

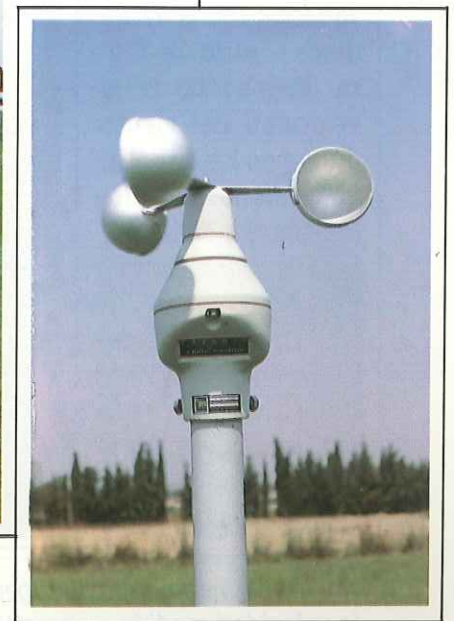


# VIENTO Y ASPERSIÓN

EN LOS REGADÍOS ARAGONESES

José M.<sup>a</sup> Faci González  
Servicio de Investigación Agraria

Ángel Bercero Bercero  
Servicio de Extensión Agraria



**Arriba:**

*La instalación de las boquillas de aspersión cerca de la superficie del suelo disminuye las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento.*

**Derecha:**

*Medidor del recorrido del viento instalado en la finca experimental del S. I. A. Montañana (Zaragoza)*

**EN** este trabajo se presenta en primer lugar un estudio de la dirección y velocidad del viento en el observatorio meteorológico de Zaragoza-aeropuerto.

En segundo lugar, se analizan las relaciones existentes entre la uniformidad del riego por aspersión y la velocidad del viento medida durante las evaluaciones de riego realizadas en sistemas de aspersión de distintos regadíos aragoneses durante los años 1987, 1988 y 1989. Por último, a partir de las estimas de evaporación y arrastre en los sistemas fijos de aspersión, se analiza la relación existente entre estas pérdidas de agua y la velocidad del viento.



## EL VIENTO EN LA AGRICULTURA

El viento comúnmente viene definido por dos magnitudes: la dirección de donde sopla y su velocidad. Las medidas de dirección y velocidad del viento se realizan con la veleta y el anemómetro respectivamente. La dirección se expresa por las iniciales de los puntos cardinales de donde proviene o en grados medidos desde el Norte y la velocidad en m/s o en km/h.

El viento está sometido a perturbaciones producidas por los obstáculos que tiene que atravesar y por el rozamiento con el suelo (Jansá, 1969). Por esta razón la velocidad del viento tiene una fuerte variación con la altura desde el suelo. La altura de medida de la velocidad del viento difiere en los distintos observatorios meteorológicos. Sin embargo, para uso agronómico y especialmente para los estudios del efecto del viento en cultivos y riegos se ha adoptado una altura del anemómetro sobre el suelo de 2 m (Doorenbos, 1976).

A partir del perfil logarítmico del viento sobre la superficie del suelo, la velocidad medida a una altura distinta se puede convertir en velocidad a 2 m.

En muchos casos el relieve tiene una gran influencia en la dirección dominante de los vientos. Así, la disposición del Valle del Ebro, orientado del NW al SE y delimitada por los Pirineos y el Sistema Ibérico, da lugar a un viento característico denominado «cierzo», cuyos rasgos son la intermitencia y la constancia en la dirección (Jansá, 1969).



*Línea de pluviómetros para la evaluación de un ramal móvil de riego por aspersión, instalada en una parcela de la finca experimental del S. I. A. en Montañana.*

El viento es un factor climático que condiciona en muchos aspectos a la producción agrícola. Puede tener efectos positivos como el aporte de CO<sub>2</sub> a las plantas, la contribución al transporte de polen necesario para la fecundación de las flores, la reducción de los riesgos de heladas, etc; o negativos como desecación y endurecimiento de suelos después de riegos o

lluvias, daños físicos en cultivos, tales como destrucción de hojas, brotes y ramas, transporte de enfermedades y semillas de malas hierbas, erosión eólica, propagación del fuego, sequía producida por los fenómenos de advección debida al movimiento de masas de aire seco y cálido, etc.

En la agricultura de regadío, el estudio del viento tiene un interés adicional debido a que este factor afecta de forma considerable a la distribución del agua de riego tanto en los riegos a pie como en los de aspersión.





## VIENTO Y ASPERSIÓN

El viento durante el riego es uno de los factores que más influyen en el comportamiento de los sistemas de aspersión.

Cuando el riego por aspersión se efectúa en condiciones de viento, desciende la uniformidad de aplicación del riego en la parcela y aumentan las pérdidas por evaporación y arrastre de las gotas de agua, lo cual se traduce en un descenso de la dosis de riego realmente aplicada en el terreno.

Las pérdidas por evaporación se producen cuando las gotas producidas por el aspersor atraviesan el aire en su trayectoria hacia la superficie del suelo. Dichas pérdidas dependen fundamentalmente del tamaño de las gotas y de las condiciones ambientales (viento, temperatura y humedad relativa del aire).

Las pérdidas por arrastre del viento se producen cuando las gotas de agua emitidas por los aspersores son arrastradas fuera de la superficie regada antes de alcanzar la superficie del suelo. Estas pérdidas dependen de la intensidad del viento y de la elevación de las boquillas del aspersor sobre el suelo.

Durante el riego por aspersión las pérdidas por evaporación y arrastre de agua por el viento se producen simultáneamente, lo cual dificulta enormemente su estimación individualizada (Seginer, 1971).

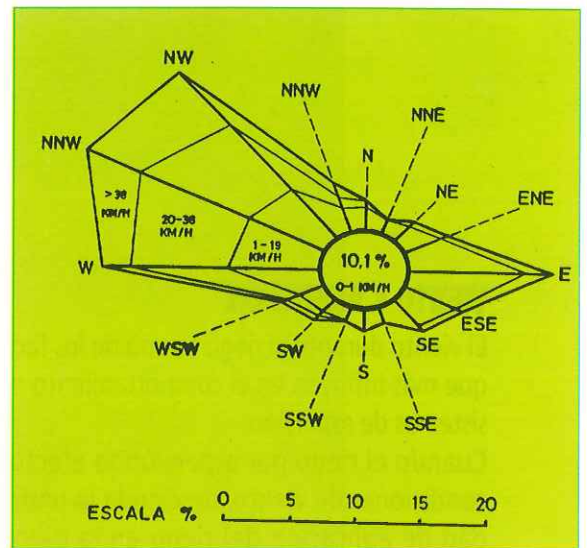
En Aragón, el estudio de la interacción del viento en el riego por aspersión es especialmente importante por dos motivos: 1) la existencia de vientos fuertes y frecuentes con dirección dominante del NW-W (cierzo) y 2) la realización de importantes transformaciones en regadío con sistemas de aspersión.



*Cuadrícula de pluviómetros en un sector de riego por aspersión fija en la parcela experimental de riegos de Valfarta (Huesca) de la Diputación General de Aragón.*



Figura 1: Representación gráfica de las frecuencias de dirección del viento en el observatorio meteorológico de Zaragoza-aeropuerto. La frecuencia en cada dirección es proporcional a la longitud de la barra (Gráfico confeccionado con los datos del centro Meteorológico Zonal de Zaragoza).



## EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

Normalmente la uniformidad de la distribución del riego en los sistemas de aspersión se evalúa a partir de los datos de la cantidad de agua recogida en una cuadrícula o línea de pluviómetros.

Uno de los coeficientes más utilizados para describir la uniformidad del riego por aspersión es el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU), que viene dado por la expresión (Christiansen, 1942):

$$CU = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |d|}{M \cdot n} \right] \cdot 100$$

donde:

n = Número total de pluviómetros  
M = Altura media de agua recogida  
 $\sum_{i=1}^n |d|$  = Suma de los valores absolutos de las desviaciones respecto a la altura media recogida.

Un valor del CU próximo a 100 indica que el riego se ha distribuido de una forma muy homogénea en la parcela mientras que un valor bajo indica una distribución desigual del riego.

Los valores habituales de CU para sistemas de aspersión bien diseñados y en ausencia de viento deben superar el 80 % (Benami y Ofen, 1983)

## VIENTO EN EL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE ZARAGOZA-AEROPUERTO

El estudio del viento se realizó a partir de un resumen de 306.374 datos horarios de dirección y velocidad del viento medido a 21,5 m de altura sobre el suelo en el observatorio meteorológico de Zaragoza-aeropuerto.

El resumen de datos de viento incluía el período comprendido entre 1942 y 1979 y fue facilitado por el Centro Meteorológico Zonal de Zaragoza.

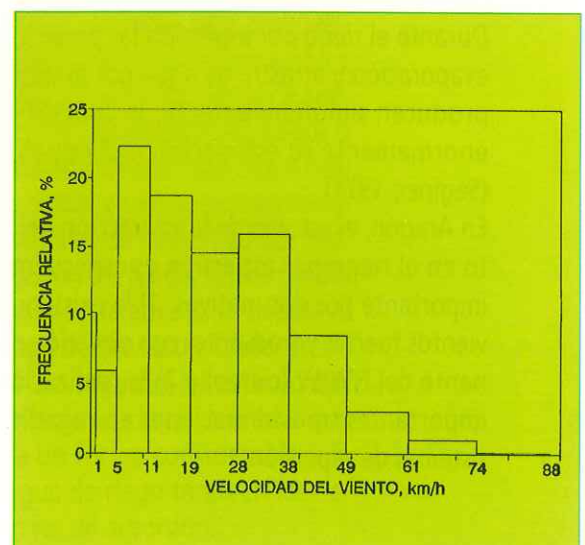
La Figura 1 muestra una representación gráfica de la distribución de la dirección de los vientos en el observatorio de Zaragoza-aeropuerto. En un 10,1 % de las medidas hubo viento en calma (entre 0 y 1 km/h) y en el resto se observa la existencia de vientos dominantes del W, WNW y NW, que representan el 52,7 % del total de las observaciones realizadas.

La Figura 2 presenta el histograma de frecuencias relativas de la velocidad del viento medido a 21,5 m de

altura. Una vez que estos datos son transformados a velocidades de viento a 2 m de altura, se observa que en el 34 % de todos los datos analizados la velocidad del viento superó los 15,5 km/h.

Otros aspectos de interés obtenidos de los datos de viento son los siguientes: 1) en general la velocidad del viento diurno es superior a la del viento nocturno, 2) las velocidades máximas se producen en los meses de invierno y primavera y se suavizan en los meses de verano y 3) en los meses de diciembre a mayo la velocidad máxima se produce de las 12:00 a las 15:00 horas.

Figura 2: Diagrama de frecuencias relativas de los valores horarios de la velocidad del viento a 21,5 m de altura en el observatorio meteorológico de Zaragoza-aeropuerto (Gráfico confeccionado con los datos del centro Meteorológico Zonal de Zaragoza).





## RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU) Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO (V)

A partir de las evaluaciones de distintos sistemas de riego por aspersión de La Loma de Quinto de Ebro, de Sariñena y de la finca experimental de riegos de Valfarta realizadas de 1987 a 1989, se ha estudiado la relación entre el coeficiente de uniformidad (CU) y la velocidad media del viento (u) medida in situ con un anemómetro portátil a 2 m de altura durante las mismas (Faci y Bercero, 1989, 1991).

Dichas evaluaciones se realizaron utilizando la metodológica de Merriam et al. (1980). Faci y Bercero (1989) realizaron una descripción detallada del procedimiento utilizado.

El estudio de las relaciones entre CU y u se ha realizado mediante la utiliza-

En la Figura 4 se presentan solamente los datos de las evaluaciones de los sistemas fijos. En este caso, el valor umbral de u es de 7,6 km/h. Por debajo de este umbral el valor medio de CU es de un 75,6 %, valor similar al obtenido para el conjunto de los sistemas de aspersión evaluados.

Un aspecto que se debe tener en cuenta en estos resultados es que proceden de evaluaciones individuales y de corta duración (inferior a los tiempos de riego de los cultivos) y existe evidencia de que cuanto mayor es el tiempo de aplicación del riego mayor es la uniformidad obtenida y, además, la uniformidad estacional, resultado de la suma de los sucesivos riegos, es en general mayor que la uniformidad de los riegos individuales (Pair, 1968; Benami, Ofen, 1983).

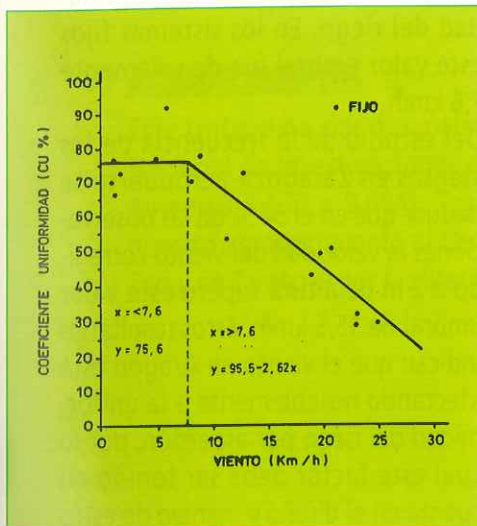
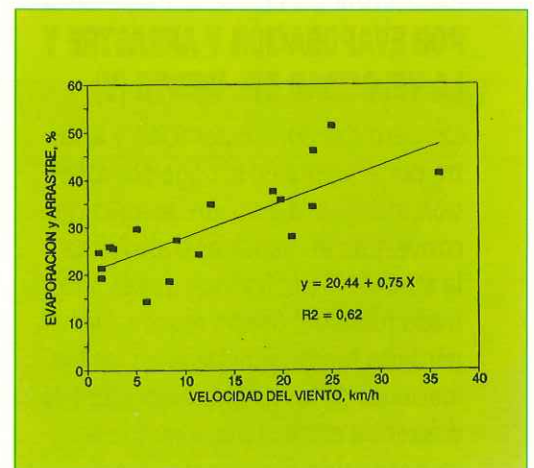


Figura 4: Relación entre el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) y la velocidad del viento (u) medida a 2 m de altura durante el riego en las evaluaciones de los sistemas fijos.

ción del modelo de Maas y Hoffman (1977). Este modelo se utiliza para describir la relación entre dos variables en la que la variable dependiente (CU) toma un valor constante hasta que la variable independiente (u) alcanza un valor umbral, a partir del cual existe una relación lineal negativa entre ambas variables (Figura 3).

De la observación de la figura 3 se deduce que existe un valor umbral de la velocidad del viento (u) a partir del cual se produce un descenso lineal de la uniformidad de los sistemas de aspersión. Para el conjunto de todas las evaluaciones realizadas, este valor umbral de u al que comienza a haber un descenso del CU es de 15,5 km/h. Con velocidades de viento inferiores el valor medio de Cu se mantiene en el 77,5 %.

Figura 5: Regresión lineal entre las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento y la velocidad del viento medida a 2 m de altura durante el riego en las evaluaciones de los sistemas fijos.







*Registrador mecánico de viento instalado en la finca experimental del S. I. A. de Montañana (Zaragoza).*

## RELACIÓN ENTRE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO (V)

Las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento en el riego por aspersión incluyen la fracción de agua que convertida en vapor es transferida a la atmósfera y la fracción que es arrastrada fuera del campo regado. Dichas pérdidas fueron estimadas en las evaluaciones de los sistemas fijos como la diferencia entre la pluviometría teórica producida por los aspersores de acuerdo a su descarga y marco de instalación y la realmente recogida en la red de pluviómetros.

La evaporación producida en el riego por aspersión produce generalmente un descenso de la temperatura y un

aumento de la humedad relativa del aire, lo cual se traduce en un descenso de la transpiración de las superficies vegetales (Silva, James, 1988). Este descenso de la demanda evaporativa del cultivo producido por la evaporación del agua de riego es de muy difícil cuantificación (Cuenca, 1989).

En las evaluaciones de los sistemas fijos del presente trabajo existió una amplia variación de las pérdidas por evaporación y arrastre. Dichas pérdidas variaron entre el 14,0 y el 51,0 % del agua aplicada.

Los valores de las pérdidas de evaporación y arrastre pueden estar sobervalorados por los motivos siguientes: 1) la duración de las evaluaciones fue solamente de 1 a 2 horas, mientras que la duración de los riegos normales de aspersión es sensiblemente mayor; 2) el área de los pluviómetros es pequeña en comparación con la superficie de suelo evaluada y 3) existen pérdidas directas por evaporación de los pluviómetros.

La figura 5 muestra la relación existente, de tipo lineal, entre dichas pérdidas y la velocidad del viento en los

sistemas fijos. Cuanto mayor es la velocidad del viento mayores son las pérdidas. Cabe destacar que incluso en condiciones de calma estas pérdidas se sitúan en el 20,4 % del agua aplicada.

Los resultados obtenidos en los pivotes han sido similares a los de los sistemas fijos.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados del trabajo confirman la fuerte incidencia de la velocidad del viento en la uniformidad de distribución del riego en los sistemas de aspersión.

Para el conjunto de las evaluaciones realizadas en los distintos sistemas se ha encontrado un valor umbral de 15,5 km/h a partir del cual se produce un descenso acusado de la uniformidad del riego. En los sistemas fijos este valor umbral fue de solamente 7,6 km/h.

Del estudio de la frecuencia de los vientos en Zaragoza-aeropuerto se deduce que en el 34 % de las observaciones la velocidad del viento corregido a 2 m de altura superó este valor umbral de 15,5 km/h. Estos resultados indican que el viento en Aragón está afectando notablemente a la uniformidad del riego por aspersión, por lo cual este factor debe ser tenido en cuenta en el diseño y manejo de estos sistemas de riego. Así, el marco elegido para los aspersores debe producir un solape suficiente de las distribuciones de agua de los aspersores en condiciones de viento moderado. Asimismo, desde un punto de vista práctico es recomendable evitar el riego por aspersión en condiciones de viento fuerte.

La estimación de las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento en el riego por aspersión es muy difícil, ya que la metodología normalmente utilizada (diferencia entre la descarga de los aspersores y la cantidad de agua recogida en una red de pluviómetros) no es representativa de las



pérdidas realmente producidas en la aplicación del riego y muy a menudo son mal interpretadas. Parte de estas pérdidas contribuyen a disminuir las necesidades hídricas del cultivo, por lo cual no deberían ser consideradas propiamente como tales pérdidas. En las evaluaciones de los sistemas fijos del presente trabajo se ha encontrado una relación lineal entre dichas «pérdidas» y la velocidad del viento, pero debido a la corta duración de las evaluaciones y a las limitaciones expuestas de la propia metodología utilizada para la estimación, esta relación obtenida debe ser considerada con precaución.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (proyectos números 5.513 y 8.084). También extendemos nuestro agradecimiento al Centro Meteorológico Zonal de Zaragoza por facilitar los datos del viento.

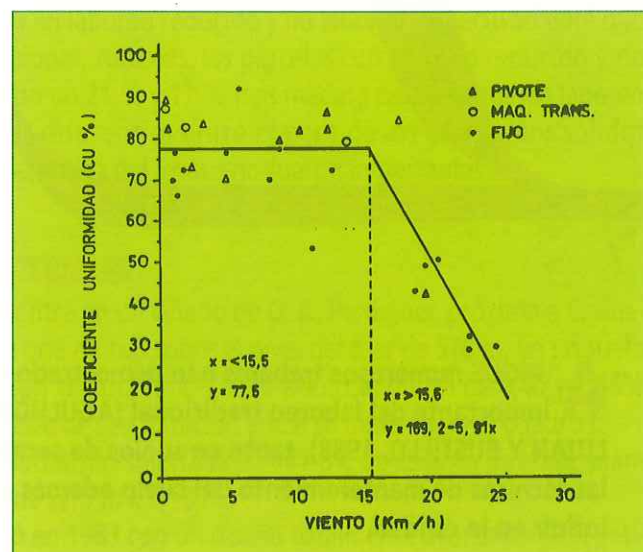


Figura 3: Relación entre el coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen y la velocidad del viento (u) medida a 2 m de altura durante el riego para el conjunto de las evaluaciones realizadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- NENAMI, A, OFEN, A. 1983. Irrigation engineering sprinkler, trickle, surface, surface irrigation, principles, design and agricultural practices. Irrigation Engineering Scientific Publications.
- CUENCA, R. H. 1989. Irrigation systema design: An engineering approach. Prentice-Hall inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 552 p.
- CHRISTIANSE, J. E. 1942 Irrigation by sprinkling. Univ. of California Agric. Exp. Sta. Bull. 670. 124 p.
- DOORENBOS, J. 1976. Agro-meteorological fields stations. Irrigation and Drainage Paper 27. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma, Italia. 94 p.
- FACI, J., BERCERO, A. 1989. Medida de la uniformidad del riego por aspersión aplicado bajo condiciones variadas de presión de funcionamiento y de viento y por sistemas diversos. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 4 (1): 97-117.
- FACI, J, BERCERO, A. 1991. Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 6 (2): 171-182.
- JANSA, J. M<sup>o</sup>. 1969. Curso de climatología. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. 445 p.
- MAAS, E. V., HOFFMAN, G. J. 1977. Crop salt tolerance. Current Assessment. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 103(2):115-134.
- MERRIAM, J. L., SHEAR, M. N, BURT, C. M. 1980. Evaluating irrigation systems and practices. En: Design and operation of farm irrigation systems, 721-776. M. E. Jensen. A. S. A. E. Michigan, USA.
- PAIR, C. H. 1968. Water distribution under sprinker irrigation. Transactions of A. S. A. E. 11 (5): 648-651.
- SILVA, W. L. C., JAMES, L. G. 1988. Modeling evaporation and microclimate changes in sprinkler irrigation: I. Model formulation and calibration. Transactions of A. S. A. E. 31 (5): 1481-1486.