

# EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE Y DE LOS CAMBIOS MICROCLIMÁTICOS DURANTE EL RIEGO POR ASPERSIÓN DE ALFALFA

*Stambouli, T.<sup>1</sup>, Zapata, N.<sup>2</sup>, Martinez-Cob, A.<sup>3</sup>, Faci, J.M.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Becario predoctoral (FPI-MICINN), Unidad de Suelos y Riegos. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA). Avenida Montañana 930, 50059, Zaragoza, [tstambouli@aragon.es](mailto:tstambouli@aragon.es)

<sup>2</sup> Científico Titular, Departamento Suelo y Agua. Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC). Aptdo. 202, 50080, Zaragoza, [vzapata@eead.csic.es](mailto:vzapata@eead.csic.es)

<sup>3</sup> Investigador Científico, Departamento Suelo y Agua. Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC). Aptdo. 202, 50080, Zaragoza, [macoan@eead.csic.es](mailto:macoan@eead.csic.es)

<sup>4</sup> Investigador Agrario, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, [jfacci@aragon.es](mailto:jfacci@aragon.es)

## Resumen

Durante el riego por aspersión, una parte del agua emitida por el aspersor puede perderse por evaporación y arrastre por el viento (PEA). Estas pérdidas causan la reducción de la evapotranspiración (ET) durante el riego así como unos cambios microclimáticos y fisiológicos. Esta reducción de la ET puede ser beneficiosa para los cultivos sobre todo durante los riegos diurnos. En este trabajo se ha estudiado las pérdidas por evaporación y arrastre brutas ( $PEA_b$ ) durante el riego por aspersión en cobertura fija en dos subparcelas cultivadas de alfalfa ambas equipadas por lisímetros de pesada. Las  $PEA_b$  han sido más altas durante los riegos diurnos que durante los nocturnos con un promedio de 11.6% y 5%, respectivamente.. Se calcularon las pérdidas por evaporación y arrastre netas ( $PEA_{netas}$ ) descontando a las  $PEA_b$  la variación de la evapotranspiración de cultivo regado ( $ET_{MT}$ ) y no regado ( $ET_{DT}$ ). Los resultados muestran que durante el riego diurno, la  $ET_{DT}$  es superior a  $ET_{MT}$  con unos valores promedios de todos los ensayos evaluados de 0.73 mm h<sup>-1</sup> y 0.43 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, lo que supone unas  $PEA_{netas}$  del 7.6%. Para los riegos nocturnos, esta contribución es de 0.02 mm h<sup>-1</sup> lo que supone el 0.6% del agua aplicada total. Estos valores arrojan unas  $PEA_{netas}$  en los riegos nocturnos de 4.4%. Las  $PEA_b$  contribuyeron también a los cambios microclimáticos y fisiológicos con una disminución de la temperatura del aire, del déficit de presión de vapor así como de la temperatura de la cubierta vegetal, más pronunciadas durante los eventos de riego diurno. Estos cambios microclimáticos y fisiológicos se manifiestan hasta 2-3 horas después del evento de riego.

## Abstract

During sprinkler irrigation, part of the irrigation water emitted by the sprinkler can be lost through the wind drift and evaporation losses (PEA). These losses cause an evapotranspiration (ET) reduction during irrigation and microclimatic and physiological changes. This ET reduction may be beneficial for crop especially during the daytime irrigation. In this work we have measured the gross wind drift and evaporation losses ( $PEA_b$ ) for sprinkler irrigation in solid set sprinkler irrigation within two subplots cultivated with alfalfa both equipped by weighing lysimeters. The  $PEA_b$  is strongly higher during daytime irrigation than night time irrigation with averages of 11.6% and 5%, respectively.. Net wind drift and evaporation losses ( $PEA_{netas}$ ) were estimated discounting from the  $PEA_b$  the variation of the irrigated crop ET ( $ET_{MT}$ ) and the non-irrigated crop ET ( $ET_{DT}$ ). The results show that during daytime irrigation  $ET_{DT}$  exceed the  $ET_{MT}$  with averages of 0.73 mm and 0.43 mm h<sup>-1</sup> respectively, representing a reduction of ET during the irrigation of 40%. During the nighttime irrigation this reduction in ET was 30%. The  $PEA_b$  have contributed to satisfy crop water requirements due to the  $ET_{MT}$  reduction during irrigation. The average ET reduction arises to 3.91% of total applied water implying a  $PEA_{netas}$  of 7.65%. For nighttime irrigation, this contribution is lower, representing 0.6% of total applied water. The  $PEA_b$  also contributed to the microclimatic and physiological changes during sprinkler irrigation with a decrease in air

temperature, vapor pressure deficit and canopy temperature, more pronounced during daytime irrigation events. These microclimatic and physiological changes remain until 2-3 hours after irrigation event.

## 1- Introducción y Objetivos

El riego por aspersión está incrementando su superficie en muchas zonas de España debido a los procesos de modernización llevados a cabo en los últimos 10 años en el marco del Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008. En riego por aspersión, no toda el agua que emiten los aspersores llega al suelo ya que hay una parte que se pierde por evaporación durante el viaje de las gotas de agua hacia el suelo y otra parte por el arrastre fuera de la zona cultivable. Estas pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) son uno de los mayores inconvenientes del riego por aspersión.

Las PEA según Playán et al (2005) dependen en gran medida del sistema de riego por aspersión (estacionario o móvil) y de las condiciones ambientales. En condiciones de vientos frecuentes y de cierta intensidad, caso del Valle Medio del Ebro, estas pérdidas pueden alcanzar valores de hasta el 30% (Faci et al., 1991) si el riego no se maneja de forma adecuada. Un buen manejo del sistema puede reducir estos elevados valores de PEA a valores entre un 15 y un 20% de media. Las PEA incluyen la evaporación de las gotas durante su trayectoria hacia el suelo, la evaporación del suelo, la evaporación del agua interceptada por los cultivos y del agua arrastrada fuera de la zona de cultivo (Steiner et al. 1983a). La mayoría de las pérdidas se producen durante el desarrollo del riego, a excepción de las pérdidas por evaporación del agua interceptada por el cultivo, proceso que acontece durante el riego y con mayor intensidad en las horas siguientes a la finalización del riego.

Las pérdidas por evaporación dependen de la humedad relativa, la temperatura del aire y del agua del riego, la velocidad del viento, la altura de los emisores, la presión de funcionamiento y el diámetro de las gotas de agua (que es a su vez una función de la presión de funcionamiento y del tamaño de la boquilla). En cuanto a las pérdidas por arrastre, están determinadas principalmente por la velocidad del viento, diámetro de las gotas y por la altura de vuelo (Edling, 1985; Tarjuelo, 2000; Martínez-Cob et al, 2008). Otra parte importante del agua del riego se pierde por evaporación del agua interceptada por las hojas y tallos (Tolk et al., 1995). Las pérdidas por intercepción dependen en mayor parte en la arquitectura de las hojas y del estado vegetativo de las plantas (Norman y Campbell, 1983; Steiner et al, 1983b).

Como consecuencia de todas estas pérdidas durante y después del evento de riego, se modifican las condiciones microclimáticas durante el riego por aspersión, produciéndose un descenso del déficit de presión de vapor (DPV) así como de la temperatura del aire (Robinson 1970; Steiner et al. 1983b; Tolk et al. 1995). Este descenso en el DVP contribuye a la reducción de la transpiración del cultivo y por lo tanto puede conservar agua en el suelo que posteriormente puede contribuir a la evapotranspiración del cultivo. Estos cambios microclimáticos durante el riego por aspersión pueden durar hasta varios días después del evento del riego (Kraus, 1966; Kohl y Wright, 1974; Longley et al., 1983), aunque en general en nuestras zonas semiáridas estos cambios se reducen a unas pocas horas después del riego (Martínez-Cob et al., 2008).

Los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión, causan también cambios fisiológicos en el cultivo que son más importantes en los sistemas de riego por cobertura fija de aspersión porque el tiempo de riego es mayor que en el caso de los pivots y máquinas de riego (Cavero et al., 2009). Los cambios microclimáticos y fisiológicos son más relevantes durante eventos de riego diurno debido a los mayores valores de temperaturas, DPV del aire y actividad fisiológica de las plantas.

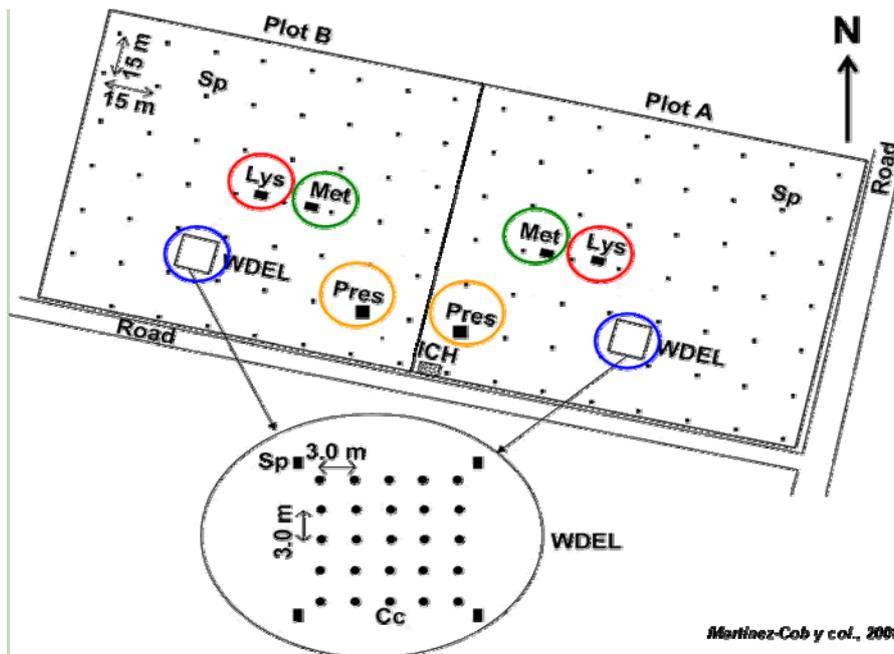
Este trabajo tiene los siguientes objetivos:

1- estimar las PEA brutas que se producen en un sistema de riego estacionario sobre un cultivo de alfalfa.

- 2- determinar y caracterizar la evapotranspiración antes, durante y después del riego de un cultivo de alfalfa y compararla con la que se produce al mismo tiempo en un cultivo de alfalfa que no se está regando,
- 3- estimar las PEA netas ( $PEA_{netas}$ )
- 4- estudiar los cambios microclimáticos antes, durante y después de los eventos del riego

## 2- Material y Métodos

Los ensayos se realizaron durante la campaña de riego 2009 en una parcela de riego por aspersión cultivada de alfalfa (*Medicago sativa L.*) de segundo año equipada con una cobertura fija de 15X15 situada en la finca experimental del CITA en Montañana, Zaragoza (coordenadas geográficas: 41°43' N latitud y 0°49' O longitud, y una elevación de 225 m sobre el nivel del mar). Esta parcela es de forma rectangular tiene una superficie de 2 ha y está dividida en dos sub-parcelas de igual superficie (Figura 1). Cada parcela dispone de un lisímetro de pesada de 6.26 m<sup>2</sup> de superficie (2.72 m \* 2.30 m), una estación meteorológica completa y un transductor de presión de medida continua instalado en la caña porta-aspersor de un aspersor representativo de la finca. Las parcelas son completamente planas y los diseños de la red de riego están preparados para que las diferencias de presión entre los aspersores de la subparcela sean prácticamente nulas. .

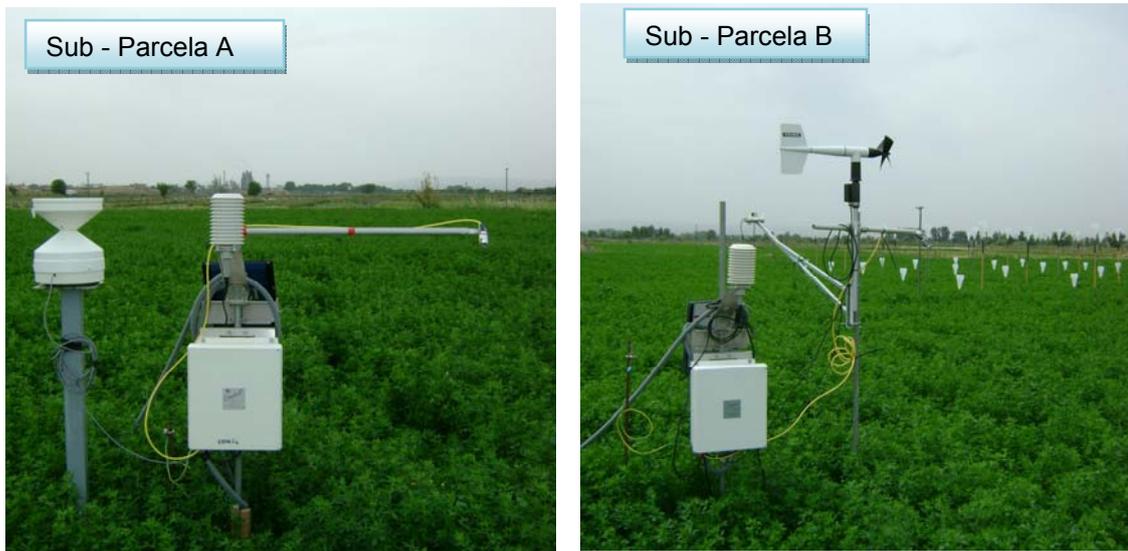


**Figura 1.** Esquema del dispositivo experimental: localización de las medidas de las pérdidas por evaporación y arrastre  $PEA_b$  (WDEL); (Lys) lisímetros de pesada; (Met) estaciones meteorológicas; (Pres) transductor de presión; (Sp) aspersor; (ICH) caseta de control del riego; (Cc) pluviómetros.

Las estaciones meteorológicas llamadas LisimA y LisimB están compuestas de los siguientes sensores (Figura 2):

- **LisimA:** un datalogger Campbell al que se han conectado la célula de carga del lisímetro, una sonda Vaisala, un termómetro de infrarrojos y un pluviómetro. Se registran medias cada 5 min de masa del lisímetro, temperatura y humedad relativa del aire, medias cada 30 min de radiación solar y temperatura de la cubierta vegetal y medias, máximas y mínimas diarias de todas las variables.
- **LisimB:** un datalogger Campbell al que se han conectado la célula de carga del lisímetro B, una sonda Vaisala, una anemoveleta YOUNG, un termómetro de infrarrojos y un piranómetro. Se registran medias cada 5 min de masa del lisímetro, temperatura y humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento, medias cada 30 min de

radiación solar y temperatura de la cubierta vegetal y medias, máximas y mínimas diarias de todas las variables.



**Figura 2.** Estaciones meteorológicas en las sub-parcelas A y B

Para determinar la altura media del agua recogida en cada evento de riego se colocaron 18 pluviómetros alrededor de cada lisímetro. La lámina de agua media recogida alrededor de los lisímetros se corresponderá con la dosis del riego aplicada en los mismos, lo que nos permitirá calcular la evapotranspiración ( $ET_{Ri}$ ) del cultivo durante el riego. También se instaló en cada sub-parcela una malla de 25 pluviómetros (a una altura de 0.85 m) en un marco de aspersión para determinar la alturas de agua media aplicada en cada riego. Las  $PEA_b$  en cada riego se determinaron como la diferencia entre la descarga de los aspersores y la lámina media recogida en los pluviómetros, tal y como se indica en las siguientes ecuaciones 1 y 2:

$$PEA_b (\%) = 100 (I_b - I_{cc}) / I_b \quad (1)$$

$$PEA_b (mm) = I_b - I_{cc} \quad (2)$$

$PEA_b$ : Pérdidas por evaporación y arrastre bruta en mm o en % de agua aplicada,

$I_b$ : Lámina bruta media del riego aplicado, en mm,

$I_{cc}$ : Lámina media recogida de la malla de 25 pluviómetros, en mm.

Se estableció un calendario de riego adaptado a las necesidades hídricas semanales del cultivo (datos de la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón) y se alternó el riego de forma que mientras una parcela se regaba (tratamiento “regado”), la segunda no lo hacía (Tratamiento “no regado”) pero ambas parcelas mantuvieron una alta humedad en el suelo, el tiempo mínimo que separé el riego entra parcelas A y B fue de 8 horas.

Se registraron cada 5 minutos los cambios de peso de los lisímetros de pesada y se calcularon los promedios de ET ( $mm\ h^{-1}$ ) a lo largo de la campaña de riegos. La ET ( $mm\ h^{-1}$ ) se calculó como la diferencia del peso registrado por el lisímetro entre un tiempo t (horas) y un tiempo t+1 (horas) dividido por la superficie del lisímetro.

El cálculo de la ET del cultivo durante el riego por aspersión se realizó mediante el análisis de los datos de pesos de ambos lisímetros. En el lisímetro seco (tratamiento “no regado”) la ET se calcula como la variación de peso del lisímetro durante el intervalo de riego, y para el lisímetro regado se calcula descontando a la lamina media recogida en los pluviómetros situados alrededor del mismo ( $I_{ccLIS}$ , mm), la variación de peso del lisímetro. La estimación de las  $PEA_{netas}$  se realizó descontando a las  $PEA_b$  la diferencia de la ET “no regado” ( $ET_{DT}$ ) y la ET del cultivo “regado” ( $ET_{MT}$ ).

$$PEA_{netas} = PEA_b - (ET_{DT} - ET_{MT}) \quad (3)$$

$$ET_{Ri} = A_{LIS} - I_{ccLIS} \quad (4)$$

$$A_{LIS} = (M_{i+1} - M_i) / S_{LIS} \quad (5)$$

$$ET_{DT} = (M_i - M_{i+1}) / S_{LIS} \quad (6)$$

$$\text{Perdidas totales en riego por aspersion} = PEA_{netas} + (ET_{MT} - ET_{DT})_d \quad (7)$$

$A_{LIS}$  es el aumento neto de altura de agua durante el riego registrado en el lisímetro correspondiente al tratamiento "MT" (riego) se expresa en mm e  $I_{ccLIS}$  es la altura media recogida en los 18 pluviómetros alrededor del lisímetro en mm.  $M_{i+1}$  y  $M_i$  corresponden a la masa del lisímetro en el momento final del riego y al inicio del riego, respectivamente, en Kg y  $S_{LIS}$  es la superficie del lisímetro en  $m^2$ .

Se realizaron distintas comparaciones de la evapotranspiración (ET) entre los tratamientos regado (MT) y no regado (DT) antes durante y después de los eventos de riegos. Se analizaron distancias temporales de 2 horas antes y 3 horas después de los eventos de riegos, con el fin de estudiar el efecto del riego por aspersion en la reducción de la ET total. (Martinez-Cob et al., 2008). Se representa gráficamente para cada momento del estudio las distintas relaciones de ET regado y no regado ( $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$ ) y se realiza un estudio estadístico de comparación de medias ( $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$ ). Para cada riego se estimaron las  $PEA_{netas}$  mediante la ecuación 3.

Las pérdidas totales en riego por aspersion (ecuación 7) se contabilizan como la suma de las  $PEA_{netas}$  y las pérdidas por intercepción que son la diferencia entre  $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$  a una hora después del evento de riego (Martinez-Cob et al., 2008).

Se evaluaron los cambios microclimáticos a partir de los datos meteorológicos cinco-minutales para ambas parcelas (regada y no regada) de dos horas antes del evento del riego, durante el evento del riego y hasta 3 horas después del evento del riego. Las variables estudiadas para los cambios microclimáticos son, la temperatura del aire, la humedad relativa y el déficit de presión de vapor, y para los cambios fisiológicos se estudió la temperatura de la cubierta vegetal. Se llevo a cabo un análisis estadístico de comparación de media entre las distintas variables en la parcela regada y no regada mediante un *test t de student* de muestras pareadas con un nivel de significación de  $P=0.05$ .

### 3- Resultados y Discusión

La dosis del riego aplicado durante la estación 2009 fue de 798 mm y de 812 mm en las sub-parcelas A y B respectivamente, esta ligera diferencia fue debida a que la presión del riego en la sub-parcela B ha sido un poco más elevada (308kPa para la sub-parcela B contra 302 kPa para la parcela A). El número de eventos de riego ha sido igual para ambas parcelas de 42 eventos para cada una. Se han evaluado en total 49 eventos de riego (31 riegos diurnos y 18 riegos nocturnos) para determinar las  $PEA_b$ , las  $PEA_{netas}$  (ecuación 3) así como el cálculo de la evapotranspiración durante el riego (ecuación 4).

La tabla 1 resume las características generales de los riegos diurnos y nocturnos evaluados. El promedio de las  $PEA_b$  han sido de 11.6% para los riegos diurnos con valores entre 0% y 35 % y de 5% para los riegos nocturnos y con valores de 0% a 25 %. La velocidad del viento durante los riegos diurnos ha sido el doble que la registrada durante los eventos nocturnos, los valores máximos de las velocidades del viento han sido de  $5.75 \text{ m s}^{-1}$  y de  $3.13 \text{ m s}^{-1}$  durante los riegos diurnos y nocturnos, respectivamente. En general, las  $PEAb$  se incrementan con la velocidades del viento, sea de día o de noche (Martinez-Cob et al, 2008). La temperatura del aire y el DPV disminuyen durante la noche y oscilan de  $24.6 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $15.6 \text{ }^\circ\text{C}$  y de  $1.5 \text{ kPa}$  a  $0.3 \text{ kPa}$ , respectivamente. Los valores más elevados se registraron el 13 de Junio con valores de temperatura del aire y de DPV de  $37^\circ\text{C}$  y  $4.63 \text{ kPa}$ , respectivamente.

Los resultados de los ensayos realizados muestran que durante el riego por aspersion las  $PEA_b$  aumentan con la velocidad del viento y la temperatura del aire. Esto hace que en

los riegos diurnos en los que las condiciones ambientales son mas adversas (mayor VV, más T<sup>a</sup> y mayor DPV) las PEA brutas sean mayores.

**Tabla 1.** Características medias de los riegos diurnos y nocturnos evaluados. Numero de eventos de riego (N), duración media por evento (TR, horas), Riego aplicado medio por evento (RA, mm), pérdidas por evaporación y arrastre brutas media por evento (PEA<sub>b</sub>, %), velocidad del viento (VV, m s<sup>-1</sup>), temperatura (T, °C) y déficit de presión de vapor (DPV, kPa)

Eventos de riego	N	TR (h)	RA (mm)	PEA <sub>b</sub> (%)	VV (m s <sup>-1</sup> )	T (°C)	DPV (kPa)
Riegos diurnos	31	2,74	20,50	11,56	2,31	24,64	1,48
Riegos nocturnos	18	2,57	19,73	4,98	1,13	15,59	0,29
Todos los riegos	49	2,68	20,22	9,74	1,87	21,32	1,04

**Tabla 2.** Promedio de las ET de alfalfa del tratamiento riego (ET<sub>MT</sub>) y no riego (ET<sub>DT</sub>) durante la campaña de riego 2009. Promedio de las diferencias ET<sub>DT</sub> - ET<sub>MT</sub> durante el evento del riego, 1-2 horas antes del riego y 1-3 horas después del riego.

PERIODO	N	Riegos diurnos			Riegos nocturnos				
		ET <sub>DT</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	ET <sub>MT</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	ET <sub>DT</sub> -ET <sub>MT</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	N	ET <sub>MT</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	ET <sub>DT</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	ET <sub>DT</sub> -ET <sub>MT</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	
Antes	1 h	23	0.39	0.41	0.02 <sup>ns</sup>	16	0.02	0.01	-0.01 <sup>ns</sup>
	2 h	23	0.28	0.29	-0.01 <sup>ns</sup>	16	0.05	0.06	0.01 <sup>ns</sup>
Durante		25	0.68	0.4	0.28 <sup>s</sup>	14	0.01	0.03	0.03 <sup>s</sup>
	1 h	24	0.57	0.72	-0.14 <sup>s</sup>	15	0.10	0.25	0.15 <sup>s</sup>
Después	2 h	25	0.62	0.56	0.08 <sup>s</sup>	16	0.25	0.36	0.15 <sup>s</sup>
	3 h	25	0.56	0.55	0.02 <sup>ns</sup>	14	0.37	0.44	0.07 <sup>ns</sup>

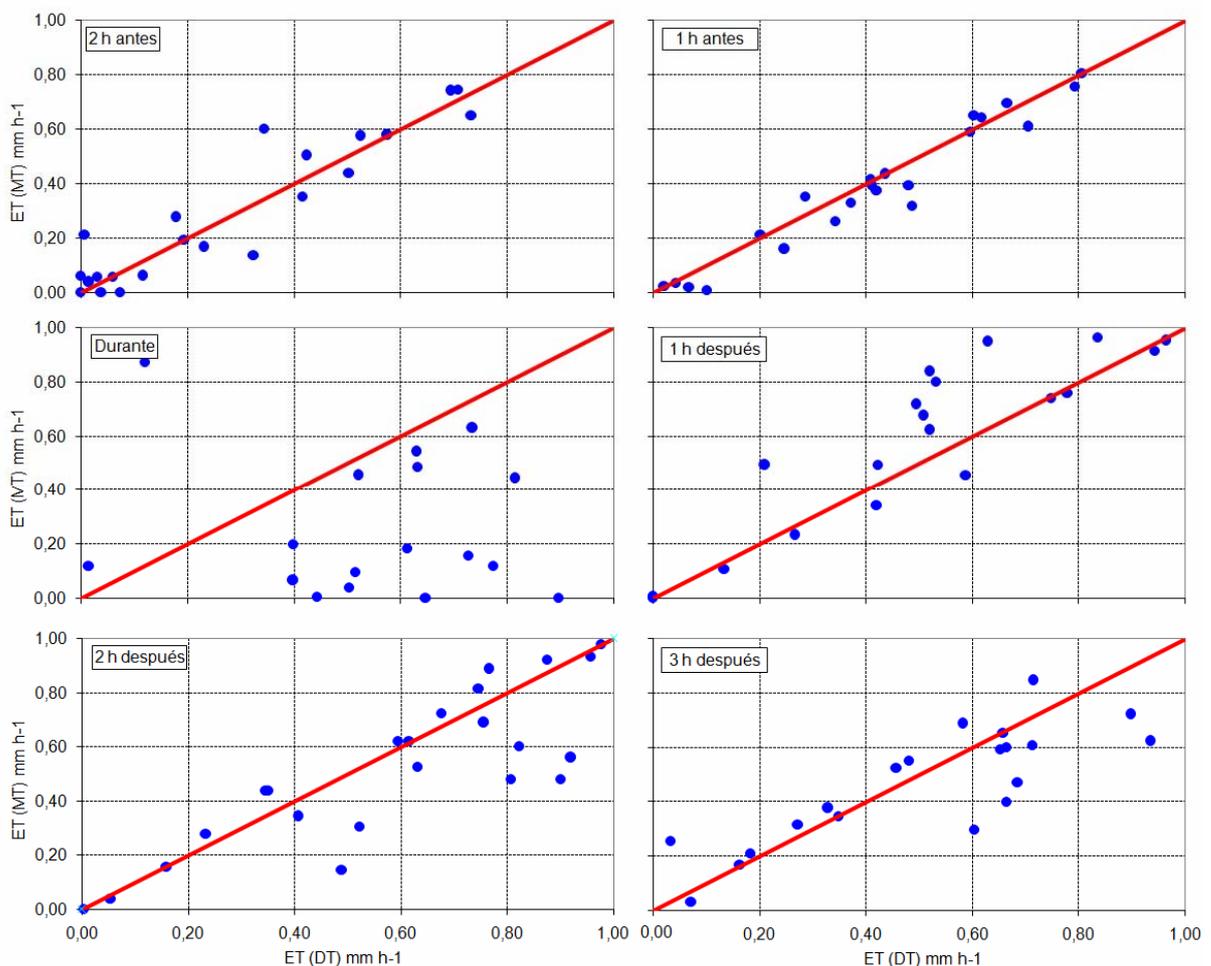
s: significativamente diferente de Zero ( $\alpha=0.95$ ); ns: no significativamente diferente de 0 ( $\alpha=0.95$ ); N: numero de eventos

Los promedios de las ET del tratamiento riego y del tratamiento no riego de la alfalfa durante la campaña de riego 2009, así como los promedios de las diferencias ET<sub>DT</sub> - ET<sub>MT</sub> durante el evento del riego, entre 1 y 2 horas antes del riego y entre 1 y 3 horas después del riego están presentados numéricamente en la tabla 2 y gráficamente en las figuras 3 (riegos diurnos) y figura 4 (riegos nocturnos).

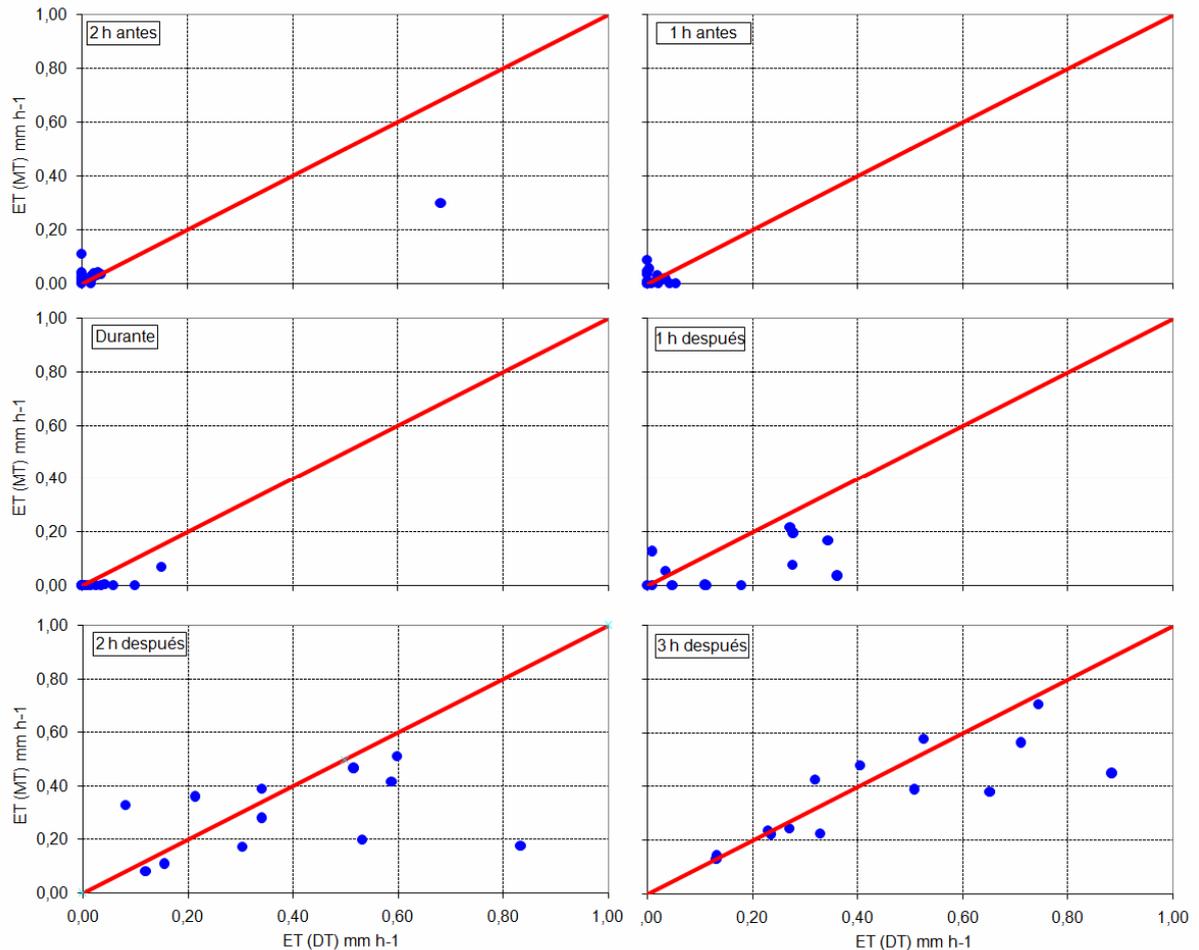
No existen diferencias significativas entre ET<sub>MT</sub> y ET<sub>DT</sub> antes del evento de riego para ambos tipos de riego, diurnos y nocturnos (las diferencias no son significativas). Se aprecian diferencias significativas entre ET<sub>MT</sub> y ET<sub>DT</sub> durante los eventos de riego, tanto diurnos como nocturnos. En el caso de los riegos nocturnos los valores de ET<sub>MT</sub> durante el riego son muy próximos a 0, tal y como recogía Sternberg (1967). Después del riego, las diferencias entre ET<sub>MT</sub> y ET<sub>DT</sub> son significativas hasta dos horas después de los riegos diurnos así como para el riego nocturno.

La Figura 3 presenta para los riegos diurnos la relación entre la  $ET_{DT}$  y la  $ET_{MT}$ , desde dos horas antes del riego hasta 3 horas después del riego. Durante el riego diurno, la  $ET_{DT}$  es superior a  $ET_{MT}$  con unos valores promedio de todos los ensayos evaluados de  $0.73 \text{ mm h}^{-1}$  y  $0.43 \text{ mm h}^{-1}$  respectivamente, lo que supone una reducción de la ET durante el riego del 40%. Durante los riegos nocturnos esta reducción en la ET ha sido de 30%, pero los valores de ET son muy bajos comparándolos con las ET que se producen durante los riegos diurnos ( $0.03$  y  $0.02 \text{ mm h}^{-1}$  para los riegos nocturnos frente a  $0.43$  y  $0.73 \text{ mm h}^{-1}$  para los riegos diurnos). Los cambios microclimáticos que se producen durante el riego reducen la demanda evapotranspirativa de la atmósfera, lo que hace que la  $ET_{MT}$  sea menor que la  $ET_{DT}$ .

Una hora después del evento de riego diurno, al contrario de que se observó durante el riego, la ET es mayor para el tratamiento regado, este incremento de ET esta generado por la alta evaporación del agua interceptada por la cubierta vegetal justo después del riego. Esta situación no se manifiesta después de los riegos nocturnos debido a la baja demanda evaporativa y la baja velocidad del viento durante la noche (Figura 4, 1 h después). Sin embargo, la  $ET_{DT}$  es significativamente superior a la  $ET_{MT}$  durante dos horas después del riego. Bien es cierto que la magnitud de estas diferencias es muy pequeña (entre  $0.09 \text{ mm h}^{-1}$  y  $0.13 \text{ mm h}^{-1}$ ). Tras 2 horas de los eventos de riego, para ambos tipos de riego, diurnos y nocturnos, las  $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$  se aproximan y dejan de ser significativamente diferentes.



**Figura 3.** Promedio de las ET durante el evento del riego diurno, 1-2 horas antes del riego y 1-3 horas después del riego del tratamiento riego (MT) frente al tratamiento no riego (DT)



**Figura 4.** Promedio de las ET durante el evento del riego nocturno, 1-2 horas antes del riego y 1-3 horas después del riego del tratamiento riego (MT) frente al tratamiento no riego (DT)

La tabla 3 presenta los promedios de  $PEA_b$  y  $PEA_{netas}$  calculadas durante los riegos por aspersión, estos promedios se muestran en mm y en % para los riegos diurnos y nocturnos. Las  $PEA_{netas}$  se han calculado a partir de la ecuación 3. Las  $PEA_b$  de los riegos diurnos ascendieron a 11.6% del de agua aplicada total. Como se mencionó anteriormente, las  $PEA_b$  parcialmente contribuyen a satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos debido a la reducción de la  $ET_{MT}$  durante el riego. Esta reducción es en promedio de  $0.3 \text{ mm h}^{-1}$ , que represente el 4 % del agua aplicada. Si esta reducción de ET se resta de las  $PEA_b$ , da lugar a  $PEA_{netas}$  que representan el 7.6% del agua aplicada. Para los riegos nocturnos, esta contribución no es tan grande, ya que las diferencias en ET son de  $0.02 \text{ mm h}^{-1}$ , lo que suponen el 0.6% del agua aplicada total. Las pérdidas totales en riego por aspersión han sido de 8.34 % y de 3.9% para los riegos diurnos y nocturnos respectivamente. Una hora después de los riegos diurnos, las pérdidas por interceptación ( $ET_{MT} - ET_{DT}$ ) eran de 0.14mm lo que contribuye a aumentar las pérdidas totales en riego por aspersión.

**Tabla 3.** Resumen del cálculo de las pérdidas por evaporación y arrastre netas (PEAnetas) durante el riego por aspersión en alfalfa. En la tabla se presentan promedio diurnos y nocturnos de las  $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$  durante el evento de riego así como las PEA brutas y netas en mm y en % y las pérdidas totales en riego por aspersión

Eventos de riego	Durante		PEA (mm)		PEA %		Pérdidas Totales	
	$ET_{MT}$	$ET_{DT}$	Brutas	Netas	Brutas	Netas	mm	%
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
<b>Diurno</b>	1.03	1.83	2.37	1.57	11.56	7.65	1.71	8.34
<b>Nocturnos</b>	0.06	0.07	0.95	0.92	4.98	4.36	0.76	3.90

Durante los eventos de riegos diurnos, la temperatura del aire disminuyó significativamente ( $\alpha= 0.95$ ) durante el riego por aspersión (Figura 5 izquierda). Esta disminución debido al riego por aspersión fue de 1.49 °C con una desviación estándar de 1.2 °C. Una hora después del riego, esta disminución continúa siendo significativa pero con una magnitud inferior (0.62 °C), esta disminución se prolongó hasta 3 horas después del evento del riego.

Durante el riego nocturno (Figura 6 derecha), la disminución de la temperatura del aire fue significativa y esta diferencia se prolongó hasta 3 horas después del evento de riego, pero su magnitud (0.34°C) fue inferior a la de los riegos diurnos.

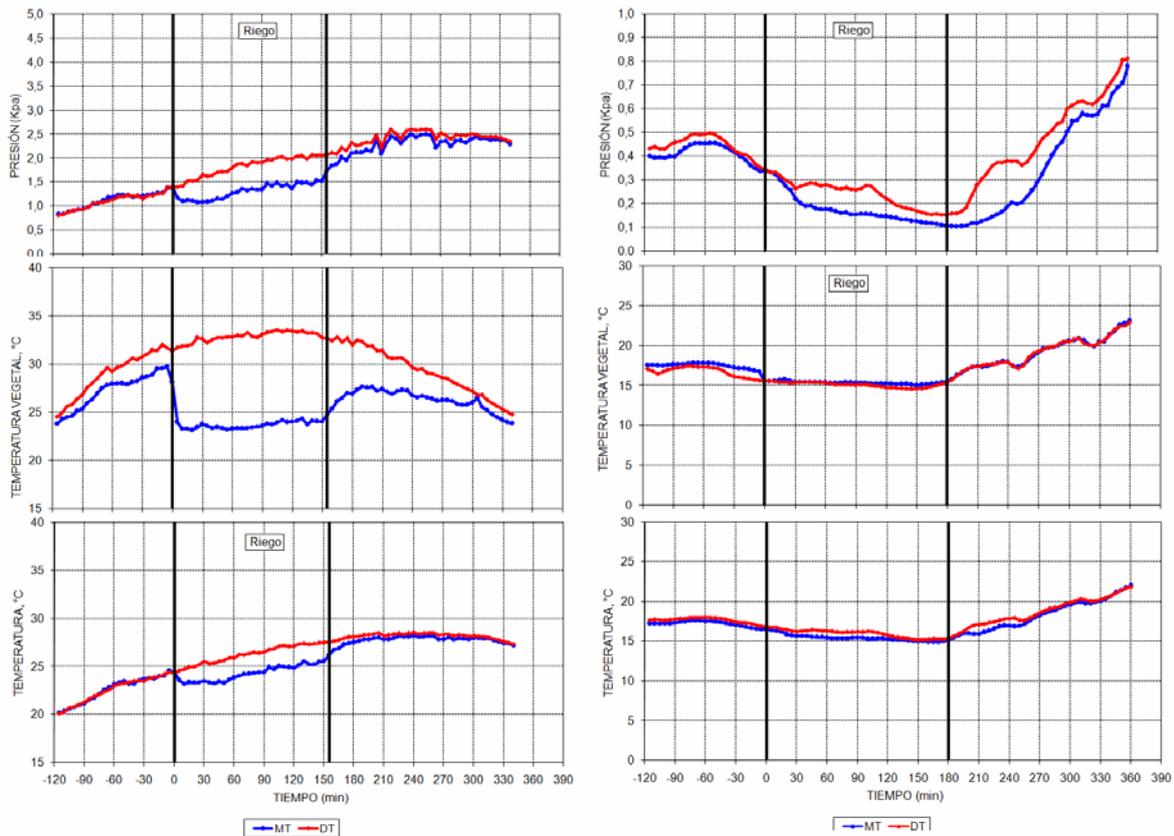
También el déficit de presión de vapor sigue las mismas pautas que la temperatura del aire, un descenso significativo de su valor durante los dos tipos de riego (nocturnos y diurnos). Esta disminución fue de 0.44 kPa y 0.11 kPa para los riegos diurnos y nocturnos, respectivamente. El DPV sigue disminuyendo significativamente hasta 2 horas después de los riegos diurnos y hasta 3 horas después de los riegos nocturnos, este último con menores magnitudes.

La disminución de la temperatura del aire y del déficit de presión de vapor causada por el riego por aspersión, ha sido mayor para los riegos diurnos que para los riegos nocturnos.

En cuanto a los cambios fisiológicos estudiados, en nuestro caso la temperatura de la cubierta vegetal, se observaron descensos considerables de ésta durante los riegos diurnos (media de 3°C). Esta menor temperatura de la cubierta en el tratamiento regado se mantuvo significativa hasta 3 horas después del riego, con magnitudes descendientes. En los riegos nocturnos estas diferencias son menores, siendo significativas durante el riego( 0.25°C) y hasta dos horas después del riego con valores descendientes.

Las  $PEA_b$  evaluadas en este trabajo han sido más elevadas durante los riegos diurnos que durante los riegos nocturnos, resultados similares a los encontrados por la mayoría de los autores como Playán et al. (2005) y Martínez-Cob y al (2008). Como consecuencias, los cambios microclimáticos y fisiológicos han sido más pronunciados durante los riegos diurnos. Los cambios microclimáticos durante los riegos diurnos empiezan justo al empezar el riego (Figura 6 izquierda) tal y como apuntan Tolk et al (1995), Thompson et al. (1993) y Cavero et al. (2009). Este descenso de la temperatura del aire así como del déficit de presión de vapor ha sido más bajo que los resultados encontrados por Cavero et al. (2009) en un cultivo de maíz. Las diferencias en cuanto a porte y densidad de ambos cultivos, maíz y alfalfa, explican las diferencias. Los cambios microclimáticos solo se prolongaron hasta 3 horas después del riego, coincidiendo con los resultados presentados por Cavero et al (2009) en maíz y Tolk et al. (1995) para los cultivos de algodón y alfalfa. Los cambios microclimáticos han sido más pronunciados en condiciones meteorológicas adversas (temperaturas del aire y déficit de presión de vapor más alto), condiciones diurnas estivales. En cuanto a los cambios fisiológicos, la temperatura de la cubierta vegetal se reduce con el riego por aspersión, siendo su disminución más pronunciada que la de la temperatura del aire. El ejemplo mostrado en la Figura 5 izquierda presenta un descenso

más acusado de la temperatura de la cubierta vegetal que de la temperatura del aire, estos resultados coinciden con estudios anteriores Cavero et al. (2009) y Tolk et al. (1995).



**Figura 5.** Temperatura del aire, temperatura vegetal y déficit de presión de vapor medido en las dos parcelas regadas (MT) y no regado (DT) de dos horas antes del riego, durante el riego y hasta 4 horas después del riego. La grafica de la izquierda presenta un riego diurno y la grafica de la izquierda presenta un riego nocturno

#### 4- Conclusiones y Recomendaciones

Las  $PEA_b$  durante los riegos diurnos fueron más altas las de los riegos nocturnos con promedios de 11.6% y 5%, respectivamente. Esta diferencia se debe principalmente a las diferentes condiciones meteorológicas entre el día y la noche.

La reducción de la ET durante el riego indica que las  $PEA_b$  contribuyeron a satisfacer parcialmente las necesidades hídricas de los cultivos, sobre todo en riegos diurnos, pasando de 11.6% a 7.6 %. Por esta razón, parte de las  $PEA_b$  puede considerarse beneficiosa para el cultivo. Durante los riegos nocturnos,  $PEA_b$  fueron similares a las  $PEA_{netas}$  y esta contribución a la ET es despreciable estos datos coinciden con los publicados para maíz por Martínez-Cob, 2008.

Los cambios microclimáticos y fisiológicos durante el riego por aspersión han sido significativos durante y se han prolongado hasta 2 y 3 horas después de los eventos del riego. Estas diferencias microclimáticas y de la temperatura de la cubierta vegetal han sido más importantes durante los riegos diurnos que durante los nocturnos.

## 5.- Agradecimientos

Este Trabajo ha sido realizado con la ayuda financiera del Ministerio de Ciencia e Innovación mediante los proyectos AGL2007-66716-C03-01/02 y AGL2010-21681-C03-01/03, la comisión europea mediante el proyecto QUALIWATER (INCO-CT-2005-015031) y la ayuda predoctoral de formación de personal investigador FPI-MICINN concedida al primer autor de este trabajo. Agradecemos la colaboración del Dr. José Cavero y del personal técnico y de campo del CITA-DGA y del CSIC-EEAD.

## 6.- Bibliografía

- Cavero, J., Medina, E. T., Puig M., and Martínez-Cob, A.**, 2009. Sprinkler Irrigation Changes Maize Canopy Microclimate and Crop Water Status, Transpiration, and Temperature. *Agron. J.* 101\_ 854-864.
- Dolado, J.**, 1999. Validez de las predicciones en la estimación de costes. Universidad del País Vasco, Bilbao, Spain.
- Edling, R.J.**, 1985. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. *Trans. ASAE* 28 (5), 1543–1550.
- Faci, J.M., Bercero, A.**, 1991. Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. *Inv. Agric. Prod. Prot. Veg.* 6 (2), 171–182.
- Kohl, R.A., y J.L. Wright.** 1974. Air temperature and vapor pressure changes caused by sprinkler irrigation. *Agron. J.* 66:85–88.
- Kraus, J.H.** 1966. Application efficiency of sprinkler irrigation and its effects on microclimate. *Trans. ASAE* 9:642–645.
- Longley, T.S., P.C. Garvin, y J.C. Stark.** 1983. Wind drift effects on evapotranspiration under low pressure sprinklers. ASAE Paper no. 83–2590. ASAE, St. Joseph, MI.
- Martínez-Cob, A., Playán E., Zapata N., Cavero J., Medina E.T., y Puig M.**, 2008. Contribution of evapotranspiration reduction during solid set sprinkler irrigation to application efficiency. *J. Irrig. Drain. Eng.* 134:745–756.
- Norman J.M. y Campbell G.S.**, 1983. Application of the plant environment model to problems in irrigation, In *Advance in irrigation*, 2, 155-188. New York, N.Y.: Academic Press, Inc.
- Playán, E., Salvador, R., Faci, J.M., Zapata, N., Martínez-Cob, A. y Sanchez, I.**, 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agric. Water Manage.* 76 (3), 139–159.
- Robinson, F.E.**, 1970. Modifying an arid microclimate with sprinklers *Agric. Eng.*, 51, 465
- Steiner, J. L., Kanemasu, E. T., y Clark, R. N.**, 1983a. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. *Trans. ASAE*, 26, 1128–1134.
- Steiner, J.L., E.T. Kanemasu, y D. Hasza.** 1983b. Microclimatic and crop responses to center pivot sprinkler and to surface irrigation. *Irrig. Sci.* 4:201–214.
- Sternberg, Y. M.**, 1967. "Analysis of sprinkler irrigation losses." *J. Irrig. and Drain. Div.*, 93\_IR4\_, 111–124.
- Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F., Montero, J. y de Juan, J.A.**, 2000. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agric. Water Manage.* 43, 263–284.
- Thompson, A.L., J.R. Gilley, y J.M. Norman.** 1993. A sprinkler water droplet evaporation and plant canopy model: II. Model application. *Trans. ASAE* 36:743–750.
- Tolk, J. A., Howell, T. A., Steiner, J. L., Krieg, D. R., y Schneider, A. D.**, 1995. Role of transpiration suppression by evaporation of intercepted water in improving irrigation efficiency. *Irrig. Sci.*, 16, 89–95.