

# ¿Son útiles las pérdidas por evaporación en el riego por aspersión?

Stambouli, T.<sup>1</sup>, Zapata, N.<sup>2</sup>, Martínez-Cob, A.<sup>2</sup>, Faci, J.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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); [jfacci@aragon.es](mailto:jfacci@aragon.es)

<sup>2</sup> Departamento Suelo y Agua. Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC). Aptdo. 202, 50080, Zaragoza, [v.zapata@csic.es](mailto:v.zapata@csic.es); [macoan@ead.csic.es](mailto:macoan@ead.csic.es)

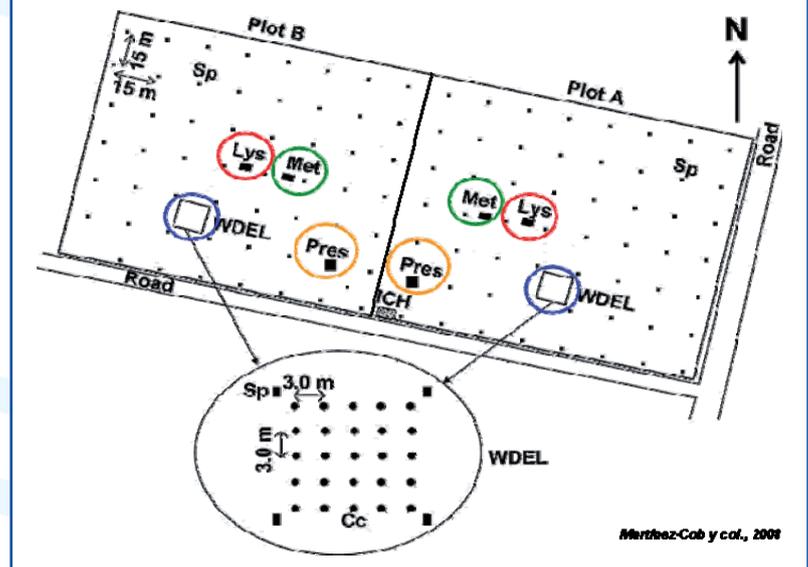
## RESUMEN

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 una reducción de la evapotranspiración (ET) durante el riego. Esta reducción de la ET puede ser beneficiosa para los cultivos sobre todo durante los riegos diurnos. En el presente trabajo se han estudiado las pérdidas por evaporación y arrastre brutas ( $PEA_{brutas}$ ) durante el riego por aspersión en una cobertura fija de aspersión en dos parcelas adyacentes cultivadas de alfalfa y ambas equipadas con un lisímetro de pesada. Las  $PEA_{brutas}$  fueron mayores durante los riegos diurnos que durante los nocturnos con unos valores en promedio de 11,6% y 5%, respectivamente. Asimismo se determinaron las pérdidas por evaporación y arrastre netas ( $PEA_{netas}$ ) que representan las pérdidas que realmente no son útiles para el cultivo. Las  $PEA_{netas}$  se calcularon descontando a las  $PEA_{brutas}$  la diferencia entre la evapotranspiración de la alfalfa medida en los dos lisímetros durante el riego por aspersión (ET del lisímetros en seco ( $ET_{DT}$ ) y en riego ( $ET_{MT}$ )). Los resultados mostraron 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 fue 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%.

## 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

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



al suelo ya que hay una parte que se pierde por evaporación durante el viaje de las gotas de agua desde el aspersor hasta el suelo y otra parte se pierde por el arrastre fuera de la zona cultivable. Estas sumas de pérdidas por evaporación y por arrastre por el viento se engloban en el término de pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (PEA). Las PEA son uno de los mayores inconvenientes del riego por aspersión.

Las PEA según Playán y otros (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, como es el caso del Valle Medio del Ebro, las PEA pueden alcanzar valores de hasta el 30% (Faci y otros, 1991) cuando el riego no se hace en buenas condiciones ambientales y de forma adecuada. Un buen manejo de los sistemas de riego por aspersión, evitando el riego en condiciones de vientos fuertes, puede reducir estos elevados valores de PEA a valores entre un 10 y un 15% 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 la pérdida del agua arrastrada fuera de la zona de cultivo. La mayoría de las pérdidas se producen durante la aplicación 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 en el riego por aspersión dependen de la humedad relativa del aire, 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 del aspersor (Tarjuelo, 2000; Martínez-Cob y otros, 2008). Otra parte importante del agua del riego se pierde por evaporación del agua interceptada por las hojas y tallos (Tolk y otros., 1995). Las PEA contribuyen a la disminución de la transpiración del cultivo lo que puede ser beneficioso en termino de consumo de agua del riego permitiendo conservar agua en el suelo, y por lo tanto las PEA se dividen en dos categorías:  $PEA_{brutas}$  estimadas como la diferencia entre la descarga de los aspersores y la lámina media que llega al suelo y las  $PEA_{netas}$  como la diferencia entre las  $PEA_{brutas}$  y esta disminución en la transpiración del cultivo. Las pérdidas por intercepción dependen en mayor parte en la arquitectura de las hojas y del estado vegetativo de las plantas.

**Fotografía 1. Pluviómetros instalados alrededor de uno de los lisímetros para determinar la dosis aplicada en los riegos de aspersión al lisímetro.**



Este trabajo tiene los siguientes objetivos:  
 1º.- estimar las  $PEA_{brutas}$  que se producen en un sistema de riego por aspersión estacionario sobre un cultivo de alfalfa.  
 2º.- 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 ▶▶▶



**AENOR**  
 Producto Certificado  
 Forraje Deshidratado

## Alfalfa Agropal

La única alfalfa de España certificada por AENOR









*Elevada proteína*  
*Alta digestibilidad*  
*Mejoramos tu rentabilidad*



DESH. ASTUDILLO



DESH. VILLOLDO





**AGROPAL**  
GRUPO ALIMENTARIO

**PRINCIPAL PRODUCTOR REGIONAL**  
 - VENTA DIRECTA -  
 687 77 28 49  
 979 16 57 30

ALFALFA Y FORRAJES
MATERIAS PRIMAS
MEZCLAS
ASESORÍA EN NUTRICIÓN ANIMAL

►►► cultivo de alfalfa que no se está regando,  
3°.- estimar las  $PEA_{netas}$  a partir de las  $PEA_{brutas}$  y de las medidas de la evapotranspiración en lisímetros de pesada con alfalfa durante el riego por aspersión y en ausencia de riego.

4°.- determinar las pérdidas totales en riego por aspersión.

## 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 a marco rectangular de 15 m X 15 m 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, situados en el centro de cada sub-parcela, de 6,26 m<sup>2</sup> de superficie (2,72 m x 2,30 m), una estación meteorológica completa y un transductor de presión con un data logger instalado en la caña porta-aspersor de un aspersor representativo de la finca para la medida continua de la presión de funcionamiento.

Las parcelas son completamente planas y sus redes de riego se diseñaron para que las diferencias de presión entre los aspersores de cada sub-parcela fueran prácticamente nulas.

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 en estos 18 pluviómetros se consideró como la dosis del riego aplicada en los mismos. La evapotranspiración del cultivo durante el riego ( $ET_{Ri}$ ) se determinó como la diferencia entre la lámina de agua aplicada y el aumento de la masa del lisímetro 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  $PEA_{brutas}$  en cada riego se determinaron como la diferencia entre la descarga de los aspersores y la lámina media recogida en la malla de los 25 pluviómetros.

Se estableció un calendario de riego adaptado a las necesi-

**Fotografía 2. Red de pluviómetros instalados en un marco de aspersión de una de las parcelas experimentales para determinar la dosis de riego aplicada en la parcela de alfalfa.**



**Tabla 1. Características medias de los riegos diurnos y nocturnos evaluados. Número 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 ( $PEA_{brutas}$  %), 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)	$PEA_{brutas}$ (%)	VV (m s <sup>-1</sup> )	T (°C)	DPV (kPa)
Riegos diurnos	31	2,7	20,5	11,6	2,3	24,6	1,5
Riegos nocturnos	18	2,6	19,7	5,0	1,1	15,6	0,3
Todos los riegos	49	2,7	20,2	9,8	1,9	21,3	1,0

**Tabla 2. Promedio de las ET de alfalfa del tratamiento en riego ( $ET_{MT}$ ) y en seco ( $ET_{DT}$ ) en los riegos diurnos y nocturnos durante la campaña de 2009. Promedio de las diferencias  $ET_{DT} - ET_{MT}$  durante el evento del riego, 1-2 horas antes del riego y 1-3 horas después del riego.**

Periodo	Riegos diurnos				Riegos nocturnos				
	N	$ET_{DT}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$ET_{MT}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$ET_{DT}-ET_{MT}$ (mm h <sup>-1</sup> )	N	$ET_{DT}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$ET_{MT}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$ET_{DT}-ET_{MT}$ (mm h <sup>-1</sup> )	
Antes	1 h	24	0,43	0,41	0,02 <sup>ns</sup>	12	0,01	0,01	0,00 <sup>ns</sup>
	2 h	24	0,26	0,31	-0,05 <sup>ns</sup>	12	0,06	0,06	0,00 <sup>ns</sup>
Durante	24	0,71	0,41	0,30 <sup>s</sup>	12	0,01	-0,07	0,08 <sup>s</sup>	
	1 h	24	0,71	0,83	-0,12 <sup>s</sup>	12	0,16	0,24	-0,08 <sup>s</sup>
Después	2 h	24	0,64	0,73	-0,09 <sup>s</sup>	12	0,34	0,35	-0,009 <sup>ns</sup>
	3 h	24	0,52	0,62	-0,1 <sup>s</sup>	12	0,44	0,45	-0,008 <sup>ns</sup>

s: significativamente diferente de 0 ( $\alpha=0,95$ ); ns: no significativamente diferente de 0 ( $\alpha=0,95$ ); N: número de eventos

idades hídricas semanales del cultivo (datos de la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón) y se alternó el riego de forma que mientras una de las parcelas se regaba (tratamiento MT “en riego”), la segunda no lo hacía (Tratamiento DT “en seco”) pero ambas parcelas tuvieron un suministro adecuado de riego cubriendo sus necesidades hídricas y mantuvieron una adecuada humedad en el suelo. El inicio de cada riego en ambas parcelas A y B se hizo con una diferencia de tiempo mínima de 8 horas.

La  $ET$  (mm h<sup>-1</sup>) en los lisímetros de pesada 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. Estas determinaciones se realizaron a lo largo de todo el ciclo del cultivo.

El cálculo de la ET del cultivo durante el riego por aspersión se realizó mediante el análisis de los datos de pesos cada 5 minutos de ambos lisímetros. En el lisímetro seco (tratamiento DT "en seco") 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 lámina 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  $PEA_{brutas}$  la diferencia de la ET "en seco" ( $ET_{DT}$ ) y la ET del cultivo "en riego" ( $ET_{MT}$ ).

Se realizaron distintas comparaciones de la evapotranspiración (ET) entre los tratamientos MT (en riego) y DT (en seco) antes durante y después de los eventos de riego. Se analizaron distancias temporales de 2 horas antes y 3 horas después de los eventos de riego, con el fin de estudiar el efecto del riego

**Tabla 3. Valores medios de la lámina aplicada por riego, pérdidas por evaporación y arrastre brutas ( $PEA_{brutas}$ ) y netas ( $PEA_{netas}$ ) y pérdidas totales de agua de riego durante el riego por aspersión para riegos diurnos y nocturnos en alfalfa.**

Eventos de riego	Lámina aplicada (mm)	PEA (mm)		PEA %		Pérdidas Totales	
		Brutas	Netas	Brutas	Netas	mm	%
		(mm)	(mm)	%	%		
Diurnos	20,2	1,9	1,2	9,5	6,1	1,9	9,3
Nocturnos	20,2	0,5	0,4	2,5	2,2	0,9	4,7

por aspersión en la reducción de la ET total. (Martínez-Cob y otros., 2008). Se representaron gráficamente para cada momento del estudio las distintas relaciones de la ET en los tratamientos MT (en riego) y DT (en seco) ( $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$ ) y se realizó 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 aspersión se contabilizaron como la suma de las  $PEA_{netas}$  que se producen durante el riego y las pérdidas por intercepción de agua por el cultivo que se producen una vez finalizado el riego. Estas pérdidas de intercepción se pueden estimar como la diferencia entre la  $ET_{MT}$  y la  $ET_{DT}$  de una a tres horas después del evento de riego. ►►►

FORRAJE



Tu trabajo un poco más fácil

Carretera N-640 · KM 87,5 · Pedreda  
 La Campiña · 27192 · LUGO  
 Tel.: 982 22 71 65 · Fax: 982 25 20 86  
 info@duranmaquinaria.com

[www.duranmaquinaria.com](http://www.duranmaquinaria.com)

### ▶▶▶ 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

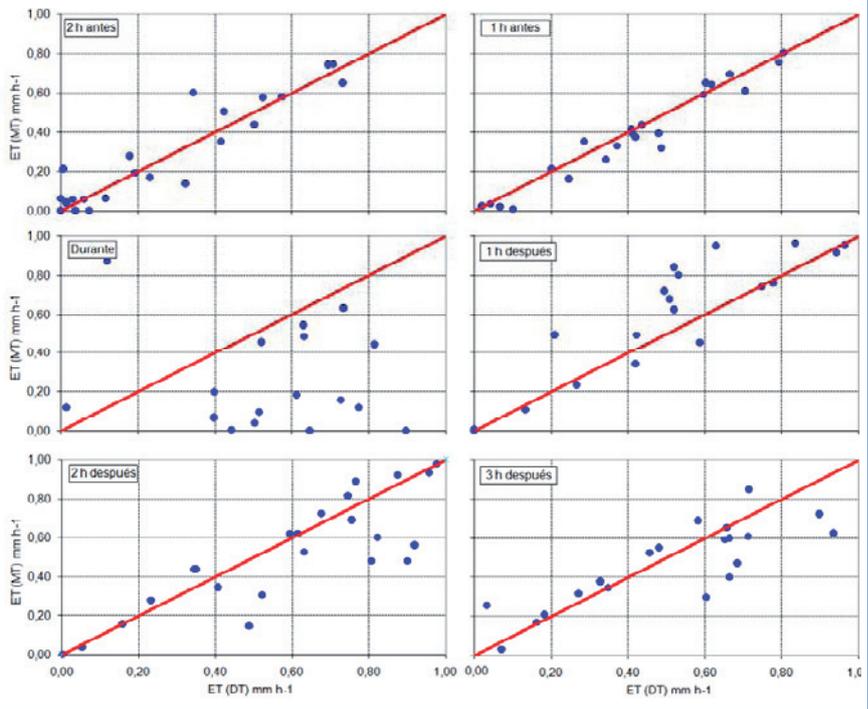
La dosis del riego aplicado durante la estación 2009 fue de 798 mm y de 812 mm en las sub-parcelas A y B respectivamente, esta ligera diferencia fue debida a que la presión del riego en la sub-parcela B fue algo más elevada en la parcela A que en la parcela B (308kPa en la sub-parcela B y 302 kPa en la parcela A). Se aplicaron 42 riegos a cada de las parcelas A y B. En las dos parcelas se evaluaron un total de 49 eventos de riego (31 riegos diurnos y 18 riegos nocturnos) para determinar las  $PEA_{brutas}$ , las  $PEA_{netas}$  (ecuación 3) así como 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  $PEA_{brutas}$  fue de 11,6% para los riegos diurnos con valores comprendidos entre 0% y 35 % y de 5% para los riegos nocturnos y con valores comprendidos entre 0% y 25 %. La velocidad del viento durante los riegos diurnos fue el doble que la registrada durante los eventos nocturnos. Los valores máximos de la velocidad del viento fueron 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  $PEA_{brutas}$  se incrementan con la velocidad del viento, ya sea de día o de noche (Martínez-Cob y otros, 2008). La temperatura del aire y el DPV disminuyen durante la noche y oscilan de  $24,6^\circ\text{C}$  a  $15,6^\circ\text{C}$  y de 1,5 kPa a 0,3 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 kPa, respectivamente.

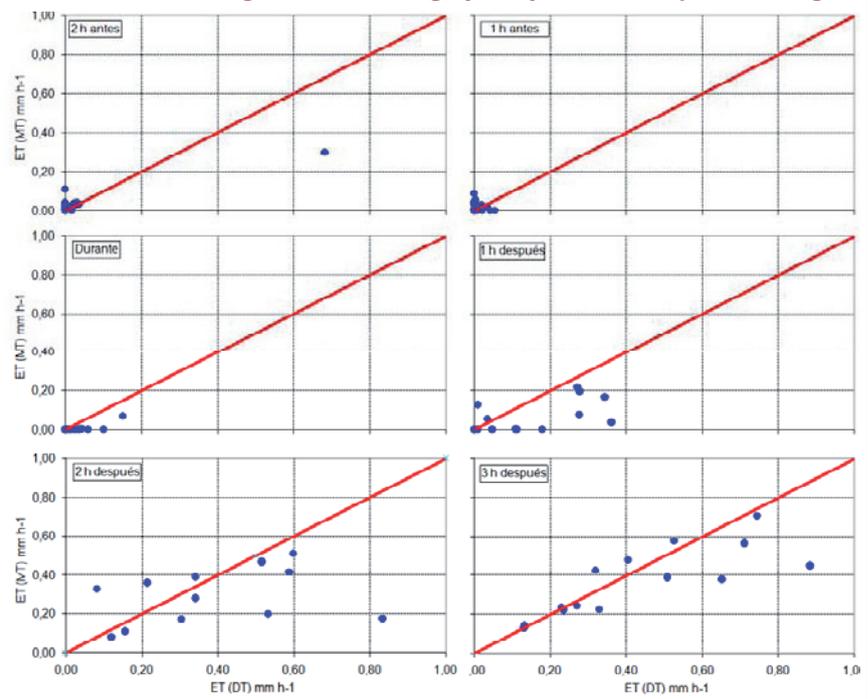
Los resultados de los ensayos realizados muestran que durante el riego por aspersión las  $PEA_{brutas}$  aumentan con la velocidad del viento y la temperatura del aire. Esto hace que en los riegos diurnos en los que las condiciones ambientales son más adversas (mayor VV, mayor  $T^a$  y mayor DPV) las  $PEA_{brutas}$  sean mayores.

Los promedios de las ET del tratamiento en riego ( $ET_{MT}$ ) y del tratamiento en seco ( $ET_{DT}$ ) de la alfalfa durante la campaña de riego 2009, así como los promedios de las diferencias  $ET_{DT} - ET_{MT}$  durante el evento del riego, entre 1 y 2 horas antes del

**Figura 2. Relación entre los valores de las ET ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del tratamiento en riego ( $ET_{MT}$ ) frente al tratamiento en seco ( $ET_{DT}$ ) en los riegos diurnos, 2 y 1 horas antes del riego, durante el riego y 1, 2 y 3 horas después del riego.**



**Figura 3. Relación entre los valores de las ET ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del tratamiento en riego ( $ET_{MT}$ ) frente al tratamiento en seco ( $ET_{DT}$ ) en los riegos nocturnos, 2 y 1 horas antes del riego, durante el riego y 1, 2 y 3 horas después del riego.**



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 4 (riegos nocturnos).

No existen diferencias significativas entre  $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$  antes del evento de riego para ambos tipos de riego, diurnos y nocturnos, lo cual es lógico ya que ambas parcelas ▶▶▶

▶▶▶ están bien regadas, Se aprecian diferencias significativas entre  $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$  durante los eventos de riego, tanto diurnos como nocturnos, En el caso de los riegos nocturnos los valores de  $ET_{MT}$  durante el riego son muy próximos a 0, tal y como recogía Sternberg (1967). Después del riego, las diferencias entre  $ET_{MT}$  y  $ET_{DT}$  son significativas hasta dos horas después de los riegos diurnos así como para el riego nocturno.

La Figura 2 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 promedios de todos los ensayos evaluados de  $0,71 \text{ mm h}^{-1}$  y  $0,41 \text{ mm h}^{-1}$  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%, 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 3, 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  $0,16 \text{ mm h}^{-1}$  y  $0,24 \text{ mm h}^{-1}$ ), 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.

La Tabla 3 presenta los valores medios de las láminas de riego aplicada  $PEA_{brutas}$  y  $PEA_{netas}$  durante el riego por aspersión para el conjunto de los riegos diurnos y nocturnos, Las  $PEA_{brutas}$  de los riegos diurnos de 2,7 horas de duración y de una dosis media de  $20,2 \text{ mm}$  ascendieron a  $1,9 \text{ mm}$ , valor que representa el 9,4% del de agua aplicada total, Las  $PEA_{brutas}$  de los riegos nocturnos fueron de solamente  $0,5 \text{ mm}$  que representan el 2,5% de la lámina aplicada, Como se mencionó anteriormente, las  $PEA_{brutas}$  parcialmente contribuyen a satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos debido a la reducción de la  $ET_{MT}$  durante el riego, Esta reducción fue en promedio de  $0,7 \text{ mm}$  en los riegos diurnos (Tabla 2), Si esta reducción de ET se resta de las  $PEA_{brutas}$ , da lugar a  $PEA_{netas}$  que representan el 6,1% del agua aplicada, Para los riegos nocturnos, esta contribución no es tan grande, ya que las diferencias entre la  $ET_{DT}$  y  $ET_{MT}$  son de solamente  $0,2 \text{ mm}$ , lo que suponen el 0,3% del agua aplicada total.

Para calcular las pérdidas totales en el riego por aspersión debemos sumar a las  $PEA_{netas}$  las pérdidas por intercepción que se producen después de finalizado el riego, Las pérdidas

totales fueron de 9,3 % y de 4,7% para los riegos diurnos y nocturnos respectivamente.

Las  $PEA_{brutas}$  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 y otros, (2005) y Martínez-Cob y otros, (2008).

#### 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las  $PEA_{brutas}$  durante los riegos diurnos fueron más altas que en los riegos nocturnos con promedios de 9,5% y 2,5%, 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 por aspersión indica que las  $PEA_{brutas}$  contribuyeron a satisfacer parcialmente las necesidades hídricas de los cultivos, sobre todo en riegos diurnos, Así, parte de las  $PEA_{brutas}$  puede considerarse beneficiosa para el cultivo. Las  $PEA$  que no fueron útiles para satisfacer las necesidades hídricas de la alfalfa en los riegos diurnos fueron de 6,1% ( $PEA_{netas}$ ) en vez de los 9,5% de  $PEA_{brutas}$ . Durante los riegos nocturnos, la contribución de las  $PEA_{brutas}$  a satisfacer las necesidades hídricas fue despreciable y las  $PEA_{netas}$  fueron similares a las  $PEA_{brutas}$ . Estos resultados se acercan mucho con los resultados publicados para el cultivo de maíz por Martínez-Cob, 2008.

#### 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

- Faci, J.M, Berbero, A, 1991, Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión, *Iny, Agric, Prod, Prot, Veg*, 6 (2): 171–182.
- 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.
- Oficina de Regantes de Aragón, <http://oficinaregante.aragon.es/>
- Playán, E, Salvador, R, Faci, J.M, Zapata, N, Martínez-Cob, A, y Sánchez, I, 2005, Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals, *Agric, Water Manage*, 76 (3), 139–159.
- Sternberg, Y, M, 1967, "Analysis of sprinkler irrigation losses," *J, Irrig, 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.
- 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.