



EVALUACIÓN DE LA MÁQUINA DE PIVOTE CENTRAL Y CALIDAD DEL RIEGO EN LA CPA "AMISTAD CUBANO BÚLGARA"

EVALUATION OF THE CENTRAL PIVOT MACHINE AND IRRIGATION QUALITY IN THE CPA "CUBAN-BULGARIAN FRIENDSHIP"

JORGE LUIS PACHECO ÁLVAREZ^{1*},  HERIBERTO VARGAS RODRÍGUEZ²,
 FABIENNE MENÉNDEZ TORRES²

¹Empresa de Cultivos Varios Miguel Soneira, Güines. Cuba.

²Universidad Agraria de la Habana. Mayabeque. Cuba

*Autor para correspondencia: Jorge Luis Pacheco Álvarez. e-mail: vargas@unah.edu.cu

Resumen

La presente investigación se realizó en la CPA "Amistad Cubano Búlgara, en el municipio de Güines. Provincia Mayabeque, con el objetivo de evaluar los parámetros de explotación de una máquina de pivote central eléctrica, así como el régimen de riego del cultivo del frijol, utilizando el software Pluviopivot. Se obtuvo como resultado que la máquina de riego regó con mala uniformidad en la campaña 2022-2023, pues el coeficiente de uniformidad ponderado alcanzó valores de 77.47%, con irregularidades de la lámina media de agua, donde el 38.65% de las áreas regadas no recibieron la norma de riego mínima requerida y un 29.70 % recibieron una norma superior a la requerida. Otros problemas encontrados fue la presencia de salideros, deficiencia en el sistema motriz y la inadecuada distribución de las boquillas, todo lo cual conlleva a que el área sea catalogada como inadecuadamente regada. Por último, se realizó la propuesta de un grupo de acciones orientadas a solucionar los problemas presentes y con ello contribuir a la gestión sostenible del agua, con el fin de aumentar los rendimientos agrícolas con menor impacto ambiental.

Palabras clave: Gestión sostenible del agua, sistemas de riego, Evaluación de la calidad del riego

Abstract

The present investigation was carried out at the CPA "Amistad Cubano Búlgara, in the municipality of Güines. Mayabeque Province, with the objective of evaluating the operating parameters of an electric central pivot machine, as well as the irrigation regime of the bean crop, using the Pluviopivot software. The result was that the irrigation machine irrigated with poor uniformity in the 2022-2023 campaign, since the weighted uniformity coefficient reached values of 77.47%, with irregularities in the average water layer, where 38.65% of the irrigated areas did not receive the minimum required irrigation standard and 29.70% received a standard higher than that required. Other problems found were the presence of leaks, a deficiency in the drive system and the inadequate distribution of the nozzles, all of which leads to the area being classified as inadequately watered. Finally, a proposal was made for a group of actions aimed at solving the current problems and thereby contributing to the sustainable management of water, in order to increase agricultural yields with less environmental impact.

Keywords: Sustainable water management, irrigation systems, Evaluation of irrigation quality

Introducción

La utilización del riego para la producción de cultivos es una actividad tan antigua como el surgimiento del hombre.

Ello se reafirma en la Biblia donde se hace alusión a que este se originó al mismo tiempo que el hombre, y en el mismo lugar.

Recibido: 18 de febrero de 2024

Aceptado: 12 de marzo de 2024

Ing. Jorge Luis Pacheco Álvarez. Empresa de Cultivos Varios Miguel Soneira, Güines

Dr.C. Heriberto Vargas Rodríguez. Profesor titular, Universidad Agraria de la Habana. Mayabeque. Cuba.

MSc. Fabienne Menéndez Torres. Profesor auxiliar, Universidad Agraria de la Habana. Mayabeque. Cuba.

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo no declaran conflicto de intereses.

CONTRIBUCION DE AUTORES: Los autores participaron en el diseño y redacción del trabajo, además del análisis de los documentos.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Los descubrimientos arqueológicos dan evidencia del empleo del riego por comunidades en territorios hoy ocupado por países como Egipto, Irán, China, Turquía (Fraga, 2011). Estas prácticas les permitieron a diversas civilizaciones establecerse permanentemente en zonas áridas, semiáridas y desérticas durante el periodo de desarrollo de un cultivo, situación que condujo a la posibilidad de una vida sedentaria y por ende, a la división de las actividades de los individuos de una colectividad. De esta forma se originan los asentamientos humanos y las sociedades, lo que condujo a la evolución de la agricultura y sus sistemas de riego, hasta llegar al surgimiento de los sistemas de riego automatizados (Israelsen y Hansen, 1967; Fraga, 2011).

En la actualidad se han desarrollado máquinas de pivote central (MPC) modernas y sistemas de riego de avance frontal que distan, de manera significativa, del sistema autopropulsado surgido en el año 1948 por Frank Zybach. La expansión de estas técnicas se destaca por su potencial para aplicar agua en forma eficiente, alto grado de automatización, y la menor utilización de mano de obra (en relación a otros métodos de riego). De igual forma tiene la capacidad para aplicar agua y nutrientes solubles en una amplia gama de suelos, cultivos y condiciones topográficas (Enrique et al., 2021).

Mientras que Cuba, según datos del MINAG (2010), cuenta con un área bajo riego de 800000 ha, lo que representa el 26 % del área total cultivable. Siendo las técnicas más generalizadas la de riego superficial con el 68 % del área total, seguidas por la de aspersión (19%), máquinas de riego (7%) y riego localizado (6%). Independientemente de la eficiencia demostrada por estos sistemas (Santos et al., 2010), se hace necesario conocer su estado técnico. Con ello se puede tener el control de sus parámetros de trabajo para incidir, de forma positiva, en su adecuado funcionamiento (entrega uniforme de la norma de riego), así como detectar cualquier irregularidad y las posibles soluciones para atenuar o eliminar las mismas.

En el caso específico de la Empresa Agropecuaria “Miguel Soneira Ríos”, del municipio de Güines, Provincia

Mayabeque, posee 40 máquinas de pivote central. No obstante, todas no cuentan con el mismo estado técnico, lo que conduce a su inadecuado funcionamiento y con ello a la entrega de agua no uniforme (norma de riego), así como al gasto innecesario de recursos agua y energía. Todo lo cual conlleva a la necesidad de la evaluación, sobre la base de un análisis profundo de sus indicadores de funcionamiento, con el fin de garantizar el uso adecuado del agua y contribuir a la producción sostenible de alimentos agrícolas.

Dado a lo anterior en la presente investigación se evalúa el funcionamiento de la Máquina de Pivote Central “Pino 1”, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), con relación a la carta de aspersores y a la pluviometría con el fin de comprobar sus indicadores técnicos y su eficiencia para el riego.

Materiales y Métodos

Caracterización del área estudiada

La Cooperativa de Producción Agropecuaria “Amistad Cubano-Búlgara” (Figura 1) se encuentra situada en el municipio Güines, provincia Mayabeque, Se localizada en las coordenadas geográficas: 22°50'49.99" N, 82°04'08.11"W y 22°47'54.35" N, 82°01'51,24" W de acuerdo con el sistema de coordenadas Cuba Norte y proyección Cónica Conforme de Lambert (PCCL). Limita al norte con la CCS

“Miguel Camacho”, al sur con la UBPC “Restituto Alonso”, al este con el poblado de Güines y al oeste con la UBPC “Sierra Maestra” perteneciente al municipio de Melena del Sur.

La unidad productiva se dedica a los cultivos varios, cuenta con un área total de 643 ha, de las cuales 241 ha se riegan con pivote central.

Para determinar la uniformidad de la distribución del agua en el campo desde las máquinas de riego de pivote central, se ubicaron los pluviómetros a 3 m de distancia uno de otro, según lo establecido en las Norma Cubana ISO 11545 (2007). Las expresiones matemáticas utilizadas para determinar la calidad del riego son las siguientes:

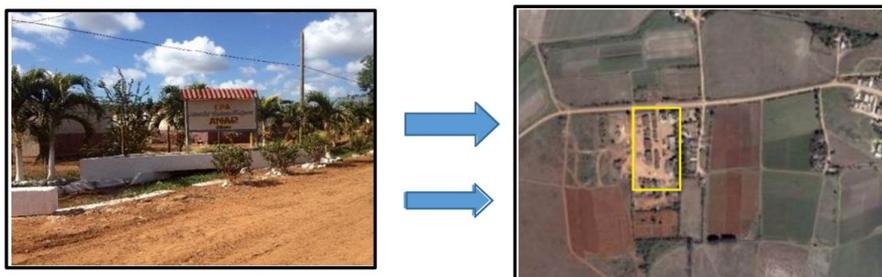


FIGURA 1. Ubicación de la cooperativa “Amistad Cubano - Búlgara”

$$CU_H = 100 \left[\frac{\sum_{i=1}^n Li - V \cdot Si}{\sum_{i=1}^n Li \cdot Si} \right] \quad (1)$$

Donde:

CU_H = Coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein (%).

n = Número de colectores utilizados.

i - número de orden asignado para un colector particular, comenzando por el colector próximo al inicio del campo ($i = 1$) y terminando por $i = n$ para el colector más alejado del pivote.

Si - Distancia desde el colector i hasta el punto de comienzo (Pivote).

Li - Lámina de agua recogida en el colector i ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

En la [Tabla 1](#) se plasman los valores en que puede clasificarse el CU_H según [SIAR \(2003\)](#).

TABLA 1. Valores de CU_H para clasificar riegos.

| CU_H | Aptitud |
|---------|-------------|
| < 80 % | Inaceptable |
| 80-85 % | Aceptable |
| 85-90 % | Bueno |
| > 90 % | Muy Bueno |

De igual forma, para determinar la altura media recogida o lámina media ponderada aplicada se utilizó la siguiente expresión:

$$AMR = V = \frac{\sum_{i=1}^n Li \cdot Si}{\sum_{i=1}^n Si} \quad (2)$$

Donde:

V = AMR - Altura media recogida (Lámina promedio ponderado) ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

Para determinar la calidad del riego se establecen las condiciones para las áreas regadas adecuadamente (ARA), excesivamente (ARE) e insuficientemente (ARI) utilizados por [Pérez Leira et al. \(2003\)](#) y [Duani \(2012\)](#). Estos se definen mediante la siguiente forma:

$$0.90 (AMR) \leq ARA \leq 1.10 (AMR);$$

$$ARE \geq 1.10 (AMR); ARI \leq 0.90 (AMR)$$

Quedando: $ARA + ARE + ARI = 100\%$

Para calcular ARA, ARE y ARI se partió del criterio de que cada lectura es representativa de un área en forma de anillo, que está delimitada por sus dos distancias vecinas respecto al pivote, R_1 (anterior) y R_2 (posterior); y que dicha área aumenta en la medida que se aleja del pivote.

$$A_{ai} = \pi \cdot (R_2 - R_1)^2 \quad (3)$$

Donde:

A_{ai} - Área anular (m^2) correspondiente a la lectura Li

R_2 - Radio exterior del anillo (m), calculado como $(Si + e/2)$

R_1 - Radio interior del anillo (m), calculado como $(Si - e/2)$

e - Espacio entre colectores

Los cálculos se ejecutaron sobre la base de Microsoft Excel para este trabajo. Posteriormente se realizó el análisis de los resultados obtenidos, en el caso de encontrar irregularidades se comparó con la carta de aspersores de cada máquina y proponen los cambios correspondientes.

Pasos para evaluación del funcionamiento de las MPC

1. Verificar si los aspersores son de la misma marca y conocer el estado en que se encuentran.
2. Colocación de los colectores (vasos) según espaciamento.
 - Aspersores - 5 m
 - Boquillas - 3 m
3. Medir el volumen de agua recogida en los colectores una vez terminado el riego, que haya dejado de caer la última gota de agua en los mismos (se determina mediante una probeta graduada).
4. Cálculo de la lámina media de agua (AMR).
5. Cálculo del coeficiente de uniformidad.
6. Determinación de la situación de las áreas bajo riego y cuantificación de las mismas (área regada adecuadamente (ARA), área regada excesivamente (ARE) y área regada insuficientemente (ARI)).

Normas de riego

En las [Tablas 2](#) se muestran las normas de riego para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Resultados y Discusión

En la [Tabla 3](#) se reflejan los principales problemas detectados en la máquina Pino 1 después de la revisión físico-técnica con la carta tecnológica del fabricante. Estos se relacionan fundamentalmente con los salideros, en el sistema motriz y en la colocación no adecuada de las boquillas.

El funcionamiento de esta máquina según [SIAR \(2003\)](#) es inaceptable con un coeficiente de uniformidad $CU_H = 77.47\%$. Ello se corrobora al evaluar las áreas bajo riego, donde el 38.65% de las áreas regadas no recibieron la norma de riego mínima requerida y un 29.70% recibieron una norma superior a la requerida. Se puede apreciar que las entregas insuficientes se encuentran concentradas en los dos últimos tercios de la longitud de la máquina y las excesivas en los dos primeros tercios (ver [figura 2](#)). Ello demuestra que el 68.35% del riego en la MPC estudiada es inadecuado, siendo solamente el 31.65%

TABLA 2. Normas de riego del Cultivo de Frijol.

| Fase de Desarrollo | Norma Neta (m ³ . ha ⁻¹) | Intervalo (días) | Nº de riego |
|----------------------------|---|------------------|-------------|
| Siembra-Brotación | 400-500 | 4 | 2 |
| Brotación-Inicio Floración | 200-250 | 6 | 5 |
| Floración- Maduración | 300-350 | 5 | 8 |
| Maduración- Cosecha | 200-250 | 7 | 2 |

TABLA 3. Indicadores de eficiencia de la MPC Pino 1

| Máquina | Banco de problemas | | | | Máq. Cert. | Pruba Pluvio-métrica |
|---------|--------------------|----------------|-------------------|----------------------|------------|----------------------|
| | Salideros | Sistema Motriz | Sistema Eléctrico | Bajantes y boquillas | | |
| Pino 1 | Problema | Problema | Problema | Problema | No | Si |

calificada como área de riego adecuada (ARA), el resto se clasificada como Área de Riego excesiva (ARE) o área de riego insuficiente (ARI), tal cómo se explica anteriormente, indicadores que conlleven a que el área sea catalogada cómo inadecuadamente regada (Tarjuelo, 2005), echo que queda reflejado en el coeficiente de uniformidad (Tabla 4), lo que afecta el adecuado desarrollo del cultivo del frijol, resultados semejantes obtienen Rankine et al (2021) al modelar el potencial de irrigación del cultivo de la yuca.

El coeficiente de uniformidad no es un indicador confiable por sí solo para emitir un criterio sobre el funcionamiento de la máquina. En este sentido, es necesario hacer un análisis integral de todos los parámetros dado a que los problemas fundamentalmente pueden estar asociados con la presión que brinda la bomba al sistema y/o con la colocación de boquillas de un determinado diámetro en una posición que requiere uno superior o inferior (Tormes et al., 2009; Pérez et al., 2003).

Al respecto, en la Figura 2 se puede apreciar que a 6.5 m y 57.5 m existen dos puntos máximos que corresponden a normas de 810.08 m³. ha⁻¹, estos puntos entregan una norma excesiva producto de salideros que existen en esas posiciones.

Así mismo, en los puntos máximos ubicados entre las distancias 93.5 m y 126.5 m se entregan también láminas excesivas (419.77 - 648.06 m³. ha⁻¹), esto también ocurre en la distancia 195.5 m con una entrega de 618. 61 m³. ha⁻¹, debido a la inadecuada colocación de las boquillas.

En la Tabla 5 se muestran las normas de riego que debería haber entregado la máquina según la planificación en la fase de cultivo. En la misma se aprecia que la entrega de agua fue superior a las necesidades del cultivo en función a los

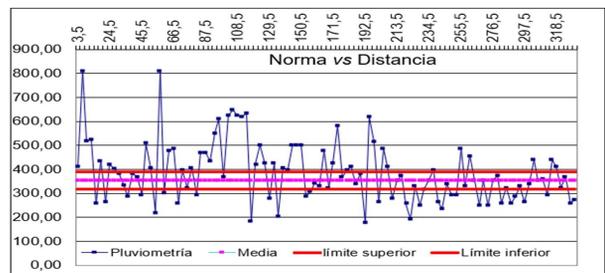


FIGURA 2. Relación Norma vs Distancia de “Pino 1”

principales suelos presentes en el área de estudio. Tal cómo se observa, de los 254.1 m³. ha⁻¹ necesarias para el desarrollo del cultivo se entregó 353.92 m³. ha⁻¹; esta norma aplicada se eleva considerablemente producto de los salideros existentes en la máquina y la colocación inadecuada de las boquillas a lo largo de la máquina.

Esta situación no solo eleva considerablemente el gasto de agua y con ello los costos económicos (Sánchez et al., 2022 y Cruz et al., 2022), sino que también contribuye a la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos presentes en el área de estudio y al lavado de sus nutrientes, lo que coincide con los resultados reportados por Vargas (2009) y Rodríguez et al. (2020), situación que puede además contribuir a la contaminación de las aguas subterráneas (Falcón, 2019, Yesenia, 2023 y Velandia, 2023).

Principales soluciones

Una vez detectados los principales problemas en la MPC “Pino 1”, y analizadas las principales causas que provocan los mismos fue posible sugerir un grupo de acciones conducentes a solucionar los mismos. Entre ellos se destacan los siguientes:

TABLA 4. Indicadores de eficiencia de la MPC “Pino1”.

| Máquina | AMR (m ³ . ha ⁻¹) | CU _{II} (%) | CU _v (%) | UD _{25%} (%) | ARA (ha) | ARA (%) | ARI (ha) | ARI (%) | ARE (ha) | ARE (%) |
|---------|--|----------------------|---------------------|-----------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Pino 1 | 353.92 | 77.47 | 70.39 | 73.61 | 14.35 | 31.65 | 17.52 | 38.65 | 13.46 | 29.70 |

TABLA 5. Normas de riego de la MPC "Pino 1"

| Fase de desarrollo | Norma Neta (m3. ha ⁻¹) | Norma a entregar (m3. ha ⁻¹) | Norma aplicada (m ³ . ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Brotación-Inicio Floración (frijol) | 200-250 | 254.1 | 353.92 |

- Reparar Pizarra Eléctrica de 104 Kw.
- PCL con problema en cuatro torres.
- Sustituir tres Moto reductores.
- Eliminar los salideros en el preñe y en la junta de pivot.
- Sustituir cuatro reductores de rueda.
- Cambio de 8 Kit de Trasmisiones.
- Cambio de los bajantes y boquillas por un módulo cubano.
- Llevar la MPC a su presión de trabajo.
- Realizar nuevamente la prueba pluviométrica.
- Si los resultados de ARA no estuviera dentro de lo correcto (ARA=70-80%) se deben hacer muestreos de suelo para observar cómo se distribuye la humedad a lo largo de la máquina después del riego, puede que sea uniforme y de esa manera no haría falta realizar alguna corrección a la MPC.

Conclusiones

Como resultado de la investigación se encontró que la Máquina de Pivote Central "Pino 1", presenta una mala uniformidad de riego, con valores de coeficiente de uniformidad de 77.47%, siendo el Área insuficiente regada de 17,52 % y la de Riego excesiva (ARE) de 29,70 %.

Entre los principales indicadores de deficiencia se encontraron problemas relacionados con la presencia de salideros, deficiencia en el sistema motriz y la inadecuada distribución de las boquillas, todo lo cual conlleva a que el área sea catalogada como inadecuadamente regada.

Las acciones propuestas para solucionar los problemas presentes en la MPC "Pino 1" contribuyen a la gestión sostenible del agua con el fin de aumentar los rendimientos agrícolas con un menor impacto ambiental.

Referencia

- Cruz Mayo, P., & Aguilar Chávez, A. (2022). Evaluación de la operación de un tramo del canal principal de riego con un enfoque económico.
- Duani, E. M. (2012). Problemáticas de las unidades temáticas 1, 2, 3, En: Memorias del XXIV Curso Internacional de Técnicas de Riego y Gestión de Regadíos, España.
- Enrique, C. Z. C., Gonzalez-Robaina, C. F., Placeres-Miranda, Z., & Cun-Gonzalez, R. (2021). Operational Parameters in Center Pivot Machines and their Influence on the Delivery Irrigation Duty/Los parámetros operacionales en máquinas de pivote central, su influencia en las normas de entrega. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(3), 5-19.
- Falcón Pulido, S. (2019). Evaluación del impacto del riego con aguas regeneradas en el agrosistema.
- Fraga, A. (2011). Estudio de la eficiencia en los sistemas de riego de pivote central en la Empresa Agropecuaria "Miguel Soneira Ríos", municipio Güines, provincia Mayabeque, 55pp., Trabajo de Diploma (en opción al Título de Ingeniero Agrónomo), Universidad Agraria de La Habana.
- Iraelsen, O.W. y V.E.Hansen. (1967). *Irrigation Principles and Practices*, 3^a. ed., John Wiley and Sons, Nueva York.
- MINAG. (2010). Balance de uso del agua para el riego. Informe anual, La Habana.
- NC ISO 11545. (2007). Máquinas agrícolas para riego – Pivotes centrales y máquinas de avance determinación de la uniformidad de distribución del agua, (ISO11545:2001, IDT).
- Pérez Leira, R. Alfonso, E. Cárdenas, J. López, G y alemán, C. (2003). Un estudio de evaluación de la aplicación del riego en sistemas por pivote central. *Revista ingeniería hidráulica en México*, 18 (3): 45 – 46.
- Rankine, D., Cohen, J., Murray, F., Moreno Cadena, P., Hoogenboom, G., Campbell, J., Taylor, M. & Stephenson, T. (2021). Evaluation of DSSAT-MANIHOT-Cassava model to determine potential irrigation benefits for cassava in Jamaica. <https://doi.org/10.1002/agj2.20876>
- Rodríguez González, O., Florido Bacallao, R., Varela Nualles, M., González Viera, D., Vázquez Montenegro, R., Maqueira López, L.A. & Rogelio Morejón Rivera, R. (2020). Aplicación de la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para la variedad de arroz J-104. *Cultivos Tropicales*, 2020, vol. 41, no. 2, e01. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Sánchez-Veranes, C., Falcón-Acosta, M. D. C., & Sala-Hernández, L. (2022). Evaluación del asesoramiento al regante en la Cooperativa de Producción Agropecuaria Amistad Cubano Búlgara. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(3).
- SIAR. Junta de Comunidades del Consejo de Agricultura de Castilla-La Mancha. Hoja Informativa. Marzo 2003. www.jccm.es. España
- Tarjuelo, J.M. (2005) El riego por aspersión y su tecnología, 569pp., Ed. Mundi Prensa. Tercera edición, Madrid, España.
- Tornés, N., Pujol, P., Gómez, Y., Boicet, T., & Goite, L. C. (2009). Evaluación de la calidad del riego en máquinas

- eléctricas de pivote central del modelo o tipo Ballama. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1), 59-63.
- Vargas, H; Martín, N. y Torres, F. (2009) Determinación del efecto de dos tipos de Utilización de la Tierra (TUT) sobre algunas propiedades de un suelo Ferralítico rojo en el municipio San José de las Lajas, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 5pp.
- Velandia, C. C. L. (2023). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando métodos de índice y análisis estadístico multivariado: cuenca del río Pavas (Colombia). *South Sustainability*, 4(1), e072-e072.
- Yesenia, G. C. (2023). Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas del sistema acuífero del golfo de Urabá-Colombia.