

Efecto de la dirección del viento en la calidad del riego en máquinas de pivote central

Effect of the Wind Direction in the Irrigation Quality in Central Pivot Machines



<https://cu-id.com/2284/v14n2e06>

[✉]Camilo Bonet-Pérez*, [✉]Bárbara Mola-Fines, [✉]Dania Rodríguez-Correa,
[✉]Pedro Guerrero-Posada, [✉]Fernando Machado-Pérez, Taiyanys Zamora-Martín

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Filial Camagüey, Cuba.

RESUMEN: El uso eficiente de los sistemas de riego constituye un aspecto de vital importancia para el logro de valores adecuados de productividad del agua, esta eficiencia estará en gran medida condicionada con el comportamiento de las variables climáticas durante el proceso de riego; con el objetivo de valorar el efecto de la dirección del viento en la calidad del riego con máquinas de pivote central en dependencia de las diferentes posiciones que ocupa la misma durante la ejecución de riego se realiza una evaluación en la UBPC Victoria II perteneciente a la Empresa Agropecuaria Camagüey, en la cual se determinaron parámetros de calidad del riego en tres posiciones de la máquina respecto a la dirección del viento, dos en el sentido del viento y una perpendicular al mismo; los resultados indican una variación en el comportamiento de los parámetros evaluados, alcanzando los valores más desfavorables de Coeficiente de Uniformidad (80 %), Uniformidad de Distribución (78 %), Eficiencia de Descarga (72 %) y Área Adecuadamente Regada (44 %) cuando la máquina se dispone perpendicular a la dirección del viento, lo cual indica la conveniencia de considerar la posición de la máquina en relación al sentido del viento durante el proceso de evaluación para lograr una mejor interpretación de los resultados observados.

Palabras clave: clima, uso del agua, pérdidas de agua, uniformidad de distribución.

ABSTRACT: The efficient use of the irrigation systems constitutes an aspect of vital importance for the achievement of appropriate securities of water productivity. This efficiency will be conditioned in great measure by the behavior of the climatic variables during the irrigation process. With the objective of valuing the effect of the direction of the wind in the quality of the irrigation with central pivot machines in dependence of the different positions that it occupies during the irrigation an evaluation was carried out in the UBPC Victoria II of the Empresa Agropecuaria Camagüey. Were determined the parameters of the irrigation quality in three positions of the machine regarding wind direction, two in the direction of the wind and one perpendicular. The results indicate a variation in the behavior of the valued parameters, reaching the most unfavorable securities in Coefficient of Uniformity (80 %), Uniformity of Distribution (78 %), Efficiency of Discharge (72 %) and Appropriately Irrigated Area (44 %) when the machine is located perpendicular to the direction of wind, that indicates the convenience of considering the position of the machine in relation to the wind during the evaluation process in order to achieve a better interpretation of the observed results.

Keywords: Climate, Water Use, Water Losses, Distribution Uniformity.

INTRODUCCIÓN

El agua representa casi las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta y constituye un elemento imprescindible para la vida. El sector agrícola realiza el mayor consumo de agua en el mundo y por tanto la agricultura irrigada debe ser eficiente para tener sostenibilidad ambiental y económica (Cun-González et al., 2020).

Dado que el agua es un bien cada vez más escaso, los riegos deben ser más eficientes para poder mantener o incrementar la producción actual de los cultivos con una menor disponibilidad de agua; asimismo, los riegos del futuro deberán ser sostenibles con el medio natural (FAO, 2017).

La demanda creciente por el recurso hídrico en el sector de la agricultura acentúa la necesidad de su

*Autor para correspondencia: Camilo Bonet-Pérez, e-mail: camilobp51@gmail.com
esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

Recibido: 23/01/2023

Aceptado: 20/02/2024

manejo cada vez más racional, de modo que permita asegurar el equilibrio del medio ambiente. Por lo que, la operación adecuada de los sistemas de riego es suministrar agua de forma óptima al cultivo, en el momento apropiado y la cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades hídricas, con el objetivo de maximizar la productividad del cultivo y minimizar el uso del agua (FAO et al., 2017; Mantovani et al., 2012, citados por López-Silva et al. (2017).

La evaluación en campo de los sistemas de riego permite conocer su funcionamiento, y establecer criterios de manejo que mejoren su eficiencia; los sistemas de riego mediante máquinas de pivot central se diseñan para aportar volúmenes controlados de agua dentro de periodos de tiempo relativamente cortos, permitiendo con ello al agricultor un mejor uso de las técnicas disponibles de programación y de manejo del riego, así se pretende conseguir un uso eficiente tanto del agua como de la energía requerida durante el proceso del riego (Montero et al., 1998, citados por Bonet (2019).

Las máquinas de pivote central constituyen una de las tecnologías de amplia utilización en el país, la efectividad del riego realizado no siempre alcanza parámetros de operación adecuados, entre las posibles causas se incluye el efecto de los vientos, considerando que la operación de esta tecnología se efectúa generalmente durante las horas del día.

Como respuesta al incremento de los costes de la energía y de la disponibilidad limitada de agua, se ha desarrollado en los pivotes la tecnología de la baja presión, traducida en el desarrollo de nuevos emisores. Bonet (2019) describe que se han desarrollado diversos tipos de emisores en la búsqueda de aquel que tenga un patrón de humedecimiento eficiente en condiciones de viento, presente baja pérdida por evaporación y arrastre y buena uniformidad de aplicación de agua, estos nuevos emisores van íntimamente asociados con la reducción de la altura de los mismos sobre el cultivo, con el fin de disminuir las pérdidas por evaporación y arrastre.

La evaluación de un sistema de riego aéreo permite determinar su eficiencia de aplicación que está relacionada con la uniformidad de aplicación del agua y engloba las pérdidas por filtración profunda (debidas a la mala distribución del agua por el sistema); las pérdidas por escorrentía superficial (debidas tanto a un proyecto del sistema inadecuado como a su manejo); las pérdidas por evaporación y arrastre durante el riego y otras posibles pérdidas producidas durante transporte del agua en las conducciones desde el punto de toma en la parcela hasta su descarga por la unidad de riego (Keller & Bliesner, 1990). Afirman estos autores que la distribución del agua en el riego por aspersión se ve afectada por las características del aspersor tales como tamaño, tipo, ángulo y número, la separación de aspersores y ramales, altura del aspersor, velocidad de avance, distribución de presión

en el ramal y factores climáticos como la velocidad del viento y la temperatura.

Resultados de estudios indican que para velocidades del viento superiores a 4 m/s, el 47 % de las pérdidas son debidas al arrastre por el viento y el 53 % debido a la evaporación, mientras que con velocidades inferiores los valores son del 25 % y el 75 % respectivamente (Tarjuelo et al., 2000, citados por (Bonet-Pérez et al., 2023).

En la UBPC Victoria II perteneciente a la Empresa Agropecuaria Camagüey existe una baja eficiencia y productividad del agua y los resultados productivos obtenidos no son satisfactorios, por lo que la determinación de parámetros e indicadores de manejo del agua de riego permitirá evaluar las causas que inciden en estos resultados a nivel de producción y determinar las medidas para su mejoramiento.

El diagnóstico realizado con el objetivo de identificar los problemas existentes con la tecnología de riego indicó que las principales dificultades se encuentran en la ineficiente explotación de las técnicas de riego disponibles, el bajo aprovechamiento de las áreas bajo riego, la falta de vinculación entre las actividades de riego y agrotecnia que se refleja en un bajo aprovechamiento de los sistemas de riego disponibles, además, no existe conocimiento sobre los parámetros de calidad del riego y de indicadores de productividad del agua (Rodríguez et al., 2018).

Las máquinas de pivote central tienen la particularidad de que, al efectuar el riego de manera circular, su posición en relación con la dirección del viento es variable, por lo cual el efecto del viento debe ser también cambiante en dependencia de la posición de la máquina en cada momento de riego.

El presente estudio se realiza con el objetivo de valorar el efecto dirección del viento en la calidad del riego con máquinas de pivote central en dependencia de las diferentes posiciones que ocupa la misma durante el proceso de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realiza en la UBPC Victoria II, unidad productiva perteneciente a la Empresa Agropecuaria Camagüey, esta unidad cuenta con 62,0 ha bajo riego con máquinas de pivote central (Figura 1).

El rumbo o dirección predominante del viento es del Este con fluctuaciones de las velocidades medias mensuales entre 2,4 y 3,8 m/s (Centro Meteorológico de Camagüey-Cuba, 2022).

La unidad cuenta con un área total de 403 ha distribuidas en 17 fincas, de ellas 144,0 ha bajo riego, que incluyen 82,0 ha con riego por aspersión vinculadas a seis sistemas semi estacionarios (media presión) y 62,0 ha de riego con cinco máquinas de pivote eléctrica agua (Rodríguez et al., 2018).

Para la valoración se seleccionó la máquina No. 5, con las siguientes características:

- Modelo: BAYATUSA
- No. Torres: 3
- Área: 12,4 ha
- Longitud: 202 m
- Altura: 2,90 m
- No. Boquillas difusoras: 102
- Caudal: 14 L/s
- Presión de trabajo: 200 kPa

Los medios utilizados fueron los siguientes:

- Colectores (50)
- Cinta métrica de 5 m
- Probeta de 250 mL con precisión de 2 mL
- Anemorumbómetro AM-4203

Inicialmente fueron comprobadas las condiciones de operación de la máquina, esto incluye la distribución de boquillas según la carta del fabricante y la presión de trabajo necesaria, con vistas a garantizar la mejor calidad de riego, posteriormente se comprobó la dirección del viento con empleo de anemómetro; al respecto, Tarjuelo (1995) citado por [Placeres et al. \(2017\)](#) ha informado que los ensayos de campo realizados a los pivotes dan valores generalmente altos de coeficiente de uniformidad (entre 80 y 90 %) con velocidades de viento inferiores a 7,5 m/s cuando la distribución de boquillas y la colocación del módulo es correcta.

Se determinaron parámetros de calidad del riego en 3 posiciones de la máquina de pivot en relación al sentido del viento ([figura 2](#)).

- Posición 1. En el sentido del viento, con la máquina orientada hacia el origen del viento
- Posición 2. Perpendicular al sentido del viento
- Posición 3. En el sentido del viento, con la máquina orientada hacia el destino del viento

En cada una de las posiciones se determinaron los siguientes parámetros:

- Coeficiente de Uniformidad (CU) [Heermann & Hein \(1968\)](#) según la [\(NC ISO 11545 \(1994\)\)](#) “Máquinas agrícolas para el riego Pivotes Centrales y Máquinas de Avance Frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores”
- Uniformidad de Distribución (UD)
- Eficiencia de Descarga (Ed)
- Área Regada Adecuadamente (ARA), en exceso (ARE), e insuficientemente (ARI)

Durante el desarrollo de las evaluaciones se midió la velocidad del viento con frecuencia de 30 minutos con empleo de Anemorumbómetro.



Fuente: Google Earth 2020, citado por [\(Rodríguez et al., 2018\)](#).

FIGURA 1. Área de riego con máquinas de pivote.

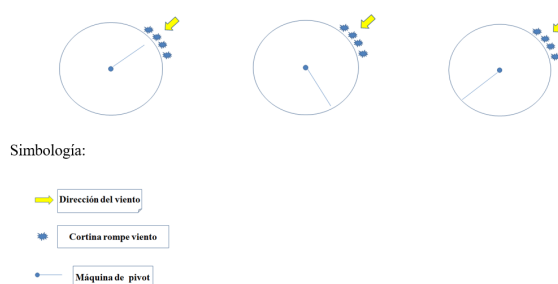


FIGURA 2. Esquema de posiciones de la máquina en relación a la dirección del viento.

Para la determinación de los parámetros de la calidad del riego fueron utilizados los coeficientes de uniformidad de [Heermann & Hein \(1968\)](#) según la [NC ISO 11545 \(1994\)](#) “Máquinas agrícolas para el riego Pivotes Centrales y Máquinas de Avance Frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores” ([CEN, 2013](#)).

$$CU = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Di|Ci - Mc|}{\sum_{i=1}^n CiDi} \quad (1)$$

donde:

n- Número de colectores

C_i - Cantidad recogida por el colector (con i variando entre 1 y n)

D_i - Área regada por el colector i o distancia del centro del pivote al colector i

M_c - Media ponderada de las cantidades recogidas por los colectores

M_c se determina según la [expresión 2](#).

$$M_c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n CiDi}{\sum_{i=1}^n Di} \quad (2)$$

La uniformidad de distribución (UD) fue determinada mediante la siguiente [expresión](#):

$$UD = [Lm25/Lm] 100 \quad (3)$$

donde:

UD Uniformidad de Distribución (%)

Lm₂₅ Lámina media aplicada en el 25 % del área menos regada

Lm Lámina media aplicada en toda el área

La Eficiencia de Descarga se determinó a partir de la relación entre la lámina aplicada por la máquina y la lámina recogida en los colectores.

$$Ed = \left[\frac{Lr}{La} \right] 100 \quad (4)$$

donde:

Ed Eficiencia de descarga (%)

Lr Lámina de agua media recogida por los colectores (mm)

La Lámina de agua aplicada por la máquina según la carta de regulación (mm)

Para la determinación del área regada adecuadamente, en exceso e insuficientemente se utilizaron los siguientes criterios:

Área adecuadamente regada (ARA) 90 - 110 % lámina media

Área excesivamente regada (ARE) ... > 110 % lámina media

Área deficientemente regada (ARD) ... < 90% lámina media

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de evaluación la velocidad del viento se mantuvo en el rango entre 1,35 m/s y 2,75 m/s (tabla 1), con dirección Este - Nordeste.

Estos valores sitúan la velocidad del viento en condiciones medias según la clasificación de Tarjuelo (2005) (Tabla 2).

Los resultados de los parámetros evaluados se muestran en la Tabla 3.

El Coeficiente de Uniformidad (CU) alcanza un valor medio de 81,0 %, en las posiciones uno y tres se muestran dentro del rango de aceptables, en tanto en la posición dos se ubica en el límite de la categoría de mal según Tarjuelo (2005), citado por Pérez-Jorge et al. (2021) (Tabla 4), no obstante, las diferencias no resultan considerables para las condiciones de velocidad del viento predominantes durante la evaluación.

TABLA 2. Clasificación de la velocidad del viento para el riego por aspersión

Condiciones	Velocidad del viento (m/s)
Muy ventosas	$V_v \geq 4$
Medias	$2 \leq V_v \leq 4$
Favorables	$V_v \leq 2$

TABLA 3. Parámetros de calidad del riego en diferentes posiciones del pivot

Parámetro	Posición		
	1	2	3
Coefficiente de Uniformidad (%)	84	78	81
Uniformidad de Distribución (%)	80	73	76
Eficiencia de Descarga (%)	71	67	72
Área regada de manera adecuada (%)	60	44	58
Área regada en exceso (%)	12	16	16
Área insuficientemente regada (%)	28	40	26

TABLA 4. Criterios evaluativos del Coeficiente de Uniformidad del riego

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

Señalan Pérez-Jorge et al. (2021) que el primer factor que influye en la uniformidad de riego en 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 presión de funcionamiento de los emisores y la velocidad del viento, no haciendo referencia a la posible influencia de la posición relativa de la máquina en relación a la dirección del viento; aspecto que resalta en los resultados observados en esta evaluación a pesar de que el diseño del módulo de boquillas y la presión de trabajo son adecuados.

TABLA 1. Comportamiento de la velocidad del viento a 2,0 m de altura durante el tiempo de duración de las evaluaciones

Observación No.	Hora	Vv (m/s)	Observación No.	Hora	Vv (m/s)
1	9 am	1,35	9	1 pm	2,10
2	9:30 am	1,50	10	1:30 pm	2,20
3	10 am	1,50	11	2 pm	2,20
4	10:30 am	1,70	12	2:30 pm	2,35
5	11 am	1,65	13	3 pm	2,40
6	11:30 am	1,70	14	3:30 pm	2,50
7	12 m	1,90	15	4 pm	2,75
8	12:30 pm	2,15	Media		2,00

Expresan [Zapata et al. \(2019\)](#) que la distribución del agua en el campo está en estrecha interacción con el viento, siendo éste el principal distorsionador de la uniformidad de riego. La repercusión será diferente según el tamaño de gota y según la trayectoria que debe recorrer ésta en su caída, influyendo también en la evaporación y en el arrastre del agua fuera del área regada.

Heineman y Frizzone (1995), [Tarjuelo \(2005\)](#) y Frizzone *et al.* (2009) citados por [Pérez-Jorge et al. \(2021\)](#), coinciden en la importancia de alcanzar elevados valores del CU, y señalan la importancia de lograr uniformidades entre 82 y 88 % para cultivos extensivos, mientras que para los frutales y forrajes la uniformidad pudiera estar entre 70 y 80 %.

Los resultados de la calidad del riego se reflejarán en la productividad del agua utilizada, si bien este valor para un mismo cultivo es muy variable en dependencia del comportamiento de otros factores que inciden en el rendimiento agrícola ([Ricardo-Calzadilla et al., 2018](#)).

Según Tarjuelo (1995) citado por [Pérez-Jorge et al. \(2021\)](#), los ensayos de campo realizados a los pivotes dan valores generalmente altos de CU (80-90 %) con velocidades de viento inferiores a 7,5 m/s, cuando la distribución de boquillas y la colocación del módulo es correcta, dichos valores no coinciden con los observados en esta evaluación.

En relación al efecto del viento sobre la uniformidad de distribución de la lluvia en el campo, [Clemente-Morales \(2018\)](#) reporta bajos valores de CU con velocidades de viento superiores a 3,0 m/s.

La Uniformidad de Distribución (UD) alcanza un valor medio de 76,3 %; al igual que el CU, muestra valores que sin alcanzar la categoría de buenos resultan aceptables, reiterándose los resultados más desfavorables en la posición dos pero sin diferencias manifiestas con los resultados observados en las posiciones uno y tres.

Reportan [Cisneros-Zayas et al. \(2019\)](#) que, al analizar los resultados de la UD, se observa el efecto que sobre la distribución del agua en la parcela tiene la acción del viento, disminuyendo este parámetro.

Rodríguez *et al.* (2012) citados por [Uribe et al. \(2021\)](#) refieren que el viento tiene un gran impacto sobre el deterioro de los parámetros de calidad del riego, reduciendo el rango de alcance efectivo del emisor; en evaluaciones de campo llevadas a cabo en sistemas de riego por aspersión, fue posible verificar que cuando la velocidad del viento se incrementa, el rango de efectividad del riego decrece recíprocamente, lo cual es debido al pobre esquema de distribución del agua en la parcela.

La regulación de la máquina de pivote empleada fue del 20 %, según la cual según la carta de regulación del fabricante se aplica una norma bruta de 118,5 m³/ha; los resultados de la lámina recogida por los colectores indican una Eficiencia de Descarga (ED) media de 70,0 %, con valores inferiores al 75 %

en todas las posiciones. Las mayores pérdidas de agua por evaporación y arrastre por el viento se presentan en la posición dos, en la cual el efecto del viento es más marcado por incidir simultáneamente sobre todas las boquillas debido a su dirección perpendicular a la posición de la máquina.

Montero *et al.* (1998) citados por [Bonet \(2019\)](#) han concluido que en el caso de emisores instalados a las alturas de 2,5 y 4 m se ha comprobado la gran sensibilidad de la ED a velocidades de viento altas, señalando que a la altura de 4 m puede llegar a alcanzarse pérdidas por evaporación y arrastre del orden del 30 %.

Es importante recordar que después del riego en el suelo se produce una redistribución del agua, de tal forma que mejora la uniformidad respecto a la obtenida mediante los colectores.

El valor medio del área regada adecuadamente (ARA) fue del 54,0 %, en general el comportamiento de estos parámetros resultó inadecuado en las tres posiciones, con los peores valores en la posición dos en la cual el 40 % del área es regada de manera insuficiente (ARI).

En evaluación conducida por [Camejo-Barreiro et al. \(2017\)](#) con sistemas de pivote central en Ciego de Ávila, los resultados mostraron que el viento tiene una influencia marcada en los parámetros de explotación-técnicos evaluados, ya que produce arrastre del agua asperjada y acelera drásticamente la evaporación; por estas causas se deteriora la calidad del riego, pues a velocidades del viento de 3 m/s la ED alcanza un 70 %, mientras que a velocidades mayores de 5 m/s baja a un 63 % e incluso menos, lo que incide directamente en el bajo porcentaje de ARA.

En relación al comportamiento del área regada por el pivote en dependencia de la dirección del viento, [Abd El-Wahed et al. \(2015\)](#) señalan que el principal efecto sobre el riego con sistemas pivote es el cambio de superficie mojada que se presenta cuando el viento sopla en el mismo sentido que la dirección longitudinal de la máquina; así, cuando el viento sopla hacia la cabeza o centro del pivote, el área mojada disminuye alrededor de un 17 %, mientras que cuando sopla hacia el voladizo o alero, el área mojada crece alrededor de un 19 %.

Expone [Tarjuelo \(2005\)](#) que los sistemas de riego pivote ofrecen ventajas con respecto a los sistemas de riego fijos o estacionarios en lo concerniente a los efectos del viento:

- Ocupan infinitas posiciones en su recorrido durante su movimiento de traslación, y por tanto, cada punto se regará normalmente bajo distintas condiciones de viento en los riegos sucesivos, compensándose las distorsiones que hubieran podido producirse por el viento.
- El espaciamiento entre emisores en la tubería principal del pivote es pequeño, solapándose perfectamente las áreas de riego de unos con otros.

Según Keller *et al.* (1981) citados por [Bonet & Guerrero \(2016\)](#), tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por determinados valores de uniformidad y eficiencia, sin embargo, indicaron que la uniformidad depende mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado, esto justifica que al garantizar adecuadas presión de trabajo y distribución de boquillas se hayan logrado valores aceptables de CU y UD.

[Tarjuelo \(2005\)](#) afirma que las pérdidas por evaporación y arrastre durante el riego están en relación con las variables ambientales (temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor, velocidad del viento), y factores cualitativos como el tipo de aspersor, altura sobre el suelo y tipo y diámetro de boquilla utilizada, haciendo referencia al efecto de la dirección del viento expresa que se produce una compensación de la distorsión por la variación constante de la posición de la máquina respecto al mismo.

Los parámetros de calidad del riego obtenidos en la evaluación pueden ser más desfavorables en las condiciones generales de operación de los sistemas de riego con máquinas de pivote central eléctrico en esta Unidad Productiva, ya que las velocidades del viento predominantes en la zona suelen ser entre 2,4 y 3,8 m/s según el [Centro Meteorológico de Camagüey-Cuba, 2022](#), superiores a las presentadas durante la evaluación, además, en las condiciones de la evaluación se dispone de cortina rompe vientos, en otras condiciones se obtendrían peores resultados.

En general se observa que el efecto de la dirección del viento sobre la calidad del riego ha resultado mayor en lo relativo al volumen de agua perdido por evaporación y arrastre durante la ejecución del riego (ED y ARA) que respecto a la distribución de la lluvia en el campo (CU y UD).

Durante las evaluaciones que se realizan a las máquinas de pivote según la norma [NC ISO 11545 \(1994\)](#), no se indica que debe utilizarse una posición específica de la máquina en relación a la dirección del viento; es conocido que las propias características de la tecnología implican que los efectos distorsionadores de la calidad del riego por efecto del viento se compensan durante el proceso de riego al ocupar la máquina diferentes posiciones relativas respecto a la dirección del viento, no obstante, para los efectos de la evaluación resulta conveniente precisar en el reporte de la misma no solo la velocidad y dirección del viento predominante durante la prueba, sino además, la posición de la máquina en relación al sentido del viento, lo cual contribuye a una mejor interpretación de los resultados.

Disponer de una posición de la máquina perpendicular a la dirección del viento durante la evaluación permitirá asumir que los parámetros de

calidad del riego determinados serán superiores en cualquier otra posición en el campo para las mismas condiciones de velocidad del viento.

CONCLUSIONES

- La posición de la máquina respecto a la dirección del viento influye en los parámetros de calidad del riego; el efecto es más marcado sobre la ED y el Área regada de manera adecuada que sobre los parámetros de uniformidad.
- Los resultados más desfavorables de CU (81 %), UD (76,3 %), ED (70 %) y ARA (54 %) se presentan cuando la posición de la máquina es perpendicular a la dirección del viento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El-Wahed, M., Medici, M., & Lorenzini, G. (2015). Harvesting water in a center pivot irrigation system: Evaluation of distribution uniformity with varying operating parameters. *Journal of Engineering Thermophysics*, 24(2), 143-151, ISSN: 1810-2328, Publisher: Springer.
- Bonet, C. (2019). *Operación de sistemas de riego y drenaje. Elementos básicos*. Editorial Académica Española, primera ed., Madrid, España.
- Bonet, P. C., & Guerrero, P. P. (2016). Análisis de la calidad de riego de dos sistemas por aspersión de producción nacional. *Ingeniería Agrícola*, 6(1), 14-18, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Bonet-Pérez, C., Agramonte-Almanza, A., Mola-Fines, B., Rodríguez-Correa, D., Guerrero-Posada, P., & Morales-Avilés, Y. (2023). Pérdidas por evaporación y arrastre en diferentes técnicas de riego por aspersión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(1), ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- Camejo-Barreiro, L., Duarte-Naranjo, L., & Guerra-Hernández, G. (2017). Diseño agronómico en máquinas de pivote central, rendimientos, ahorro de agua y energía. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 3-16, ISSN: 1680-0338.
- CEN. (2013). *Máquinas de riego móviles* [Norma]. Comité Europeo de Normalización (CEN).
- Centro Meteorológico de Camagüey-Cuba. (2022). *Caracterización climática Camagüey*. Centro Meteorológico de Camagüey, Cuba.
- Cisneros-Zayas, E., Venero-Delgado, Y., Placeres-Miranda, Z., & González-Robaina, F. (2019). El viento y su influencia en los parámetros de calidad del riego. *Ingeniería Agrícola*, 9(4), ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- Clemente Morales, C. A. (2018). *Coficiente de uniformidad de la máquina de riego en el campo 3 de la UEB Pararrayo de la Empresa Valle del*

- Yabú [Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Central "Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Cun-González, R., González-Robaina, F., Cisneros-Zayas, E., Placeres-Miranda, Z., Lago-Salazar, A., Sánchez, A., & Ricardo-Calzadilla, M. (2020). Estudio de la calidad del riego en máquinas de pivotes central. *Ingeniería Agrícola*, 10(3), 24-31, ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.
- FAO. (2017). *El agua fuente de seguridad alimentaria. Día Mundial de la Alimentación*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.
- FAO, F., OMS, P., & Unicef. (2017). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. *Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria*. Roma: FAO.
- Heermann, D. F., & Hein, P. R. (1968). Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Transactions of the ASAE*, 11(1), 11-0015, ISSN: 2151-0032, e-ISSN: 2151-00, Publisher: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation* (Vol. 3, Número 5). Springer.
- López-Silva, M., Carmenates-Hernández, D., Mujica-Cervantes, A., & Paneque-Rondón, 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. (1994). "Máquinas agrícolas para el riego Pivotes Centrales y Máquinas de Avance Frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores (Vig.1994). Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, 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.
- Placeres, M. E., Cisneros, Z. E., & Jiménez Hernández, J. (2017). *Manual técnico para la explotación de las máquinas de pivote central eléctricas* (primera). Editorial INFOIIMA, La Habana, Cuba.
- Ricardo-Calzadilla, M. P., Limers-Jiménez, T., Lorié-Fong, A., Cún-González, R., & Aguilar-Pantoja, Y. (2018). La productividad del agua indicador para el monitoreo y evaluación del Manejo Sostenible de Tierras. *Ingeniería Agrícola*, 8(4), 60-60, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-876.
- Rodríguez, C., Bonet, P., Guerrero, P., & Mola, B. (2018). Propuesta de estrategia de extensión de buenas prácticas de riego en una unidad productiva agrícola. *Ingeniería Agrícola*, 8(2), 35-40, ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- Tarjuelo, M. B. J. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología* (Edición Revisada y Ampliada. Madrid, Barcelona y México). Mundi Prensa.
- Uribe, C., Lagos, L., & Holzapfel, E. A. (2021). *Pivote centra* [Informe central]. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Riego. Corporación de Fomento de la Producción. Gobierno de Chile, Santiago de Chile.
- Zapata, N., Robles, O., Cavero, J., & Playán, E. (2019). *Análisis del riego por aspersión a baja presión en un cultivo de maíz* (pp. 68-75). Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental Aula Dei (CSIC), Avda. Montañana 1005, 500 59 Zaragoza, España.

Camilo Bonet-Pérez, Dr.C., Inv. Ministerio de la Agricultura, filial IAgriC, Camagüey. Teléfono: (53) 6917595, 32 252305 32 282013 (Ext. 163).

Bárbara Mola-Fines, MSc., Inv., Ministerio de la Agricultura, filial IAgriC, Camagüey. (32-291926), e-mail: esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu.

Dania Rodríguez Correa, MSc., Inv., Ministerio de la Agricultura, filial IAgriC, Camagüey, Cuba. Teléfono: (53) 6917595, 32 252305 32 282013, e-mail: esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu.

Pedro A. Guerrero-Posada, MSc., Inv. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgriC), filial Camagüey, Cuba. Teléfono: (53) 6917595 32 252305 32 282013 (Ext. 163), e-mail: esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu.

Fernando Machado-Pérez, Inv. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgriC), filial Camagüey, Cuba. Teléfono: (53) 6917595 32 252305 32 282013 (Ext. 163), e-mail: esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu.

Taiyanys Zamora-Martín, Inv. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgriC), filial Camagüey, Cuba. Teléfono: (53) 6917595 32 252305 32 282013 (Ext. 163), e-mail: esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu

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

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: C. Bonet. **Data curation:** C. Bonet. **Formal analysis:** C. Bonet, D. Rodríguez, B. Mola, P. Guerrero. **Investigation:** C. Bonet, D. Rodríguez, B. Mola, P. Guerrero, F. Machado, T. Zamora. **Methodology:** C. Bonet. **Supervision:** C. Bonet, D. Rodríguez, B. Mola, P. Guerrero. **Writing original draft:** C. Bonet. **Writing review and editing:** D. Rodríguez, B. Mola, P. Guerrero.

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.

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/)