración de referencia. En la misma se observa además como la norma neta parcial (NNP) promedio varió

entre 232,8 m³ ha⁻¹ en la zona Sur y 250,5 m³ ha⁻¹ en la zona Norte, en correspondencia los rendimientos oscilaron entre 24,7 t ha⁻¹ y 32,9 t ha⁻¹.

TABLA 2. Resultados de la programación del riego durante la campaña 2018-19

Finca	Área (ha)	No de Riego	Intervalo riego (días)	NNP (m ³ ha ⁻¹)	NNT (m ³ ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
“Ignacio Brito II”	8,00	21	3,22	232,8	4888,8	31,40
“Morenita I”	29,00	21	3,10	238,3	5004,3	24,70
“La Gloria”	13,42	20	3,70	279,5	5590,0	32,70
“El triunfo”	16,00	19	3,89	276,0	5244,0	30,70
“Progreso 5”	18,00	18	3,14	205,0	3690,0	29,60
“Finca 1”	24,00	15	3,33	202,4	3036,0	25,90
“Finca 6”	16,00	17	3,24	250,5	4258,5	32,90
Promedio		18,71	3,37	240,64	4530,23	29,70
Mín.		15	3,1	202,4	3036,0	24,7
Máx.		21	3,89	279,5	5590,0	32,9
CV		11,83	8,93	12,75	20,14	10,83
ES±		2,21	0,30	30,70	912,7	3,22
Total	124,42					
Empresa	340,00	21	4,00	280,0	5880,0	22,8

Leyenda: ES: desviación estandar, Min: mínimo, Máx: Máximo, CV: coeficiente de variación

La norma neta total (NNT) alcanzó valores de 5590,0 m³ ha⁻¹ en la zona Sur, hasta 3036,0 m³ ha⁻¹ en la zona Norte, teniendo en cuenta el balance hídrico de las zonas. Al compararlo con lo informado con el resto de las áreas sembradas por la empresa se tiene que el número de riego promedio fue de 21 con norma parcial neta de 280,0 m³ ha⁻¹, norma total neta de 5880,0 m³ ha⁻¹ y un rendimiento promedio de 22,8 t ha⁻¹. En sentido general el promedio del total de las áreas bajo pronóstico de riego con la hoja utilizada, fueron inferiores en cuanto al número e intervalo de riegos, norma neta parcial y total con respecto a la Empresa Agropecuaria, confirmando la efectividad de la misma si se desea un uso eficiente del agua y la energía. Resultado similar fue informado por Aguilar (2012), estudiando la programación del riego en la papa bajo máquinas de pivote central en

Güira de Melena donde obtuvo una disminución de cerca del 17% en el consumo del recurso agua en comparación con la programación fija.

Todas las variables presentaron coeficiente de variación inferiores al 20% lo que denota la homogeneidad entre todos los resultados obtenidos de la programación del riego en las entidades productivas estudiadas.

Análisis conjunto del riego en los sistemas estudiados y la Empresa Agropecuaria Güira de Melena

Al comparar el riego programado en los diferentes sistemas productivos con el riego tradicional (Empresa) en la Tabla 3, se puede observar que el número de riego varía considerablemente entre el riego programado y el tradicional, las normas netas promedio totales difieren en 1349,8 m³ ha⁻¹, lo que representa una disminución de cerca del 22,9% en el consumo del recurso agua.

TABLA 3. Tabla resumen de los indicadores de riego y rendimiento promedio por entidades y la empresa

Entidad	N R	IR (días)	NNP (m ³ ha ⁻¹)	NNT (m ³ ha ⁻¹)	Dif. (m ³ ha ⁻¹)	Rend. (t ha ⁻¹)	Dif. (t ha ⁻¹)
Prom. Entidades	18,7	3,37	240,64	4530,23	1349,8	29,70	6,9
Empresa	21	4,0	280,00	5880,00		22,80	

Leyenda: NR: número de riegos, IR: intervalo de riego, NNP: Norma neta promedio, NNT: Norma neta total promedio, Dif: diferencia, Rend: rendimientos, Prom: promedio.

Por otra parte, los rendimientos obtenidos en el riego tradicional son inferiores a los alcanzados con la programación del riego en 6,9 t ha⁻¹ para las entidades de estudio, lo que representa un aumento del rendimiento agrícola en un 23,2% a favor del

riego programado entre todas las entidades objeto del análisis.

Si se considera el ahorro de agua promedio obtenido por la programación del riego en el estudio 1349,8 m³ ha⁻¹ y teniendo en cuenta que la Empresa Agropecuaria Güira de Melena durante la campaña sembró 340,0 ha de papa, regada con máquinas de pivote central, se estima una posible reducción de los volúmenes de agua a usar de 458932,0

m³, que representa el 3,8% del agua total demanda por la empresa para el cultivo de la papa, la que asciende a cerca de 12 Mm³ por campañas.

En la Figura 6, se brinda las variaciones de los volúmenes de agua aplicados para cada unidad estudiada y la productividad agronómica del agua, como se observa los mismos estuvieron en el orden de los 145 124,7 m³ y los 39 110,4 m³, la productividad varió entre 4,94 y 8,53 kg m⁻³.

En los sistemas agrícolas la productividad agronómica del agua (WP, por sus siglas en inglés) varía con la demanda climática y puede aumentar, disminuir o permanecer constante en un mismo año en dependencia de que se riegue o no el cultivo; varía además por las diferentes prácticas de manejo tales como la aplicación de los fertilizantes y también con la técnica de riego que se emplee (Molden *et al.*, 2003; Bouman *et al.*, 2007; Dehghanisanij *et al.*, 2009, Kandil *et al.*, 2011).

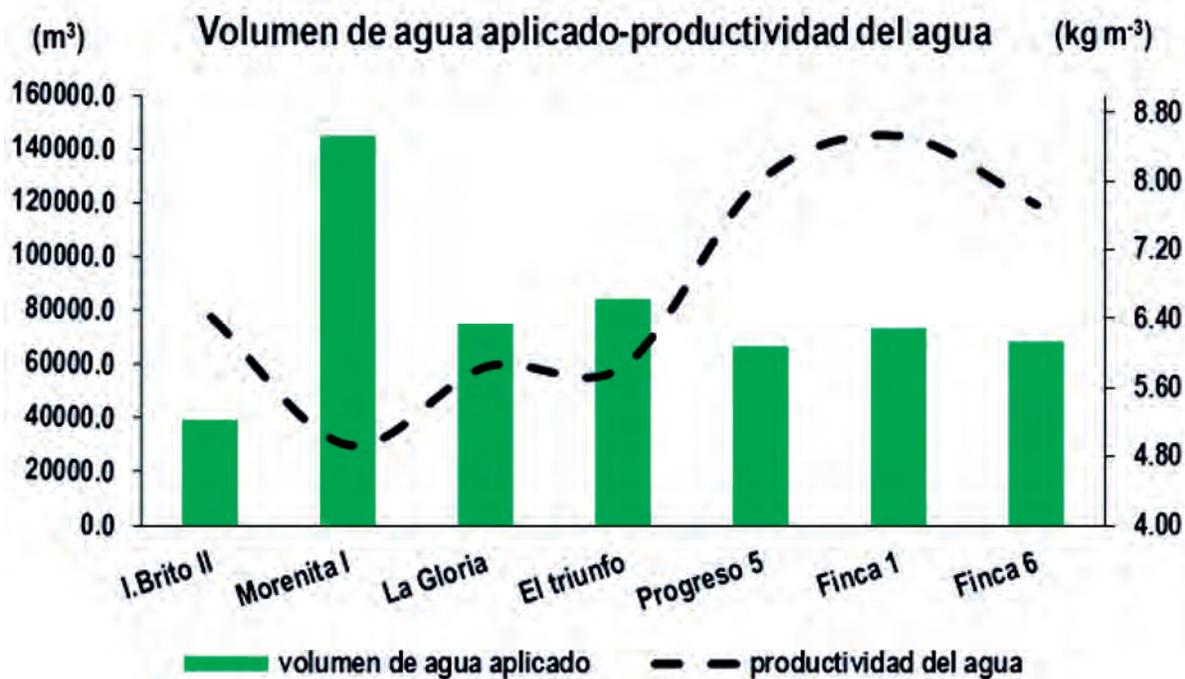


FIGURA 6. Volumen de agua aplicado y productividad agronómica del agua.

En trabajo realizado por González *et al.* (2015), informa valores de productividad del agua para el cultivo de la papa en condiciones experimentales y regada por aspersión en el rango de 5,9 a 21,9 kg m⁻³ y como media 9,75 kg m⁻³.

Roque *et al.* (2013), informaron valores de productividad para las variedades Spunta, Desirée, Baraka y Kondor que variaron entre 6,25 y 15,4 kg m⁻³, siendo la variedad Spunta la que presentó los mayores valores de productividad de agua aplicada. Mientras que los valores de productividad agronómica del agua referida a la evapotranspiración (WPET) para estas cuatro variedades estudiadas estuvieron en el rango de 5,9 - 9,3 kg m⁻³.

El volumen de agua total con la aplicación del pronóstico es de 550 576,9 m³, al compararlo con el volumen total de agua consumido por la empresa durante la campaña el cual ascendió a 1 999 200,0 m³, representa un 27,5% inferior, lo que indica que cuando se planifica el riego teniendo en cuenta las variables climáticas se logra una mejor gestión del recurso agua. La productividad agronómica del agua fue de 7,73 kg m⁻³ con pronóstico y 3,88 kg m⁻³ sin pronóstico.

CONCLUSIONES

- La programación del riego con la herramienta “Pronóstico de riego”, en las entidades productivas evaluadas mostró ser efectiva al reducir los volúmenes de agua consumidos en un 23% y contribuir en el incremento el rendimiento agrícola en 23,2% con respecto a los sistemas de riego donde se asume el criterio de intervalos y normas fijas.
- Al comparar las necesidades de agua y el riego aplicado según la programación pronosticada para las áreas de estudio con la programación fija, mostró que en algunos períodos se aplican cantidades de agua superiores a las

necesidades del cultivo, incidiendo directamente en las normas netas totales, las que resultan superiores para el riego tradicional.

- La cuantificación de las necesidades hídricas de la papa en las diferentes formas productivas a través de la herramienta “Pronóstico de riego” contribuye a reducir los volúmenes de agua demandados por la Empresa Agropecuaria Güira de Melena en un 3,8%.
- Cuando se planifica el riego teniendo en cuenta la demanda evaporativa de la atmósfera se logra una mejor gestión del recurso agua lo que incide en la productividad agronómica del agua al lograrse 7,73 kg m⁻³ con pronóstico y 3,88 kg m⁻³ sin pronóstico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, S.E.: Precisión en la programación de riego para el cultivo de la papa, regada con máquinas de pivote central en la finca Girón de Güira de Melena, 56pp, Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Especialista en Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 68 p., 2012.
- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M.: “Evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Food and Agricultural Organization (FAO)”, Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998.
- BASAL: Informe anual del proyecto Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local, Inst. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Informe anual, La Habana, Cuba, 84 p., 2016.
- BAZZA, M.: “Identification of wheat varieties suitable for arid and semi-arid conditions and of the characters for selection and breeding in regard to water-use efficiency. The use of isotopes in increasing and stabilizing plant productivity in low phosphate and semi-arid and sub-humid soils of the tropics and sub-tropics”, IAEA Report. Irrig. Science, 5(4): 223-234, 1994.
- CASTELLANOS, L.: Nocividad, epidemiología y manejo del tizón temprano (*Alternaria solani* Sor.) en el cultivo de la papa, Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, PhD. Thesis, Cienfuegos, Cuba, 43 p., 2000.
- CID, L.G.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; RUÍZ, M.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, Revista Ingeniería Agrícola, 2(2): 26-33, 2012, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- CISNEROS, E.; GONZÁLEZ, P.; SOLANO, O.; PLACERES, Z.; LAMBERT, M.: “El servicio de asesoramiento al regante una alternativa para mitigar los efectos negativos de la sequía”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 16(1): 37-40, 2007, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ, P.A.: “Avances de riego en el cultivo de papas en Cuba: las maquinas del pivote central”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 12(4): 39-43, 2003, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; CID, L.G.; DIOS, P.R.; RUEDA, H.M.; ANTÓN, S.W.; SOZA, R.A.: “Uso de las Funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba”, Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, 1(1): 96-114, 2015, ISSN: 2410-7980, DOI: <http://dx.doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2144>.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, O.: Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba., no. 23, ser. Serie Suelos, Inst. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba, 1-25 p., 1975.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA: Reportes climáticos de la estación 320 en Güira de Melena, Inst. CITMA-Instituto de Meteorología, Reporte climático, Güira de Melena, Artemisa, Cuba, 2018.
- INSTITUTO DE SUELOS: Clasificación genética de los suelos de Cuba, Ed. Editorial Academia, La Habana, Cuba, 28 p., 1979.
- JIMÉNEZ, E.E.R.; DOMÍNGUEZ, G.M.; PÉREZ, H.R.; MONTERO, S.L.; CUN, G.R.: “Estudio de la uniformidad de riego, en una máquina de pivote central”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 19(1): 73-78, 2013, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- LÓPEZ, S.T.: Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los balances hídricos, Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), PhD. Thesis, La Habana, Cuba, 105 p., 2002.
- LÓPEZ, S.T.; RUIZ, M.; CID, L.G.; GONZÁLEZ, F.: “Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de la Habana: Contribución metodológica en la determinación de los balances hídricos”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (Cuba), 12(2): 49-53, 2003, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MCCARTHY, A.C.; HANCOCK, N.; RAINE, H.: “Advanced process control of irrigation: the current state and an analysis to aid future development”, Irrigation Science, 1-10, 2013, ISSN: 0342-7188.
- MINAG-IIRD: Instructivo técnico del riego de la papa en Cuba, Inst. Instituto de Inv. de Riego y Drenaje, Instructivo técnico, La Habana, Cuba, 2001.
- MOLDEN, D.; MURRAY, R.H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN, I.: A water productivity framework for understanding and action, Ed. IWMI and CABI Publishing, In: J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden (eds.) Water Productivity in Agriculture: ed., vol. Limits and Opportunities for Improvement., Wallingford, UK, 1–18 p., 2003, ISBN: 0-85199-669-8.
- MONTERO, L.S.J.: Producción de pimiento (*Capsicum annum* L) con el uso de biofertilizantes micorrízicos y diferentes niveles de humedad en el sustrato, Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), MSc. Thesis, La Habana, Cuba, 67 p., 2008.
- NC ISO 11545: Máquinas agrícolas para riego—pivotes centrales y Máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores—determinación de la uniformidad de distribución del agua, Inst. Oficina Nacional de Normalización, Norma Cubana NC, La Habana, Cuba, vig de 2005.
- OJEDA, B.W.; SIFUENTES, I.E.; SLACK, D.C.; CARRILLO, M.: “Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree day’s concept: application to a potato crop”, Irrigation and Drainage, 53: 251-261, 2004, DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.134>.
- PLACERES, M.Z.; JIMÉNEZ, E.E.; DOMÍNGUEZ, D.; GUZMÁN, J.; SÁNCHEZ, Y.: “Determinación de los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central, en las provincias Artemisa y Mayabeque, para satisfacer las dosis necesarias de los cultivos”, Revista Ingeniería Agrícola, 3(1): 3-7, 2013, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- REY, R.; HERRERA, J.; ROQUE, R.; LAMELA, C.: “El pronóstico del riego en Cuba”, Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Riego y Drenaje, ser. Serie Riego y Drenaje, 5(1): 47-60, 1982, ISSN: 0138-8487.
- ROQUE, R.R.: Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) al riego en suelos Ferralíticos Rojos del occidente de Cuba, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), PhD. Thesis, La Habana, Cuba, 100 p., 1995.
- ROQUE, R.R.; GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.: “Eficiencia en el uso del agua de riego en el cultivo de la papa (*solanum tuberosum* L.) en el occidente de Cuba”, Revista Ingeniería Agrícola, 3(3): 3-7, 2013, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.

Matos *et al.*: Contribución a la protección del recurso agua en el municipio Güira de Melena

SERVÍN, P.M.; SÁNCHEZ, G.R.; RAMÍREZ, V.O.; GALINDO, R.M.; GUTIÉRREZ, B.H.: “Modelos para programación y optimización de agua de riego en avena forrajera”, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 9(95): 1-18, 2018, ISSN: 2007-0934.

SERVÍN, P.M.; TIJERINA, C.L.; MEDINA, G.G.; PALACIOS, V.O.; FLORES, M.H.: “Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real”, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(2): 423-430, 2017, ISSN: 2007-0934.

SOLÍS, C.S.; VANEGAS, C.L.; MÉNDEZ, U.J.; CADENAS, V.W.; CASTRO, B.M.; PAVÓN, W.; ALEMÁN, S.B.: “omportamiento de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en zonas de poca altitud de clima cálido en Nicaragua”, Revista Latinoamericana de la Papa, 18(1): 156-172, 2014.

TREZZA, R.; PACHECO, Y.; SUÁREZ, Y.; NÚÑEZ, A.; UMBRIA, I.: “Programación del riego en caña de azúcar en una zona árida del estado de LARA, Venezuela, utilizando la metodología FAO-56”, Revista Bioagro, 20(1): 21-27, 2008, ISSN: 1316-3361.

Homero Matos Cremé, Especialista, Dirección Riego y Mecanización, Provincia Artemisa, Cuba, e-mail: dptoriego1@iagric.cu

Enrique Cisneros Zayas, Inv. Titular Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: dptoriego1@iagric.cu

Julián Herrera Puebla, Inv. Titular Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Felicita González Robaina, Inv. Titular Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: dptoambiente4@iagric.cu

Carmen Duarte Díaz, Inv. Titular Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: jdptoriego@iagric.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

**...sistemas integrales de ingeniería agrícola,
nuestra contribución a la seguridad alimentaria...**



**desarrollamos
y comercializamos**

- **Elementos para Sistemas de Riego.**
- **Implementos y Equipos de Mecanización Agropecuaria.**
- **Asistencia Técnica especializada para la instalación, y explotación de tecnologías agrícolas.**
- **Servicios de ingeniería para el diseño de sistemas de riego y drenaje y equipos y máquinas agrícolas.**
- **Servicios de pruebas y validación de tecnologías agrícolas.**
- **Servicios de capacitación y entrenamiento especializados en los campos de la ingeniería agrícola.**

INFORMACIÓN: Unidad de Producciones Tecnológicas y Comercial
Avenida Camilo Cienfuegos y Calle 27 Arroyo Naranja
E-mail: agricomercial@minag.cu Teléfonos(537) 691 2533 / 691 2665