

# VARIABILIDAD DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE EN RIEGO POR ASPERSIÓN DE MAÍZ EN EL VALLE MEDIO DEL EBRO

A. Martínez-Cob<sup>(1)</sup>, N. Zapata<sup>(2)</sup>, J.M. Faci<sup>(2)</sup>, E. Playán<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Est. Exp. Aula Dei (CSIC), Apdo. 202, 50080 Zaragoza, España

<sup>(2)</sup> CITA-DGA, Apdo. 727, 50080 Zaragoza, España

E-mail: A. Martínez-Cob: [macoan@eead.csic.es](mailto:macoan@eead.csic.es); N. Zapata: [vzapata@aragon.es](mailto:vzapata@aragon.es);

J.M. Faci: [jfaci@aragon.es](mailto:jfaci@aragon.es); E. Playán: [playan@eead.csic.es](mailto:playan@eead.csic.es)

## Resumen

*Se estudió la variabilidad espacio-temporal de las pérdidas potenciales de agua por evaporación y arrastre (PEA) de un cultivo de maíz durante el riego por aspersión (cobertura fija) en el valle medio del Ebro. Las PEA horarias se estimaron con la ecuación de Medina (2006) a partir de series históricas de velocidad de viento (U) y déficit de presión de vapor (DPV) registradas de abril a septiembre en 10 estaciones diferentes. En promedio, las PEA horarias mostraron unos mínimos hacia las 6:00-7:00 GMT y unos máximos hacia las 15:00-16:00 GMT. Las mayores estimas de PEA y las mayores diferencias entre estaciones se obtuvieron en junio, julio y agosto. La probabilidad de ocurrencia de PEA mayores del 15 % fue menos del 8 % de 1:00 a 10:00 GMT y 20:00 a 24:00 GMT pero alcanzó valores máximos de entre 25 y 65 % en los periodos de 11:00 a 19:00 GMT, sobre todo en localidades ventosas. Se recomienda evitar el riego por aspersión del maíz en estos periodos sea cual sea la localidad donde se efectúen los riegos.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el riego por aspersión, una parte relevante del agua emitida por el sistema de riego no llega hasta la cubierta vegetal. Esta cantidad de agua se conoce como las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) y se expresa como porcentaje del volumen total de agua de riego. Algunos autores señalan que estas pérdidas son del orden del 5-10 % bajo condiciones de demanda evaporativa moderada (Keller y Bliesner, 1990). Sin embargo, otros autores han indicado que las PEA pueden superar el 20 % (Yazar, 1984; Faci y Bercero, 1991; Faci et al., 2001; Dechmi et al., 2003; Playán et al., 2004, 2005).

Diversas variables técnicas (relacionadas con el diseño y las condiciones de funcionamiento del sistema de riego) y meteorológicas afectan a las PEA. Entre las variables técnicas, están el tipo y la altura de boquilla, el diámetro de gota, la presión del riego y el tipo de sistema de riego por aspersión (cobertura fija o laterales móviles) (Playán et al., 2005). Entre las variables meteorológicas, las más citadas son la velocidad del viento, la temperatura, la humedad relativa del aire y el déficit de presión de vapor (Tarjuelo et al., 2000). A menudo, la velocidad de viento se ha considerado como la que más afecta a las PEA. Keller y Bliesner (1990) también señalaron a la evapotranspiración de referencia, una variable que integra todas las variables meteorológicas antes mencionadas. Durante la noche, el efecto sobre las PEA de variables como la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura es menos acusado. La menor velocidad del viento durante la noche resulta además en unas uniformidades del riego por aspersión mayores (Dechmi et al., 2004).

Se han desarrollado diversas ecuaciones para estimar las PEA a partir de diversas variables del sistema de riego y meteorológicas (Keller y Bliesner, 1990; Faci y Bercero, 1991; Tarjuelo et al., 2000; Dechmi et al., 2003; Playán et al., 2004, 2005). Estas ecuaciones producen resultados diferentes puesto que reflejan diversas condiciones de trabajo en distintos sistemas de riego por aspersión. En este trabajo se pretende estudiar la variabilidad espacial y temporal de las estimas de las PEA potenciales de un cultivo de maíz, calculadas con la ecuación descrita en Medina Pueyo

(2006), en sistemas de aspersión de cobertura fija con aspersores con dos boquillas. Este sistema de riego es uno de los más extendidos en el valle medio del Ebro dentro del riego por aspersión. Para realizar este estudio se han utilizado las series de datos de velocidad de viento, temperatura y humedad relativa registradas en diez estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en la zona.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos meteorológicos utilizados en este trabajo se recopilaron en diez estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en el valle medio del Ebro (Tabla 1). Cinco de estas estaciones (Alcañiz, Bujaraloz, Daroca, Monflorite y Sariñena) pertenecen al Instituto Nacional de Meteorología (INM), una (Gallocanta) pertenece a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), tres (Montañana, Santa Anastasia y Tamarite) pertenecían al grupo de investigación autor de este trabajo y la restante (Monte Julia) pertenecía al Servei Meteorologic de Catalunya (SMC). Sus características se describen detalladamente en Martínez-Cob y Tejero-Juste (2004) y Álvarez Lamata (2005). Todas estas estaciones registraron valores de velocidad de viento (U), temperatura del aire ( $T_a$ ) y humedad relativa (HR) en periodos diezminutales (estaciones del INM), semihorarios (Gallocanta, Montañana, Santa Anastasia y Tamarite) u horarios (Monte Julia). Los datos de U se registraron a 10 m de altura en las estaciones del INM y se transformaron a sus equivalentes a 2 m mediante el perfil logarítmico del viento (Allen et al., 1998). En este trabajo, todos estos valores se promediaron para obtener valores horarios de U,  $T_a$  y HR en todas las estaciones en los meses de abril a septiembre durante los años indicados en la Tabla 1. Los valores de  $T_a$  y HR se utilizaron para calcular valores horarios de déficit de presión de vapor (DPV) en cada mes, estación y año mediante el procedimiento descrito en Allen et al. (1998).

**Tabla 1. Localidades utilizadas en el estudio: coordenadas geográficas, elevación sobre el nivel del mar (Elev), años con registros y número de periodos horarios disponibles.**

Localidad	Latitud (grados)	Longitud (grados) <sup>a</sup>	Elev (m)	Años con registros	Nº periodos horarios	
					Viento	Déficit de presión de vapor
Alcañiz	41°03'29" N	0°08'16" O	320	1990-2001	42553	40323
Bujaraloz	41°31'25" N	0°10'24" O	357	1992-2003	46507	46278
Daroca	41°06'53" N	1°24'39" O	778	1992-2001	39315	39541
Gallocanta	40°59'06" N	1°30'19" O	1000	2000-2004	21960	21959
Monflorite	42°05'00" N	0°19'35" O	542	1990-2003	53469	52163
Montañana	41°43'15" N	0°49'13" O	225	1994-2003	42090	42013
Monte Julia	41°45'53" N	0°13'44" E	340	1988-2003	68886	68780
Santa Anastasia	42°10'13" N	1°12'50" O	380	1999-2002	15875	15920
Sariñena	41°47'29" N	0°09'19" O	275	1990-2003	44584	46785
Tamarite	41°46'48" N	0°22'24" E	218	1997-2003	25493	25493

<sup>a</sup> O, oeste del Meridiano de Greenwich; E, este del Meridiano de Greenwich.

Los valores horarios de U y DPV se emplearon para obtener estimas horarias de PEA potenciales en cada estación, mes y año disponibles. Para ello se empleó la ecuación predictiva obtenida por Medina Pueyo (2006):

$$PEA = 4.85 + 0.37 U + 3.34 DPV \quad (1)$$

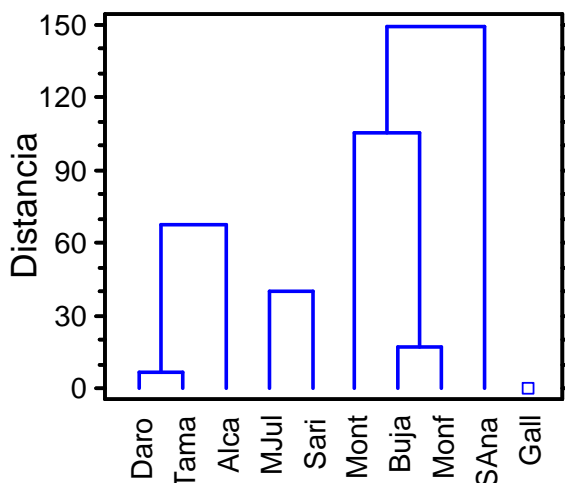
donde PEA se expresa en %, U en  $m s^{-1}$  y DPV en kPa. La ecuación (1) se desarrolló para un cultivo de maíz regado por aspersión con un sistema de cobertura fija (marco de 15 m x 15 m) con aspersores colocados a 2.3 m de altura, con dos boquillas (4.4 y 2.4 mm de diámetro) y una presión de trabajo de 360 a 380 kPa. Estas características del sistema de riego son comunes en los riegos por aspersión del valle medio del Ebro.

### 3. RESULTADOS

La Tabla 2 lista las medias mensuales de la velocidad de viento y el déficit de presión de vapor en el periodo de estudio. En todas las estaciones los valores medios mensuales de U más grandes se registraron en el mes de abril mientras que los más pequeños se registraron en agosto o septiembre. Por su parte, los valores medios mensuales de DPV más grandes se obtuvieron generalmente en julio y los más pequeños en abril. Los valores de la Tabla 2 indican que existen diferencias importantes entre las distintas estaciones, sobre todo en el caso del viento. A título ilustrativo, la Figura 1 muestra el dendrograma obtenido con el análisis de *clusters* de U realizado con el método de Ward tal como se describe en Martínez-Cob et al. (2005). Esta figura indica que las estaciones estudiadas se pueden reunir en cuatro grupos: a) estaciones poco ventosas, Daroca, Tamarite y Alcañiz; b) estaciones moderadamente ventosas, Monte Julia y Sariñena; c) estaciones ventosas, Montañana, Bujaraloz, Monflorite y Santa Anastasia; y d) estaciones muy ventosas, Gallocanta. En general, Bujaraloz fue la estación con valores de DPV más grandes mientras que Santa Anastasia fue la estación con valores de DPV más pequeños (Tabla 2).

**Tabla 2. Medias mensuales de la velocidad de viento y el déficit de presión de vapor en el periodo de estudio.**

Localidad	Velocidad de viento ( $m s^{-1}$ )						Déficit de presión de vapor (kPa)					
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Alcañiz	1.91	1.49	1.42	1.44	1.22	1.31	0.640	0.805	1.221	1.433	1.293	0.814
Bujaraloz	3.25	2.67	2.81	2.87	2.47	2.59	0.673	0.904	1.365	1.526	1.444	0.951
Daroca	1.31	1.13	1.17	1.20	1.12	1.08	0.567	0.814	1.200	1.443	1.456	0.879
Gallocanta	3.68	2.82	2.79	2.93	2.75	2.52	0.438	0.605	1.311	1.432	1.412	0.813
Monflorite	3.33	2.68	2.85	2.81	2.54	2.69	0.604	0.853	1.296	1.494	1.480	0.878
Montañana	2.87	2.50	2.58	2.51	2.15	2.17	0.591	0.769	1.184	1.314	1.188	0.756
Monte Julia	2.38	1.81	1.93	1.82	1.68	1.56	0.572	0.765	1.177	1.475	1.353	0.758
Santa Anastasia	3.79	2.98	3.09	2.54	2.22	2.16	0.505	0.719	1.089	0.939	0.894	0.599
Sariñena	2.71	2.22	2.23	2.20	1.90	1.93	0.661	0.899	1.254	1.442	1.385	0.878
Tamarite	1.54	1.32	1.42	1.39	1.21	1.15	0.516	0.693	1.201	1.211	1.174	0.685



**Figura 1. Dendrograma obtenido con el análisis de clusters de la velocidad horaria del viento a 2 m realizado con el método de Ward. Alcañiz (Alca), Bujaraloz (Buja), Daroca (Daro), Gallocanta (Gall), Monflorite (Monf), Montañana (Mont) Monte Julia (MJul), Santa Anastasia (SAAna), Sariñena (Sari) y Tamarite (Tama).**

La Figura 2 muestra las medias mensuales de las PEA potenciales de un cultivo de maíz calculadas en las diez estaciones de estudio. Esta variable presenta una tendencia a descender ligeramente desde el inicio del día hasta alrededor de las 6:00 (mayo a julio) o las 7:00 (abril, agosto y septiembre) horas del meridiano de Greenwich (GMT). 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. Los valores mostrados en la

Figura 2 representan las tendencias generales de la evolución diaria de las PEA pero no debe olvidarse que son medias cuyos coeficientes de variación fueron moderadamente grandes pues el 49.7 % de ellos estuvo en el rango de 15 a 20 % y el 22.7 % de ellos superó el 20 %. De acuerdo con la Figura 2, las mayores diferencias entre estaciones se encontraron en los meses de verano, junio a agosto. La evolución diaria de las PEA estimadas es similar a grandes rasgos a la de U y en menor medida a la del DPV.

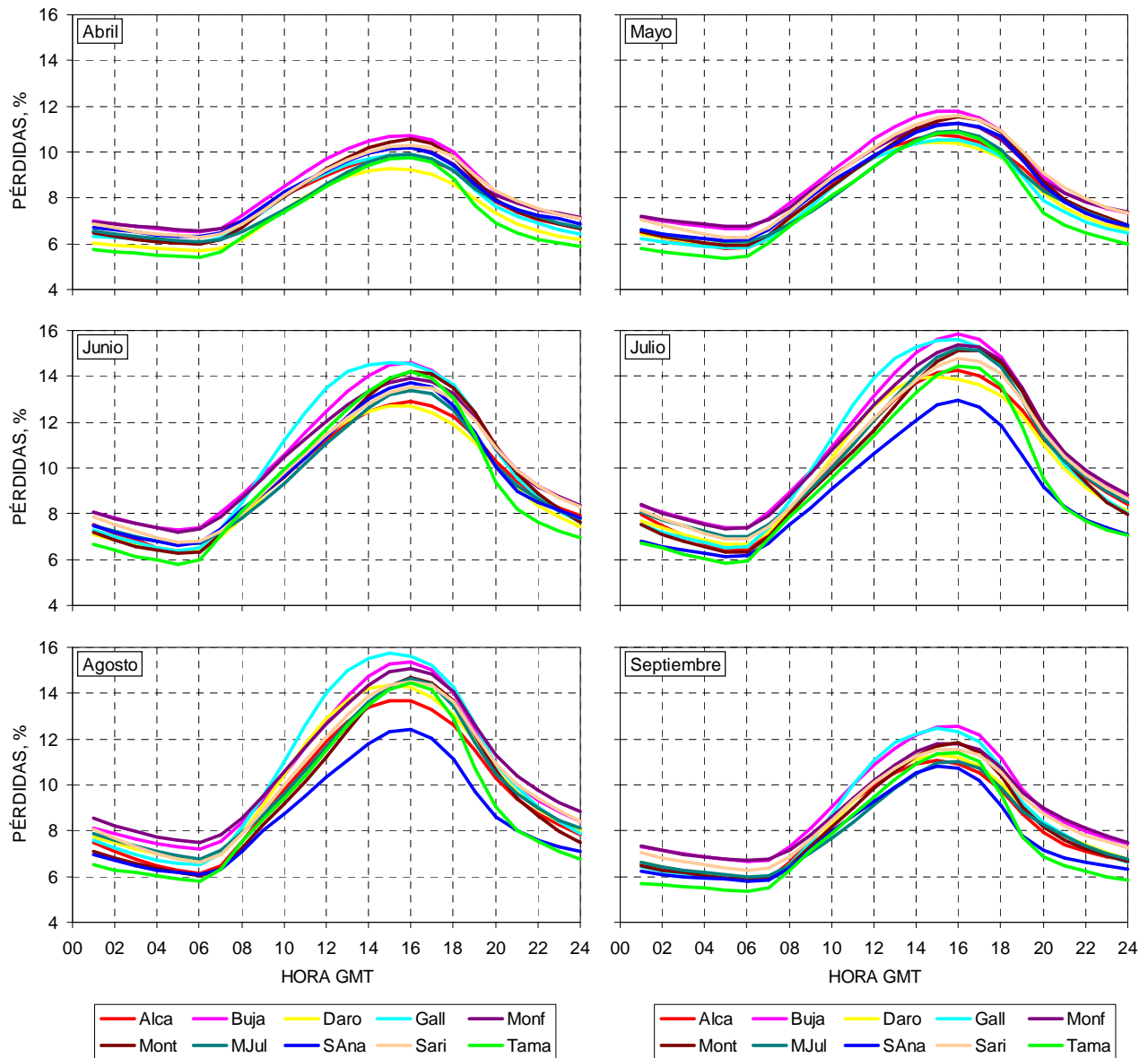
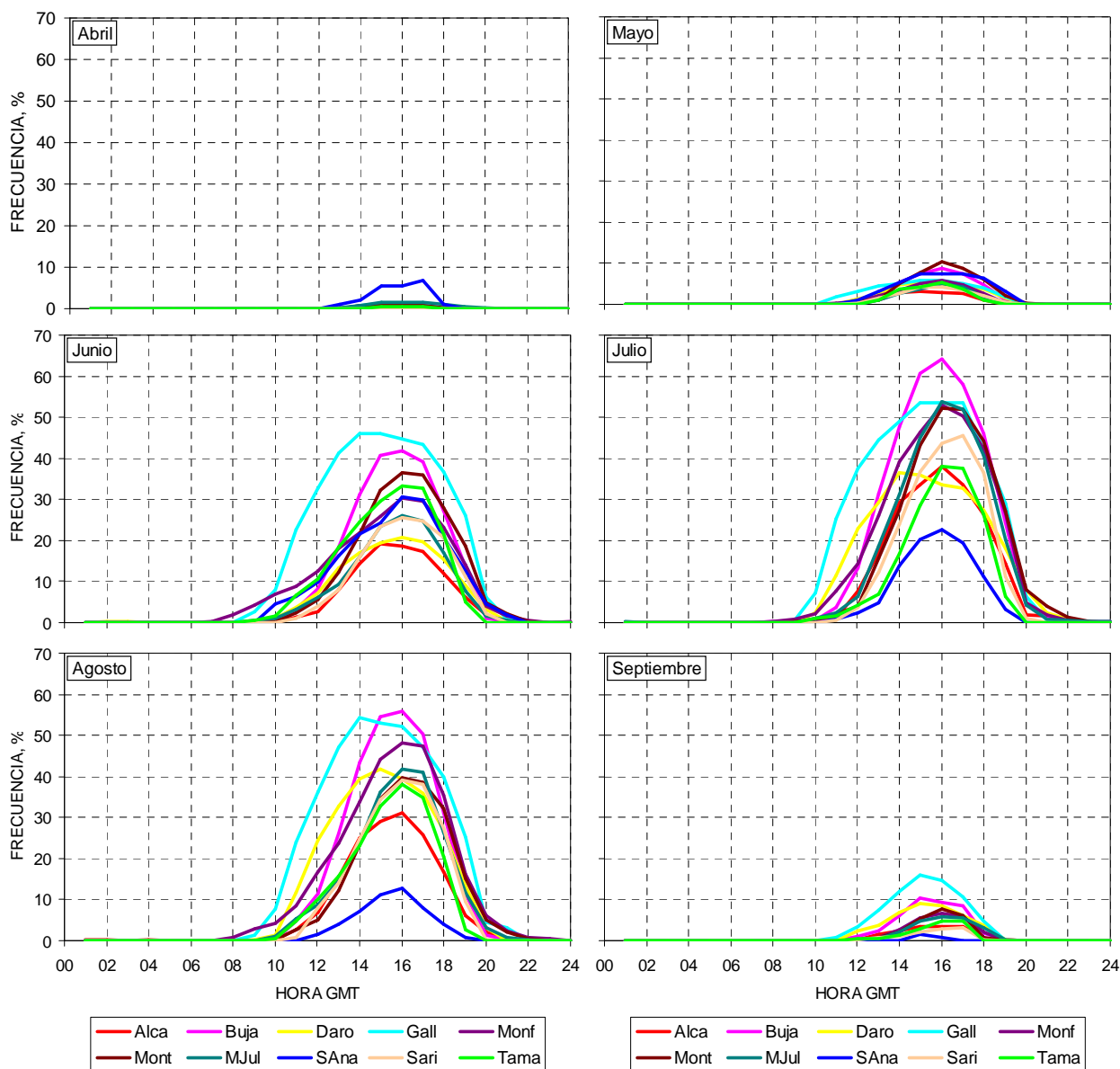


Figura 2. Medias mensuales de los valores horarios de las PEA potenciales de un cultivo de maíz. Alcañiz (Alca), Bujaraloz (Buja), Daroca (Daro), Gallocanta (Gall), Monflorite (Monf), Montañana (Mont) Monte Julia (MJul), Santa Anastasia (SAna), Sariñena (Sari) y Tamarite (Tama).

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 por Martínez-Cob et al. (2005) para una pradera de festuca usando una ecuación predictiva desarrollada por Playán et al. (2005) para un sistema de riego por aspersión igual al utilizado por Medina (2006). Esas diferencias reflejan el diferente perfil de viento que se desarrolla sobre un cultivo de maíz que el desarrollado sobre una pradera de festuca. En este último caso, 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. Estas diferencias entre los

resultados de este trabajo y los de Martínez-Cob et al. (2005) indican la necesidad de desarrollar ecuaciones predictivas de las PEA adecuadas para cultivos de distinto porte.

La Figura 3 muestra, para cada periodo horario y estación, las frecuencias relativas de estimas de PEA superiores al 15 % ( $PEA_{15}$ ). No se consideran excesivas unas PEA que no superen este valor. De la 1:00 a las 8:00 GMT prácticamente no se han estimado  $PEA_{15}$  en ningún mes y estación, sólo. Así, en 469 de los 480 casos posibles (6 meses x 10 estaciones x 8 periodos horarios), la frecuencia relativa de  $PEA_{15}$  fue igual a 0 % y sólo en un caso (las 8:00 en Monflorite) la frecuencia relativa de  $PEA_{15}$  superó el 1 %.



**Figura 3. Frecuencias relativas de PEA estimadas para un cultivo de maíz superiores al 15 % para cada periodo horario y estación. Alcañiz (Alca), Bujaraloz (Buja), Daroca (Daro), Gallocanta (Gall), Monflorite (Monf), Montañana (Mont) Monte Julia (MJul), Santa Anastasia (SAAna), Sariñena (Sari) y Tamarite (Tama).**

En el periodo horario de las 22:00 a las 24:00 GMT, los resultados fueron similares. En 162 de los 180 casos (6 meses x 10 estaciones x 3 periodos horarios), la frecuencia relativa de  $PEA_{15}$  fue igual a 0 %. Sólo en un caso (Montañana a las 22:00) la frecuencia relativa de  $PEA_{15}$  superó el 1 %. En los periodos horarios de las 9:00, 10:00, 20:00 y 21:00 GMT la frecuencia relativa de  $PEA_{15}$  fue como máximo de alrededor del 8 % (Figura 3). Por tanto, en los periodos nocturnos y en las primeras horas de la mañana, las estimas de PEA para un cultivo de maíz fueron bastante pequeñas

y en pocos casos esas estimas de PEA fueron superiores al 15 %, umbral a partir del cual no sería recomendable realizar riego por aspersión.

En los periodos horarios de las 11:00 a las 19:00 GMT, los máximos de las frecuencias relativas de  $PEA_{15}$  fueron superiores al 25 %. En el caso de los periodos horarios de las 15:00 y 16:00 GMT esos máximos superaron el 60 %. No obstante, hubo importantes diferencias entre meses y entre estaciones. En el caso de abril, las frecuencias relativas máximas de  $PEA_{15}$  fueron pequeñas en todos los periodos horarios y en todas las estaciones y sólo en Santa Anastasia se superó el valor de 2%. En el caso de mayo y septiembre, los resultados fueron similares aunque en algún periodo horario se alcanzaron frecuencias relativas de  $PEA_{15}$  de alrededor del 10 % y 16 %, respectivamente. En el caso de junio, julio y agosto, sin embargo, las frecuencias relativas de  $PEA_{15}$  alcanzaron máximos de 46, 64 y 56 %, respectivamente (Figura 3). Los periodos horarios en que las frecuencias relativas de  $PEA_{15}$  fueron más grandes fueron las 16:00 y, en menor medida, las 15:00 y las 17:00 (Figura 3). Estos periodos son aquellos en los que en general se registran mayores velocidades de viento y de déficit de presión de vapor de agua. Incluso en localidades poco ventosas como Alcañiz, Daroca y Tamarite, las frecuencias relativas de  $PEA_{15}$  en esos tres periodos horarios superaron el 30 %. En lugares más ventosos como Bujaraloz, Gallocanta y Monflorite, las frecuencias relativas de  $PEA_{15}$  superan el 50 % y hasta el 60 % en los periodos de las 15:00 a las 17:00 GMT. En consecuencia, en los periodos horarios de las 11:00 a las 19:00 y, sobre todo, de las 15:00 a las 17:00 GMT, no resulta demasiado recomendable el riego por aspersión debido a la gran probabilidad de ocurrencia de valores de PEA superiores al 15 % independientemente de que la localidad sea poco ventosa.

No obstante lo indicado anteriormente, conviene indicar que las PEA potenciales de un cultivo de maíz en los meses de abril y mayo probablemente han sido subestimadas ya que la ecuación (1) fue desarrollada por Medina (2006) para un cultivo de maíz prácticamente en su máximo desarrollo. Por ello, en meses como abril y mayo en que la altura del cultivo está aún lejos de ese máximo desarrollo, las PEA deben ser más similares a las estimadas para un cultivo como la festuca (Martínez-Cob y col., 2005) ya que el tiempo de oportunidad para la evaporación de esas gotas o su arrastre por el viento es mayor a causa de un perfil de viento más similar al observado sobre ese cultivo.

#### 4. CONCLUSIONES

La disponibilidad de series históricas de distintas variables meteorológicas permite realizar diferentes trabajos de índole agronómico aparte del cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos que, probablemente, sea el más conocido. En esta comunicación, se presenta un estudio en el que los registros horarios de series meteorológicas de velocidad de viento (U) y déficit de presión de vapor (DPV) se han utilizado para estimar las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) de un cultivo de maíz regado por aspersión con un sistema de cobertura fija.

Los valores medios estimados de PEA para cada periodo horario han mostrado una variabilidad a lo largo del día similar en términos generales a la de las variables (U y DPV) empleadas en su cálculo. Los periodos horarios en que se obtuvieron valores medios de PEA más grandes fueron las 15:00 y las 16:00 y los periodos horarios en que se obtuvieron valores medios de PEA más pequeños fueron los de alrededor del amanecer. Los meses con mayores valores de PEA estimados fueron los de verano, junio a agosto.

Las frecuencias relativas de PEA superiores al 15 % ( $PEA_{15}$ ) fueron muy pequeñas en los meses de abril, mayo y, algo menos, en septiembre. También fueron pequeñas en los periodos nocturnos y primeras horas del día (1:00 a 10:00 GMT y 22:00 a 24:00), cuando resulta, pues, más recomendable el riego por aspersión. Sin embargo, 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.

Las estimas de PEA para un cultivo de maíz obtenidas en este trabajo fueron apreciablemente menores que la calculadas para otros cultivos cuya altura es bastante menor que la

del maíz. 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. Sería conveniente desarrollar ecuaciones predictivas de las PEA que tuvieran en cuenta los distintos portes de los distintos cultivos que afectan y modifican los perfiles de velocidad de viento correspondientes.

### **Bibliografía**

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. FAO, Roma, Italia. 300 pp.

Álvarez Lamata E. 2005. *Características de vientos locales en Aragón, La Rioja y Navarra obtenidas a partir de datos de la red de estaciones meteorológicas automáticas*. Nota Técnica nº 5 del CMT en Aragón, La Rioja y Navarra. Publ. D-62 del Instituto Nacional de Meteorología. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España, 206 pp.

Dechmi F., Playán E., Cavero J., Faci J.M., Martínez-Cob A. 2003. *Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays)*. *Irrig. Sci.* 22: 67-77.

Dechmi F., Playán E., Cavero J., Martínez-Cob A., Faci J.M. 2004. *A coupled crop and solid set sprinkler simulation model: II. Model application*. *J. Irrig. Drain. Engr.* 130 (6): 511-519.

Faci J., Bercero A. 1991. *Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión*. *Inv. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 6 (2): 171-182.

Faci J.M., Salvador R., Playán E., Sourell H. 2001. *Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers*. *J. Irrig. Drain. Engr.* 127 (4): 224-233.

Keller J., Bliesner R.D. 1990. *Sprinkler and trickle irrigation*. AVI Book, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, EE.UU.

Martínez-Cob A., Tejero-Juste M. 2004. *A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ET<sub>0</sub> estimation equation in semiarid regions*. *Agric. Water Manage.* 64: 251-264.

Martínez-Cob A., Zapata N., Sánchez I., Playán E., Salvador R., Faci J.M. 2005. *Variabilidad espacio-temporal de las pérdidas potenciales por evaporación y arrastre en el valle medio del Ebro*. XXIII Congreso Nacional de Riegos. Elche, 14-16 de junio de 2005. 113-115. Edita: Universidad Miguel Hernández, Elche, España.

Medina Pueyo E.T. 2006. *Cambio microclimático y pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión en maíz*. Proyecto Fin de Carrera (Ingeniero Técnico Agrícola). Escuela Politécnica Superior de Huesca, Universidad de Zaragoza. 2 de mayo de 2006.

Playán E., Garrido S., Faci J.M., Galán A. 2004. *Characterizing pivot sprinklers using an experimental irrigation machine*. *Agric. Water Manage.* 70: 177-193.

Playán E., Salvador R., Faci J.M., Zapata N., Martínez-Cob A., Sánchez I. 2005. *Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals*. *Agric. Water Manage.* 76: 139-159.

Tarjuelo J.M., Ortega J.F., Montero J., de Juan J.A. 2000. *Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semiarid conditions*. *Agric. Water Manage.* 43: 263-284.

Yazar, A. 1984. *Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions*. *Agric. Water Manage.* 8: 439-449.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos P028/2000 (CONSI+D, Gobierno de Aragón) y AGL2004-06675-CO3 (Plan Nacional de I+D+I). La existencia de las estaciones meteorológicas de Gallocanta, Montañana, Santa Anastasia y Tamarite ha sido asimismo posible gracias a financiación del Ministerio de Educación y Ciencia y de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Los autores expresan su más profundo agradecimiento a Miguel Izquierdo, Jesús Gaudó y Enrique Mayoral por su inestimable ayuda en la instalación de las estaciones; a Miguel Ángel García Vera, Francisco Mateo, Juan Manuel Sanmartín y la Comunidad de Regantes V de Bardenas por su colaboración en el mantenimiento de las estaciones; a Antonio Gázquez y al Servei Meteorologic de Catalunya por facilitar las bases de datos de la estación de Monte Julia; y al Instituto Nacional de Meteorología por el suministro de los datos meteorológicos registrados en las otras cinco estaciones utilizadas (Alcañiz, Bujaraloz, Daroca, Monflorite y Sariñena).