



<https://eqrcode.co/a/Gx36SA>

ARTÍCULO ORIGINAL

# Estudio técnico–económico en máquinas de pivote central

## *Technical-economic study on center pivot machines*

### *Technician & Economic Study in Central Pivot Machines*

Ing. Yusnavy Pérez-Jorge<sup>1</sup>, MSc. Zenén Placeres-Miranda<sup>1</sup>, Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Empresa Agropecuaria “19 de abril”, Quivicán, Mayabeque, Cuba.

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** El presente trabajo se desarrolló en las Unidades Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Marcos Martí” y “Williams Soler” de la Empresa Agropecuaria “19 de Abril”, provincia Mayabeque, durante la campaña papera 2017-18 con el objetivo de determinar los parámetros técnicos–económicos en máquinas de pivote central y su influencia en el rendimiento del cultivo. La evaluación se realizó en las Máquinas *Valmont 1-2* y *Urapivot 3-2*, siguiendo la metodología propuesta en la NC ISO 11545 para la evaluación de pivotes, donde el coeficiente de uniformidad es determinante para la definición de la calidad del riego, se analizó, además, la incidencia del riego en los rendimientos del cultivo. Los resultados obtenidos muestran el coeficiente de uniformidad en toda la máquina y su comportamiento entre torres lo que permitió definir los tramos donde deben aplicarse medidas para la mejora, teniendo en cuenta que estos equipos tienen entre 13 y 18 años de explotación. Para la máquina *Valmont* dicho coeficiente de Heerman y Hein fue de un 86,67% clasificado como bueno y la *Urapivot* de un 79,10% como malo. En el análisis económico se comprobó que el coeficiente de uniformidad incide en los parámetros de explotación ya que al mejorar la calidad del riego y las normas aplicadas se logran rendimientos entre 30,14 y 27,41 t·ha<sup>-1</sup>. La relación beneficio–costo en las máquinas estudiadas fue de 0,92 y 0,97 ambos valores menores que la unidad, lo que indica la no rentabilidad de la gestión del riego en la campaña estudiada.

**Palabras clave:** sistemas de riego, papa, coeficiente de uniformidad, rendimientos.

**ABSTRACT.** The present work was developed in the United Basic Cooperative Production (UBPC) “Marcos Martí” and “Williams Soler” of the Agricultural Enterprise “April 19”, Mayabeque province, during the 2017-18 potato campaign with the objective of determining the technical-economic parameters in central pivot machines and its influence on crop yield. The evaluation was carried out on *Valmont 1-2* and *Urapivot 2-3* machines, following the methodology proposed in NC ISO 11 545 for the evaluation of pivots, where the uniformity coefficient is decisive for the definition of irrigation quality. The incidence of irrigation in crop yields was also analyzed. The results obtained show the Uniformity Coefficient in the whole machine and its behavior between towers allowed it to define the sections where measures for improvement should be applied, taking into account that this equipment have been in operation between 13 and 18 years. For de the Valmont machine were classified as 86,67% as good and Urapivot as 79,10% as bad. In the economic analysis, it was found that the uniformity coefficient affects the operating parameters since, by improving the quality of irrigation and the standards applied, yields between 30,14 and 27,41 t·ha<sup>-1</sup> are achieved. The cost benefit ratio in the machines studied was 0,92 and 0,97, both values lower than the unit, which indicates the non-profitability irrigation management in the campaign studied.

**Keywords:** Irrigation Systems, Potato, Uniformity Coefficient, Yields.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo los problemas que más afectan a la humanidad es la falta de energía, alimentos y agua, no sólo para la producción agrícola, sino que se hace escasa hasta para el consumo

humano. Esto ha motivado que se generen nuevas tecnologías de riego, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso del agua y un menor consumo energético.

<sup>1</sup> Autor para correspondencia: Yusnavy Pérez-Jorge, e-mail: yusnavy.p@nauta.cu

Recibido: 24/02/2020.

Aprobado: 22/02/2021.

Existen actualmente más de 10 millones de hectáreas regadas con la tecnología del pivote central. En Cuba se introdujeron los primeros pivotes (Fregat) en 1977, procedentes de la antigua Unión de Repúblicas Socialista Soviética y muy pronto fue una técnica aceptada por los productores y generalizada en todo el país (Pérez *et al.*, 2009). El rápido crecimiento de las áreas bajo riego con la técnica de pivote central de fabricación nacional, exige el estudio del comportamiento de la uniformidad del riego, sobre todo si tienen en cuenta los materiales publicados al respecto, a partir de máquinas producidas en Cuba. El riego en la papa como tal ha jugado un papel destacado en los resultados obtenidos, la introducción de las máquinas de pivote central con boquillas de baja presión (spray) y bajantes colocados de 1 m a 2 m del suelo ha permitido mejorar considerablemente la calidad del riego, al incrementar el coeficiente de uniformidad que oscilaba entre 65% y 70% cuando se regaba con aspersores de impacto hasta valores de 80% a 86%, produciendo un incremento notable en los rendimientos de la papa. Sin embargo, siguen siendo necesarias la realización de estudios y la profundización de la información relacionada con la explotación y costos de operación de estos sistemas de riego (Domínguez *et al.*, 2002).

Por otra parte, en nuestro país la lluvia promedio anual es de 1335 mm según el Servicio Hidrológico Nacional

Rodríguez (2006), con una distribución irregular, donde solo el 23% ocurre en el período seco de noviembre a abril. Esta época coincide con el período óptimo para la siembra de cultivos importantes como la papa. No obstante, las precipitaciones en el período son insuficientes para obtener altos rendimientos. Esto implica una mayor dependencia del riego para suplir, las necesidades hídricas de estos cultivos, lo que unido a la introducción del Sistema de Asesoramiento a Regantes (SAR) y la

modernización de las máquinas Pívo, pudieran contribuir a un uso más eficiente del agua (Placeres *et al.*, 2013)2013.

Las grandes ventajas del pivote central como sistema de riego, han despertado interés entre los productores agrícolas, no solo por el menor costo de inversión por hectárea regada sino también por otras características tales como: su versatilidad para ser utilizado en diferentes condiciones del suelo, clima y cultivo, alto grado de automatización, posibilidad de aplicar cargas diferenciadas de agua acorde las reales necesidades del cultivo, inyección de agroquímicos y la uniformidad en la aplicación de agua (Pérez y Sabatier, 2015). Esta última, será alta, cuando el diseño del equipo en fábrica, montaje en terreno y operación, se ajuste a las características de la explotación y demanda hídrica del cultivo según su estado de desarrollo (Sabatier, 2014).

Es de vital importancia el estudio y determinación de los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central eléctricas, y todos los elementos técnicos y económicos que permitan revertir la situación para mejorar la calidad del riego.

Es por ello que el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar los parámetros técnicos–económicos en máquinas de pivote central y su influencia en el rendimiento de la papa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio (Empresa Agropecuaria “19 de abril”) Figura 1, se encuentra en el municipio de Quivicán, ubicada en el centro sur de la provincia Mayabeque. Limitado al este con el municipio cabecera San José de las Lajas y al norte con el municipio de Bejucal; al oeste con la provincia de Artemisa (municipios de San Antonio de los Baños y Güira de Melena), y al sur con el Golfo de Batabanó.



FIGURA 1. Ubicación geográfica del municipio de Quivicán.

La zona en estudio presenta suelos Ferralíticos Rojos, los que se encuentran formados de caliza, en relieves jóvenes dentro de la llanura Habana – Matanzas. Son de perfil ABC, con un horizonte B ferralítico, pero sin lixiviación y con características de diagnóstico de color rojo. Este es un suelo saturado con un pH que oscila entre 6 y 7, profundos (160 cm de profundidad efectiva), apto para la mayoría de las especies que se cultivan y con un alto contenido de hierro (González, 2016).

Estos suelos presentan una serie de características que fueron descritas por Cid *et al.* (2012), que se corresponden con la de un suelo Ferralítico Rojo, subtipo compactado y típico en la clasificación vigente en Cuba.

Presentan una velocidad de filtración que oscila entre media y alta; el escurrimiento superficial es escaso, no permaneciendo el agua en la superficie durante mucho tiempo después de fuertes lluvias.

El desarrollo del procedimiento se llevó a cabo mediante el uso de las siguientes normas cubanas las cuales fueron:

NC ISO-11545 (2007): “Máquinas agrícolas para el riego

Pivotes Centrales y Máquinas de Avance Frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores.

Determinación de la uniformidad de distribución del agua” (NC ISO 11545:2001, IDT, 2001).

La uniformidad de la distribución obtenida a partir de los datos de campo y de los volúmenes almacenados en los pluviómetros, nos permite determinar la lámina o altura de agua infiltrada en el área de estudio (Machado, 2017)2017.

El Estado de funcionamiento se clasificó según Tarjuelo (2005):

CU < 79% MAL.

CU 80 – 85% REGULAR.

CU 86 – 89% BIEN.

CU > 90% EXCELENTE.

Para el cálculo de los indicadores analizados en la máquina *Valmont 1-2* y la *Urapivot 3-2*, se utilizó el siguiente formulario donde se obtuvo el área totalmente regada (ha), rendimiento (kg·ha<sup>-1</sup>), consumo energético (kW·ha<sup>-1</sup>), consumo de agua (kg·m<sup>-3</sup>), costo total de la campaña (\$·ha<sup>-1</sup>) y la relación B/C (Beneficio/Costo).

$$\text{Área Total Regada (ha)} = (\text{Área de la máquina (ha)}) * (\text{Número de riegos}) \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento (kg. ha}^{-1}\text{)} = \left( \frac{\text{Producción total (kg)}}{\text{Área total regada (ha)}} \right) \quad (2)$$

$$\text{Consumo Energético (kW. ha}^{-1}\text{)} = \left( \frac{\text{Total electricidad consumida (kW)}}{\text{Área total regada (ha)}} \right) \quad (3)$$

$$\text{Costo Total Campaña (\$. ha}^{-1}\text{)} = \left( \frac{\text{Costo total (\$)}}{\text{Área total regada (ha)}} \right) \quad (4)$$

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

$$WP_1 (\text{kg m}^{-3}) = \frac{R(\text{kg})}{I(\text{m}^3)} \quad (5)$$

donde:

WP<sub>1</sub> - productividad del agua utilizada por riego (I) (kg·m<sup>-3</sup>);

I- riego aplicado (m<sup>3</sup>). R- rendimiento (kg).

La relación beneficio/costo se determinó a partir de la siguiente formula:

$$B/C = \frac{\text{Ingreso Bruto}(\text{\$ha}^{-1})}{\text{Gasto total}(\text{\$ha}^{-1})} \quad (6)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la calidad del riego mediante el Coeficiente de Uniformidad de Heerman y Hein

Según Tarjuelo (2005), los ensayos de campo realizados a los pivotes dan valores generalmente altos de coeficiente de uniformidad, entre 80-90% con velocidades de viento inferiores a 7,5 m s<sup>-1</sup>, cuando la distribución de boquillas y la colocación del

módulo es correcta Placeres *et al.* (2013)2013, considerando una parcela de cultivo bien regada cuando consigue un coeficiente de uniformidad por encima del 80%, esta afirmación se ha podido comprobar en la práctica, incluso el comportamiento inverso, cuando los valores del coeficiente de uniformidad alcanzado están muy por debajo del 80% no solo es apreciable en la pluviometría la calidad del riego, sino también el comportamiento de la entrega de la lluvia de forma visual. En este caso como es un cultivo extensivo de profundidad radicular media como la papa, el comportamiento es como se observa en la Tabla 1, bien 86,67% y mal 79,10%, este último valor cercano al límite. Los tramos calculados con valores de bien en cada máquina, coinciden con lo antes planteado.

Una vez procesado los datos obtenidos en la evaluación de la Máquina *Valmont 1-2* perteneciente a la UBPC “Marcos Martí”, en la máquina *Urapivot 3-2* de la UBPC “William Soler”, podemos ver que los parámetros encargados de definir la calidad del riego son los mostrados en la Tabla 1.

Como se puede apreciar el valor del coeficiente de uniformidad CU<sub>H-H</sub>, está entre el rango planteado por Tarjuelo (2005), por lo que podemos decir que la máquina *Valmont 1-2* riega bien con respecto al coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein. En el caso de la máquina *Urapivot 3-2*

se observa que el valor del coeficiente de uniformidad está fuera del rango (no cumple con el mínimo), según criterio de

Tarjuelo (2005), por lo que podemos decir que la máquina está regando insuficientemente la parcela.

**TABLA 1. Resultados de la máquina Valmont 1-2 y Urapivot 3-2**

Parámetros Evaluados	Valmont 1-2	Urapivot 3-2
	Resultados	Resultados
Velocidad Media traslación (m·h <sup>-1</sup> )	140,45	87,59
Velocidad al 25% traslación (m·h <sup>-1</sup> )	114,01	59,71
Uniformidad de Distribución (UD <sub>25%</sub> )	81,18	68,17
Coefficiente Uniformidad (CU <sub>H-H</sub> )	86,67	79,10
Coefficiente de Variación (CU <sub>v</sub> )	80,03	70,43
Lámina promedio (mm)	20,50	12,78

El primer factor que influye en la uniformidad de los pivotes es el correcto diseño y el adecuado mantenimiento a partir de la carta de emisores, sin encontrar diferencias significativas respecto al tamaño del equipo, la velocidad del viento, la presión de funcionamiento de los emisores, la utilización de difusores o de aspersores de impacto (Gómez, 2015).

En las Figuras 1 y 2 podemos observar el comportamiento de la distribución de las áreas para los sistemas *Valmont 1-2* y *Urapivot 3-2*; donde un aumento del área adecuadamente regada hace que disminuya el valor del área insuficientemente regada y la excesivamente regada, lo cual justifica el valor del coeficiente de uniformidad alcanzado. Área total de ambos sistemas son de 42,08 y 28,07 ha respectivamente.

La siguiente figura muestra la distribución de las áreas regadas en por ciento, en la cual podemos apreciar que el área insuficientemente regada tiene un valor de un 22%, límite del valor con el área regada adecuadamente, corroborando que cuando disminuye el área adecuadamente regada y la excesivamente regada, aumenta el área insuficientemente regada, lo que incide en la reducción del coeficiente de Heerman-Hein, en este caso influenciado por los salideros por manguitos observados.

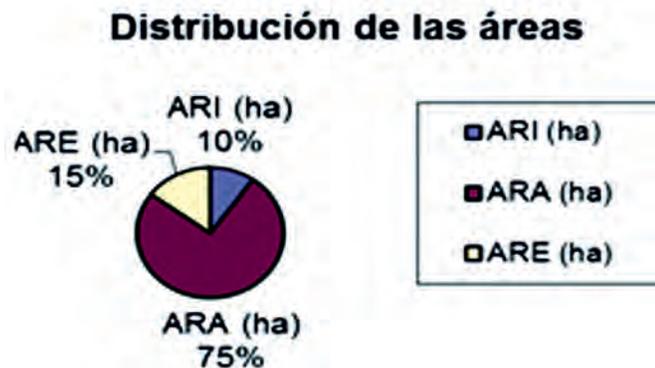


FIGURA 1. Distribución de las áreas regadas en por ciento de la máquina Valmont 1-2.

### Distribución de las áreas

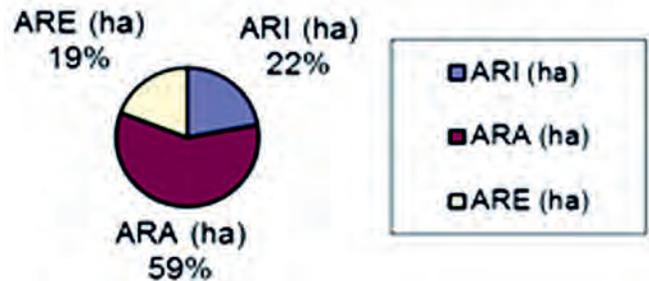


FIGURA 2. Distribución de las áreas regadas en por ciento de la máquina Urapivot 3-2.

Este comportamiento indica que existen problemas con el riego, en este caso dado por el diseño de los emisores utilizados, este problema se presenta en los emisores del primer tramo, lo que indica que los emisores necesarios en ese tramo deben tener menor caudal de entrega con un menor diámetro de salida.

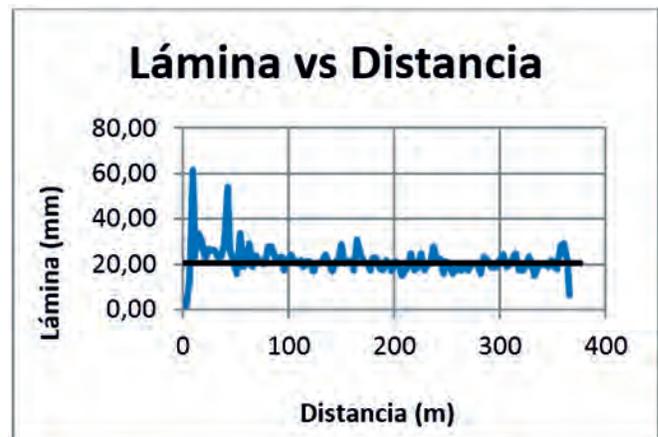


FIGURA 3. Distribución pluviométrica en la máquina Valmont 1-2.

En la Figura 4, se muestra la distribución de la lluvia a lo largo de la máquina, en la cual podemos observar, que al igual que la máquina anterior, en los primeros 100 m se producen

excesos por encima de la lámina media, causados por el mal estado de los emisores y por los salideros presentados.

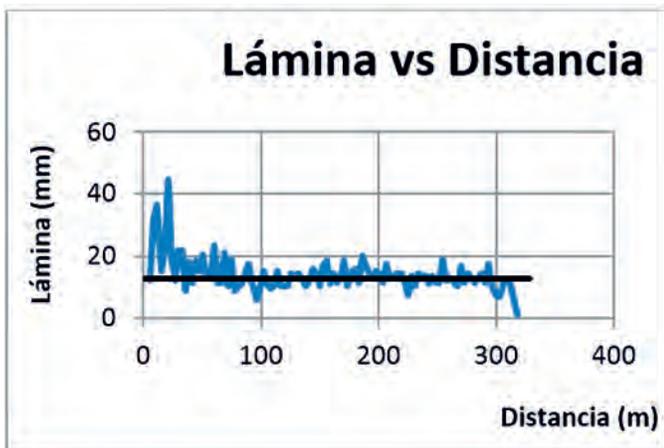


FIGURA 4. Distribución pluviométrica en la máquina Urapivot 3-2.

Para evaluar la uniformidad de la lluvia en los sistemas de pivote central es necesario tener en cuenta la importancia de la muestra que se recoge en los pluviómetros, a medida que se acercan al extremo de la máquina no tienen el mismo valor dentro de la muestra en la pluviometría Machado (2017)2017.

Tanto Heineman y Frizzone (1995); Tarjuelo (2005); Frizzone *et al.* (2009), coinciden en la importancia de alcanzar

elevados valores del coeficiente de uniformidad ya que después se produce el mismo efecto en la producción. Se puede lograr uniformidades entre 82 y 88% para cultivos extensivos, y profundidades radicales media, mientras que para los frutales y forrajes esta uniformidad pudiera estar entre 70 y 80% (González, 2016).

### Caracterización de la calidad del riego a partir de la lámina media entregada al cultivo

Las máquinas de pivote central, como otros equipos de riego deben ser evaluados por los siguientes objetivos: Verificar los parámetros suministrados por el fabricante cuando este ha sido adquirido y el seguimiento de la calidad del riego en su vida útil (González, 2016).

Al determinar la velocidad real de la última torre se tiene que para la máquina *Valmont 1-2* es de 2,33 m·min<sup>-1</sup> que equivale a 139,80 m·h<sup>-1</sup>, valor que se utilizó en el software Pivote de García (2006), para dar los resultados de los parámetros evaluados. Los parámetros de explotación calculados como aparecen en la Tabla 2 son los parámetros reales que se deben aplicar y mantener en las estaciones de bombeo para la realización correcta del riego, partiendo del cálculo de la velocidad real, lo que da, el ajuste preciso a cada máquina, estos parámetros son: norma de entrega bruta (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), norma de entrega neta (m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>), tiempo de giro (h), tiempo por cuadrante (h) así como los porcentajes de trabajo para la entrega de las normas según la edad del cultivo y su profundidad radical en el momento del riego.

TABLA 2. Parámetros de explotación de las Máquinas Valmont 1-2 y Urapivot 3-2

Cálculos de los parámetros de Explotación del Pivote Eléctrico						
Nombre de la Máquina	Radio de Riego (m)	Radio de la Torre Final (m)	Velocidad Máxima (m h <sup>-1</sup> )	Caudal en el Pivote (L s <sup>-1</sup> )	Norma Mínima (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Tiempo de Giro Mínimo (h)
<i>Valmont 1-2</i>	366,00	348,00	139,80	57,00	76,26	15,63
<i>Urapivot 3-2</i>	298,90	286,60	237,00	37,70	36,74	7,59
<i>Valmont 1-2</i>						
Ajuste del Temporizador (%)	Norma Bruta (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Norma Neta (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Tiempo Giro (horas)	Tiempo Cuadrante (horas)	Área (ha)	Número de Torres
10	763	610	156,33	39,08	42,08	7
15	508	407	104,22	26,05		
20	381	305	78,16	19,54		
<b>25</b>	<b>305</b>	<b>244</b>	<b>62,53</b>	<b>15,63</b>		
30	254	203	52,11	13,03		
<i>Urapivot 3-2</i>						
10	367	294	75,94	18,99	28,07	5
15	245	196	50,63	12,66		
20	184	147	37,97	9,49		
<b>25</b>	<b>147</b>	<b>118</b>	<b>30,38</b>	<b>7,59</b>		
30	122	98	25,31	6,33		

Los resultados de campo muestran que al realizar la pluviometría de la máquina al 25% de velocidad aplica una lámina promedio de 203,0 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, como se observa en la Tabla 2, esta pluviometría se corresponde con una velocidad del 30%.

Los parámetros de explotación calculados para dicha máquina, refleja que la misma debe entregar 305 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de norma bruta y 244 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de norma neta; o sea que la lámina promedio obtenida corrobora lo antes expuesto. La lámina media entregada no está en el intervalo dado, sino, para la velocidad de un 30%, motivado por una baja presión en el pivote, lo que no incide en la calidad de la distribución, pero si en la entrega. En este caso el coeficiente de uniformidad de Heerman-Hein dado 86,67%, reafirma que no hubo afectación en dicha calidad del riego, no afectándose el cultivo si se toman las medidas para eliminar los problemas de presión de trabajo.

En la máquina *Urapivot 3-2* se realizó el mismo procedimiento que se empleó en la máquina *Valmont 1-2* y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

La pluviometría de la máquina *Urapivot 3-2* también se realizó para una velocidad del 25% aplicando una lámina pro-

medio de 127,80 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Según los parámetros de explotación, para dicha velocidad la máquina deberá entregar 147 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> y 118 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de norma bruta y norma neta respectivamente.

Según lo planteado anteriormente podemos concluir que, la máquina entrega la lámina media en el intervalo correspondiente a la velocidad de prueba, lo que incide en el valor del coeficiente de uniformidad de 79,10%, valor muy cercano al 80% que deben tener estos sistemas de riego según la clasificación de Tarjuelo (2005)

### Análisis económico

Durante la campaña papera del año 2017-2018 la UBPC “Marcos Martí” donde se ubica la máquina *Valmont 1-2* y la UBPC “William Soler” donde se localiza la máquina *Urapivot 3-2* sembraron diferentes áreas cómo se muestra en la Tabla 3.

Como se puede observar el valor de la relación beneficio-costos obtenido es menor que la unidad, lo que nos indica la no rentabilidad de estas máquinas.

**TABLA 3. Análisis de la relación Beneficio-Costo en la Máquina Valmont 1-2 y Urapivot 3-2 en la campaña 2017-2018**

Máquina	Gasto Total (\$)	Área Total (ha)	Prod. Total (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Gasto Total (\$ ha <sup>-1</sup> )	Ingreso Bruto (\$ ha <sup>-1</sup> )	Relación Beneficio/Costo
<i>Valmont 1-2</i>	639388,57	31,6	952,30	30,14	20233,82	19588,43	0,97
<i>Urapivot 3-2</i>	338974,66	17,44	478,07	27,41	19436,62	17817,86	0,92

Relacionando el coeficiente de uniformidad Heerman-Hein con el rendimiento obtenido, podemos observar que la calidad de riego es determinante, donde en la máquina *Valmont 1-2*, con un coeficiente de Heerman-Hein de 86,67% incidió de forma directa para la obtención de las 30,14 t·ha<sup>-1</sup>.

La máquina *Urapivot 3-2* a pesar de esta tener un coeficiente de uniformidad de 79,10% muy cercano a 80% pero una lámina correcta originó la obtención de un rendimiento de 27,41 t·ha<sup>-1</sup> valorando resultados de satisfactorios.

Como se puede apreciar en la Tabla 4 los rendimientos obtenidos sobrepasan los rendimientos esperados de 23 t·ha<sup>-1</sup> y aún más los rendimientos que fija el banco en su ficha técnica de 20,5 t·ha<sup>-1</sup>.

**Tabla4. Indicadores de desempeño de la campaña**

Indicador	Valmont 1-2	Urapivot 3-2
Área total regada (ha)	695,2	383,68
Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )	30,14	27,41
Consumo energético k·ha <sup>-1</sup> )	11,87	12,73
Productividad agua (kg·m <sup>-3</sup> )	8,29	8,96
Costo total campaña (\$·ha <sup>-1</sup> )	921,82	1705,84

### Productividad del agua

La productividad del agua con respecto a la norma total aplicada fue de 8,29 kg·m<sup>-3</sup> en el caso de la máquina *Valmont 1-2*

y 8,96 kg·m<sup>-3</sup> en la *Urapivot 3-2*, las que se encuentran en el rango planteado por Kijne *et al.* (2003) y González *et al.* (2015), quienes informan en el caso de la papa valores entre 6,2-11,6 kg·m<sup>-3</sup>. Estos valores están en el rango de los informados para las condiciones de Cuba por Roque *et al.* (2013) y González *et al.* (2015) estudiando la productividad agronómica del agua en el cultivo la papa. La incorporación de este indicador permitirá una mejor precisión en el planeamiento del uso del agua en la agricultura y contribuirá a una adecuada gestión del recurso hídrico para una administración del riego óptimo en este cultivo.

### CONCLUSIONES

- El estado de funcionamiento de las máquinas *Valmont 1-2* y *Urapivot 3-2* dependió del comportamiento de los parámetros de explotación, donde la suma de las áreas bien y excesivamente regada están directamente relacionada con el coeficiente de uniformidad de Herman-Hein, obteniéndose valores de 86,67 y 79,10% respectivamente.
- La relación beneficio/costo obtenida en la máquina *Urapivot 3-2* fue de 0,92, mientras para la *Valmont 1-2* fue de 0,97, ambos valores menores que la unidad, lo que indica la no rentabilidad en la campaña, a pesar de haber obtenido buenos rendimientos, con valores de 27,41 y 30,14 t·ha<sup>-1</sup>.
- Los valores de productividad agronómica del agua obtenidos fueron de 8,29 kg·m<sup>-3</sup> para la máquina *Valmont 1-2* y 8,96 kg·m<sup>-3</sup> para *Urapivot 3-2*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CID, L.G.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, B.F.; HERRERA, P.J.; RUIZ, P.M.E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31, 2012, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- DOMÍNGUEZ, G.M.; CÁRDENAS, J.F.; CISNEROS, Z.E.: *Curso Práctico: Riego con Máquinas de Pivote Central*, Ed. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, 3ed ed., La Habana, Cuba, 2002.
- FRIZZONE, J.A.; BERMÚDEZ, H.C.; VALDÉS, M.A.L.: “Costos de operación en los sistemas de riego mecanizado de pivote central”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 30(3), 2009, ISSN: 1815-591X.
- GARCÍA, O.: *Software Pivote*, (Versión Herramienta de Cálculo de Excel), Ed. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Excel, La Habana, Cuba, 2006.
- GÓMEZ, A.O.: *Evaluación de la influencia del módulo de boquillas en la calidad del riego en las máquinas de pivote central*, Universidad de Ciego de Ávila, Tesis presentada en opción al título de Especialista en la Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje, Ciego de Ávila, Cuba, 66 p., 2015.
- GONZÁLEZ, G.L.: *Evaluación de la influencia de los emisores en la calidad del riego en las máquinas de pivote central*, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico, La Habana, Cuba, 54 p., 2016.
- GONZÁLEZ, R.F.; LÓPEZ, S.T.; HERRERA, P.J.: “Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4): 57-63, 2015, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HEINEMAN, A.B.; FRIZZONE, J.A.: “Custo da mel hora da uniformidade de distribucao de agua por un pivot central vs. Economía de energía”, En: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24 Viosa Anais, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, SBEA*, Viosa, MG, Brasil, p. 189, 1995.
- KIJNE, J.W.; BARKER, R.; MOLDEN, D.J.: *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*, Ed. CAB International Publishing, vol. 1, Wallingford, UK, IWMI, Sri Lanka, 354 p., 2003, ISBN: 1-84593-339-7.
- MACHADO, D.F.E.: *Comportamiento de los parámetros de explotación en las máquinas de pivote central en la Empresa “19 de abril*, Universidad Agraria de La Habana, Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Agrícola, San Jose de las Lajas, Mayabeque. Cuba, 60 p., 2017.
- MOLDEN, D.; MURRAY, R.H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN, I.: “A water-productivity framework for understanding and action”, En: *J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden (eds.) Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, Ed. CAB International Publishing, Wallingford, UK, pp. 1-18, 2003.
- NC ISO 11545:2001, IDT: *Maquinás Agrícolas Para Riego-Pivotes Centrales y Máquinas de Avance Frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores. Determinación del coeficiente de Uniformidad de distribución del agua*, Vig. de 2001.
- NC ISO-11545: *Agricultural Irrigation equipment. Centre pivot and moving lateral irrigation machines with spray or sprinklers nozzles. Determination of uniformity of water distribution*, Vig. de 2007.
- PÉREZ, L.R.; BERMÚDEZ, H.C.; VALDÉS, M.A.L.: “Costos de operación en los sistemas de riego mecanizado de pivote central”, *Revista Científica de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 30(3): 51-60, 2009, ISSN: 1815-591X.
- PÉREZ, L.R.; SABATIER, C.Y.: “El cambio del módulo de aspersión en pivotes según criterios económicos: aplicación a dos cultivos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4): 25-30, 2015, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- PLACERES, M.Z.; JIMÉNEZ, E.E.; DOMÍNGUEZ, G.M.; GUZMÁN, V.J.; SÁNCHEZ, P.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.
- RODRÍGUEZ, R.F.F.: “Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba Mapa Isoyético para el periodo 1961-2000”, *Voluntad Hidráulica*, 98: 2-14, 2006, ISSN: 0505-9461, e-ISSN: 1999-2750.
- 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.
- SABATIER, C.Y.: *El cambio del módulo de aspersión en los pivotes a partir de un criterio económico*, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Hidráulico, La Habana, Cuba, 59 p., 2014.
- TARJUELO, J.M.: “El Riego por Aspersión y su Tecnología, Capítulo 5”, En: *Sistemas Autopropulsados de riego por Aspersión*, Ed. E.M.-Prensa, 3ra Edición ed., La Habana, Cuba, pp. 222-266; 306-328, 2005.

---

Yusnavy Pérez-Jorge, Especialista, Empresa Agropecuaria “19 de abril”, Quivicán, Mayabeque, Cuba, e-mail: [yusnavy.p@nauta.cu](mailto:yusnavy.p@nauta.cu)

Zenén Placeres-Miranda, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [zenen.placeres@boyeros.iagricu](mailto:zenen.placeres@boyeros.iagricu)

Enrique Cisneros-Zayas, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [enrique.cisneros@boyeros.iagricu](mailto:enrique.cisneros@boyeros.iagricu)

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 \(CC BY-NC 4.0\)](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.