

## Criterios de eficiencia para la evaluación del riego por aspersión



### Efficiency Criteria to Evaluate Sprinkler Irrigation

<http://opn.to/a/mrFJ9>

Dr.C. Maiquel López-Silva <sup>I\*</sup>, Dr.C. Dayma Carmenates-Hernández <sup>I</sup>, Dr.C. Albi Mujica-Cervantes <sup>I</sup>, Dr.C. Pedro Paneque-Rondon <sup>II</sup>

<sup>I</sup>Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Baez, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>II</sup>Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** En este trabajo se plantearon diferentes criterios de eficiencia para la evaluación del riego por aspersión. La investigación se realizó en 6 pivotes centrales de la empresa Cubasoy y La Cuba. La metodología utilizada relaciona las variables climáticas, hidráulicas y energéticas por medio del consumo de la energía específica normalizada en el riego, de forma que permite caracterizar los sistemas a nivel de proyecto y de explotación. Se determinó que la energía específica para bombear un metro cubico de agua osciló entre 0,18 kWh·m<sup>-3</sup> a 0,32 kWh·m<sup>-3</sup> y la energía específica normalizada en el riego entre 17,16 a 30,53 kWh·mm<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>·100<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> para unas eficiencias de aplicaciones de 77,30 a 82,80% y una eficiencia de la energía realmente aprovechado en el riego de 8,92 a 15,80% en condiciones específicas de operación del sistema de riego.

**Palabras clave:** indicadores, agua, energía, pivote central.

**ABSTRACT:** In this work, different efficiency criteria were proposed for the evaluation of sprinkler irrigation. The investigation was carried out at six central pivots of the company Cubasoy and La Cuba. The methodology used relates the climatic, hydraulic and energy variables by means of the consumption of the specific energy standardized in the irrigation, in such a way that allows characterizing the systems at project and operation level. It was determined that the specific energy to pump a cubic meter of water ranged between 0.18 kWh·m<sup>-3</sup> to 0.32 kWh·m<sup>-3</sup> and the specific energy normalized in irrigation between 17.16 to 30.53 kWh·mm<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>·100<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> for application efficiencies of 77.30 to 82.80%. Energy efficiency actually used in irrigation reached from 8.92 to 15.80% under specific operating conditions of the system of irrigation.

**Keywords:** indicators, water, energy, central pivot.

### INTRODUCCIÓN

Incrementar la eficiencia del uso del agua y la energía en la agricultura es de vital importancia ante el cambio climático [Selim et al. \(2018\)](#), por lo que es necesario generar acciones de adaptación que permitan ajustar el proceso de planificación, operación y evaluación del servicio del riego [Ojeda et al. \(2012\)](#). En este contexto se

han propuesto diferentes indicadores de eficiencia [De Lima et al. \(2008\)](#); [Rodríguez et al. \(2011\)](#); [Schons et al. \(2012\)](#); [Bolognesi et al. \(2014\)](#); [Won et al. \(2016\)](#), factores fundamentales para ayudar en el proceso de toma de decisiones con respecto a las mejoras en el sistema de distribución de agua, a fin de optimizar el consumo energético y económico [Tarjuelo et al. \(2015\)](#).

\*Autor para correspondencia: Maiquel López Silva, e-mail: [maiquelcuba@yahoo.com](mailto:maiquelcuba@yahoo.com)

Recibido: 23/11/2018

Aceptado: 29/04/2019

Existen múltiples indicadores de eficiencia del agua, los más comunes son la eficiencia del riego y la eficiencia del uso del agua. Una baja eficiencia en los sistemas de riego afectan a los rendimientos agrícolas [Camejo et al. \(2017\)](#); [Zhuo y Hoekstra \(2017\)](#). La eficiencia del sistema de riego por aspersión puede ser evaluada por el Coeficiente de Uniformidad de Heerman y Hein y por la Eficiencia de Aplicación; mientras que, la energía específica en estos sistemas es a través de indicadores de potencia o consumo específico [De Almeida et al. \(2017\)](#). Por ejemplo, en Brasil pueden ser caracterizados en cuanto a su consumo específico entre 0,2 a 0,6 kWh·m<sup>-3</sup> ([De Lima et al., 2008](#)). Sin embargo, no son suficientes para caracterizar la eficiencia global de un sistema de riego ([López et al., 2017](#)). En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar los criterios de eficiencia para la evaluación de proyectos y operación del riego por aspersión en la empresa agropecuaria Cubasoy y cultivos varios La Cuba de la provincia de Ciego de Ávila.

### MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la empresa Cubasoy y La Cuba dentro del sector hidrogeológico sur CA-II-1 y norte CA-I-8, mientras que sus niveles freáticos promedio se comportan en 9,66 m y 17,53 m respectivamente, según la serie histórica de 30 años (1985 a 2015). En la [Tabla 1](#) se muestran las características del sistema de riego de pivote central que se analizaron.

#### Potencia disipada

El criterio de eficiencia en los sistemas de riego inicia en determinar el mínimo trabajo para bombear el agua utilizada por el cultivo. A partir de los criterios físicos la potencia útil para el sistema de riego se puede obtener a partir del nivel del agua en el pozo y el punto más desfavorable del área de riego ([ecuación 1](#)). Mientras que, las potencias disipadas en cada uno de los elementos del sistema de riego (succión, bomba-motor, impulsión, aspersor) en función de la eficiencia de aplicación para el 80% del área adecuadamente regada, se puede expresar por las expresiones ([2](#); [3](#) y [4](#)).

$$P_{usr} = \gamma \cdot Q \cdot h_g \frac{EA_{80}}{100} \quad (1)$$

$$P_{dbm} = \gamma \cdot Q \cdot H_m \left( \frac{1 - \eta_{bm}}{\eta_{bm}} \right) \quad (2)$$

$$P_{de} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot \Delta h}{\eta_{bm}} \quad (3)$$

$$P_{dasp} = \gamma \cdot Q \left[ H_m \left( 1 - \frac{EA_{80}}{100} \right) + \frac{EA_{80}}{100} h_{asp} \right] \quad (4)$$

donde:

- $P_{usr}$  - la potencia útil del sistema de riego (kW);
- $P_{dbm}$  - la potencia disipada en el conjunto bomba motor (kW);
- $P_{de}$  - la potencia disipada en el elemento (kW);
- $P_{dasp}$  - la potencia disipada en los aspersores (kW);
- $H_m$  - la altura manométrica de la bomba (m);
- $h_g$  - el desnivel topográfico entre el nivel del agua en el pozo y el aspersor en la condición más desfavorable del sistema (m);
- $Q$  - el caudal medido a la salida de la bomba (m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>);
- $\gamma$  - el peso específico del agua (9,806 kN·m<sup>-3</sup>);
- $EA_{80}$  - la eficiencia de aplicación del agua (%);
- $\Delta h$  - la pérdida de carga en los elementos del sistema (m), siendo las tuberías y accesorios;

**TABLA 1.** Características del sistema de riego a presión

Zona	Pivote	Aspersor	Área (ha)	Desnivel topográfico (m)	Tubería de succión*		Tubería de impulsión*		Tubería del lateral**	
					DN (mm)	L (m)	DN (mm)	L (m)	DN (mm)	L (m)
Cuba soy	2415	Rotator	63,86	18,0	203,2	17,50	203,20	8,0	168,30	451
	3120	Rotator	58,87	16,9	203,20	20,0	203,20	12,0	168,30	433
	3116	Rotator	57,25	17,7	203,20	18,30	203,20	10,0	168,30	427
La Cuba	Lango	Spray	62,30	9,1	203,20	7,65	203,20	12,0	168,30	445
	Higinio	Spray	62,50	9,0	203,20	8,0	203,20	31,0	168,30	446
	Frutero	Spray	41,00	10,1	203,20	9,30	203,20	6,50	168,30	362

\*de hierro galvanizado; \*\* acero galvanizado; DN el diámetro nominal; L la longitud de la tubería

$h_{asp}$  - altura manométrica del aspersor (m);  
 $\eta_{bm}$  - es el rendimiento del conjunto bomba-motor (decimal).

La potencia disipada en el sistema de riego en función de la eficiencia de aplicación para el 80% del área adecuadamente regada, el desnivel geométrico y las pérdidas de cargas de los elementos del sistema viene representado por la [ecuación 5](#).

### Criterios de eficiencia del sistema de riego

Los criterios de eficiencia se basaron en el consumo específico de la energía del sistema de riego conforme con las siguientes ecuaciones:

$$CEN_{BM} = \frac{P_e}{36 \cdot Q \cdot H_m} \quad (6)$$

$$CE_E = \frac{P_e}{36 \cdot Q} \quad (7)$$

$$CE_{U80} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot EA_{80} \cdot h_g \cdot T_R}{100 \cdot A} \quad (8)$$

$$CE_{Asp} = \frac{P_{dasp}}{3,6 \cdot Q \cdot EA_{80}} \quad (9)$$

$$CEN_R = \frac{100 \cdot P_e}{3,6 \cdot Q \cdot EA_{80} \cdot h_g} \quad (10)$$

$$E_R = \frac{EA_{80} \cdot h_g \cdot \eta_{bm}}{H_m} \quad (11)$$

Donde:

$CEN_{BM}$  - el consumo de energía normalizada del conjunto bomba-motor ( $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 100^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ );

$CE_E$  - el consumo de la energía específica ( $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ );

$CE_{U80}$  - el consumo de la energía útil ( $\text{kWh} \cdot \text{ha}^{-1}$ );

$CE_{Asp}$  - el consumo específico en los aspersores ( $\text{kWh} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ );

$CEN_R$  - el consumo de la energía específica normalizada en el riego ( $\text{kWh} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 100^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ );

$E_R$  - el porcentaje de energía realmente aprovechado (%);

$T_R$  - el tiempo que demora el lateral en aplicar un riego (h);

$A$  - el área de riego del pivote central (ha).

Se determinó el caudal y velocidad de líquido en la tubería de impulsión a través del medidor ultrasónico PCE-TDS-100 con una precisión de  $\pm$

1,5%. La potencia en el motor eléctrico se obtuvo a partir del analizador de redes MI 2392 Power Q Plus con una precisión de  $\pm$  (1% + 0,5 V),  $\pm$ (2% + 0,3 A),  $\pm$ (3% + 3 Wh),  $\pm$ 0,06 Coseno  $\varphi$  y  $\pm$ (0,5% + 0,02 Hz). Se tomó la lectura de presión en el pivote, en las torres y final del lateral mediante el manómetro digital de alta precisión Tipo CPG1500 marca WIKA con una precisión de 0,05%. Las variables climáticas se midieron a partir del Anemómetro Climático móvil AVM-40 (Kestrel 4000) con precisión de  $\pm$ 3% en la velocidad del viento, la temperatura  $\pm$ 1 °C y la humedad relativa del aire  $\pm$ 3%.

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 2](#) se muestran los resultados de las variables medidas en los sistemas de riego. Se observa que los caudales en los sistemas de riego oscilan entre 60,10 a 76,67 L/s. Sin embargo, las alturas manométricas de las bombas centrífugas son superiores en la empresa Cubasoy y consecuentemente alcanzó mayor consumo eléctrico promedio de 69%. Las velocidades del viento predominante en los pivotes centrales se clasifican como vientos bajos según [Tarjuelo \(2005\)](#), lo que influye favorablemente en una eficiencia de aplicación para el 80% del área adecuadamente regada de 77,30% a 82,80%; valores superiores a los alcanzados por [Román et al. \(2013\)](#) y similares a los obtenidos por [Palacios et al. \(2017\)](#).

En la [Tabla 3](#) se muestran los resultados de la potencia disipada por cada uno de los componentes del sistema de riego. Se aprecia que el de mayor consumo energético es la estación de bombeo 3116 es de 19,71 kW y una potencia disipada en el sistema de riego de 33,03 kW, éste registró la menor eficiencia del conjunto bomba motor de 62,78% producto al tiempo de operación. No obstante, el resto de las eficiencias del conjunto bomba motor de los demás sistemas de riego osciló de 69,5 a 74,10% clasificado como excelente según [Abadia et al. \(2008\)](#). Los resultados favorables fue la estación de bombeo de Lango con potencia disipada de 4,37 kW y

$$P_{dsr} = \frac{\gamma \cdot EA_{80} \cdot Q}{100 \cdot \eta_{bm}} \left[ h_g (1 - \eta_{bm}) + (\Delta h_s + \Delta h_i + \Delta h_l + \Delta h_{asp}) + \frac{H_m}{EA_{80}} (100 - EA_{80}) \right] \quad (5)$$

Donde:  $P_{dsr}$  - es la potencia disipada en el sistema de riego (kW);  $\Delta h_s$  - la pérdida de carga en la succión (m);  $\Delta h_i$  - la pérdida de carga en la tubería de impulsión (m);  $\Delta h_{asp}$  - la pérdida de carga en el aspersor (m);

**TABLA 2.** Medidas de las variables hidráulicas, energéticas y climáticas

Zona	Pivote	Hidr (L s <sup>-1</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	H <sub>b</sub> (m)	T <sub>R</sub> (h)	P <sub>e</sub> (kW)	EA <sub>80%</sub>	Condiciones climáticas		
							T (°C)	HR (%)	V (m·s <sup>-1</sup> )
Cubasoyn	2415	1,20	83,02	47	70,30	82,80	31,20	70,30	2,0
	3120	1,23	86,17	35	72,0	80,0	32,40	63,60	2,77
	3116	1,21	88,52	56	80	81,02	33,0	75,40	2,30
La Cuba	Lango	0,96	55,41	56	40,48	81,40	29,30	79,15	1,60
	Higinio	1,15	69,92	68	69,87	77,30	30,0	69,50	2,20
	Frutero	1,62	54,43	50	44,22	80,88	26,0	80,0	1,30

Hidr es el hidromódulo; EA<sub>80%</sub> la eficiencia de aplicación para el 80% del área adecuadamente regada; T la temperatura; HR la humedad relativa del aire y V la velocidad del viento.

**TABLA 3.** Potencia disipada por componente

Parámetros	Cubasoyn			La Cuba		
	2415	3120	3116	Lango	Higinio	Frutero
P <sub>usr</sub> (kW)	11,16	9,61	9,77	4,37	5,34	5,32
P <sub>dbm</sub> (kW)	7,82	10,74	19,71	7,82	10,64	8,78
P <sub>de</sub> (kW)	10,98	9,48	11,11	7,05	10,68	7,73
P <sub>dasp</sub> (kW)	8,14	7,56	7,71	4,92	8,24	5,49
P <sub>dsr</sub> (kW)	28,21	28,73	33,03	17,24	28,46	19,63

una potencia disipada en el sistema de riego de 17,24 kW.

En la [Figura 1](#) se muestran los porcentajes de la potencia disipada en cada elemento del sistema de riego. Se ratifica que el componente de mayor consumo de potencia es el conjunto bomba-motor y el 3116 consume el 40,78% de su energía eléctrica para convertirla en energía, mientras que, la estación de bombeo 3120 solo emplea el 28,68%. Estos valores obtenidos son próximos a los alcanzados por [De Lima et al. \(2008\)](#). En la [Figura 1](#) los laterales de los pivotes centrales las potencias disipadas oscilan de 24,20% a 29,59% con longitudes de 309 m a 451 m. El pivote 3116 dotado del aspersor Rotator alcanzó menor potencia disipada de 15,96%, dicho valor es superior respecto a los obtenidos por [De Lima et al. \(2008\)](#), parámetro que se le atribuye a los años del sistema de riego en funcionamiento sin recibir el mantenimiento adecuado. Sin embargo, las potencias útiles de los pivotes centrales de la empresa Cubasoyn son superiores respecto a los de la Cuba, debido a que emplea las mayores variables hidráulicas, caudal y altura manométrica de la bomba y consecuentemente la potencia eléctrica.

La estratificación de la potencia disipada en cada componente de los sistemas de riego

proporciona una visión de la pérdida de energía, pero de acuerdo con [De Lima et al. \(2008\)](#) queda restringido porque considera que toda el agua bombeada es aprovechada por el cultivo, por tanto, es necesario obtener indicadores expresados en función de la eficiencia de aplicación.

En la [Tabla 4](#) se exponen los resultados de la eficiencia hidráulica y energética del sistema de riego de pivote central, el pivote más favorable al consumo de energía útil fue el de Lango con 3,93 kWh·ha<sup>-1</sup> y el de mayor consumo el pivote 3116 con 9,55 kWh·ha<sup>-1</sup> para el 80% del área adecuadamente regada al 81,40% y 81,02% de la eficiencia de aplicación del sistema de riego respectivamente. Sin embargo, los consumos de energía específica para bombear un metro cubico oscilaron entre 0,18 kWh·m<sup>-3</sup> a 0,32 kWh·m<sup>-3</sup>. Esto resultados son inferiores con respecto a los obtenidos por [De Lima et al. \(2008\)](#); [Schons et al. \(2012\)](#); [Brenon et al. \(2018\)](#), producto a que las áreas de estudios de estos autores presentan desniveles topográficos superiores a los 20 m. No obstante, la comparación de valores específicos de consumo de energía para referirse a estaciones de bombeo debe hacerse con precaución por los diferentes factores que intervienen.

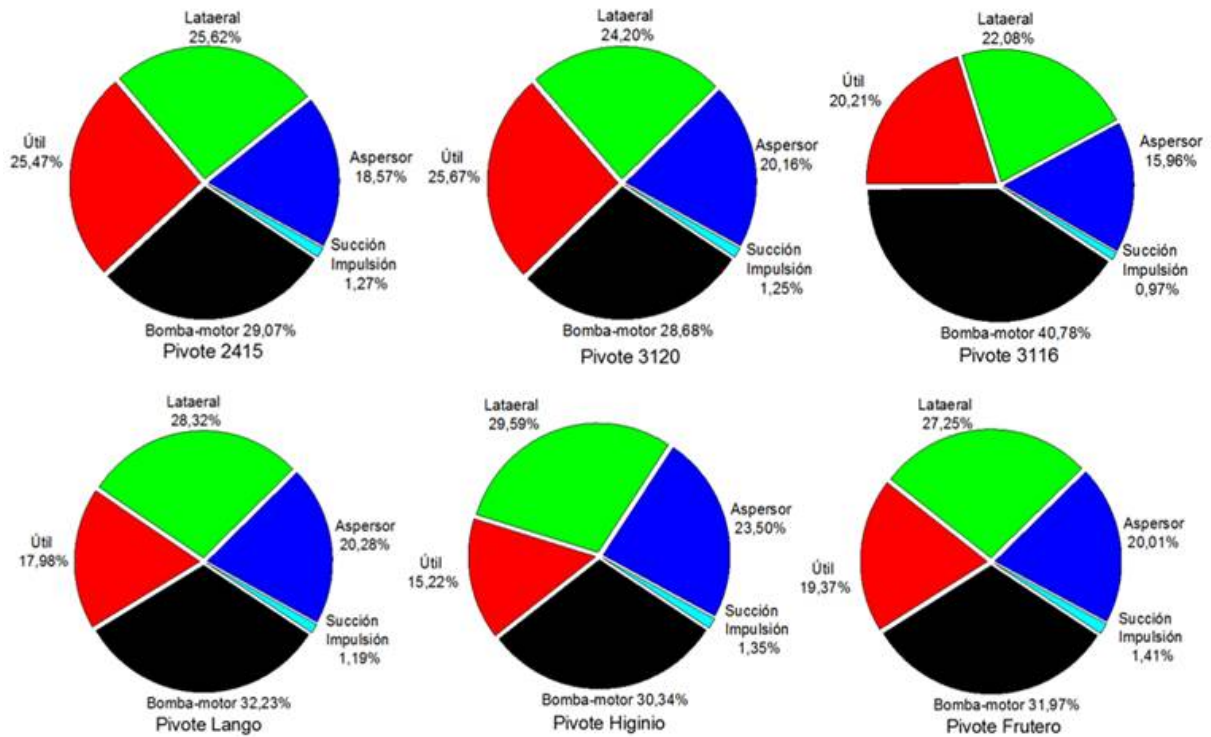


FIGURA 1. Estratificación de la potencia disipada en los sistemas de riego.

TABLA 4. Eficiencia del sistema de riego

Parámetros	Cubasoy			La Cuba		
	2415	3120	3116	Lango	Higinio	Frutero
$CEN_{BM} (\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 100^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	0.31	0.32	0.36	0.34	0.33	0.34
$CE_E (\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3})$	0.25	0.28	0.32	0.19	0.23	0.18
$CEu_{80} (\text{kWh} \cdot \text{ha}^{-1})$	8.21	5.71	9.55	3.93	5.81	6.46
$CE_{Asp} (\text{kWh} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1})$	0.36	44.96	81.80	39.72	69.13	58.14

El pivote con mejor desempeño del consumo de energía normalizada del conjunto bomba-motor fue el 2415 con  $0,31 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 100^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ , lo que significa que el punto de funcionamiento del sistema de riego opera con una eficiencia estable superior al 80%. Sin embargo, se identificó que la selección del conjunto bomba-motor para el pivote 3116 no fue el más adecuado, porque posee el mayor consumo de  $0,36 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 100^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . No obstante, los resultados obtenidos son inferiores a los que determinó De Lima et al. (2008); Schons et al. (2012).

En la Figura 2 se muestra el consumo de energía específica normalizada en el riego. Se observa que el pivote 2415 obtiene el menor consumo de energía específica normalizada en el riego de  $17,16 \text{ kWh}$  para proporcionar un milímetro de agua en el 80% del área adecuadamente regada, cuando la altura geométrica es inferior de 100 m. Sin embargo, en

la Figura 3 se muestra el porcentaje de energía realmente aprovechado y el sistema 2415 alcanza 15,80% con mayor porcentaje de energía realmente aprovechado en el riego; lo que significa que el 84,20% de la energía es disipada por el conjunto bomba-motor, las tuberías, las pérdidas de agua por fuga, los reguladores de presión, aspersores y pérdidas de agua por evaporación y arrastre.

De forma general en las Figuras 1 y 2 se observa que los pivotes centrales de la empresa de Cubasoy presentan menor consumo de energía específica y a su vez mayor energía realmente aprovechada en el riego. Este resultado se debe al análisis de sensibilidad realizado a los indicadores energéticos se obtuvo que por cada 1 kW de potencia medido en el motor eléctrico el consumo de energía específica normalizada en el riego es de  $0,25 \text{ kWh} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 100^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Mientras que, por cada 1 m de desnivel

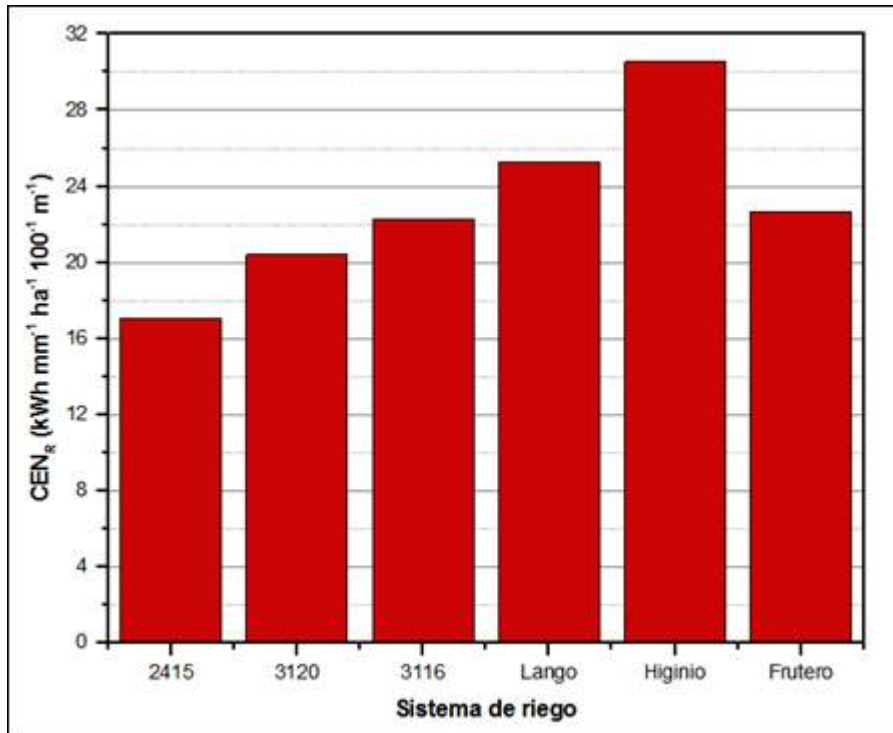


FIGURA 2. Consumo de energía específica normalizada en el riego.

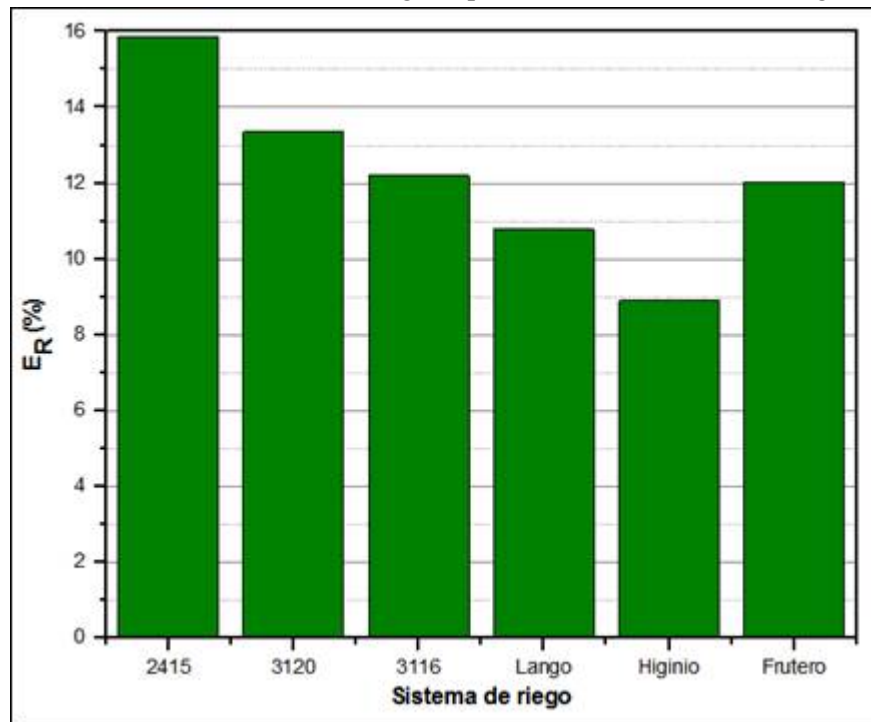


Figura 3. Porcentaje de energía realmente aprovechado.

topográfico entre el nivel del agua en el pozo y el aspersor en la condición más desfavorable del sistema, aumenta 0,88% el porcentaje de energía realmente aprovechado. Estos factores también se deben a las características de las curvas de las bombas centrífugas colocadas en los sistemas de riego a presión.

### CONCLUSIONES

La estratificación de la potencia disipada en cada componente del sistema de riego permitió identificar la estación de bombeo con mayor consumo de energía para su inmediato mantenimiento de sus elementos.

El pivote central 2415 alcanzó el mejor desempeño de los indicadores de eficiencia con un consumo de energía normalizada del conjunto bomba-motor de  $0,31 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}\cdot 100^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ , una energía específica normalizada en el riego de  $17,16 \text{ kWh}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 100^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  a una eficiencia de aplicación de 82,80% para 15,80% de energía realmente aprovechado en el riego.

Se reafirma que los criterios de eficiencia contribuyen a la valorización de las tecnologías de riego eficientes para la modalidad de proyecto y en las condiciones específicas de explotación para la óptima productividad del cultivo, a partir de un uso sostenible de los recursos naturales; así como permite mejorar la toma de decisión para el mantenimiento previo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABADIA, R.; ROCAMORA, C.; RUIZ, A.; PUERTO, H.: "Energy efficiency in irrigation distribution networks I: theory", *Biosystems engineering*, 101(1): 21-27, 2008, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.05.013.
- BOLOGNESI, A.; BRAGALLI, C.; LENZI, C.; ARTINA, S.: "Energy efficiency optimization in water distribution systems", *Irrigation Science, Procedia Engineering*, 70: 181-190, 2014, ISSN: 1877-7058, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.021.
- BRENON, B.D.S.; COLOMBO, A.; DE SOUZA, G.N.J.; BAPTISTA, B.V.; ARAÚJO, A.: "Energy efficiency of a center pivot irrigation system", *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 38(2): 284-292, 2018, ISSN: 1809-4430, DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n2p284-292/2018.
- CAMEJO, B.E.L.; DUARTE, N.L.; GUERRA, H.G.: "Diseño agronómico en máquinas de pivote central, rendimientos, ahorro de agua y energía", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2): 3-16, 2017, ISSN: 1815-591X.
- DE ALMEIDA, A.N.; COELHO, D.R.; COSTA, J. de O.; FARIAS, J.A.: "Methodology for Dimensioning of a Center Pivot Irrigation System Operating with Dripper Type Emitter", *Engenharia Agrícola*, 37(4): 828-837, 2017, ISSN: 0100-6916, DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p828-837/2017.
- DE LIMA, A.C.; CAMARGO, G.S.J.; FIETZ, R.C.; CAMACHO, R.J.: "Energetic Flow and Efficiency Indicators in Center Pivot Irrigation", *Agrociencia*, 42(8): 869-880, 2008, ISSN: 1405-3195.
- LÓPEZ, S.M.; CARMENATES, H.D.; MUJICA, C.A.; PANEQUE, R.P.: "Nuevo criterio para el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3): 12-21, 2017, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- OJEDA, B.W.; SIFUENTES, I.E.; ROJANO, A.A.; IÑIGUEZ, M.: *Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático*, Primera edición ed., vol. 4, México, 65-113 p., 2012, ISBN: 978-607-7563-55-6.
- PALACIOS, M.C.; DÍAZ, V.T.; MUNGUÍA, L.J.; PARTIDA, R.L.; VELÁSQUEZ, A.T.; LÓPEZ, V.B.: "Relationship between performance indicators and irrigation quality using central pivot", *Revista Mexicana Ciencias Agrícola*, 8(1), 2017, ISSN: 2007-0934.
- RODRÍGUEZ, D.J.A.; CAMACHO, P.E.; BLANCO, P.M.: "Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in Southern Spain", *Journal of irrigation and drainage engineering*, 137(10): 644-650, 2011, ISSN: 0733-9437, DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000338.
- ROMÁN, L.A.; INZUNZA, I.M.; CATALÁN, V.E.; VILLA, C.M.: "Efficiency indicators of irrigation water applied in two irrigation sprinkler systems", *Revista Agrofaz*, 13(2), 2013, ISSN: 1665-8892.
- SCHONS, L.R.; ROBAINA, D.A.; PEITER, X.M.: "Setting efficiency indicators for center pivots", *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 32(3): 459-466, 2012, ISSN: 1809-4430, DOI: 10.1590/S0100-6916201200030000.
- SELIM, T.; KARLSSON, L.; BOUKSILA, F.; BEN, A.S.; PERSSON, M.: "Evaluation of Different Irrigation Treatments with Saline Water in a Future Climate in Tunisia", *Irrigation and Drainage*, 67(4), 2018, ISSN: 1531-0353, DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2307>.

TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi Prensa., Tercera edición ed., Madrid, España, 491 p., 2005, ISBN: 84-8476-225-4.

TARJUELO, J.M.; RODRIGUEZ, D.J.A.; ABADÍA, R.; CAMACHO, E.; ROCAMORA, C.; MORENO, M.A.: “Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies”, *Agricultural Water Management*, 162: 67-77, 2015, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2015.08.009.

WON, H.N.; EUN-MI, H.; JIN-YONG, C.: “Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators”, *Irrigation science*, 34(2): 129-143, 2016, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0488-6>.

ZHUO, L.; HOEKSTRA, A.Y.: “The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint”, *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 4(2): 185-194, 2017, ISSN: 2095-7505, DOI: 10.15302/J-FASE-2017149.

*Maiquel López Silva*, professor e investigador, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Baez, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: [maiquelcuba@yahoo.com](mailto:maiquelcuba@yahoo.com)  
*Dayma Carmenates Hernández*, profesora e investigadora titular, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Baez, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: [daymas@unica.cu](mailto:daymas@unica.cu)

*Albi Mujica Cervantes*, professor e investigador titular, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Baez, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: [albi@unica.cu](mailto:albi@unica.cu)  
*Pedro Paneque Rondón*, Profesor e investigador titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [paneque@unah.edu.cu](mailto:paneque@unah.edu.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 \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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.