

Determinación del coeficiente de uniformidad en sistemas de riego por pivote central en la UBPC “35 Aniversario”

Determination of the Uniformity Coefficient in Center Pivot Machine Irrigation Systems at UBPC “35 Aniversario”

 Odalis Mena Castro^{1*},  Xiomara de los Ángeles González Soca²,  Camilo Bonet Pérez³ y  Dania Rodríguez Correa³

¹Centro Universitario Sierra de Cubitas. Sierra de Cubitas Camagüey, Cuba.

²Delegación municipal de la Agricultura. Sierra de Cubitas. Camagüey, Cuba.

³Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Camagüey, Cuba. E-mail: camilobp51@gmail.com, daniarc1975@gmail.com

*Autora para correspondencia: Odalis Mena Castro, e-mail: odalis389@gmail.com

RESUMEN: El riego eficiente constituye un factor esencial para garantizar la sostenibilidad agrícola en escenarios de cambio climático. En este estudio se evaluó el coeficiente de uniformidad (CU) del agua aplicada mediante una máquina de pivote central eléctrico modelo MBA-T54.86-B, con el propósito de determinar la calidad del riego aplicado por una máquina de riego en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “35 Aniversario”. La evaluación se realizó aplicando el método de Heermann y Hein, conforme a la norma NC ISO 11545, a partir de la lámina promedio obtenida en la pluviometría comprobatoria. Se observaron parámetros técnicos como presión, velocidad de traslación y estado de las boquillas. Los datos fueron analizados estadísticamente, obteniéndose un CU de 70 %, valor considerado deficiente para esta tecnología, lo que evidencia pérdidas significativas de agua y baja eficiencia energética. Este resultado refleja una desviación respecto a los valores óptimos (>85 %) requeridos en cultivos de alta demanda hídrica. Entre las causas identificadas se destacan obstrucciones, boquillas deterioradas y fallos de presión. Se proponen medidas correctivas como el mantenimiento riguroso del equipo, el monitoreo sistemático de la humedad del suelo y la capacitación en el manejo adecuado. Estos hallazgos permiten organizar un plan de acciones extensivo para todas las máquinas de pivote central eléctrico de la UBPC y la Empresa Agropecuaria Citrícola Sola, que presentan problemáticas similares a la unidad estudiada.

Palabras clave: eficiencia hídrica y energética, riego eficiente, parámetros técnicos.

ABSTRACT: Efficient irrigation is essential to ensure agricultural sustainability under climate change conditions. This study evaluated the uniformity coefficient (CU) of water distribution using an electric center pivot irrigation machine, model MBA-T54.86-B, with the aim of determining irrigation quality in a center pivot machine at UBPC “35 Aniversario.” The assessment was conducted following the Heermann and Hein method, in accordance with the procedures established by NC ISO 11545, based on the average depth obtained from the verification pluviometry. Technical parameters such as pressure, travel speed, and nozzle condition were observed. Data were statistically analyzed to calculate the CU, which resulted in 70%, a value considered deficient for this technology, indicating significant water losses and low energy efficiency. Statistically, this outcome represents a deviation from the optimal values (>85%) required for crops with high water demand. The main causes identified included obstructions, deteriorated nozzles, and pressure failures. Corrective measures are proposed, such as rigorous equipment maintenance, systematic monitoring of soil moisture, and training for proper management. These findings provide the basis for an action plan applicable to all electric center pivot irrigation machines at UBPC and the Empresa Agropecuaria Citrícola Sola, which face similar challenges to the unit studied.

Keywords: Water and energy efficiency, efficient irrigation, technical parameters.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el uso intensivo del agua en la agricultura han incrementado la presión sobre los recursos hídricos (FAO, 2021). En este contexto, los sistemas de riego presurizados, particularmente los pivotes centrales

eléctricos, se han adoptado en Cuba como alternativa para mejorar la productividad agrícola (González, 2006). La eficiencia de estos sistemas depende de la uniformidad del riego, parámetro técnico que influye directamente en el aprovechamiento del agua y en el rendimiento de los cultivos (Cárdenas, 2000; Dong et al., 2020).

Recibido: 12/12/2025

Aceptado: 30/04/2026

Conflicto de intereses: Los autores declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Supervisión, Redacción borrador original: Odalis Mena. Investigación, Redacción borrador original: Xiomara González. Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Redacción-revisión y edición: Camilo Bonet. Análisis formal, Investigación, Supervisión: Dania Rodríguez.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.



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/>



Las máquinas de pivote central constituyen una de las tecnologías más avanzadas para la aplicación de agua mediante aspersión (Bonet & Guerrero, 2016). En Cuba se han realizado inversiones significativas para su instalación en diversas provincias (Rodríguez y Troncoso, 2005, citados por Rodríguez (2023). Estos equipos permiten un ahorro notable de agua y energía frente a métodos tradicionales, además de facilitar la programación de riegos más frecuentes y ajustados a las necesidades hídricas de los cultivos (González, 2004).

La uniformidad de aplicación del riego es un indicador clave para evaluar la eficiencia y la productividad agrícola. Su análisis permite comprobar el diseño y funcionamiento de las unidades de riego, detectar deficiencias y establecer diagramas de manejo adecuados (Cárdenas, 2000; Tarjuelo, 2005). Asimismo, la programación del riego -definida por cuánto, cuándo y cómo regar- requiere la cuantificación precisa de las necesidades hídricas de los cultivos, obtenidas a partir de parámetros de evaporación y transpiración (Trezza et al. 2008).

En Cuba, los pivotes centrales se emplean en cultivos de importancia económica, lo que exige un manejo eficiente ante el incremento de los costos energéticos e insumos. La mecanización del riego ha ampliado la frontera productiva, pero su rendimiento depende de la uniformidad de aplicación del agua, siendo el coeficiente de uniformidad un indicador esencial para evaluar su efectividad (Heermann & Hein, 1968).

La UBPC “35 Aniversario” produce cultivos varios mediante sistemas de riego, entre ellos los de pivote central. Sin embargo, los productores y técnicos carecen de conocimientos básicos sobre su operación, aplicando normas generales sin considerar las etapas de desarrollo de los cultivos ni las condiciones edafoclimáticas. Ante esta problemática, resulta imprescindible realizar evaluaciones y monitoreo de las máquinas de pivote central para garantizar un uso eficiente del agua y de las áreas bajo riego.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo determinar la calidad del riego aplicado por una máquina de pivote central eléctrico en la UBPC “35 Aniversario”.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Unidad Productiva Básica Cooperativa (UBPC) “35 Aniversario”, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Citrícola Sola, ubicada en el municipio Sierra de Cubitas, provincia Camagüey. Geográficamente, se localiza en el poblado de Imías, carretera de los Pilones, entre las coordenadas 21°43'59"N y 77°46'14"W (Figura 1).

La UBPC cuenta con un área total de 938 ha, de las cuales 427 ha están bajo riego, distribuidas en seis máquinas de pivote central eléctrico. El abastecimiento de agua proviene de fuentes subterráneas. Según el estudio actualizado por el Instituto de Suelos (2020), el área presenta suelos Ferríticos púrpura, con predominio del subtipo típico, cuyas propiedades hidrofísicas son las siguientes (Instituto de Suelos, 2020):



Figura 1. Imagen satelital de la unidad objeto de estudio UBPC “35 Aniversario”. Fuente: Google Maps (2025).

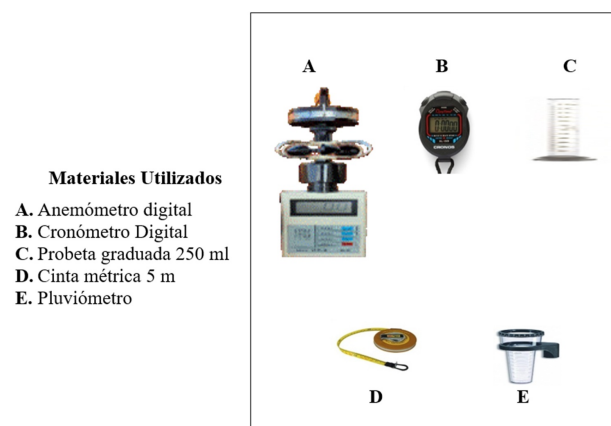


Figura 2. Materiales utilizados. Fuente: elaboración de la autora.

- Densidad aparente: 1,49 2,76 g/cm³
- Capacidad de campo: 26,49 % b.s.s.
- Velocidad de infiltración estabilizada: 113,52 mm/h

Evaluación hidráulica del sistema de riego

La evaluación hidráulica se realizó en una máquina de pivote central eléctrico modelo MBA-T54.86-B, siguiendo el método de Heermann y Hein, descrito en la norma NC 11 545 (2005). Este procedimiento permite verificar el funcionamiento bajo condiciones reales y determinar la eficiencia del sistema.

Procedimientos

La técnica de riego utilizada en la investigación fue la de máquinas de pivote central eléctrica, las mismas son del modelo MBA-T54.86-B.

La Figura 2 muestra los materiales utilizados.

Trabajo de campo

1. Se revisaron las condiciones técnicas del sistema de riego: distribución de boquillas, presión de trabajo y altura de las mismas (Figuras 3 y 4



Figura 3. Control de la presión de trabajo.



Figura 5. Controlando la velocidad del viento en el área de estudio.



Figura 4. Control de la pizarra de trabajo.

2. Se efectuó la evaluación hidráulica según la norma [NC ISO 11545 \(2012\)](#).

3. La velocidad del viento se midió sistemáticamente en distintos horarios, con un anemómetro digital marca Dhgate (precisión $\pm 5\%$) ([Figura 5](#)).

4. Se calculó la velocidad real de desplazamiento del pivote y se comparó con la teórica utilizando un cronómetro digital.

6. La distancia entre pluviómetros se midió con una cinta métrica de 50 m.

7. Los pluviómetros se colocaron a lo largo del pivote, separados 3 m entre sí.

8. Tras el paso del pivote, se midió el volumen de agua recogida en cada pluviómetro con una probeta graduada ([Figura 6](#)).

10. Con los datos obtenidos se calcularon los indicadores hidráulicos, incluyendo el coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein ([NC ISO 11545, 2012](#)).

Se formula de la siguiente forma:

$$CuH = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - V_w| S_i}{\sum_{i=1}^n V_i - S_i} \right]$$

donde:

CuH- es el coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein

n- es el número de pluviómetros usados

i- número asignado a cada pluviómetro

Vi- volumen de agua recogida en cada pluviómetro i (ml)

Si- es la distancia del pluviómetro i. al centro pivote (m)

Vw- volumen medio ponderado de agua recogida, calculada según:

$$V_w = \frac{\sum_{i=1}^n V_i * S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$



Figura 6. Medición de la lámina de agua en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión integral de la máquina de pivote central No. 2 de la UBPC “35 Aniversario” permitió comprobar que su estructura corresponde al diseño original MBA-T54.86-B de 8 torres, con 460 m de longitud. El número de boquillas (223), la presión de trabajo (4,5 bar) y la velocidad de traslado se ajustan a la carta de operación del fabricante.

A partir de estas condiciones se realizó la evaluación hidráulica para analizar el comportamiento del riego. La electrificación y modernización de esta tecnología han incrementado el consumo energético (Mujica y López, 2010, citado por López et al. 2017), lo que hace imprescindible una explotación adecuada para evitar despilfarros de agua y energía. Coincidiendo con Rodríguez (2017), la evaluación de los pivotes centrales resulta esencial para validar parámetros reales de trabajo y detectar problemas operativos.

Diversos estudios señalan que la uniformidad de riego depende principalmente del diseño y mantenimiento del sistema (Pérez-Jorge et al. 2021), mientras que el viento constituye el principal factor de distorsión en la distribución del agua (Zapata et al. 2019; Rodríguez et al. 2012;

Uribe et al. 2021, citados por Bonet (2024). En este estudio, la velocidad del viento se clasificó como condición media (Tarjuelo, 2005) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de la velocidad del viento para el riego por aspersión.

Condiciones	Velocidad del viento (m/s)
Muy ventosas	$v_v > 4$
Medias	$2 < v_v < 4$
Favorables	$v_v < 2$

Fuente: Tarjuelo (2005)

El coeficiente de uniformidad (Cu) obtenido fue de 70%, valor considerado malo según los criterios de Tarjuelo (2005) (Tabla 2), resultado de deficiencias técnicas como salideros y obstrucciones en las boquillas. Este resultado es inferior a los reportados por otros autores (Tarjuelo, 2005; Tornés et al. 2009; López et al. 2017; Rodríguez, 2023) (Tabla 3), quienes señalan que valores menores al 75% indican distribución irregular del agua y necesidad de acciones correctivas. Las observaciones técnicas revelaron desgaste de boquillas, obstrucciones, fugas en tuberías y ausencia de mantenimiento programado, factores que explican la baja uniformidad.

Tabla 2. Criterios evaluativos del coeficiente de uniformidad del riego.

Rango (%)	Criterios cualitativos
< 79	Mal
80 - 85	Regular
86 - 89	Bien
>90	Excelente

Fuente: Tarjuelo (2005)

Tabla 3. Resultados de los parámetros obtenidos de coeficiente de uniformidad (Cu) en investigaciones realizadas por varios autores.

Autores	Cu (%)
Tarjuelo (2005)	82 a 88
Tornés, Pujol, Gómez, Boicet y Cintra (2009)	78
López, Martínez, Alcívar, González y Herrera (2017)	75
Rodríguez (2023)	78

Fuente: Rodríguez (2023)

La literatura coincide en que valores de Cu superiores al 82% son necesarios para cultivos extensivos, mientras que para frutales y forrajes se aceptan rangos entre 70 y 82% (Heineman & Frizzzone, 1995; García, 2016). Un Cu del 70% compromete el aprovechamiento del agua y la productividad, generando además un mayor consumo energético por la necesidad de riegos adicionales (Dong et al. 2020; Lee et al. 2025).

En concordancia con Kansas State University (2025), la reducción de la velocidad de avance y el mantenimiento periódico de boquillas son medidas determinantes para mejorar la uniformidad, por ello, se propone un plan de acciones que incluye:

- Mantenimiento riguroso del equipo: sustitución de emisores obstruidos y reparación de fugas.
- Monitoreo sistemático de la humedad del suelo para ajustar la programación de riego.
- Capacitación del personal técnico y productores en buenas prácticas de operación y manejo eficiente del sistema.

CONCLUSIONES

El coeficiente de uniformidad obtenido mediante el método de Heermann y Hein fue de 70 %, valor considerado “malo” según los criterios de evaluación, ya que se encuentra por debajo del rango recomendado (≥ 80 %). Este resultado evidencia la necesidad de implementar medidas correctivas de mantenimiento y capacitación técnica para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la energía, garantizando una mayor productividad agrícola y sostenibilidad del sistema de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonet, P. C. (2024). Efecto de la dirección del viento en la calidad del riego en máquinas de pivote central. *Ingeniería Agrícola*, 14(2), ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Bonet, P. C., & Guerrero, P. P. (2016). Análisis de la calidad del riego de los sistemas por aspersión de producción nacional. *Ingeniería Agrícola*, 6(1), 14-18, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Cárdenas, J. F. (2000). *Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central* [Tesis de maestría]. Universidad Agraria de La Habana (UNAH).
- Dong, B., Liu, M., & Li, Y. (2020). Efficient irrigation strategies for center-pivot systems in arid regions. *Agricultural Water Management*, 240, 106305. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106305>
- FAO. (2021). *Climate-smart irrigation for resilient agriculture* (FAO Water Reports, Vol. 44). FAO Water Reports. <https://www.fao.org/publications>
- García, A. (2016). *Estudio de factores que limitan la eficiencia técnica y económica de los pivotes centrales* [Tesis de maestría]. Universidad Agraria de La Habana (UNAH).
- González, P. (2004). *Curso Nacional de Máquinas de Riego*. IIRD, 2004.
- González, P. (2006). Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes en las máquinas de riego por aspersión. Informe final Proyecto 22-18, IIRD
- Heermann, D. F., & Hein, G. A. (1968). Distribution of water by center pivot irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, 11(1), 11-15.
- Instituto de Suelos. (2020). *Informe sobre la actualización de los suelos en la UBPC Victoria II para el Programa de Polígonos de Conservación de Suelos*.
- Kansas State University. (2025). Reducing pivot speed to increase irrigation absorption efficiency. *Extension Irrigation Bulletin*, KSUE-2025-104.
- Lee, H., Park, J., & Kim, S. (2025). Effects of irrigation volume on substrate water uniformity in center-pivot systems. *Journal of Irrigation Science*, 43(2), 187-199.
- Lima, F. (2017). *Modelo de gestión de una red colectiva de riego a la demanda mediante el control de la programación de riego en parcela*.
- Liu, Y., Chen, L., & Wang, Z. (2025). Modeling deep percolation in center-pivot irrigation under variable soil conditions. *Irrigation Science*, 44(1), 55-67.
- López, M., Carmenates, D., Mujica, A., & Paneque, P. (2017). Operación del pivote central evaluando la dinámica de humedad en el suelo con TRD. *Ingeniería Agrícola*, 7(3), 11-16. ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- NC ISO 11545. (2012). *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, La Habana, Cuba.
- Pérez, A. (2009). *Manejo del riego en la papa (Solanum tuberosum L.) con máquinas de pivote central en la UBPC-2 de la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”* (Tesis de diploma). UCLV, Villa Clara, Cuba.
- Pérez-Jorge, Y., Placeres-Miranda, Z., & Cisneros-Zayas, E. (2021). Estudio técnico-económico en máquinas de pivote central. *Ingeniería Agrícola*, 11(2), 18-24. ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Rodríguez, D. (2023). *Modelo de gestión integral del riego en sistemas con máquinas de pivote central eléctrico en el cultivo del frijol en suelos fersialítico pardo rojizo* (Tesis doctoral). Universidad Agraria de La Habana.
- Rodríguez, D., Bonet, C., Mola, B., & Guerrero, P. (2018). Propuesta de estrategia de extensión de buenas prácticas de riego en una unidad productiva agrícola. *Ingeniería Agrícola*.
- Rodríguez, M. (2017). *Respuesta agroproductiva de cuatro cultivares comerciales de Phaseolus vulgaris L. en época tardía* (Tesis de grado). CEDEX, Madrid, España.
- Tarjuelo, J. M. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología* (3ª ed. ampliada). Mundi-Prensa, Madrid.
- Trezza, R., Pacheco, Y., Suárez, Y., Núñez, A., & Umbría, I. (2008). 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. ISSN: 1316-3361.
- Tornés, N., Pujol, P., Gómez, Y., Boicet, T., & Cintra, L. (2009). Evaluación de la calidad del riego en máquinas eléctricas de pivote central del modelo Ballama. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1), 59-63.
- Uribe, C., Lagos, L., & Holzapfel, E. A. (2021). *Pivote central (Informe técnico)*. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Riego, Gobierno de Chile, Santiago de Chile, Chile