



El viento y el riego por aspersión en los regadíos de Aragón

TEXTOS: JOSÉ MARÍA FACI GONZÁLEZ (1); ENRIQUE PLAYÁN JUBILLAR (2); NERY ZAPATA RUIZ (1); ANTONIO MARTÍNEZ COB (2); FARIDA DECHMI (1)

FOTOS: ARCHIVO SURCOS

La gran mayoría de los regadíos aragoneses se encuentra ubicada en zonas de fuertes vientos, lo que ha hecho que sus regantes se hayan habituado a convivir y luchar con este meteoro a lo largo de su historia. Es bien conocido que el riego por aspersión efectuado en condiciones de viento no es tan eficiente como el realizado en condiciones de calma debido a las pérdidas de agua que se producen por el arrastre de agua por el viento y a las desigualdades que se producen en el reparto del agua en la parcela.

El uso eficiente del agua en los regadíos por aspersión requiere que los sistemas de riego estén bien diseñados y que sean manejados de forma óptima. Este manejo óptimo debe incluir entre otras las siguientes características: buen mantenimiento de los equipos, uso de una presión de funcionamiento adecuada, calendarios de riego que cubran las necesidades hídricas de los cultivos y aplicación del riego en condiciones meteorológicas favorables, sobre todo en ausencia de vientos fuertes. Sin embargo, durante la campaña de riego no podemos esperar a regar siempre con el viento en calma porque el cultivo llegaría a sufrir estrés hídrico. Es importante conocer hasta qué umbrales de velocidad del viento podemos llegar para conseguir un riego aceptable.

El buen manejo de los sistemas de riego por aspersión en Aragón requiere el estudio de estos sistemas de riego y de sus interacciones con las condiciones meteorológicas, sobre todo el viento, con el objetivo de establecer recomendaciones que optimicen dicho manejo.

(1) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, Gobierno de Aragón (CITA), Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza
(2) Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEAD, CSIC)

Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza



Es importante conocer hasta qué umbrales de velocidad del viento podemos llegar para conseguir un riego aceptable.

El viento en Aragón

El viento es un fenómeno meteorológico que tiene una gran incidencia en Aragón. Una gran parte de los regadíos aragoneses se ubica en la parte central del Valle del Ebro. La cuenca del Ebro consiste en una gran depresión comprendida entre los Pirineos al Norte y el Sistema Ibérico al Sur de forma que todo su valle central queda encajonado en dirección noroeste. Este encajonamiento del Valle entre estos sistemas montañosos disminuye la entrada de precipitaciones y canaliza los vientos dominantes, en general fríos y secos, en la dirección del propio Valle del Ebro. Este viento es tradicionalmente llamado "cierzo" y se produce fundamentalmente en invierno y primavera con dirección predominante de oeste y

noroeste. El valle del Ebro posee un importante potencial eólico que se está desarrollando en los últimos años con la instalación de parques eólicos en las zonas más apropiadas (Puigcercús y colaboradores, 1994).

En el presente trabajo se presenta un resumen de la distribución de la velocidad del viento en 9 localidades de Aragón (Tabla I). La velocidad del viento se expresa en m/s o en km/h ($1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$).

Tabla I. Localidades utilizadas en el estudio: coordenadas geográficas, elevación sobre el nivel del mar (Elev), años con registros y número de periodos semihorarios de velocidad del viento utilizados para obtener el año medio.

Localidad	Latitud (grados)	Longitud (grados) ^a	Elev	Años con registros	Nº periodos semihorarios
Alcañiz	41° 03' 29" N	0° 08' 16" O	320	1990-2001	85272
Bujaraloz	41° 31' 25" N	0° 10' 24" O	357	1992-2003	93136
Daroca	41° 06' 53" N	1° 24' 39" O	779	1992-2001	78699
Gallocanta	40° 59' 06" N	1° 30' 19" O	1000	2000-2004	43920
Monflorite	42° 05' 00" N	0° 19' 35" O	541	1990-2003	107046
Montañana	41° 43' 15" N	0° 49' 13" O	225	1994-2003	84186
Santa Anastasia	42° 10' 13" N	1° 12' 50" O	380	1999-2002	31749
Sariñena	41° 47' 29" N	0° 09' 19" O	275	1990-2003	90011
Tamarite	41° 46' 48" N	0° 22' 24" O	218	1997-2003	50845

^aO, oeste del Meridiano de Greenwich; E, este del Meridiano de Greenwich.



El cierzo tiene dirección predominante de oeste y noroeste.

La Figura 1 -página 26- muestra las curvas medias diarias en m/s de la velocidad del viento a 2 m en las 9 estaciones estudiadas para los meses de la estación de riegos (abril a septiembre) de un año medio. En general, se observa un aumento desde el amanecer hasta las horas posteriores al mediodía solar y una disminución progresiva a medida que avanza la noche (Figura 1). En general, los valores mayores de velocidad de viento se obtienen en abril y los meses menos ventosos

son agosto y septiembre. Asimismo, se observan diferencias importantes entre localidades. De acuerdo con los resultados de la Figura 1 y con un análisis estadístico más detallado efectuado por Martínez-Cob y colaboradores (2005), las localidades de la Tabla 1 se pueden dividir en dos grupos: a) localidades no ventosas (Alcañiz, Daroca y Tamarite); y b) localidades ventosas, el resto de ellas.

Con objeto de conocer las diferencias del viento entre el día y la noche, en la Figura 2 se presentan los cocientes entre las velocidades medias mensuales nocturnas y diurnas. En todos

los casos este cociente es inferior a la unidad, lo cual indica que la velocidad nocturna del viento es claramente inferior a la diurna, particularmente en las tres localidades menos ventosas, Alcañiz, Daroca y Tamarite, y en la localidad más ventosa, Gallo-canta. En términos generales, estos cocientes son menores en la primavera (abril y mayo) y en el otoño (septiembre).

La mayor similitud entre el viento nocturno y diurno se observa en Bujaraloz, una de las localidades más ventosas incluidas en este estudio, aunque las tendencias generales a lo largo del año son similares a las restantes localidades.

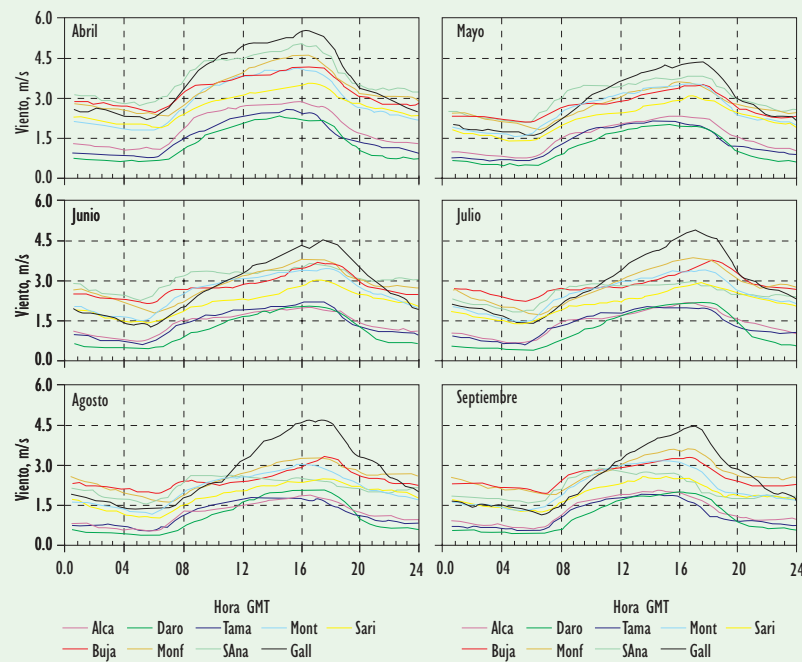


Figura 1. Medias mensuales (abril a septiembre) para un año medio de la velocidad semihoraria del viento a 2 m. Alca, Alcañiz; Daro, Daroca; Tama, Tamarite; Mont, Montañana; Sari, Sariñena; Buja, Bujaraloz; SAna, Monf, Monflorite; Santa Anastasia; Gall, Gallo-canta.

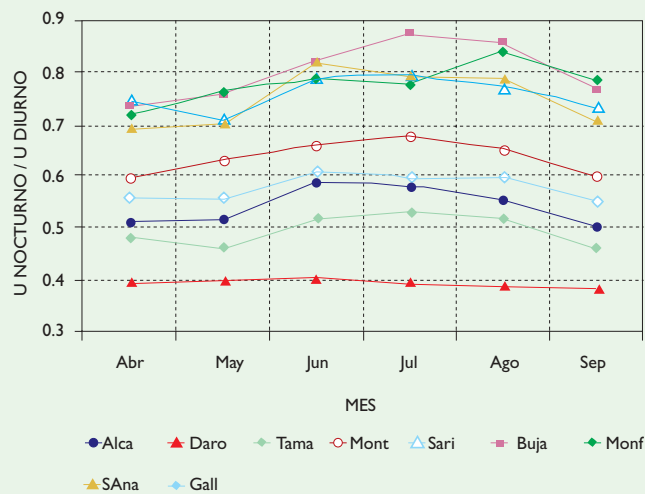


Figura 2. Cocientes entre las medias mensuales (abril a septiembre) para un año medio de la velocidad nocturna (U nocturno) y la velocidad diurna (U diurno) del viento a 2 m. Alca, Alcañiz; Daro, Daroca; Tama, Tamarite; Mont, Montañana; Sari, Sariñena; Buja, Bujaraloz; Monf, Monflorite; SAna, Santa Anastasia; Gall, Gallo-canta.

Fundamentos básicos del riego por aspersión

El riego por aspersión se caracteriza por que el agua se aplica en el aire en forma de lluvia. El agua sale de los emisores en chorros a gran velocidad que se rompen formando gotas de distinto diámetro que se dispersan en el aire y aterrizan en el suelo a distintas distancias del emisor. Las gotas gruesas vuelan más lejos y las gotas más finas caen más cerca del emisor. El objetivo que se busca en el riego por aspersión es aplicar el agua de una forma homogénea a toda la superficie de la finca y de forma eficiente.

Una característica de gran importancia en los sistemas de riego por aspersión es su pluviometría (P) que se mide en milímetros/hora (mm/h) o lo que es lo mismo en litros/metro cua-

drado y hora (L/m² y h). La pluviometría de aspersión en coberturas fijas se puede determinar a partir de la descarga del aspersor (L/h) y del marco de instalación de aspersores (m x m). La descarga del aspersor se puede determinar conduciendo el caudal de las boquillas del aspersor mediante mangueras hasta un depósito de volumen conocido y midiendo el tiempo en que se llena (Fotografía 1). La pluviometría de aspersión (mm/h) se determina mediante la expresión:

$$P \text{ (mm/h)} = \frac{\text{Descarga del aspersor (L/h)}}{\text{Distancia entre aspersores (m)} \times \text{Distancia entre líneas (m)}}$$

Una propiedad fundamental que deben cumplir los sistemas de riego por aspersión es que la pluviometría producida por los aspersores debe ser menor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo, de forma que el agua aplicada llegue al terreno y se infiltre en el mismo lugar donde cayó y así se eviten los problemas de encharcamiento y escorrentía (Tarjuelo, 1995).

El riego por aspersión aplica el agua de una forma homogénea y eficiente.

El riego por aspersión presenta una serie de ventajas que hacen que sea potencialmente un sistema muy eficiente. Entre sus ventajas cabe destacar:

- Perfecto control sobre la dosis aplicada en el riego ya que la dosis aplicada sólo depende del tiempo de riego.
- No hace falta nivelar el terreno.
- Se pueden regar terrenos ondulados.
- Se puede aumentar la frecuencia de riego con gran facilidad.
- Se adapta bien al tamaño y forma de las fincas.
- Se adapta muy bien a las primeras fases del desarrollo de los cultivos.
- Se puede automatizar.
- Permite el riego de suelos arenosos y pedregosos en los cuales el riego por gravedad sería muy ineficiente.
- La mecanización de los cultivos es fácil.
- Los fertilizantes se pueden incorporar de forma fraccionada al agua de riego.



Sin embargo, el riego por aspersión tiene unas limitaciones que el regante debe tener en cuenta a la hora de la elección de este sistema de riego. Las principales limitaciones se enumeran a continuación:

- Requiere el uso de energía.
- Mayor coste energético de funcionamiento.
- El viento afecta a la distribución del riego.
- El viento disminuye la eficiencia de riego ya que se producen pérdidas por evaporación y arrastre.
- El impacto de las gotas produce una dispersión de las partículas del suelo.
- En algunos cultivos hay riesgo de enfermedades criptogámicas.
- No se pueden utilizar aguas salinas ya que se producen quemaduras y descensos en el rendimiento.
- Problemas de mecanización en coberturas.
- En las zonas con pendientes elevadas se puede producir escorrentía y erosión del suelo.



La calidad del riego por aspersión se define fundamentalmente por la uniformidad y la eficiencia del riego. La uniformidad se refiere a la homogeneidad del reparto de agua en la parcela y se expresa por diversos índices de uniformidad. Entre estos índices, el Coeficiente de Uniformidad (CU) desarrollado por Christiansen (1942) es el más universalmente utilizado en los sistemas de riego por aspersión. El CU es una expresión matemática que se calcula a partir de las alturas de agua recogidas en una cuadrícula de pluviómetros instalada en una zona representativa de un sistema de riego por aspersión.

La eficiencia de aplicación (Ea) del riego es un concepto de rendimiento y se refiere a la proporción del agua aplicada que queda almacenada en la zona radicular del cultivo. La eficiencia de aplicación de un riego individual en aspersión se refiere a la proporción del agua emitida por los aspersores que finalmente queda almacenada en la zona radicular del cultivo. En este caso, la Ea se puede determinar por la expresión siguiente:

$$Ea (\%) = 100 \frac{\text{Volumen emitido por aspersores}}{\text{Volumen almacenado en zona radicular}}$$

En un sistema de riego por aspersión bien diseñado y manejado las pérdidas de agua más importantes son las ocasionadas por la evaporación y arrastre por el viento (PEA). Estas pérdidas se suelen expresar en porcentaje sobre el volumen de agua aplicada en riego y se determinan a partir de la expresión siguiente:

$$PEA (\%) = 100 \frac{\text{Volumen emitido por aspersores} - \text{Vol. recogido pluviómetros}}{\text{Volumen emitido aspersores}}$$

El riego por aspersión se adapta muy bien a las primeras fases del desarrollo de los cultivos, como el maíz de la imagen.

Los sistemas de riego por aspersión en los regadíos aragoneses

En los regadíos aragoneses disponemos de una amplia gama de sistemas de riego que van desde antiguos sistemas tradicionales de riego por superficie hasta sistemas de riego a presión con la tecnología más avanzada del mundo.

Los regadíos aragoneses tienen fundamentalmente una orientación de tipo cerealista y forrajera, aunque existe también una importante superficie de frutales.

Algunos de los problemas que se observan en los sistemas de riego por aspersión incluyen:

- Marcos demasiado amplios en coberturas antiguas.
- Presiones inadecuadas.
- Uso de aguas salinas en riegos por aspersión.
- Escorrentías elevadas.
- Mal mantenimiento de los sistemas de riego.
- Falta de automatización.
- Elección inadecuada de los emisores.
- Calendarios de riego inadecuados.

En muchos casos los sistemas de riego por aspersión se van quedando obsoletos y precisan de una modernización al igual que los sistemas de riego por superficie.

Actualmente en Aragón estamos en una fase de instalación de nuevos regadíos, como los de Monegros II y del Plan Estratégico del Bajo Ebro Aragonés, y de modernización de muchos regadíos tradicionales de riego por superficie. Tanto en las nuevas transformaciones como en las modernizaciones se instalan sistemas de riego presurizado (aspersión y localizado). Los riegos localizados se instalan preferentemente en zonas productoras de frutales y hortalizas y los sistemas de aspersión se utilizan en cultivos extensivos. Dentro de los sistemas de aspersión los más utilizados son las coberturas fijas a marco triangular de 18 x 18 m, que se adaptan muy bien a distintas formas de la finca, y los pivotes que se adaptan a parcelas cuadradas o rectangulares.

Efecto del viento en el funcionamiento de los sistemas de riego por aspersión

Normalmente los regantes ya conocen las desventajas de regar por aspersión en condiciones desfavorables (viento fuerte y baja humedad relativa del aire) y suelen aplicar riegos nocturnos y parar temporalmente sus sistemas de riego cuando el viento es muy fuerte. El riego nocturno por aspersión es muy recomendable e interesante ya que el viento nocturno es muy inferior al diurno y además la humedad relativa del aire durante la noche es mayor que durante el día.

Un aspecto muy importante que hay que resaltar para hacer un buen uso del agua en los regadíos de aspersión es que en el diseño de la red de suministro hay que tener en cuenta la disminución de la jornada de riego debido a los



eventos de viento fuerte en los que no se debe regar. En este momento, en el que se está duplicando la superficie regada por aspersión en el territorio aragonés debido a los procesos de modernización, es necesario que los sistemas se diseñen para que puedan realizar un uso eficiente del agua, para lo cual habrá que incluir en los planteamientos del diseño la disminución del tiempo de operación de la red.

Trabajos de investigación en marcha en el Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente

Una de las líneas prioritarias del grupo investigador del Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente (CITA-DGA y EEAD-CSIC) (Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Diputación General de Aragón y Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas) es la mejora del manejo de los sistemas de riego. Dentro de esta línea de investigación el grupo de investigadores ha realizado numerosas evaluaciones de campo en distintos sistemas de riego por aspersión localizados en diferentes zonas regables de Aragón en las cuales se han medido el CU, la Ea y las PEA. En estos trabajos se ha puesto de manifiesto el importante efecto de la velocidad del viento en estas tres variables que definen la calidad de un riego por aspersión.

A título ilustrativo, la Figura 3 presenta la relación obtenida entre el CU y la velocidad del viento en dos marcos de aspersión en una cobertura fija de 15 m x 15 m instalada en la finca experimental del CITA en Montañana, Zaragoza. Puede observarse que el CU desciende conforme aumenta la velocidad del viento. La Figura 4 presenta los resultados obtenidos para la misma serie de evaluaciones de la relación entre las PEA y la velocidad del viento: conforme aumenta ésta, se produce un aumento lineal de las PEA. Una descripción más detallada de este ensayo se puede encontrar en Dechmi y colaboradores (2003). Estos resultados que se presentan para este marco de aspersión concreto se pueden generalizar para muchas otras evaluaciones de aspersión.

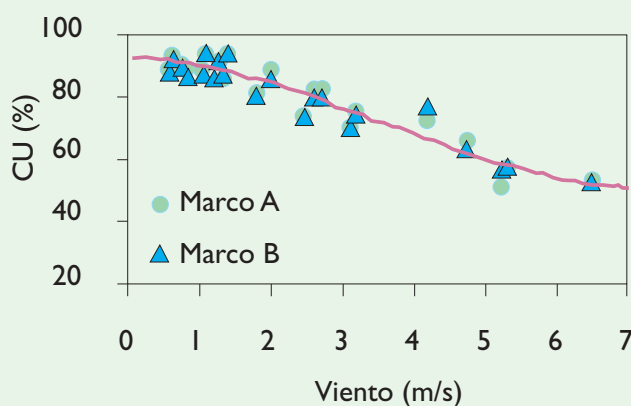


Figura 3. Relación entre el Coeficiente de Uniformidad (CU) y la velocidad del viento en dos marcos de aspersores de una cobertura fija instalada en marco cuadrado de 15 m x 15 m en la finca experimental del CITA en Montañana, Zaragoza.

REGADÍOS

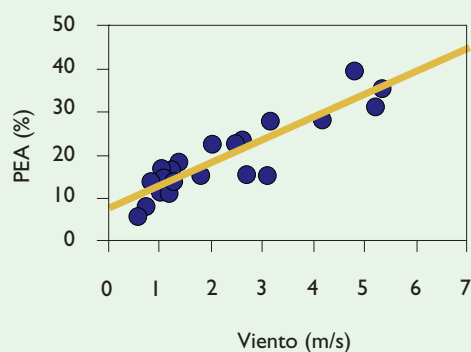


Figura 4. Relación entre las Pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (PEA) y la velocidad del viento durante el riego en una cobertura fija de aspersión.

Con objeto de cuantificar las PEA en riegos diurnos y nocturnos, se realizaron numerosas evaluaciones de riego en una máquina experimental de riegos por aspersión (pivote) y en coberturas de riego por aspersión instaladas en la finca experimental del CITA en Montañana, Zaragoza. Dichas evaluaciones se efectuaron durante el día y la noche y en las mismas se midió el CU y las PEA. Los resultados medios se resumen en la Figura 5. Las PEA en el prototipo experimental de riego por aspersión (pivote) fueron menores que en las coberturas fijas. Tanto en las coberturas fijas como en el prototipo experimental de riego por aspersión (pivote), las PEA en riegos nocturnos fueron menos de la mitad que en los riegos diurnos. Los valores medios de las PEA en riegos diurnos fueron sobre un 14% en coberturas y un 9% en pivotes. Los valores medios de las PEA en riegos nocturnos fueron sólo de un 5% en coberturas y un 4% en pivotes. En cualquier caso, existen evidencias de que durante los riegos diurnos por aspersión, se produce una disminución de la evapotranspiración del cultivo por lo que en realidad las pérdidas netas por evaporación y

arrastre serían menores a las cifras antes indicadas ya que parte de dichas pérdidas contribuirían a satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

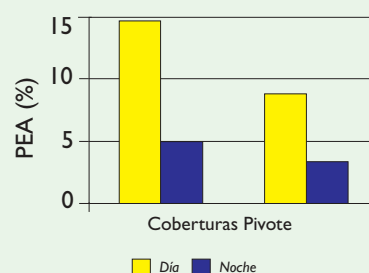


Figura 5. Valores medios de la pérdidas de evaporación y arrastre por el viento (PEA) en las evaluaciones de riegos diurnos y nocturnos en el prototipo de máquina de riego por aspersión (Pivote) y las coberturas fijas (Coberturas) de la finca del CITA en Montañana, Zaragoza.



El riego por aspersión es un sistema de riego muy bien valorado por los regantes aragoneses

Consideraciones finales

Los trabajos de investigación realizados y las propias experiencias de los regantes de aspersión han mostrado claramente que el viento tiene un efecto en estos sistemas de riego disminuyendo la uniformidad del reparto del agua en la parcela y disminuyendo la eficiencia de aplicación del riego debido a que aumentan las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento.

Por otro lado, el riego por aspersión, bien diseñado y aplicado en óptimas condiciones ambientales, es un excelente sistema de riego con unos altos valores potenciales de uniformidad y eficiencia. Además es un sistema de riego muy bien valorado por los regantes aragoneses, muy interesante cuando se usan aguas de buena calidad como es el caso de las grandes zonas regables de Aragón (Bardenas, Monegros, Canal de Aragón y Cataluña) y muy apropiado para los cultivos cerealistas y forrajeros.

Para hacer un uso eficiente del agua en estos sistemas de riego, la incidencia del viento debe ser considerada tanto en el diseño de las redes de distribución como en el propio manejo de los mismos. La red debe diseñarse con la capacidad suficiente para que el regante pueda parar su sistema de riego en los períodos de fuertes vientos.

Trabajos que se han comenzado a abordar por el grupo de investigación del Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente incluyen muchos de estos aspectos y en el futuro se van a iniciar nuevas investigaciones para profundizar en aspectos más concretos como la distribución del viento en comunidades de regantes, establecimiento de valores umbrales de variables de manejo del riego por aspersión, desarrollo de programadores inteligentes de aspersión, etc.

Referencias

- Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp. Sta. Bull. 670. Berkeley, California: 110-116.
- Dechmi, F., Playán, E., Cervero, J., Faci, J.M., Martínez-Cob, A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and corn yield. *Irrigation Science* 22 (2): 67- 77.
- Faci, J.M., Garrido, S., Playán, E., Galán, A. 2005. Efecto del tipo de difusor en la distribución del agua en máquinas de riego por aspersión. *Tierras de Castilla y León*. Número 112: 120-130.
- 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, España, 14-16 junio 2005.
- Puicercús, J. A., Valero, A., Navarro, J., Terrén, R., Zubiaur, R., Martín, F., Iniesta, G. 1994. Atlas Eólico de Aragón. Diputación General de Aragón, Departamento de Industria, Comercio y Turismo. 127 páginas.
- Tarjuelo J.M. 1995. El riego por aspersión y su tecnología. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 491 páginas.