

UNIFORMIDAD Y PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE EN RIEGO POR ASPERSIÓN EN TARABANA, ESTADO LARA*

Uniformity and wind drift and evaporation losses in sprinkler irrigation at Tarabana, Lara State

José Nicolás Ortiz¹, Héctor Miranda¹ y Douglas Peroza¹

RESUMEN

Se estudió la uniformidad de aplicación del agua y las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) para dos tipos de aspersores (Rain Bird 30 y Rain Man 8023) y dos altura de colocación con respecto al suelo (1 y 2 m) en riego por aspersión estacionario. El ensayo se realizó en Tarabana, Cabudare, estado Lara, se midieron las variables climáticas velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa y déficit de presión de vapor de agua para analizar la influencia de estos factores del clima sobre las pérdidas y la uniformidad del riego. Los resultados mostraron que, en general, el coeficiente de uniformidad (CU) y la uniformidad de distribución del agua (UD) disminuyeron con el incremento de la velocidad del viento, el CU y la UD fueron significativamente superiores en el aspersor Rain Bird instalado a 2 m de altura, con valores de 86 y 79%, respectivamente. En cuanto a las PEA, no se encontraron diferencias significativas entre las alturas y aspersores probados. Las pérdidas por evaporación y arrastre se ajustaron adecuadamente a un modelo lineal, en el cual la variable más explicativa fue la velocidad del viento.

Palabras clave: coeficiente de uniformidad, uniformidad de distribución, pérdidas por evaporación y arrastre, riego por aspersión.

ABSTRACT

The water application uniformity and the losses by evaporation and drag (PEA) produced by two types of sprinklers (Rain Bird 30 and Rain Man 8023) and two different ground heights (1 and 2 m) in stationary sprinkler irrigation were studied. The trial was conducted at Tarabana, Cabudare, Lara State. Climatic variables as wind speed and direction, air temperature, relative humidity and water vapor pressure deficit were measured to determine the influence of these climatic factors on the irrigation uniformity and losses. Results showed that, in general, the uniformity coefficient (CU) and the water distribution uniformity (UD) decreased with the wind speed increase. The CU and the UD were significantly higher in the Rain Bird sprinkler installed at 2 m height, with values of 86 and 79%, respectively. As for the PEA, no significant differences between the heights and tested sprinklers were found. Evaporation losses and drag properly were adjusted to a linear model, in which the explanatory variable was the wind speed.

Key words: uniformity coefficient, distribution uniformity, wind drift and evaporation losses, sprinkler irrigation.

(*) Recibido: 24-02-2015

Aceptado: 10-07-2015

¹ Decanato de Agronomía, Universidad Centrocidental "Lisandro Alvarado" UCLA, Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería Agrícola, Cabudare-Lara. Venezuela. Apartado postal 400. jortiz@ucla.edu.ve, hmiranda@ucla.edu.ve, dperoza@ucla.edu.ve.

INTRODUCCIÓN

La optimización del riego contribuye a minimizar las pérdidas de agua y energía, esto genera una reducción de los costos y maximiza el rendimiento de los cultivos. La uniformidad de aplicación del agua es un criterio de funcionamiento importante para el diseño y manejo de cualquier sistema de riego por aspersión; no obstante, la lámina de agua aplicada por estos sistemas no es completamente uniforme en toda la parcela regada. La altura del emisor sobre el suelo o el cultivo tiene un efecto considerable sobre la distribución de agua. Un incremento en la altura del emisor produce normalmente una mayor uniformidad de riego, pero aumenta las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (Faci *et al.* 2001; Montero *et al.* 2003). El marco de riego es otro aspecto que influye sobre la uniformidad de aplicación de agua, en este sentido, Montero *et al.* (2000) señalan que los marcos cuadrados presentan una mayor uniformidad que los rectangulares cuando se emplean aspersores con una o dos boquillas con vaina prolongadora. Osman *et al.* (2014) encontraron que el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución se incrementan con el aumento del diámetro de la boquilla, la presión de operación y la altura de colocación de los aspersores. La mejora en la uniformidad de aplicación del agua se traduce en beneficios económicos, en ahorro de agua y reducción de los impactos ambientales de las zonas bajo riego (Brennan 2008; Bellingham 2015).

El tamaño de gotas es un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño de sistemas de riego por aspersión (McLean *et al.* 2000), por su vinculación con la distorsión del patrón de distribución por efecto del viento, las pérdidas por evaporación y arrastre durante el riego, y la posible reducción de la velocidad de infiltración del suelo si se forma “costra” por la rotura de la estructura con el impacto de la gota (Salomon 1984). La velocidad y dirección del viento es el principal factor que distorsiona el patrón de distribución del agua en el riego por aspersión, y determina pérdidas por evaporación y arrastre (Tarjuelo 1999; Dechmi *et al.* 2004). La influencia de la velocidad del viento está relacionada con el tipo de emisor, diámetro de la boquilla, presión de trabajo y altura de la boquilla

con respecto a la superficie del suelo (Tarjuelo 2005).

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 la gota y de la velocidad del viento, mientras que las pérdidas por arrastre dependen: de la velocidad del viento, del tamaño de las gotas y de la distancia que tenga que recorrer hasta llegar al suelo (Tarjuelo 2005). Lorenzini (2002) estudió el efecto de la temperatura del aire sobre la evaporación en el riego por aspersión, encontró valores comprendidos entre 4,15 y 7,73% cuando la temperatura del aire varió de 21 a 27 °C. El entendimiento de los factores que afectan las pérdidas por evaporación y arrastre es importante para desarrollar estrategias de conservación de agua (Tarjuelo *et al.* 2000).

Kincaid *et al.* (1986), en un estudio sobre las pérdidas por evaporación, arrastre y uniformidad, en sistemas pivote de baja presión, encontraron que los principales factores que afectan la uniformidad fueron la presión de operación, el espaciamiento y la elevación de la boquilla, y los que afectan a las pérdidas por evaporación y arrastre fueron la altura de colocación del emisor y la velocidad del viento. Adicionalmente, informaron pérdidas de agua por evaporación y arrastre de 12% para la altura de 4 m; mientras que para alturas de 1 y 2 m fueron menores a 5%. Abo-Ghobar (1992) estudió estas pérdidas, a nivel de campo en clima desértico, en tres sistemas de riego por pivote de baja presión, encontró pérdidas de 15,63; 21,19 y 35,77% para alturas de los emisores de 1,25; 1,75 y 2,5 m del suelo, respectivamente. Playan *et al.* (2005) encontraron que las pérdidas por evaporación y arrastre (en un sistema de avance frontal equipado con emisores de baja presión) fueron 9,8 y 5% durante el día y la noche, respectivamente. Además, concluyeron que la velocidad del viento fue la variable más explicativa para predecir las pérdidas nocturnas y diurnas, tanto en sistemas de cobertura total como en lateral de avance frontal, a excepción del riego nocturno en el lateral.

La aplicación de agua durante momentos de máxima demanda evaporativa y fuerte viento en el

riego por aspersión, origina pérdidas muy elevadas por evaporación y arrastre, llegan a alcanzar valores hasta de 30% del agua descargada (Spurgeon *et al.* 1983; Tarjuelo *et al.* 2000; López *et al.* 2011). Steiner *et al.* (1983) reportan pérdidas de 15%, bajo condiciones de alta evaporación. Playan *et al.* (2005) informaron pérdidas de 15,3% en riegos diurnos con sistemas de riego por aspersión de cobertura total.

La mayoría de ecuaciones usadas para predecir las pérdidas por evaporación y arrastre usan sólo la velocidad del viento como variable independiente, aunque algunas recurren a la humedad relativa, o una combinación de ambas, más la temperatura del aire (Playan *et al.* 2005). También, algunas fórmulas utilizan el déficit de presión de vapor para predecir pérdidas, parámetro más útil para velocidades del viento en rangos muy pequeños (Tarjuelo *et al.* 2000).

El objetivo de esta investigación fue estudiar la uniformidad de aplicación del agua y las pérdidas por evaporación y arrastre para dos tipos de aspersores y dos alturas de colocación con respecto al suelo en riego por aspersión estacionario en Tarabana, estado Lara.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante los meses enero-junio del año 2014 en el Campo Experimental de Riego del Decanato de Agronomía de la UCLA en el núcleo Tarabana, Cabudare, estado Lara, ubicado geográficamente a 10°01'52" de latitud norte y 69°16'44" de longitud oeste, a 510 msnm. Los datos climáticos medios anuales de la zona son: temperatura de 25°C, precipitación de 812,6 mm, humedad relativa de 74,6%, radiación solar de 371 cal cm⁻² y evaporación de 2084,9 mm.

La caracterización del reparto del agua se determinó siguiendo la metodología propuesta por Salomon (1979), que consiste en colocar una red de pluviómetros alrededor de un aspersor al aire libre y establecer el solapamiento correspondiente para cualquier marco de riego. Se evaluaron dos tipos aspersores y dos alturas de colocación con respecto al suelo (1 y 2 m), se colocó el aspersor en el centro de una cuadrícula de 20 x 20 filas de pluviómetros

(potes plásticos de 16 cm de diámetro y 20 cm de altura) separados cada dos metros. La cantidad de filas se definió en función del diámetro de mojado (del aspersor de mayor alcance) que recomienda el fabricante, en condición sin viento, para la presión utilizada en el ensayo, más una distancia adicional de 6 m para tomar en cuenta la distorsión causada por el viento sobre el patrón de mojado. En la Tabla 1, se indican las características de los aspersores probados.

Tabla 1. Características de los aspersores ensayados.

Aspersor	Material	Diámetro boquilla (mm)	Presión (kPa)	Radio mojado (m)
Rain Man 8023	Plástico	3,7	200	12
Rain Bird 30	Metal	4,4 x 2,4	280	14

Los cálculos de coeficiente de uniformidad (CU) (Christiansen 1942) y uniformidad de distribución (UD) (Merriam y Keller 1978) se realizaron para un marco de riego de 12 x 12 m para el aspersor Rain Man y de 14 x 14 m para el aspersor Rain Bird, estas separaciones se eligieron porque garantizan un buen solape entre los diámetros de mojado. Para cuantificar los parámetros de riego señalados se usaron las ecuaciones (1) y (2):

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |V_i - V_m|}{V_m * N}\right) * 100 \quad (1)$$

Donde, CU es el coeficiente de uniformidad del agua aplicada (%); V_i = volumen de agua recogida por cada pluviómetro; V_m = volumen medio de agua recogida en el total de los pluviómetros; N = número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

$$UD = \frac{V_{25}}{V_m} * 100 \quad (2)$$

Donde, UD es la uniformidad de distribución del agua aplicada (%); V_{25} es el volumen medio recogido en el 25% de pluviómetros que menos agua recogen; V_m es el volumen medio recogido en el total de pluviómetros.

Se realizaron diez evaluaciones para cada combinación tipo de aspersor-altura de instalación,

40 pruebas, a diferentes velocidades del viento. El sistema se presurizó con una motobomba de 5 Hp que extraía agua de un tanque de 120 m³ de capacidad, a la salida de la misma se colocó una válvula para regular la presión e inmediatamente un manómetro de glicerina. Para regularizar la presión de operación del aspersor, también se instaló un manómetro en la tubería justo antes de entrar al aspersor. En cada evaluación se midió el caudal por el método volumétrico, una vez estabilizada la presión de operación del aspersor, estas mediciones permitieron obtener el caudal descargado, para luego calcular la eficiencia de descarga (Efd), que es una medida aproximada de la magnitud de las pérdidas por evaporación y arrastre. Esta eficiencia se calcula como el cociente entre la altura media recogida por los pluviómetros (AMR) y la altura media descargada por el aspersor (AMD), expresado en porcentaje:

$$Efd = \frac{AMR}{AMD} * 100 \quad (3)$$

Los valores de PEA (100-Efd) se relacionaron con datos climáticos para analizar sus posibles efectos sobre las pérdidas, y buscar un modelo de predicción adecuado. La información climática considerada fue la velocidad del viento, la temperatura del aire, la humedad relativa y el déficit de presión de vapor de agua; estos se calcularon como promedio del dato registrado cada diez minutos desde el inicio de cada prueba. Se tomaron en cuenta estos datos climáticos debido a que diversos autores (Tarjuelo *et al.* 2000; Faci *et al.* 2001; Lorenzini 2002; Playan *et al.* 2005) han encontrado que tienen mayor influencia sobre PEA. La velocidad y dirección del viento se midieron a 2 m de altura con un Anemógrafo Digital (EL503-100), para la temperatura y humedad relativa se usó un termohigrómetro digital portátil y el déficit de presión de vapor de agua ($e_s - e_a$) se calculó con la expresión (Trimmer 1987):

$$(e_s - e_a) = 0,611e^{\left(\frac{17,27T_a}{237,3+T_a}\right)} \left(1 - \frac{HR}{100}\right) \quad (4)$$

donde, ($e_s - e_a$) es la presión de vapor en saturación y presión de vapor real del aire (kPa); T_a la temperatura del aire (°C) y HR la humedad relativa (%).

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa informático Statgraphics v5.1 (Statistical Graphics Corp., Englewood Cliffs, USA), se realizó análisis de varianza para las variables coeficiente de uniformidad, uniformidad de distribución y para las pérdidas por evaporación y arrastre para los tipos de aspersores y altura instalación de aspersor. Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó prueba de media de Tukey ($P < 0,05$). Se realizó análisis de regresión múltiple para PEA en función de los factores climáticos. Previo a los análisis de varianza se verificó que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad, homogeneidad de la varianza e independencia. Para que el $e_s - e_a$ cumpliera con la condición de normalidad se realizó una transformación a Raíz Cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uniformidad de aplicación del agua

En la Figura 1 se muestra la evolución del coeficiente de uniformidad y de la uniformidad de distribución para la combinación tipo de aspersor-altura de instalación en función de la velocidad del viento, puede observarse que los mayores valores de CU se consiguieron en los aspersores ubicados a 2 m con respecto al suelo, con cifras en la banda 82-91% para el aspersor Rain Bird, y entre 80 y 90% para el Rain Man; mientras que para la altura de 1 m el máximo valor fue 88% para ambos aspersores y el valor menor de CU fue 76 y 73% para los aspersores Rain Bird y Rain Man, respectivamente. En cuanto a la UD, hubo tendencia similar al CU, pero con valores más bajos, que variaron entre 72 y 85% para la altura de 2 m, y entre 63 y 82% cuando los aspersores se colocaron a 1 m. En esta Figura se evidencia que, en general, estos parámetros de uniformidad disminuyen cuando aumenta la velocidad del viento, aunque hay que destacar que cuando la dirección del viento varió, ocurrió mejoría en la uniformidad, lo cual puede visualizarse donde hubo valores de uniformidad superiores para vientos con mayor velocidad.

Si se compara el tipo de aspersor y la altura de colocación, para una misma velocidad del viento, puede observarse que para 4,52 m s⁻¹ el CU

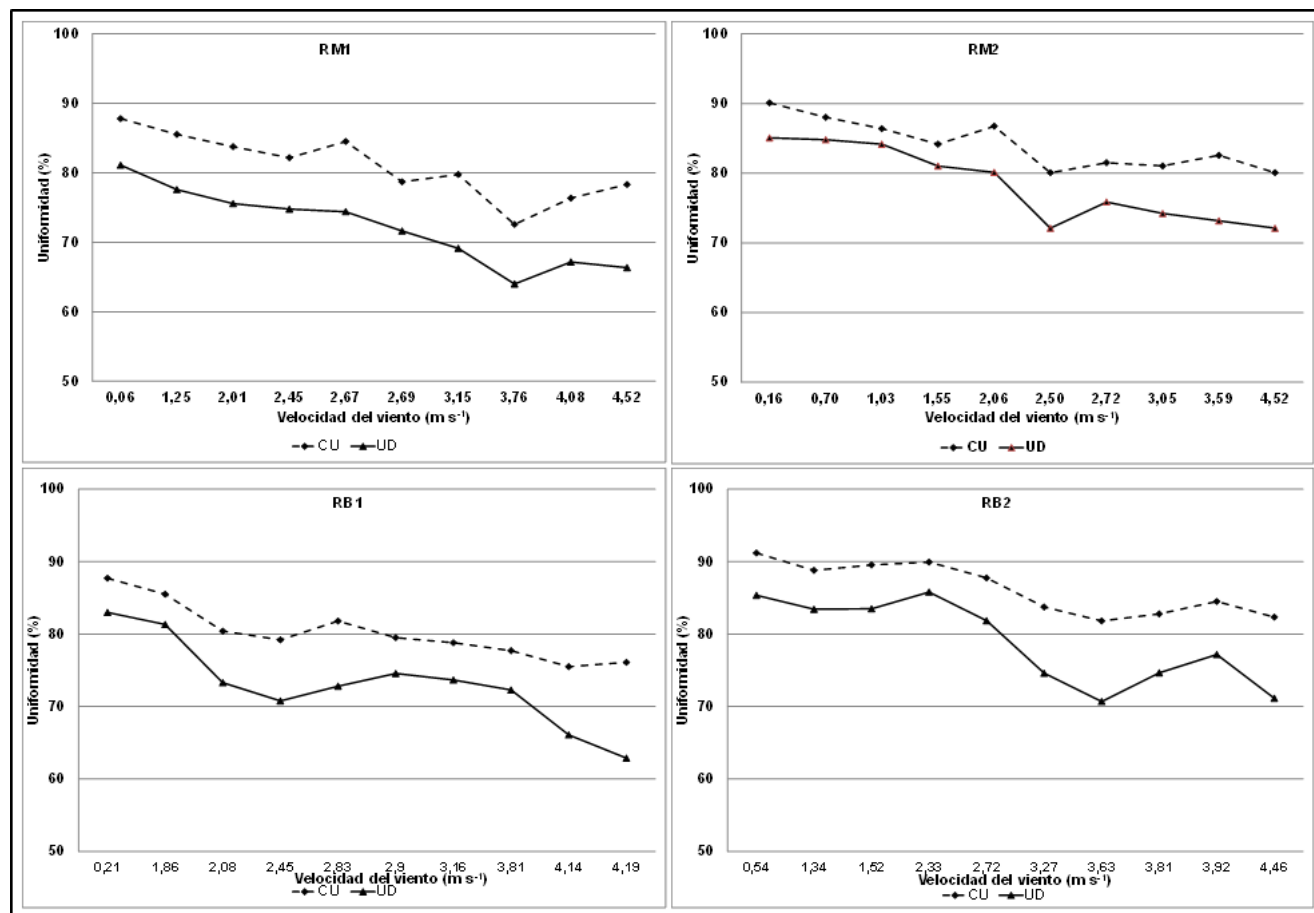


Figura 1. Coeficiente de uniformidad (CU) y uniformidad de distribución (UD) para los aspersores Rain Bird (RB1 y RB2) y Rain Man (RM1 y RM2) a las alturas de 1 y 2 m.

para el Rain Man fue 78 y 80% para las alturas de 1 y 2 m, respectivamente; en el otro tipo de aspersor y 3,81 m s⁻¹ el CU a 1 y 2 m fue 78 y 83%, en ese orden; cuando la altura fue 1 m y la velocidad del viento 2,45 m s⁻¹ el CU fue 82 y 79% para el Rain Man y Rain Bird, respectivamente; mientras que a 2 m de altura y 2,72 m s⁻¹ el CU fue 88 y 82% en el Rain Bird y Rain Man, en ese orden. Referente a la UD, para las mismas combinaciones tipo aspersor-altura y velocidades de viento mencionadas, las cifras mantuvieron la misma tendencia, pero con valores inferiores (Figura 1). Lo anterior permite sugerir que la uniformidad de aplicación del agua alcanza mayores valores cuando aumenta la altura de colocación de los aspersores, lo cual es debido a que a mayor altura el alcance del aspersor se incrementa. En este sentido, Faci *et al.* (2001) indicaron que el área mojada por un emisor ubicado a 2,5 m de altura es más grande que cuando se ubica a 1 m.

Las cifras de uniformidad encontradas en este trabajo están en el rango informado por otros

investigadores. Berenguer *et al.* (1997), en un estudio sobre variabilidad de la aplicación del agua en riego por aspersión, encontraron valores de CU entre 79 y 90% y de UD entre 72% y 85%; Tarjuelo (2005) indicó 79 y 64% para CU y UD, cuando usó aspersores de una boquilla; Jiménez (2008) reportó valores de CU entre 79 y 93%, y de UD entre 65 y 89% para el aspersor Rain Bird a 2 m de altura; Yacoubi *et al.* (2010) señalaron cifras de CU entre 54 y 81% para aspersores ubicados a 1 m de altura; mientras que Ortiz *et al.* (2012) encontraron valores de CU entre 76 y 91% y de UD entre 66% - 84% durante dos ciclos del cultivo de caraota regado con aspersores colocados a 1 m de altura.

En la Figura 2 puede observarse que los valores para CU y UD con el aspersor Rain Bird ubicado a dos metros de altura (RB2) fueron superiores ($P < 0,05$) con respecto a los aspersores colocados a un metro de altura. No hubo diferencias ($P < 0,05$) entre los valores de CU y UD obtenidos con el Rain Man a las dos alturas ensayadas (RM1 y RM2). En la figura 2, destacan valores excelentes

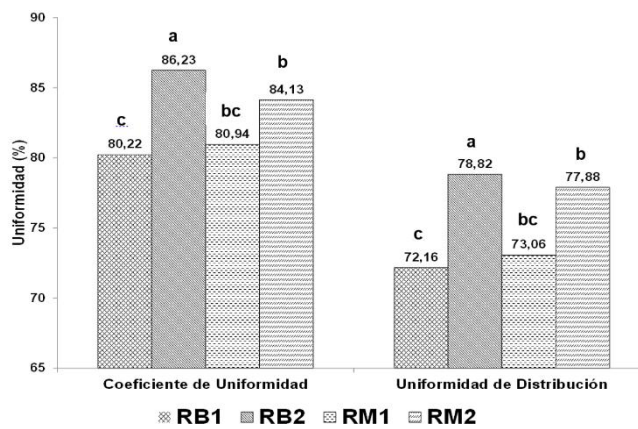


Figura 2. Coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución medio para los aspersores Rain Bird (RB1 y RB2) y Rain Man (RM1 y RM2) a las alturas de 1 y 2 m.

de CU en todas las combinaciones tipo de aspersor-altura, así como también cifras aceptables del parámetro UD, lo que indica que el riego es uniforme, ya que este índice considera el cuarto de superficie que menos agua recibe con respecto a la superficie total regada. Ortiz *et al.* (2012) estudiaron la uniformidad de aplicación del agua en superficie y en el perfil del suelo, encontraron UD de 66%, pero la UD de la humedad en el suelo después de ese riego fue 82%, valor que representa mejor la realidad desde el punto de vista de extracción de agua por los cultivos. Keller y Bliesner (1990) recomiendan valores de CU de al menos 85% para cultivos hortícolas de sistemas radicales superficiales (cebolla, zanahoria, pimentón); entre 75 y 83% en cultivos de raíces más desarrolladas (maíz, caña de azúcar, algodón) y superiores al 70% en cultivos leñosos (cítricos, aguacate, mango). Los valores de uniformidad obtenidos en esta investigación están en el orden de los sugeridos por estos autores, por tanto, según el criterio que precise el tipo de cultivo, se adaptará la combinación tipo de aspersor-altura que requiera cada caso.

Pérdidas por evaporación y arrastre

En la Tabla 2 se muestra el análisis descriptivo de las variables cuantitativas medidas o calculadas durante las 40 pruebas realizadas, se presentan en conjunto debido que al realizar el análisis de varianza para las combinación de tipo de aspersor-altura de instalación no se encontraron

diferencias significativas en las pérdidas por evaporación y arrastre. Los valores mínimo y máximo de PEA fueron de 9,4 y 43,7%, respectivamente, con un coeficiente de variación de 36,3%, valor inferior al reportado por Tarjuelo *et al.* (2000) de 45,9%; Dechmi *et al.* (2003) encontraron valores mayores a 30% para velocidades del viento superiores a 5 m s⁻¹; Martínez-Cob *et al.* (2005) hallaron pérdidas superiores a 20%. Jiménez (2008) encontró cifras en el intervalo 1 - 29% en sistema de aspersión de cobertura total; para este sistema Yacoubi *et al.* (2010) informaron pérdidas en el rango 13-37%; las magnitudes encontradas en este trabajo se ubican dentro del rango señalado por estos autores.

En la Tabla 3 se presenta la relación de las pérdidas por evaporación y arrastre con los factores climáticos. Se aplicó regresión múltiple, siguiendo regresión por pasos. Para el análisis de regresión, los datos se discriminaron por tipo de emisor y altura de instalación, y con todos los datos en conjunto. En la Tabla se exponen las ecuaciones que mejor ajuste presentaron para predecir PEA, puede observarse que en cada una de las combinaciones aspersor-altura, la pendiente o coeficiente de regresión y R² fueron significativos (P<0,001). El termino constante o intersección también resultó significativo (P<0,05) en todos los casos. Cuando se consideró únicamente la altura de instalación, la velocidad del viento explicó mejor la variabilidad de las pérdidas por evaporación y arrastre (P<0,001). El procedimiento de regresión realizado con todos los datos arrojó menor R² que con los datos separados por altura de instalación o por las combinaciones tipo de aspersor-altura de instalación. En RB1, la técnica estadística empleada incorporó la temperatura en el modelo; sin embargo, se prefirió tomar el modelo sólo con la velocidad de viento, debido a que presentó mayor valor para R².

Aunque la velocidad del viento explicó en mayor proporción la variabilidad de las pérdidas por evaporación y arrastre, existen otros factores que influyen sobre el proceso, como la aleatoriedad de la dirección del viento o la distribución de tamaños de gota producida por cada tipo de emisor. Dechmi (2002) indica que rachas fuertes de viento en periodos cortos puede inducir a pérdidas por

Tabla 2. Análisis descriptivo de PEA y de las variables climáticas.

	PEA(%)	VV (m s ⁻¹)	T (°C)	HR (%)	(e _s - e _a) ^{0,5} (kPa)
Media	26,34	2,59	29,95	59,34	1,09
Varianza	91,26	1,62	13,36	180,59	0,10
Desviación estándar	9,55	1,27	3,66	13,44	0,31
Mínimo	9,38	0,06	23,00	33,71	0,47
Máximo	43,68	4,52	37,71	87,71	2,08
Rango	34,30	4,46	14,71	54,00	1,61
Curtosis	-1,12	-0,71	-0,75	-0,98	1,93
CV (%)	36,27	49,08	12,21	22,64	28,49

PEA: pérdidas por evaporación y arrastre; VV: velocidad del viento; T: temperatura del aire; HR: humedad relativa; (e_s - e_a)^{0,5}: déficit de presión de vapor del agua.

Tabla 3. Ecuaciones de ajuste de PEA en función de tipo de aspersor-altura de instalación y combinaciones.

Riego	Aspersor-Altura	PEA	R ² (%)	EEE
Combinaciones	RB1	6,41* + 6,57***V	86,61***	3,26
	RB2	6,86* + 7,12***V	88,23***	3,56
	RM1	6,80* + 6,87***V	86,11***	3,91
	RM2	12,95*** + 7,43***V	88,97***	3,76
Por altura instalación	1 m	6,61** + 6,72***V	86,00***	3,45
	2 m	11,28*** + 6,70***V	77,25***	4,94
Todos	Todos	9,41*** + 6,53***V	75,64***	4,77

PEA = pérdidas por evaporación y arrastre; R² = coeficiente de determinación; EEE = error estándar de la estimación; RB1 = aspersor Rain Bird a 1 m de altura; RB2 = aspersor Rain Bird a 2 m de altura; RM1 = aspersor Rain Man a 1 m de altura; RM2 = aspersor Rain Man a 2 m de altura; V = velocidad del viento (m s⁻¹); * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001.

evaporación y arrastre que no son explicadas por la velocidad promedio del viento. Playan *et al.* (2005), en un experimento sobre pérdidas diurnas y nocturnas, concluyeron que el viento fue la variable que mejor explicó las pérdidas por evaporación y arrastre.

CONCLUSIONES

El coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución del agua disminuyeron con el incremento de la velocidad del viento.

El coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución del agua fueron superiores en el aspersor Rain Bird instalado a 2 m de altura.

No hubo diferencias en las pérdidas por evaporación y arrastre debido a la altura de instalación y tipo de aspersor.

La velocidad del viento explicó mejor las pérdidas por evaporación y arrastre, de acuerdo con modelo lineal con adecuada bondad de ajuste.

REFERENCIAS

- Abo-Ghobar, H. 1992. Losses from low pressure center-pivot irrigation systems in a desert climate as affected by nozzle height. *Agricultural Water Management* 21: 23-32.
- Bellingham, B. 2015. Sensor based irrigation scheduling blueberries. *In: Goyal, M (Senior editor-in-chief). Sustainable micro Irrigation management for trees and vines.* Apple Academic Press, Oakville. ON, Canada. 250 p.
- Berenguer, M., Faci, J. y Martinez, A. 1997. Variabilidad del rendimiento del sorgo y del agua aplicada en una cobertura fija de riego por aspersión. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 12: 89-109.
- Brennan, D. 2008. Factors affecting the economic benefits of sprinkler uniformity and their implication for irrigation water use. *Irrig. Sci.* 26:109-119.
- Christiansen, J. 1942. *Irrigation by sprinkling.* University of California. Agricultural Experiment Station. Bulletin 670. 124 p.

- Dechmi, F. 2002. Gestión del agua en sistemas de riego por aspersión en el Valle del Ebro: análisis de la situación actual y simulación de escenarios. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. España. 217 p.
- Dechmi, F., Playan, E., Cavero, J., Faci, J. and Martínez-Cob, A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). *Irrig. Sci.* 22(2):67-77.
- Dechmi, F., Playan, E., Cavero, J., Martínez-Cob, A. and Faci, J. 2004. Couple crop and solid set sprinkler simulation model. I: Model development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, 130 (6): 499-510.
- Faci, J., Salvador, R., Playán, E. and Sourell, H. 2001. Comparison of Fixed and Rotating Spray Plate Sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*., ASCE. 127 (4): 224-236.
- Jiménez, M. 2008. La distribución del agua bajo riego por aspersión estacionario y su influencia sobre el rendimiento del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). Tesis Doctoral. ETSIA, Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete-España. 152 p.
- Keller, J. and Bleisner, K. 1990. Sprinkler and trickler irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. 280 p.
- Kincaid, D., Nabil, M. and Busch, J. 1986. Spray losses and uniformity with low pressure center pivot. American Society of Agricultural Engineers. Paper N° 86-2091.
- López, M., Mujica, A. y Duarte, L. 2011. Criterios sobre la formulación matemática para el cálculo de las pérdidas por evaporación y arrastre en emisores de baja presión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20 (2): 65-69.
- Lorenzini, G. 2002. Air temperature effect on spray evaporation in sprinkler irrigation. *Irrig. and Drain.* 51: 301-309.
- Martínez-Cob, A., Zapata, N., Sanchez, I., Salvador, R., Playan, E. y Faci, J. 2005. Variabilidad espacio-temporal de las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre en el Valle Medio del Ebro. XXIII Congreso Nacional de Riegos. Elche, Alicante. España. pp 1-11.
- McLean, R., Sri Ranjan R. and Klassen, G. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation system. *Canadian Agricultural Engineering* 42 (1): 1.1-1.15.
- Merriam, J. and Keller J. 1978. Farm Irrigation System evaluation: a guide for management. Utah State University, Logan, Utah, USA. 271 p.
- Montero, J., Tarjuelo, J. and Ortega, J. 2000. Heterogeneity analysis of the irrigation in fields with medium size sprinklers. *CIGR Journal*, Volume II. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1813/10207> [Consulta: abril de 2015].
- Montero, J., de Juan, Ortiz, J. y Tarjuelo, J. 2003. Efecto de la altura del emisor sobre la distribución de agua en equipos pivote y sobre el rendimiento de los cultivos. XXI Congreso Nacional de Riegos. Mérida. España. pp 137-140.
- Ortiz, J., Miranda, H. y Peroza, D. 2012. Distribución del agua bajo riego por aspersión y su efecto sobre el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Científica UDO Agrícola* 12: 106-116.
- Osman, M., Hassan, S. and Yusof, K. 2014. Effect of combination factors operating pressure, nozzle diameter and riser height on sprinkler irrigation uniformity. *Advanced Research in Applied Mechanics* 2: 1-5.
- Playan, E., Salvador, R., Faci, J., Zapata N., Martínez-Cob A. and Sánchez, I. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinklers solid-set and moving lateral. *Agricultural Water Management* 76: 139-159.

Salomon, K. 1979. Variability of sprinkler coefficient of uniformity-test result. Transactions of ASAE. 22(5): 1078-1086.

Salomon, K. 1984. Yield relate interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. Irrig. Sci. 5: 161-172.

Spurgeon, W., Thompson, T. and Gilley, J. 1983. Irrigation management using hourly spray evaporation loss estimates. American Society of Agricultural Engineers. Paper N° 83-2591.

Steiner, J., Kanemasu, E. and Clark, R. 1983. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. Transaction of the ASAE. 26(4): 1128-1134.

Tarjuelo, J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. 2ª Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi Prensa. España. 569 p.

Tarjuelo, J. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. 3ª Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi Prensa. España. 581 p.

Tarjuelo, J., Ortega, J., Montero, J. and de Juan, J. 2000. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with médium size impact sprinkler under semi-arid condition. Agr. Water Manag. 43: 263-284.

Trimmer, W. 1987. Sprinkler evaporation loss equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 113(4):616-620.

Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata N., Zairi, A., Slatni, A., Salvador, R. and Playán, E. 2010. Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. Biosystem Engineering 107 (1): 25-35.