



RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

<https://eqrcode.co/a/5MsKOR>

Influencia de la programación del riego en los consumos energéticos

Influence of Irrigation Scheduling on Energy Consumption

Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas*, Dr.C. Felicita González-Robaina¹, Dr.C. Julián Herrera-Puebla¹,
Dr.C. Carmen Duarte-Díaz¹, MSc. Homero Matos-Cremé¹¹

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

¹¹ Dirección Riego y Mecanización, Artemisa, Provincia Artemisa, Cuba.

RESUMEN. En ocasiones los productores no conceden la importancia que merece el control del consumo energético en la actividad del riego, aun teniendo en cuenta la situación actual que demanda un uso eficiente de la energía. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo mostrar la importancia de la programación del riego en los consumos de agua, energía y los rendimientos. El estudio se realizó en la Empresa Agropecuaria Güira de Melena donde fueron evaluadas diferentes fincas que sembraron papa en máquinas de pivote central eléctricas durante la campaña 2018-19. El riego se ejecutó utilizando la herramienta “*Pronóstico de riego*” diseñada para esos fines y se evaluó la influencia de la programación del riego en los consumos energético siguiendo el protocolo de Auditorías Energéticas publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Los resultados mostraron que la programación del riego a través de la herramienta en las entidades evaluadas fue efectiva al reducir los volúmenes de agua consumidos en un 23% y la energía en 8,8%, se encontró una relación lineal entre los consumos energéticos y las producciones pero con un coeficiente de determinación bajo de 0,57. Las auditorías energética en el regadío permitieron conocer que en las entidades estudiadas, una se clasifica como grande consumidora, cuatro en el rango de consumidora y dos entre media consumidora y consumidora, elemento a tener en cuenta en próximas campañas, considerando que en la finca “La Morenita I” para producir un kilogramo de papa consume 24,44 kW.

Palabras claves: *gestión del riego, pivote central, eficiencia energética, rendimiento.*

ABSTRACT. Sometimes the farmers do not give the importance that deserves the control of the energy consumption in the irrigation activity, even taking into account the current situation that demands an efficient use of energy. That is why this work aims to show the importance of irrigation scheduling on water consumption, energy and yields. The study was carried out at the Güira de Melena Agricultural Enterprise where different farms that planted potatoes in electric central pivot machines where were evaluated during the 2018-19 campaign. Irrigation was carried out using the “*Irrigation schedule*” computing program designed for these purposes, being evaluated the influence of irrigation programming on energy consumption following the Energy Audit protocol published by Diversification and Energy Saving Institute. The results showed that the programming of irrigation through the tool in the entities evaluated was effective by reducing the volumes of water consumed by 23 % and energy in 8,8 %; a linear relationship was found between consumption energy and productions but with a low determination coefficient of 0,57. The energy audits in the irrigation allowed to know that in the entities studied, one is classified as a big consumer, four in the range of Consumer and two between consumer and mean consumer, an element to consider in future campaigns, knowing that in the “Morenita I” farm 24,44 kW are used to produce one kilogram of potatoes..

Keywords: *Irrigation management, center pivot, energy efficient, yield.*

INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XXI, la tecnificación de los regadíos ha aumentado notablemente, implicando importantes cambios en los balances económicos de las comunidades de re-

gantes. Esto es debido, según Martínez *et al.* (2015), a la masiva transformación de los sistemas de riego, que pasan de ser riego por superficie, que no suele necesitar aporte de energía, a riego

*Autor para correspondencia: Enrique Cisneros-Zayas, e-mail: dptoriego1@iagric.cu

Recibido: 14/02/2020.

Aprobado: 25/09/2020.

a presión (aspersión y goteo) que demandan mayor presión para la conducción del agua y por ello requieren la instalación de estaciones de bombeo que funcionan con energía, en la mayoría de los casos energía eléctrica.

El coste energético se ha convertido en una de las principales preocupaciones de las comunidades de regantes Playán (2014), las que se ven obligadas a tomar medidas de ahorro y eficiencia energética con el fin de reducir su facturación eléctrica y en especial en respuesta a las exigencias de las normativas vigentes.

El consumo de energía eléctrica en sistemas de riego está concentrado en la instalación de bombeo, cuyo buen desempeño refiere en las características hidráulicas y energéticas del riego. No existe un sistema de riego ideal en relación a la utilización de energía. Los mayores valores de consumo de energía están asociados, en orden decreciente de consumo, a los siguientes: autopropulsión, pivote central, aspersión, localizado y superficial (Romero, 2015).

Conocer los factores que ocasionan un mayor consumo energético en el regadío para Camacho *et al.* (2010) es muy importante, si se quiere establecer estrategias de ahorro energético en el riego.

En Cuba datos oficiales indican que el riego es el segundo gran consumidor de portadores energéticos dentro del Ministerio de la Agricultura de Cuba (Minag), con 18-20 por ciento, detrás del transporte, el cual acapara 25 por ciento (Inter Press Service, 2011).

Según el Boletín 5: Balance de uso y tenencia de la tierra, disponible en Minag (2017), el área total bajo riego en el sistema productivo del Minag (2017) es de 459 008 ha, distribuido por técnicas como sigue: el 73,21% corresponden al riego superficial, el 14,21% a riego por aspersión (5,33% de pivotes eléctricos y 0,44% enrolladores), el 6,03% al riego localizado y 0,73% a otras técnicas. Como puede observarse de la información anterior alrededor del 66% del área regada en Cuba, país con escasos recursos energéti-

cos, requiere de energía para su aplicación, lo que indudablemente demanda que esta sea utilizada con la mayor eficiencia posible.

Una de las vías para lograr un adecuado uso del agua y la energía es a través de la programación del riego. 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 Allen *et al.* (1998) y Trezza *et al.* (2008).

Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo mostrar la importancia de la programación del riego en los consumos de agua, energía y los rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en 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.

Para el trabajo fueron seleccionadas diferentes formas productivas, Unida Básica de Producción Cooperativa (UBPC) y Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) dentro de la Empresa Agropecuaria, ocupadas con el cultivo de papa durante la campaña 2018-2019, irrigadas con máquinas de pivote central eléctrica con fechas de siembra muy similares. Dicha empresa plantó un total de 340 hectáreas del referido cultivo, de ellas 124,4 ha fueron irrigadas teniendo en cuenta el balance de humedad del suelo (pronóstico de riego) que representó aproximadamente el 37% del área sembrada.



FIGURA 1. Ubicación geográfica del municipio Güira de Melena en la provincia Artemisa.

El suelo predominante en las zonas de estudios, según el mapa de suelos de la Empresa, realizado acorde con la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba Instituto de Suelos (1980), es del tipo Ferralítico Rojo compactado que se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado hidratado según (Cid *et al.*, 2012a) Hernández *et al.* (2003, citado por Cid *et al.*, 2012).

Para garantizar el buen funcionamiento de todos los sistemas de riego 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 ajustó según la norma NC ISO 11545 (2005), que define trabajar la máquina a la velocidad máxima (100%).

La programación del riego se realizó mediante la herramienta de cálculo en formato Excel “*Hoja Pronóstico de Riego*” definida por Cisneros *et al.* (2007). Dicha herramienta ha sido utilizada y validada por autores como Tamayo (2011); Aguilar (2012); Maza (2019) y recientemente por Matos *et al.* (2020).

Esta herramienta de cálculo tiene como base un algoritmo de balance hídrico de la humedad del suelo simplificado según la expresión 1, definidas por (López, 2002):

$$A_{Zr_2} = A_{Zr_1} + R + P_{efect} - ET_c \quad (1)$$

donde:

A_{Zr_1} y A_{Zr_2} : láminas de agua en mm almacenadas en la zona radical efectiva del cultivo, Z_r , 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 (C_c). 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.* (2006) con la expresión 2:

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

Para estos cálculos se utilizaron los datos de evapotranspiración de referencia (ET_0) 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 del límite superior de agua disponible en el suelo y el límite inferior de agua disponible dados por Cid *et al.* (2012), según la expresión:

$$ADS = (C_c - PMP) \cdot Z_r \quad (3)$$

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

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

La programación del riego con el empleo de la herramienta fue comparado con el aplicado por la Empresa Agropecuaria Güira de Melena durante la campaña 2018-2019 donde el número de riego estuvo entre 20 y 21, las normas parciales netas oscilaron entre 245,0 y 320,0 $m^3 \cdot ha^{-1}$, como promedio 280,0 $m^3 \cdot ha^{-1}$, intervalo de riego cada cuatro días, con un rendimiento promedio de 22,8 $t \cdot ha^{-1}$ según Sánchez (2019), jefe de riego en la Empresa Agropecuaria Güira de Melena, (comunicación personal e informe de riego en final de campaña).

Para el estudio de la eficiencia energética se utilizó el protocolo de Auditorías Energéticas publicado por el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) Abadia *et al.* (2008), donde se contemplan una serie de indicadores de uso de la energía utilizados para evaluar energéticamente comunidades de regantes, donde se propone una calificación en función de la Eficiencia Energética General (EEG) y de la energía activa consumida por hectárea (E_{aa}).

La EEG se obtiene como el producto de la Eficiencia Energética de los Bombeos (EEB) y la Eficiencia de Suministro Energético (ESE). La EEB representa el rendimiento conjunto del grupo de bombeo, mientras que la ESE representa la relación entre la energía demandada por el sistema de riego y la energía suministrada. La calificación dada en el Protocolo de Auditorías Energéticas establece 5 grupos en función del valor de EEG, como se puede ver en la Tabla 1.

TABLA 1. Calificación energética de una Comunidad de Regantes

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
A	EFICIENCIA EXCELENTE	$EEG \geq 50\%$
B	EFICIENCIA BUENA	$40\% \leq EEG < 50\%$
C	EFICIENCIA NORMAL	$30\% \leq EEG < 40\%$
D	EFICIENCIA ACEPTABLE	$25\% \leq EEG < 30\%$
E	EFICIENCIA NO ACEPTABLE	$EEG < 25\%$

En cuanto al consumo de energía activa por unidad de superficie regada (E_{aa}), se establecen igualmente 5 grupos según se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. Calificación en función del consumo de energía activa por hectárea regada

GRUPO	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
1	NO CONSUMIDORA	Eaa = 0
2	POCO CONSUMIDORA	0 < Eaa ≤ 300
3	MEDIA CONSUMIDORA	300 < Eaa ≤ 600
4	CONSUMIDORA	600 < Eaa ≤ 1000
5	GRAN CONSUMIDORA	Eaa > 1000

Eaa: Energía activa consumida por hectárea regada (kWh·ha⁻¹ año⁻¹)

Además de estos indicadores, entre los propuestos en el Protocolo, hay dos que dan una información muy concreta sobre cómo se gestiona la energía en la Comunidad de Regantes, como son la energía activa consumida por unidad de volumen (Eav), también llamado consumo energético específico medido en kWh·m⁻³, y el coste energético por unidad de volumen (Cev), llamado también coste energético específico medido en \$·m⁻³. El primero de ellos da una idea del consumo energético que supone cada m³ de agua que se consume en la comunidad de regantes y sirve para poder analizar la evolución anual del consumo que tienen las comunidades de regantes, así como para comparar entre sí comunidades de regantes con características similares. Por otro lado, el segundo indicador da una idea de la eficiencia económica de la gestión de la tarifa eléctrica y sirve para comparar entre sí comunidades de regantes con consumos energéticos específicos similares. Estos dos indicadores están desagregados de la dotación de agua que tenga la comunidad de regantes y su mayor o menor valor es indicativo de un mayor o menor consumo y coste energético.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En la Tabla 3 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, el intervalo de riego (IR) varió entre los 3,10 y 3,89 días en función de las fechas de siembra y la demanda evaporativa de la atmósfera, en la misma se observa además como la norma neta parcial (NNP) promedio estuvo en el rango de 232,8 m³·ha⁻¹ y 250,5 m³·ha⁻¹, y en correspondencia los rendimientos oscilaron entre 24,7 t·ha⁻¹ y 32,9 t·ha⁻¹.

Al tener en cuenta los balances hídricos de las fincas, la norma neta total (NNT) alcanzó valores entre 3036 m³·ha⁻¹ y 5590,0 m³·ha⁻¹. Resultados similares fueron obtenidos por Aguilar (2012) y Maza (2019), gestionando el riego en función de las necesidades hídricas del cultivo en la misma zona de estudio.

El rendimiento promedio en la empresa agropecuaria fue de 22,8 t·ha⁻¹ mientras que para las fincas estudiadas fue 29,7 t·ha⁻¹ resultando superior en un 30%. En sentido general el número e intervalo de riegos, norma neta parcial y total para el promedio del total de las áreas bajo pronóstico de riego con respecto al promedio del resto de las áreas de la empresa agropecuaria, confirmando con esto la efectividad de este procedimiento de manejo del riego para lograr un uso eficiente del agua y la energía.

TABLA 3. Resultados de la programación del riego durante la campaña 2018-19

Finca	Área (ha)	No de riego	IR (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	4502,43	29,70
Total	124,42					
ES±		2,21	0,30	30,70	912,7	3,22
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
Empresa	340,00	21	4,00	280,0	5880,0	22,8

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

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.

Repercusión de la gestión del riego en los consumos energéticos

En términos energéticos, del 23 al 48% de la energía usada directamente para la producción agrícola es para el bombeo de

agua en las fincas (Singh *et al.*, 2002).

En la Figura 2 se muestra como se comportó esta relación en los sistemas evaluados, donde el consumo energético total varió entre 863,73 y 1287,7 kW, en cuanto al consumo promedio entre todas las fincas el mismo fue de 1105,69 kW mientras que en la empresa alcanzó el valor de 1212,96 kW; observándose que el mayor consumidor es la finca “Morenita I”.

El kilogramo de producto producido por kiloWatt consumido estuvo en el rango de 18,80 kg·kW⁻¹ (empresa) y 27,48 kg·kW⁻¹ promedio de todas las fincas.

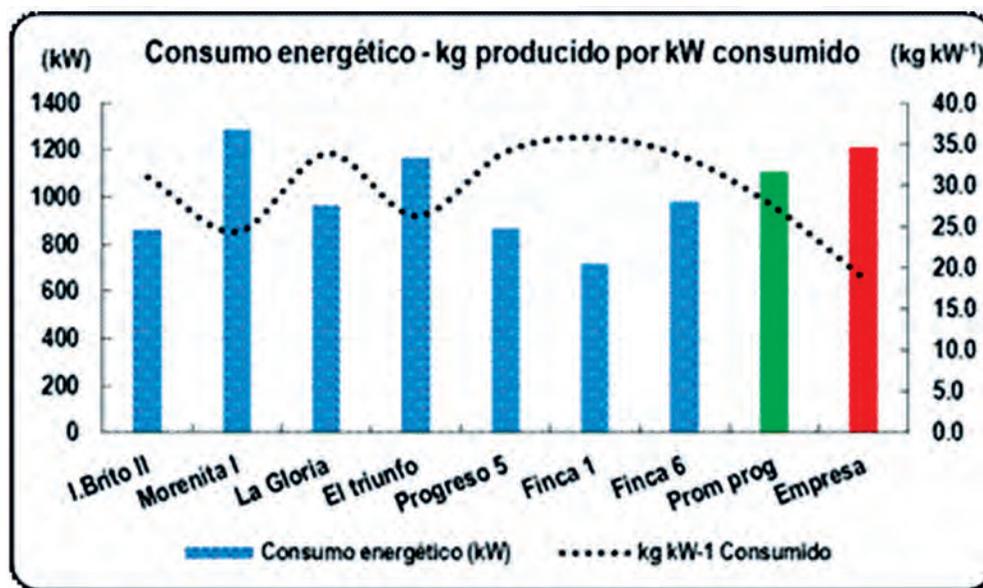


FIGURA 2. Consumo energético y kilogramo de producto obtenido por kiloWatt consumido.

Según el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2008) a la hora de proponer medidas de ahorro y eficiencia energética hay que prestar especial atención a los puntos críticos de consumo energético de las comunidades de regantes.

En la Tabla 4 aparecen las características generales de los sistemas estudiados donde se destaca que el hidromódulo más elevado es de 2,26 L·s⁻¹·ha⁻¹ en la finca “Morenita I”, donde además presenta la mayor superficie de área regada y el mayor volumen de agua facturado.

TABLA 4. Características generales de los sistemas estudiados

Entidades	Hidromódulo (L s ⁻¹ ha ⁻¹)	Superficie Regada (ha)	Volumen Agua facturado (m ³)	IDE* (%)	Número bombes	Nivel Dinám. (m)	Sectores hidráulicos	Tipo suministro
I. Brito I	1,33	8,00	39110,4	100	1	4,0	1	MPC
Morenita I	2,26	29,00	145124,7	100	1	3,6	1	MPC
La Gloria	1,33	13,42	75017,8	100	1	15,9	1	MPC
El Triunfo	1,07	16,00	83904,0	100	1	16,0	1	MPC
Progreso 5	1,43	18,00	66420,0	100	1	33,8	1	MPC
Finca I	1,43	24,00	72864,0	100	1	34,7	1	MPC
Finca 6	1,44	16,00	68136,0	100	1	33,5	1	MPC

*IDE representa la relación entre volumen de agua bombeado y volumen total de agua suministrado. MPC máquina de pivote central eléctrica. Dinám: dinámico.

En la Tabla 5 se muestra el valor de los indicadores analizados. Eficiencia Energética General (EEG) y Energía consumida por unidad de área regada (Eaa) no son totalmente consistentes según Moreno *et al.* (2009) y su utilización para analizar la evolución en sucesivas campañas del consumo energético en entidades productivas, así como para comparar entre sí comunidades de regantes distintas, puede inducir a errores de interpretación.

En cuanto a la EEG, según el criterio de la tabla 1, la entidad “Morenita I” se clasifica como eficiencia no aceptable, las entidades “Ignacio Brito II”; “La Gloria”; “El Triunfo” y “Finca 6” se encuentran con eficiencia aceptable y por ultimo las entidades “Progreso 5” y “Finca I” como de eficiencia normal.

TABLA 5. Valor de los indicadores analizados

Entidades	Eaa (kWh·ha ⁻¹)	Eav (kWh·m ⁻³)	Cea (\$·ha ⁻¹)	Cev (\$·m ⁻³)	ICE (m)	EEB (%)	ESE (%)	EEG (%)
Ignacio Brito I	1010,73	0,026	36,64	0,0075	4	68,79	39,40	27,10
Morenita I	1287,72	0,007	10,11	0,0020	3,6	50,23	49,17	24,70
La Gloria	963,20	0,013	20,81	0,0037	15,90	60,78	49,36	30,00
El Triunfo	1010,73	0,014	21,12	0,0040	16,0	40,36	70,86	28,60
Progreso 5	866,34	0,013	13,96	0,0038	33,8	68,45	56,83	38,90
Finca I	721,95	0,010	8,72	0,0029	34,7	47,16	83,23	39,25
Finca 6	981,92	0,014	17,80	0,0042	33,5	52,69	51,81	27,30

Leyenda: Eaa: Energía consumida por unidad de área regada; Eav: Energía específica; Cea: Coste energético por área regada; Cev: Coste energético por m³ suministrado a los regantes; ICE: Índice de carga energética; EEB: Eficiencia Energética de los bombeos; ESE: Eficiencia de Suministro Energético; EEG: Eficiencia Energética General.

Moreno *et al.* (2009), plantean que otro indicador utilizado en las calificaciones es la energía consumida por unidad de área regada (Eaa) y su valor está ligado al consumo de agua en la zona regable, pudiendo adoptar valores muy altos o muy bajos, como consecuencia de un exceso o defecto de dotación de agua de riego.

Esto hace que, en una misma entidad, si un año determinado la energía consumida por hectárea es muy alta respecto a otro año, puede ser debido a que se ha consumido mucha más agua, y no a que el consumo de energía haya sido más o menos

eficiente. Por tanto, este indicador sólo se puede utilizar como una medida en términos absolutos del consumo de energía realizado en una determinada campaña. De forma que, en las siete entidades estudiadas, la mayoría estarían calificadas como Consumidoras. En la Figura 3 se muestran los valores de energía activa consumida por hectárea (Eaa) en la campaña de papa frente a los umbrales de consumo fijados en la Tabla 2. En ella se observa que hay una que califica como grande consumidora, cuatro en el rango de consumidora y dos entre media consumidora y consumidora.

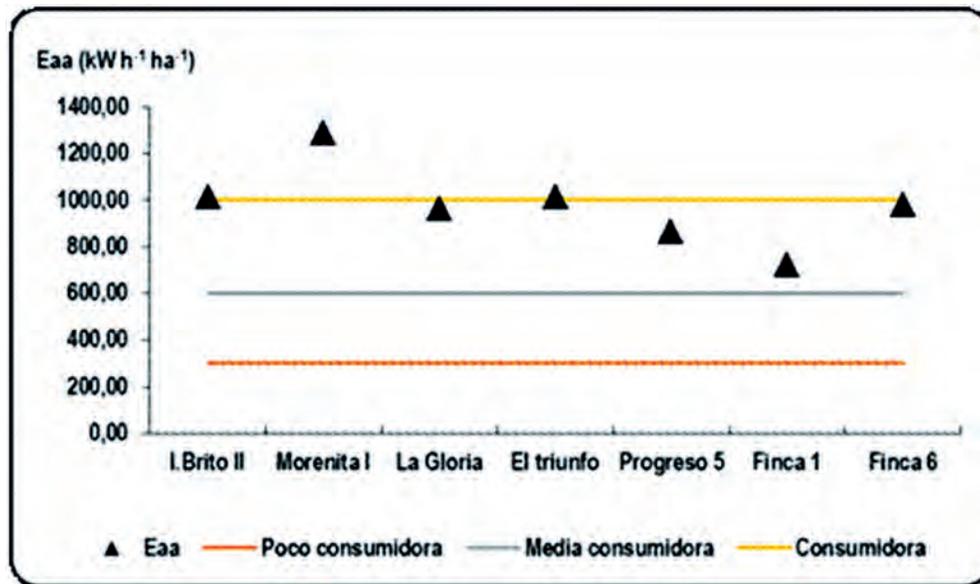


FIGURA 3. Energía activa consumida por hectárea en las entidades estudiadas.

Del estudio se pudo conocer la importancia que tienen los análisis energéticos en la actividad del riego con el fin de minimizar los costos de producción, además como se aprecia en las Tablas 4 y 5, el hidromódulo tiene un gran peso dentro del mismo, donde se tiene que de las entidades evaluadas la de mayor energía activa consumida es “Morenita I” que presenta el hidromódulo más elevado con 2,26 L·s⁻¹·ha⁻¹, elemento a tener

en cuenta en la relación bomba-motor-área y no sobredimensionar los equipos de bombeo innecesariamente. Resultados obtenidos por González y Cisneros (2003), al hacer un estudio de la selección de equipos de bombeo en la Empresa de Cultivos Varios de Batabanó concluyeron que determinar el hidromódulo adecuado tiene un peso muy significativo en los costos, pues determina la potencia requerida en motores y transformadores.

Según Pérez *et al.* (2009), dadas las bajas tarifas para el cobro de la energía eléctrica, según la legislación vigente en Cuba, resulta desproporcionado el peso que tienen estos costos dentro de los costos de operación anuales. Esto provoca que, a diferencia del peso que tiene el consumo de energía dentro de los costos variables del riego (45 al 70%), en Cuba estos indicadores sean poco valorados por los productores dentro de los costos variables.

Un incremento en el uso del riego a los cultivos, según Hernández (2010), requiere de una mayor explotación de los recursos hídricos y de los recursos energéticos para lograr así mayores producciones con rendimientos altos y estables.

Varios autores han encontrado una relación directa entre el consumo energético y las producciones, en la figura 4, aparece la relación obtenida en este trabajo para las condiciones de la campaña estudiada en el municipio Güira de Melena; como puede observarse, existe una tendencia entre el aumento del consumo energético y los rendimientos, sin

embargo la ecuación obtenida, solo explica que este fenómeno en un 57%, quedando el 43% restante dependiente de otros factores, no relacionados con el riego, que determinan el rendimiento de la papa. No obstante, la función obtenida brinda elementos sobre el consumo energético necesario para lograr un rendimiento esperado con cierto grado de incertidumbre. Las máquinas de pivote central eléctrica tienen un peso importante dentro de las producciones agrícolas del país, pero producto a la electrificación y modernización de esta técnica de riego se ha incrementado el consumo energético como consecuencia de la modernización (López, 2010).

En un diagrama de dispersión y correlación entre energía y rendimiento realizado por López *et al.* (2012), obtuvieron una ecuación lineal con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,86$ y encontraron un elevado consumo de energía $5628,9 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$, no asociado directamente a nivel de producción sino más bien, al trabajo en vacío y pérdidas de agua en las torres, uniones, juntas y aspersores.

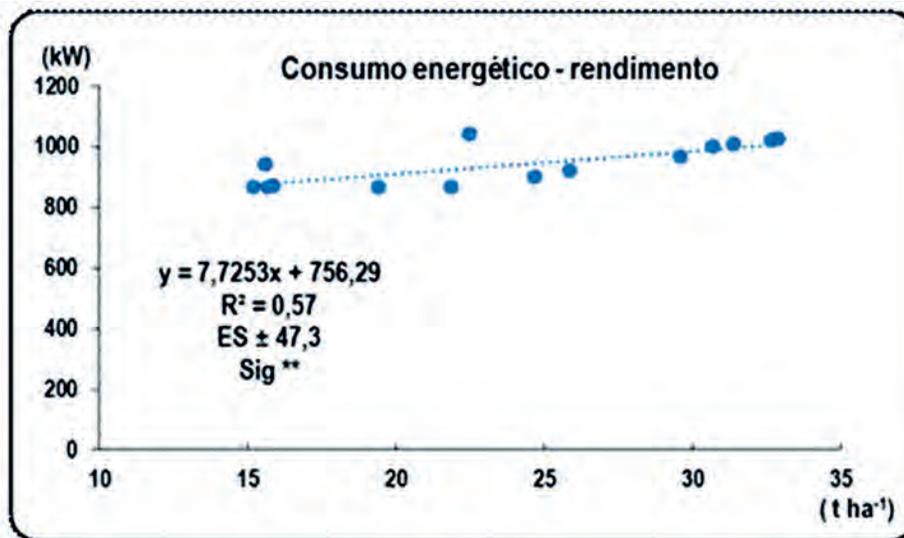


FIGURA 4. Función consumo energético – rendimientos.

CONCLUSIONES

- Cuando se programa el riego en función de la demanda evaporativa de la atmósfera y la humedad del suelo, se reducen los volúmenes de agua consumido en un 23% y la energía en 8,8%.
- Existe una relación lineal entre los consumos energéticos y las producciones, pero con un coeficiente de determinación bajo de 0,57 lo que significa que no siempre los altos con-

sumos de energía están asociados a elevadas producciones, sino, a ineficiencias en la gestión general del cultivo.

- La realización de auditorías energética en el regadío permitió conocer que, en las entidades estudiadas, una se clasifica como gran consumidora y cuatro en el rango de consumidora, elemento a tener en cuenta en próximas campañas, considerando que en la finca “La Morenita I” clasificada como gran consumidora donde para producir un kilogramo de papa consume 24,44 kW.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABADIA, R.; ROCAMORA, C.; RUIZ, A.; PUERTO, H.: “Energy efficiency in irrigation distribution networks I: Theory”, *Biosystems Engineering*, 101: 21-27, 2008, ISSN: 1537-5110, e-ISSN: 1537-5129.
- AGUILAR, S.E.: *Precisión en la programación de riego para el cultivo de la papa, regado con máquinas de pivote central en la finca Girón de Güira de Melena*, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Tesis presentada en opción al título de Especialista en Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 68 p., 2012.

Cisneros *et al.*: Influencia de la programación del riego en los consumos energéticos

- ALLEN, G.R.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. Food & Agriculture Org., vol. 56, 2006, ISBN: 92-5-304219-2.
- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M.: “Evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Food and Agricultural Organization (FAO)”, *Irrigation and Drainage Paper*, 1998.
- CAMACHO, P.E.; RODRÍGUEZ, A.; MONTESINOS, P.; CARRILLO, T.: *Ahorro de Energía en el Riego*, Universidad de Córdoba, Cátedra de Hidráulica y Riegos, ETSIAM, Córdoba, España, 2010.
- 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.
- GONZALEZ, B.P.; CISNEROS, Z.E.: “Estudio sobre la selección de equipos de bombeo para riego en la empresa Batabanó”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12(3): 55-57, 2003, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HERNÁNDEZ, C.C.: *Determinación de casos de extracción de agua subterránea en Chapingo*, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación, Chapingo, Texcoco, Edo. México, México, 2010.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA: *Reportes climáticos de la estación 320 en Güira de Melena*, CITMA-Instituto de Meteorología, Reporte climático, Güira de Melena, Artemisa, Cuba, 2018.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Clasificación genética de los suelos de Cuba*, Editorial Academia, La Habana, Cuba, 28 p., 1979.
- INTER PRESS SERVICE: *Riego, imprescindible para elevar la producción*, Inter Press Service en Cuba, Economía y Desarrollo, La Habana, Cuba, 2011.
- LÓPEZ, S.M.: *Determinación de los parámetros técnico-hidráulicos de los emisores de baja presión que utilizan las máquinas de pivote central eléctrica en la provincia de Ciego de Ávila*, Universidad de Ciego de Ávila, Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias de Riego y Drenaje), Ciego de Ávila, Cuba, 2010.
- LÓPEZ, S.M.; MUJICA, C.A.; BROWN, M.O.; CASTELLANOS, L.: “Evaluación del consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(Especial): 30-34, 2012, 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*, 12(2): 49-53, 2003, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MARTÍNEZ, E.M.; EDERRA, G.I.; ALFARO, E.A.; CAMPO, B.M.A.: “Un paso más en la auditoría energética de comunidades de regantes, evaluación hidráulica”, En: *IV Jornadas de Ingeniería del Agua La precipitación y los procesos erosivos Córdoba, 21 y 22 de octubre 2015*, Córdoba, España, 2015.
- MATOS, C.H.; CISNEROS, Z.E.; HERRERA, P.J.; GONZÁLEZ, R.F.; DUARTE, D.C.: “Contribución a la protección del recurso agua en el municipio Güira de Melena”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2): 5-14, 2020, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- MAZA, D.Y.: *Influencia de la programación del riego en el uso eficiente del agua y los rendimientos de la papa (Solanum tuberosum)*, Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico, Marianao, La Habana, Cuba, 64 p., 2019.
- MINAG: *Balace de uso y tenencia de la tierra, [en línea]*, Ministerio de la Agricultura, Boletín 5, La Habana, Cuba, 2017, Disponible en: www.minag.cu.
- MORENO, M.A.; MORALEDA, D.; CORCOLES, J.I.; TARJUELO, J.M.; ABADIA, R.; ROCAMORA, M.C.; RUIZ, A.; MORA, M.; VERA, J.; PUERTO, H.; ANDRÉU, J.; CÁMARA, J.M.; MELIÁN, A.: “Estudio comparativo sobre eficiencia energética de comunidades de regantes”, En: *XXVII Congreso Nacional de Riegos, en Murcia*, vol. 10, Murcia, España, 2009.
- 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*, Oficina Nacional de Normalización, Norma Cubana NC, La Habana, Cuba, vig. de 2005.
- PÉREZ, L.R.; BERMÚDEZ, H.C.; VALDÉS, M.A.L.; (primero): “Costos de operación en los sistemas de riego mecanizado de pivote central”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 30(3), 2009, ISSN: 1815-591X.
- PLAYÁN, E.: “La innovación en el regadío. Nuevas tecnologías y optimización del binomio agua-energía”, En: *XXIII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España*, Palos de la Frontera, Huelva, España, 2014.
- ROMERO, H.L.: *Determinación del cambio del módulo de aspersión en máquinas de pivote central. Estudio de caso*, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Tesis para optar por el título de Ingeniero Hidráulico, Marianao, La Habana, Cuba, 2015.
- 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.
- SÁNCHEZ, G.A.: *Informe de Riego Campaña papera 2017-2018*, Comunicación personal del Jefe de Riego de la Empresa Agropecuaria Güira de Melena, Güira de Melena, Artemisa, Cuba, 40 p., 2019.
- SINGH, H.; MISHRA, D.; NAHAR, N.M.: “Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India. Part I. Energy”, *Energy Conversion and Management*, 43: 2275–2286, 2002, ISSN: 0196-8904.
- TAMAYO, P.Y.: *Programación del riego en el cultivo de la papa con máquinas de pivote central eléctrica para uso eficiente del agua*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 55 p., 2011.
- 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.

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

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

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

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

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

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

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 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.



El proyecto de colaboración internacional "*Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local*", **BASAL**, comenzó su ejecución oficial el 2 de abril del 2013, es coordinado por la Agencia de Medio Ambiente del CITMA y cuenta con la participación de varias instituciones de este ministerio así como tiene como socio clave en su implementación a instituciones y entidades del MINAG y los gobiernos locales. Dispone de un financiamiento cercano a los 13 millones de CUC, provenientes de la Unión Europea y de la Agencia Suiza de Cooperación – COSUDE. Es implementado por el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y tendrá una duración de 5 años (2013-2017).

BASAL tiene como objetivo apoyar la adaptación al cambio climático en el sector agrícola, a escala local, en los municipios de Los Palacios, Gúira de Melena y Jimaguayú y a escala nacional, a través de la Dirección de Ciencia e Innovación Tecnológica del Minag y con la participación de las Direcciones de Cultivos Varios y Ganadería y el Grupo Agroindustrial de Granos de este Ministerio.

Tiene tres grandes resultados esperados:

1. *Aplicadas medidas de adaptación agropecuarias por las y los productoras/es individuales y cooperativistas en los municipios de Los Palacios, Gúira de Melena y Jimaguayú, las cuales consideran las necesidades específicas de mujeres y hombres y los impactos diferenciados del cambio climático en ellas y ellos.*
2. *Consolidado el intercambio de información y conocimientos entre científicas/os y productoras/es locales y nacionales y capacitadas/os estos actores para lograr un mejor enfrentamiento conjunto a los retos del cambio climático.*
3. *Entregadas herramientas género-sensibles para enfrentar los impactos del cambio y la variabilidad climática y hacer más sostenible la producción de alimentos, a las autoridades locales y nacionales.*

Entre las principales actividades para cada Resultado están:

Resultado 1: *Rehabilitación de sistemas de riego y drenaje, Optimización del riego y asesoramiento al regante según condiciones agrometeorológicas, Rotación de suelos y de cultivos, Diversificación de la producción agrícola, Introducción de variedades más resistentes a las condiciones agrometeorológicas locales, Empleo de fertilizantes orgánicos y bioestimuladores del crecimiento, Manejo integrado de plagas y de residuales, Introducción de sistemas silvopastoriles.*

Resultado 2: *Fortalecimiento del Sistema de Extensionismo Agrícola, Implementación de Centros de Creación de Capacidades y Gestión del Conocimiento (CCC/GC), Fortalecimiento de la Red de Información Agrometeorológica y Productiva (RIAP), Intercambio de experiencias de buenas prácticas agrícolas y de experiencias exitosas nacionales e internacionales, en adaptación al cambio climático, en el sector agrícola, prioritariamente en la región de Centroamérica, el Caribe y en la Unión Europea.*

Resultado 3: *Modelos de ordenamiento ambiental municipal y comunitario, que sirvieran de insumos a los modelos de ordenamiento territorial, Planes de desarrollo municipales del sector agrícola, con indicadores de adaptación al cambio climático incorporados, Modelación de los impactos del cambio climático sobre la producción agrícola, disponibilidad de agua, estado de los suelos y la ocurrencia de plagas, Elaboración de escenarios socio-económicos y ambientales sobre la relación medio ambiente cambio climático, Pronósticos de cosechas.*

