

# Pérdidas por evaporación y arrastre en diferentes técnicas de riego por aspersión

## Evaporation and Drag Losses in Different Techniques of Sprinkler Irrigation



<https://cu-id.com/2177/v32n1e04>

<sup>1</sup>Camilo Bonet Pérez<sup>1\*</sup>, <sup>2</sup>Ayamir Agramonte Almanza<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Bárbara Mola Fines<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Dania Rodríguez Correa<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Pedro Guerrero Posada<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Yaniel Morales Avilés<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Filial Camagüey, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología (INSMET), Centro Meteorológico de Camagüey, municipio Camagüey, Cuba.

**RESUMEN:** Con el objetivo de comparar los valores potenciales de pérdidas por evaporación y arrastres por el viento en diferentes técnicas de riego por aspersión en el municipio Camagüey, se realizó un estudio para las condiciones predominantes en la UBPC Victoria II perteneciente a la Empresa Agropecuaria Camagüey; las técnicas estudiadas fueron las máquinas de pivot central, el enrollador, el sistema de riego por aspersión y la microaspersión; fueron valorados el tamaño de gota, la velocidad del viento en la máxima altura del chorro, el tiempo de vuelo de las gotas y el déficit de presión de vapor. Los resultados indican que las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre en las condiciones predominantes en el municipio Camagüey alcanzan valores de 7,5 % en el riego con microaspersión, 7,7 % en el riego con máquinas de pivot, 8,6 % en los sistemas de riego por aspersión y 9,2 % en el riego con enrollador con aspersor, esta tecnología en condiciones de velocidades del viento superiores a 3,1 m/s pudiera superar el valor del 15 % considerado como límite máximo permisible para la ejecución de un riego por aspersión satisfactorio.

**Palabras clave:** eficiencia, diámetro de gotas, altura del chorro, velocidad del viento.

**ABSTRACT:** With the objective of comparing the potential values of evaporative and wind drag losses in different techniques of sprinkler irrigation in Camagüey Municipality, a study was carried out for the predominant conditions in UBPC Victoria II, belonging to Empresa Agropecuaria Camagüey. The techniques studied were the central pivot machines, the winder irrigation machine, the sprinkler irrigation system and the micro sprinkler. Drop size, wind speed in the maximum height of irrigation water, drop time of flight and steam pressure deficit were valued. The results indicate that the potential evaporative and drag losses under the predominant conditions in Camagüey Municipality, reach values among 7,5 % in the irrigation with micro sprinkler, 7,7 % in the irrigation with central pivot machines, 8,6 % with sprinkler irrigation systems and 9,2% in the winder irrigation machine. Nevertheless, in this technique, under conditions of wind speeds bigger than 3,1 m/s, they could overcome the value of 15 %, considered as permissible maximum limit for the execution of satisfactory air irrigation.

**Keywords:** Efficiency, Diameter of Drops, Height of the Jet, Wind Speeds.

### INTRODUCCION

Dado que el agua es un recurso natural cada vez más escaso y la energía asociada a los sistemas de riego presurizados es cada vez más cara, se hace imprescindible que la aplicación del agua de riego se realice de una manera cada día más eficiente para poder incrementar la producción agrícola con una menor disponibilidad de agua y energía.

El riego por aspersión implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. El proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores (Tarjuelo, 2005).

\*Author for correspondence: Camilo Bonet Pérez,

e-mail: [camilobp51@gmail.com](mailto:camilobp51@gmail.com), [esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu](mailto:esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu)

Recibido: 13/05/2022

Aceptado: 09/12/2022

Este autor expresa que durante el riego por aspersión, una parte del agua emitida por los emisores puede perderse por evaporación y arrastre por el viento (PEA), estas pérdidas pueden llegar a ser significativas.

Las pérdidas por evaporación en el aire dependen principalmente de la humedad ambiental, la temperatura del aire y del agua, la altura del emisor, el tamaño de las gotas y la velocidad del viento. Las pérdidas por arrastre dependen de la velocidad del viento, el tamaño de las gotas y la distancia que tengan que recorrer hasta llegar al dependen suelo, y factores cualitativos como el tipo de aspersor, altura sobre el suelo y tipo y diámetro de boquilla utilizada. A menudo, la velocidad de viento se ha considerado como la variable que más afecta a las PEA (Tarjuelo *et al.*, 2000).

Keller y Bliesner (1990), también señalaron entre los parámetros a considerar a la evapotranspiración de referencia, una variable que integra todas las variables meteorológicas antes mencionadas.

El efecto del viento sobre la uniformidad del riego en los sistemas de riego por aspersión ha sido estudiado por diversos autores, quienes coinciden en resaltar el papel fundamental del viento en las pérdidas por evaporación y arrastre producidas durante el proceso de aplicación (Bonet y Guerrero, 2016).

La variable PEA presenta una tendencia a descender ligeramente desde el inicio del día hasta alrededor de las 6:00 o las 7:00, posteriormente, se produce una subida de los valores estimados de PEA hasta las 15:00-16:00 GMT cuando se alcanzan los valores máximos. Finalmente, se produce un descenso hasta el final del día. En los periodos de las 11:00 a las 19:00 (particularmente los de las 15:00 a 17:00), los riegos por aspersión resultan poco recomendables porque la probabilidad de ocurrencia de valores de PEA superiores al 15 % es relativamente grande. Durante la noche, el efecto sobre las PEA de variables como la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura son menos influyentes (Dechmi *et al.*, 2003).

Expresa Tarjuelo (2005) que la uniformidad de distribución en superficie tiene gran dependencia de la acción del viento, en intensidad y dirección, constituyendo el principal distorsionador de la uniformidad de reparto, que juega un papel fundamental en las “pérdidas por evaporación y arrastre” producidas durante el proceso de aplicación y donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales.

El propio autor señala que para la reducción del efecto del viento en el riego la tendencia actual en sistemas de aspersión es hacia la utilización de la baja presión, donde el adecuado diseño de los emisores juega un papel fundamental, debiendo tender a que tengan el máximo alcance y un tamaño de gota medio



FIGURA 1. Imagen satelital UBPC “Victoria II”.

Fuente: Google Earth 2020.

(entre 1,5 y 4 mm), lo que reduce la distorsión originada por el viento (y su efecto sobre la uniformidad de aplicación de agua) y las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento, y además que permitan el riego nocturno (por menor evaporación, velocidad de viento y coste energético), y sean de fácil manejo y automatización.

Tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por determinados valores de uniformidad y eficiencia, sin embargo, Keller *et al.* (1981) citados por Bonet y Guerrero (2016), indicaron que la uniformidad depende mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado.

En general durante la realización del riego con tecnologías de riego por aspersión no se suele brindar la necesaria atención a las PEA, el objetivo de este trabajo consiste en comparar los valores potenciales de pérdidas por evaporación y arrastres por el viento en diferentes técnicas de riego por aspersión en el municipio Camagüey.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Escenario

Para el estudio del comportamiento potencial de las PEA se tomó como referencia las condiciones climáticas de la UBPC Victoria II ubicada en la Empresa Agropecuaria Camagüey, en el municipio del mismo nombre (Figura 1).

El municipio Camagüey se encuentra situado al centro de la provincia, limita al Norte con los municipios Esmeralda, Sierra de Cubitas y Minas, al Sur Vertientes, al Oeste Florida y al Este Jimaguayú y Sibanicú; presenta características propias de clima tropical de bosques estacionalmente húmedo ecuatorial de sabana con verano húmedo y con una tendencia al carácter continental comparativamente notable dentro del país; en su condición físico-geográfico predominan las llanuras.

Para el estudio se toma como referencia la UBPC “Victoria II” perteneciente a la Empresa Agropecuaria

Camagüey, por ser la unidad productiva con mayor nivel de actividad de riego aéreo en el municipio; cuenta con un área total de 403,0 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 central eléctrica (Rodríguez *et al.*, 2018).

Para la caracterización climática de la UBPC se utilizaron los datos correspondientes a la estación meteorológica de Camagüey (78355), ubicada en los 21°24' de latitud Norte y los 77°51' de longitud Oeste, con altura de 118 m sobre el nivel del mar, siendo esta la estación más cercana y representativa para la zona de estudio.

Estudios realizados por el [Centro Meteorológico de Camagüey INSMET-Camagüey \(2022\)](#) indican que la temperatura media en la zona de estudio ha oscilado entre 22,2°C en el mes de enero y los 27,1°C en julio, con un promedio anual de 24,9°C; aumentando considerablemente desde los meses de marzo a agosto, comienzan a descender ligeramente a partir de septiembre hasta concluido el periodo invernal. La temperatura mínima media anual es de 20,8°C, oscilan entre los 18,1 y los 23,0°C en enero y julio y agosto respectivamente con una tendencia apreciable al aumento. Las temperaturas máximas medias oscilan entre 27,7°C en enero y 32,8°C en el mes de agosto con un valor promedio anual de 30,4°C. El record de la temperatura máxima absoluta es 37,2°C. El comportamiento de la humedad relativa media oscila desde 71 % en abril hasta el 82 % en octubre, con un valor promedio histórico de 77 %; los meses de septiembre a diciembre muestran los valores más altos. 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, mostrándose en septiembre las velocidades más bajas y las más altas en marzo.

### Técnica de riego

Para la evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre se seleccionaron las técnicas de riego por aspersión más representadas en la provincia ([Figura 2](#)): máquina de pivote central, enrollador (con

aspersor), sistema de riego por aspersión y microaspersor.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EVALUADOS

Máquina de pivote central eléctrica. Modelo BAYATUSA; No. Torres: 3; longitud: 202 m; altura: 2,90 m; boquillas difusoras: 102; caudal: 14 L/s; presión de trabajo: 200 kPa.

Enrollador. Enrollador con aspersor modelo Komet Twin 160. Aspersor. Presión: 350 kPa; gasto: 20 L s<sup>-1</sup>; alcance: 40,0 m; diámetro de boquilla: 31,4 mm; ángulo de barrido: 220°; ángulo de descarga: 24°; Tubería. Diámetro: 110 mm; longitud: 340 m.

Sistema de riego por aspersión. Tipo semi estacionario de 1 ha. Aspersor. Modelo F-46; boquilla: 3,5 x 2,3 mm; presión de trabajo: 250 kPa; alcance: 12 m; caudal: 900 L/h, ángulo de descarga: 23°.

Sistema de riego por microaspersión. Técnica Microaspersor microjet. Ángulo del chorro: 2 x 140° mm; diámetro: 1 mm; caudal: 40 L/h; alcance: 1,5 m; presión de trabajo: 150 kPa.

### Tamaño de gotas

El tamaño de gota de agua del aspersor influye de diversas formas al impactar sobre el terreno y sobre el cultivo; las gotas grandes, por su energía cinética, pueden llegar a erosionar el terreno en el impacto, las de tamaño pequeño, sobre todo en las zonas con fuertes vientos, al ser arrastradas con mayor facilidad, pueden reducir la uniformidad y la eficiencia del riego ([Tarjuelo \*et al.\*, 2000](#)).

Expresan [Dechmi \*et al.\* \(2003\)](#), que las gotas pequeñas son ideales para los suelos arcillosos siempre y cuando no exista el problema de grandes velocidades de viento, las que tienen tamaño mediano son ideales para suelos limosos y velocidades de viento moderadas y finalmente, las gotas más grandes son ideales para suelos arenosos y porosos, incluso con fuertes vientos.

En la medida en que aumenta la presión y el diámetro de boquilla se incrementa el tamaño de la gota, este se representa por el Índice de grosor (IG). En la [Tabla 1](#) se muestran los parámetros de diámetro



FIGURA 2. Técnicas de riego evaluadas.

**TABLA 1.** Indicadores que determinan el tamaño de gota en las técnicas de riego por aspersión evaluadas

Técnica	d (mm)	P (kPa)
Máquina de pivot central	1,8 - 5,6	200
Enrollador con aspersor	31,4	350
Sistema de riego por aspersión de media presión	3,5 x 2,3	250
Microaspersor	1,0	150

d: Diámetro de boquilla; P: Presión de trabajo

y presión para cada técnica de riego, tomados de la información brindada por los fabricantes ([TUSA, 2007](#); [IIRD-Cuba, 2010](#); [KOMET. Innovative irrigation, 2012](#); [CICMA-Cuba, 2015](#)).

Estos parámetros señalan que comparativamente las gotas mayores se producen en el sistema de enrollador con aspersor, seguido del riego por aspersión, mientras que las máquinas de pivot y el microjet presentarán los valores menores.

Existe un criterio que evalúa la calidad de la lluvia a partir de la relación entre la presión de trabajo y el diámetro de boquilla para el riego con emisores de alta y media presión, y diámetros de boquillas mayores de 16 mm ([Tabla 2](#)).

Aplicando este criterio de evaluación cualitativa para aspersores en la tecnología del enrollador, se obtiene la categoría de gotas muy gruesas, lo cual indica que con esta técnica no se deben esperar buenos resultados de calidad del riego.

Según [Tarjuelo \(2005\)](#), el arrastre por el viento varía mucho con el tamaño de gota producido por el aspersor. El menor índice de tamaño de gota implica gotas más pequeñas que son más fácilmente arrastradas por el viento y facilitan una mayor evaporación en igualdad de condiciones climáticas (velocidad del viento, temperatura, humedad relativa). El propio autor expone que las pérdidas por evaporación y arrastre disminuyen rápidamente cuando el diámetro de gota pasa de 0,3 a 1,0 mm.

Otros autores como [Playán et al. \(2005\)](#) deducen de sus ensayos que la evaporación de las gotas en riego por aspersión es prácticamente despreciable a partir de un diámetro de gota de 1,5 a 2,0 mm.

Las gotas pequeñas son fácilmente arrastradas por el viento distorsionando el modelo de reparto del agua y aumentando la evaporación, mientras que las gotas gruesas tienen gran energía cinética, la cual es transferida a la superficie del suelo ([Faci et al., 2001](#), citados por [Bonet y Guerrero \(2016\)](#)). Esto indica que en lo relativo al tamaño de las gotas, las condiciones más favorables para que se produzcan PEA se presentan en el riego con enrollador con aspersor y las más desfavorables el riego con microaspersor.

### Altura del chorro

Diferentes tecnologías de riego aéreo presentan diversos comportamientos del desplazamiento del

**TABLA 2.** Categoría de gotas según la relación Presión / Diámetro de boquilla

P/d	Categoría de gotas
< 1500	Muy gruesas
1500 - 1600	Gruesas
1600 - 2000	Medias
2000 - 2200	Finas
2200 - 2600	Muy finas
2600	Muy pulverizadas

Fuente: [Tarjuelo et al. \(1994\)](#).

**FIGURA 2.** Proyección del chorro en Enrolladores y Sistemas de Riego por Aspersión.

agua desde que sale de la boquilla hasta llegar al suelo.

Tanto la altura de la boquilla como la forma de proyección del chorro de agua condicionan diferentes alturas del agua y tiempos de recorrido desde la proyección del chorro hasta su llegada al suelo irrigado.

En tanto en las máquinas de pivot la proyección del chorro se realiza desde las boquillas hacia abajo, en el resto de las tecnologías evaluadas la proyección del chorro es hacia arriba, siendo la altura alcanzada en relación a la posición de las boquillas mínima en el riego por microaspersión y muy significativa en riego con enrollador con aspersor ([Figura 2](#)).

Las PEA están influidas por la altura del cultivo, cuando el cultivo tiene mayor altura el tiempo de vuelo de la gota y por tanto las PEA son menores. A igualdad de altura de emisión de agua por los aspersores, el viaje del agua hasta el cultivo dura más en los cultivos de porte bajo por lo que, debido a diferencias de perfil de viento, la probabilidad de que una determinada gota de agua sea evaporada o

arrastrada fuera de la parcela de riego es bastante mayor (Tarjuelo, 2005).

En la [Tabla 3](#) se presentan los valores de altura máxima del chorro calculados a partir de la altura de la boquilla, el ángulo de salida, proyección y alcance del chorro.

Al incrementarse la altura del chorro se incrementa el tiempo de desplazamiento del agua en el aire, a la vez, una mayor altura del chorro le expone a mayores velocidades del viento, estos factores condicionan el incremento potencial de las PEA, por tanto, en igualdad de otras condiciones se deben esperar mayores pérdidas en el riego con empleo del enrollador con aspersor y menores en el riego con microaspersión.

### Velocidad del viento

Resultados de estudios indican que para velocidades del viento superiores a 4 m/s, el 47% del total de pérdidas son debidas al arrastre y el 53% se deben a la evaporación, mientras que con vientos menores a 4 m/s estos valores son del 25 y el 75% respectivamente (Tarjuelo *et al.*, 2000).

Faci y Bercero (1991); Tarjuelo *et al.* (1994), citados por Cisneros-Zayas *et al.* (2019), sitúan entre 2,5 y 3,5 m/s el límite general de velocidad del viento por encima del cual no resulta recomendable regar en riego por aspersión, y establecen una clasificación ([Tabla 4](#)).

Según información suministrada por INSMET Camagüey [INSMET-Camagüey \(2022\)](#), las velocidades predominantes del viento a 1,5 m de altura en la zona estudiada se mantienen en horas del día entre 2,4 y 3,8 m/s, lo que las clasifica como en el rango de velocidades medias.

A partir de la información disponible sobre el comportamiento de la velocidad del viento en la zona, se tomó como referencia el valor medio de 3,1 m/s, con el cual se estimaron las velocidades del viento a las alturas máximas de proyección del chorro según cada tecnología ([Tabla 5](#)).

### Tiempo máximo de vuelo de la gota

El tiempo máximo de vuelo de las gotas se estimó a partir de la distancia recorrida desde la boquilla, el diámetro de boquilla y el caudal ([Tabla 6](#)).

**TABLA 3.** Altura máxima del chorro

Técnica	H (m)
Máquina de pivot central	1,50
Enrollador con aspersor	18,0
Sistema de riego por aspersión	5,80
Microaspersor	0,70*

H: Altura máxima del chorro. \*Incluye altura del cantero en el organopónico

**TABLA 4.** Clasificación de la velocidad del viento para el riego por aspersión

Condiciones	Vv (m/s)
Muy ventosas	$Vv \geq 4$
Medias	$2 \leq Vv \leq 4$
Favorables	$Vv \leq 2$

**TABLA 5.** Velocidad del viento a la máxima altura de proyección del chorro

Técnica	Vv (m/s)
Máquina de pivot central	3,10
Enrollador con aspersor	8,10
Sistema de riego por aspersión	5,44
Microaspersor	2,62

En el caso de las máquinas de pivot se señalan ([tabla 5](#)) las boquillas menor y mayor del modelo de máquina seleccionado, se observa que el tiempo de vuelo coincide, lo mismo sucede para el resto de las boquillas de la máquina. Para el cálculo del recorrido de la gota se ha considerado el alcance máximo, la altura de la boquilla sobre el terreno y la forma de proyección de la lluvia.

En realidad se debe esperar que el tiempo de vuelo en el caso del Enrollador y el Sistema de Riego por Aspersión sea ligeramente mayor debido a la resistencia del viento, pero las diferencias no serían significativas.

Los valores medios de PEA estimados para el maíz fueron apreciablemente menores a los estimados en esas mismas estaciones y con las mismas series históricas para una pradera, esas diferencias reflejan el diferente perfil de viento que se desarrolla sobre

**TABLA 6.** Tiempo máximo de vuelo de la gota

Tecnología	D (mm)	q	v	R	t
		(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)	(m)	(s)
Máquina de pivot central	1,8	0,000039	0,15	2,12	14,13
	5,6	0,00038	0,15	2,12	14,13
Enrollador con aspersor	31,4	0,0200	0,26	54,0	207,69
	3,5	0,00015	0,16	13,5	84,37
Sistema de riego por aspersión	2,3	0,0001	0,24	8,1	33,75
	1,0	0,000011	0,14	1,51	10,78

D: diámetro de boquilla; q: caudal; v: velocidad de la gota; R: recorrido máximo de la gota; t: tiempo de vuelo

**TABLA 7.** Pérdidas por evaporación y arrastre por técnicas de riego

Tecnología	Vv (m/s)	DPV (kPa)	PEA (%)
Máquina de pivot central	3,10		7,73
Enrollador con aspersor	8,10	0,52	9,23
Sistema de riego por aspersión	5,44		8,60
Microaspersor	2,62		7,55

**TABLA 8.** Pérdidas por evaporación y arrastre, en relación a altura del chorro y tiempo de vuelo

Técnica	PEA (%)	H (m)	t (s)
Máquina de pivot central	7,73	1,50	14,13
	5,60		
Enrollador con aspersor	9,23	18,0	207,69
Sistema de riego por aspersión	8,60	5,80	33,75 - 84,37
Microaspersor	7,55	0,70	10,78

ambos cultivos; en el caso de la pradera, la distancia que tienen que recorrer las gotas de agua desde el aspersor hasta el cultivo es bastante mayor por lo que el tiempo de oportunidad para la evaporación de esas gotas o su arrastre por el viento es mayor. En los periodos nocturnos y en las primeras horas de la mañana, las PEA para un cultivo de maíz fueron bastante pequeñas y en pocos casos fueron superiores al 15%, umbral a partir del cual no sería recomendable realizar riego por aspersión (Martínez-Cob *et al.*, 2005).

### Déficit de presión de vapor (DPV)

El DPV mide la diferencia, en términos de presión, entre el vapor de agua en el aire y el punto de saturación del aire, que es la cantidad máxima que el aire puede transportar a su temperatura actual; el punto de saturación completa también se llama punto de rocío.

El DPV se puede obtener a partir de la ecuación 1 (Allen *et al.*, 2006).

$$ea - es = 0,6108 \left\{ \left[ \exp\left(\frac{17,29T_a}{T_a + 237,3}\right) \right] - \left[ \left(\frac{17,27T_{rocío}}{T_{rocío} + 237,3}\right) \right] \right\} \quad (1)$$

donde:

ea-es. Déficit de presión de vapor (kPa);

T<sub>a</sub>. Temperatura ambiente (°C);

T<sub>rocío</sub>. Temperatura de rocío (°C).

Tomando como referencia valores de temperatura ambiente de 22°C, valor característico de los meses de mayor intensidad de la campaña de riego en la zona de estudio, se obtiene un DPV de 0,52 kPa.

### Pérdidas por evaporación y arrastre (PEA)

Diferentes métodos han sido descritos para el cálculo de las PEA, los mismos han sido descritos en diferentes condiciones y sus resultados suelen ser diversos.

Por ejemplo, el método propuesto por Yazar (1984) ha sido citado por Tarjuelo (2005), en el mismo la evaporación y el arrastre por el viento se determinan de manera aislada a partir de la evaporación y la velocidad del viento. Estudiar estos dos aspectos por separado no tiene significación práctica.

Para los efectos de este estudio, las PEA han sido estimadas a partir de la ecuación 2 (Medina, 2006 citado por Martínez-Cob *et al.* (2005).

$$EDL = 4,85 + 0,37Ws + 3,34VPD \quad (2)$$

donde:

PEA. Pérdidas por evaporación y arrastre (%);

Vv. Velocidad del viento (m/s);

DPV. Déficit de presión de vapor (kPa).

A partir del valor de DPV obtenido (0,52 kPa) y las velocidades de viento consideradas para cada tecnología, se obtienen los valores de PEA que se muestran en la Tabla 7.

Se observa que a pesar de los bajos valores de velocidad del viento que inciden en las tecnologías de micro aspersión y en las máquinas de pivot central, los valores de PEA superan el 7 %, lo cual indica que el DPV tiene un peso significativo en las mismas.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de los valores obtenidos de PEA y su relación con la altura y el tiempo de vuelo.

Los resultados de las evaluaciones muestran las mayores PEA por el viento en la tecnología de riego con empleo de enrollador con aspersor (9,23 %), esto indica que en dichas pérdidas tienen mayor significación la altura que alcanza el chorro y el tiempo de vuelo que el tamaño de la gota. En la práctica la PEA en las técnicas de riego por aspersión y por enrollador con aspersor deben resultar significativamente mayores a los valores estimados, debido al mayor tiempo de exposición de las gotas, factor que no considera el método de cálculo.

Señalan Talel *et al.* (2011) que las PEA pueden alcanzar valores de hasta 40%, mayoritariamente entre 2 y 15%; por encima del 15% no se recomienda el riego.

Martínez-Cob *et al.* (2005) expresan que algunos autores señalan que estas pérdidas son del orden del 5-10% bajo condiciones de demanda evaporativa moderada, sin embargo, otros han indicado que las PEA pueden superar el 20%.

Según Tarjuelo (2005) los principales efectos del viento en el riego por aspersión lo sufren los sistemas de riego fijos o estacionarios y los cañones de riego frente a los sistemas pivot; la falta de uniformidad en un riego como consecuencia de la acción del viento puede verse compensada en los riegos sucesivos al ir cambiando normalmente las condiciones del viento, esta mejora de uniformidad acumulada de varios riegos será más aprovechable por el cultivo cuanto mayor sea la frecuencia de riego.

Keller y Bliesner (1990) citados por Bonet y Guerrero (2016) señalan que las PEA deben oscilar entre 5 y 10%, sin embargo reconocen que cuando las condiciones son severas los valores pueden ser considerablemente mayores.

Rodríguez *et al.* (2012) citados por Uribe *et al.* (2021), exponen que el viento tiene gran incidencia en el deterioro de los parámetros de calidad del riego, reduciendo el radio de alcance efectivo del aspersor; en evaluaciones de campo realizadas en sistemas de riego por aspersión, pudieron comprobar que en la medida en que aumenta la velocidad del viento el alcance efectivo del aspersor disminuye recíprocamente, lo que trae consigo una mala distribución del agua en la parcela.

Exponen Tarjuelo *et al.* (1995) citados por Bonet y Guerrero (2016), que un buen riego no es el que moja uniformemente la superficie del suelo, sino aquel que almacena agua uniformemente en el perfil del suelo y consideran que entre las desventajas del riego por aspersión está la afectación a la uniformidad del riego cuando el viento en la región donde se aplica es fuerte.

Martínez-Cob *et al.* (2005) consideran que las PEA no actúan de manera absoluta en sentido negativo; como consecuencia de las PEA durante el riego por aspersión se modifican las condiciones microclimáticas, produciéndose un descenso del DPV así como de la temperatura del aire, esto contribuye a la reducción de la transpiración del cultivo y por lo tanto a la conservación de la humedad del suelo; aunque en nuestras condiciones climáticas estos cambios microclimáticos durante el riego por aspersión se reducen a unas pocas horas después del riego.

## CONCLUSIONES

- Las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre en las condiciones predominantes en el municipio

Camagüey alcanzan valores 7,55 % en el riego con microaspersión, 7,73 % en la máquina de pivot central, 8,60 % en el riego por aspersión y 9,23 % en el riego con enrollador con aspersor.

- En condiciones de velocidades del viento superiores a 3,1 m/s las pérdidas por evaporación y arrastre en la tecnología de riego con enrollador pudieran superar el valor del 15% considerado como límite máximo permisible para la ejecución de un riego por aspersión satisfactorio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: "Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos", Roma: FAO, 298(0), 2006.
- BONET, P.C.; GUERRERO, P.: "Análisis de la calidad de riego de dos sistemas por aspersión de producción nacional", *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1): 14-18, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- CICMA-CUBA: *Sistemas de Riego por Aspersión modulares de producción nacional*, CICMA, Informe técnico, Camagüey, Cuba, Módulo de Sistema de Riego por Aspersión semi estacionario de 1,03 ha, Camagüey, Cuba, 2015.
- CISNEROS-ZAYAS, E.; VENERO-DELGADO, Y.; PLACERES-MIRANDA, Z.; GONZÁLEZ-ROBAINA, F.: "El viento y su influencia en los parámetros de calidad del riego", *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(4), 2019, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- DECHMI, F.; PLAYÁN, E.; CAVERO, J.; FACI, J.; MARTÍNEZ-COB, A.: "Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*)", *Irrigation science*, 22(2): 67-77, 2003, ISSN: 1432-1319.
- FACI, J.; BERCERO, A.: "Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión", *Investigación Agraria. Producción y protección vegetales*, 6(2): 171-182, 1991, ISSN: 0213-5000.
- IIRD-CUBA: *Información técnica microaspersor microjet 2 x 1400 (1)*, Inst. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Informe técnico, La Habana, Cuba, 2010.
- INSMET-CAMAGÜEY: *Caracterización climática Camagüey*, Centro Meteorológico Camagüey. INSMET, Camagüey, Cuba, 2022.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D.: *Sprinkle and trickle irrigation*, Ed. Springer, Van Nostrand Reinhold ed., vol. 3, New York, USA, 1990.
- KOMET. INNOVATIVE IRRIGATION: *Aspersores de gran alcance para sistemas viajeros, pivots y fijos*, Komet Twin Catalog, 2012.

- MARTÍNEZ-COB, A.; ZAPATA-RUIZ, N.; SÁNCHEZ-MARCOS, I.; PLAYÁN-JUBILLAR, E.; ACOSTA, R.M.; FACI-GONZÁLEZ, J.M.: “Variabilidad espacio-temporal de las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre en el valle medio del Ebro”, En: *XXIII Congreso Nacional de Riegos. Elche, 14-16 de junio de 2005*, Ed. Universidad Miguel Hernández, Elche, España, 2005.
- PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J.M.; ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A.; SÁNCHEZ, I.: “Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals”, *Agricultural water management*, 76(3): 139-159, 2005, ISSN: 0378-3774.
- RODRIGUEZ, C.D.; BONET, P.C.; MOLA, F.B.; GUERRERO, P.P.: “Propuesta de estrategia de extensión de buenas prácticas de riego en una unidad productiva agrícola”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2): 35-40, 2018, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- TALEL, S.B.; ZAPATA, R.N.; MARTÍNEZ, C.A.; FACI, G.J.M.: “Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre y de los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión de alfalfa”, [en línea], En: *XXIX Congreso Nacional de Riegos «Hacia un regadío eficiente y rentable»*, Córdoba. 7- 9 junio 2011), Ed. Universidad de Córdoba, Córdoba, España, 2011, Disponible en: [martinez-coba\\_comcong2011.pdf](#).
- TARJUELO, J.; CARRIÓN, P.; VALIENTE, M.: “Simulación de la distribución del riego por aspersión en condiciones de viento”, *Investigación Agraria: Producción e Protección Vegetal*, 9(2): 255-271, 1994, ISSN: 0213-5000.
- TARJUELO, J.; ORTEGA, J.; MONTERO, J.; DE JUAN, J.: “Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions”, *Agricultural Water Management*, 43(3): 263-284, 2000, ISSN: 0378-3774.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi-Prensa, Tercera ed., Madrid, España, Centro Regional de Estudios del Agua-CREA- Universidad de Castilla-La Mancha, 2005, ISBN: 84-8476-239-4.
- TUSA: *Máquinas de pivot central eléctrica*, Catálogo de soluciones de riego, 2007.
- URIBE, C.H.; LAGOS, L.O.; HOLZAPHEL, E.: *Pivote central*, Inst. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Riego. Corporación de Fomento de la Producción. Gobierno de Chile, Informe central, 2021.

Camilo Bonet-Pérez. Dr.C, Inv. Ministerio de la Agricultura, filial IAgric, Camagüey. Teléfono: (53) 6917595, 32 252305 32 282013 (Ext. 163), e-mail: [camilobp51@gmail.com](mailto:camilobp51@gmail.com) [esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu](mailto:esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu)  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5025-9892>

Ayamir M. Agramonte Almanza. Ing. Agrónomo, Inv. Centro Meteorológico Camagüey. INSMET. Cuba, Teléfono: 32-261103 ext. 130, e-mail: [ayamir@cmw.insmet.cu](mailto:ayamir@cmw.insmet.cu).

Barbara Mola-Fines. MSc., Inv., Ministerio de la Agricultura, filial IAgric, Camagüey. (32-291926), e-mail: [esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu](mailto: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 (Ext. 163), e-mail: [esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu](mailto: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](mailto:esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu).

Yaniel Morales Avilés. 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](mailto:esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu).

The authors of this work declare no conflict of interests.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization:** C. Bonet. **Data curation:** C. Bonet, A. Agramonte. **Formal analysis:** C. Bonet, A. Agramonte, D. Rodríguez, B. Mola. **Investigation:** C. Bonet, D. Rodríguez, B. Mola. **Methodology:** C. Bonet. **Supervision:** C. Bonet, A. Agramonte, D. Rodríguez, B. Mola, Y. Morales. **Validation:** D. Rodríguez, C. Bonet, B. Mola. **Papers/Editorial, original project:** C. Bonet. **Writing, revision and editing:** A. Agramonte, D. Rodríguez, B. Mola, Y. Mo.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)

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.