

# DETERMINACIÓN AL AIRE LIBRE DE LA CURVA RADIAL DE DESCARGA DE AGUA DE UN ASPERSOR CON BOQUILLAS DE PLÁSTICO

Talel Stambouli<sup>1</sup>, Nery Zapata<sup>2</sup>, Enrique Playán<sup>2</sup> y Jose M. Faci<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Carthage, Ecole Supérieure d'Agriculture, Mograne 1121, Túnez

<sup>2</sup> Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) Avenida Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España

<sup>3</sup> Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Avenida Montañana 930, 50059 Zaragoza, España

## RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los resultados de 26 evaluaciones de la distribución de agua de un aspersor aislado realizadas al aire libre y con el viento en calma en una parcela provista de cortavientos de la finca experimental del CITA en Zaragoza. El aspersor utilizado fue un aspersor de impacto con el cuerpo de bronce y dos boquillas de plástico. De acuerdo

a los valores de velocidad del viento, dominancia de la dirección del viento y desviación estándar de la pluviometría recogida en cuatro radios de pluviómetros, se seleccionaron 8 de estas evaluaciones para definir la curva radial del aspersor para distintas combinaciones de diámetro de la boquilla principal y presión de funcionamiento. Asimismo las curvas resultantes se compararon con las de otros modelos de aspersor con boquillas de latón. Esta comparación mostró que el modelo de aspersor y tipo de boquilla tienen un efecto importante en la forma de la curva radial y por lo tanto en la distribución de agua. Asimismo, los resultados de estas evaluaciones mostraron que vientos muy flojos pero con dirección dominante provocan importantes deformaciones en la curva radial del aspersor.

## 1º.- LA CURVA RADIAL DE LOS ASPERSORES

El conocimiento del patrón de distribución de agua a lo largo del radio mojado de los aspersores es crucial para caracterizar la distribución y uniformidad de las coberturas de riego por aspersión. En condiciones de viento en calma

Foto 1. Vista del dispositivo experimental de evaluación del aspersor aislado con los cortavientos vegetales al fondo.



esta distribución es circular e igual en todas las direcciones alrededor del aspersor. La evolución de la descarga de agua del aspersor (mm/h) en función de la distancia al aspersor se denomina curva radial del aspersor.

Una curva radial representativa debe obtenerse en condiciones de calma completa para evitar la fuerte influencia del viento en la distribución del agua del aspersor. Idealmente estas curvas radiales deben obtenerse en naves preparadas para estas evaluaciones como la existente en el Laboratorio Central de Ensayo para Materiales y Equipos de Riego del Centro Nacional de Tecnología del Regadíos en San Fernando de Henares, Madrid. Sin embargo muy a menudo no se dispone de estos medios y por ello los ensayos para obtener las curvas radiales se efectúan al aire libre durante periodos de viento en calma. Sánchez y col. (2011) realizaron ensayos para la obtención de las curvas radiales de aspersores de impacto colocando líneas de pluviómetros a lo largo de los cuatro radios en direcciones Norte, Sur, Este y Oeste alrededor de un aspersor aislado (Foto 1). Estos autores encontraron que incluso con velocidades del viento muy bajas pero con una ▶▶▶

►►► dirección dominante, la distribución del agua era diferente en los cuatro radios de pluviómetros. Dieron cuenta de un valor umbral de la velocidad del viento de 0,6 m/s (2,2 km/h) por encima del cual la determinación de la curva radial al aire libre deja de ser fiable. En condiciones de viento se produce un desplazamiento de la distribución de agua aplicada por el aspersor en la dirección del viento. Así, el radio mojado por el aspersor es mayor en la dirección del viento que en la dirección opuesta al viento dominante. Asimismo, el chorro emitido en la dirección perpendicular al viento reduce su alcance, por lo que la zona mojada por el aspersor se estrecha.

En el riego por aspersión se produce una distribución de gotas de distintos diámetros. Las gotas de mayor diámetro vuelan más lejos y las de pequeño diámetro caen más cerca del aspersor. El brazo del aspersor de impacto rompe el chorro de agua produciendo unas gotas de pequeño diámetro que son arrastradas y evaporadas más fácilmente que las gotas gruesas. Además del viento hay otros factores que influyen en la distribución del agua de los aspersores como son: el diseño del propio aspersor, el ángulo de descarga del chorro, el número, diámetro y diseño de las boquillas, la presión de trabajo, la presencia de vaina prolongadora en la boquilla principal, la altura de las boquillas sobre el suelo, y la duración del evento de riego (Tarjuelo, 2005).

Normalmente la información técnica de los catálogos de las casas comerciales de aspersores suele incluir unas tablas con los valores de la descarga del aspersor, el radio mojado y la pluviometría a distintos marcos de aspersión para distintas presiones de funcionamiento y diámetros de boquilla. Sin embargo estos catálogos no suelen incluir los datos de la curva radial del aspersor y actualmente hay una demanda creciente por parte de los técnicos para conocer mejor las características de los distintos materiales de riego y así hacer una elección más adecuada de los aspersores en las instalaciones.

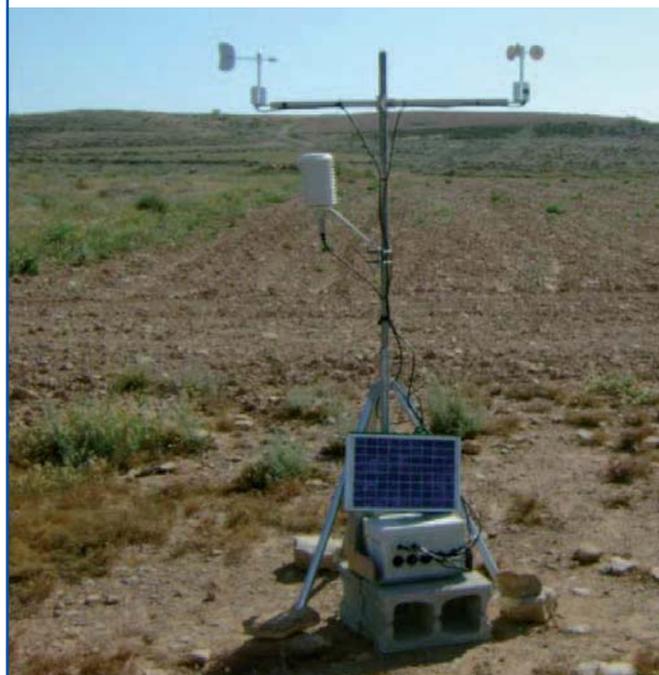
## 2º.- LOS ASPERSORES CON BOQUILLAS DE PLÁSTICO

En muchas de las coberturas fijas de riego por aspersión del Valle del Ebro se utilizan aspersores de impacto con el cuerpo de bronce y boquillas también de bronce roscadas al cuerpo del aspersor. Cuando las boquillas de estos aspersores se obturan es necesario usar una llave para desmontarlas y limpiarlas. Esta tarea se complica debido a que los aspersores normalmente están instalados a una altura sobre el suelo por encima de 2 m. Esta altura de instalación de los aspersores se debe fundamentalmente a que los sistemas de riego están preparados para el riego del maíz, que tiene un porte alto. Además en el proceso de limpieza se puede perder fácilmente la vaina prolongadora que va colocada en el interior de la

Foto 2. Aspersor RC 130-BY con boquillas de plástico y RC 130-L con boquillas de latón.



Foto 3. Estación meteorológica automatizada con la que se miden las variables meteorológicas a frecuentes intervalos.



boquilla principal del aspersor.

Para evitar estos inconvenientes, algunos fabricantes de aspersores están desarrollando aspersores con el cuerpo de bronce o de plástico y con las boquillas de plástico que se pueden quitar y poner fácilmente en el cuerpo del aspersor sin necesidad de herramientas usando un enganche tipo bayoneta. En el interior de estas boquillas hay unas estrías grabadas paralelas a la dirección del flujo de agua que evitan el uso de la vaina prolongadora.

Estas estrías hacen la misma función que la vaina prolongadora, formando un chorro de agua más compacto y con mayor alcance de forma que la distribución del agua se ve menos afectada por la velocidad del viento. En distintos ►►►



▶▶▶ trabajos se observa que usando la vaina prolongadora del chorro en el aspersor con velocidades del viento por encima de 2 m/s (7,2 km/h) se consiguen mayores valores del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) (Tarjuelo, 2005). Por otro lado, las boquillas de plástico presentan la ventaja respecto a las de latón de tener un menor coeficiente de variación en la fabricación. Estas ventajas están llevando a que en la actualidad las boquillas de plástico sean la primera opción en los aspersores de impacto.

### 3.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EFECTUADO PARA DETERMINAR LA CURVA RADIAL EN ASPERSORES CON BOQUILLAS DE PLÁSTICO

Para conocer mejor las características técnicas de los aspersores con boquillas de plástico se realizó una serie de evaluaciones de un aspersor aislado equipado con ellas con el objetivo de determinar su curva radial para distintas presiones de funcionamiento y tamaños de boquilla principal. El aspersor se instaló al aire libre a 2 m sobre el nivel del suelo en una parcela protegida por cortavientos de la finca experimental del CITA en Montaña, Zaragoza.

Se utilizó el aspersor RC 130-BY (Riegos Costa, Lérida, España) que dispone de un cuerpo de bronce y dos salidas para la inserción de las boquillas principal y auxiliar con enganche tipo bayoneta. Estas boquillas se insertan y se sacan de las salidas del cuerpo del aspersor mediante un sencillo giro manual de la boquilla de un cuarto de vuelta.

En las evaluaciones del aspersor se siguieron las recomendaciones de Merriam y Keller (1978) y las normas ISO para la evaluación de aspersores. La mención de nombres comerciales de los productos usados en este trabajo tiene el único fin de proporcionar información específica y no implica recomendación ni aprobación por el CITA-DGA o por el CSIC.

El aspersor RC 130-BY se instaló en el centro de una cruz

**Tabla 1. Condiciones meteorológicas y de funcionamiento durante las 26 evaluaciones del aspersor individual modelo RC130-BY (Riegos Costa, Lleida, España) con boquillas de plástico: diámetros interiores de la boquilla principal y auxiliar (D + d, mm), presión de funcionamiento (p, kPa), tiempo de riego (TR, h), descarga del aspersor (Q, L/h), temperatura media del aire durante el riego (T, °C), humedad relativa del aire durante el riego (HR, %), valor medio de las desviaciones estándar de la precipitación recogida en las 34 posiciones de los pluviómetros en los 4 radios (SD, mm/h), valor medio de la velocidad del viento (U, m/s), dirección dominante del viento (UD) y frecuencia de la dirección dominante del viento (Fr, %). En color verde se han señalado las evaluaciones seleccionadas para determinar la curva radial.**

D+d (mm)	p (kPa)	TR (h)	Q (L/h)	T (°C)	HR (%)	DE (mm/h)	VIENTO		
							U (m/s)	UD	Fr. (%)
	200	2.0	1138	7.2	90	0.40	1.1	NW	50
	194	2.0	1140	17.7	47	0.21	0.7	ENE	50
	196	3.5	1140	27.2	46	0.11	1.0	SE	14
	277	2.0	1377	21.7	44	0.10	0.7	SW	75
	285	2.0	1400	9.2	71	0.18	0.8	S	25
4+2,5	271	1.9	1346	28.5	45	0.18	0.8	ENE/NE <sup>+</sup>	34
	386	2.0	1567	9.2	64	0.39	1.1	N	25
	386	2.0	1570	12	63	0.56	0.3	SW/SSW <sup>+</sup>	80
	388	2.0	1580	14	67	0.36	0.6	SSE	75
	390	2.0	1593	14.6	53	0.80	1.2	S	33
	360	3.0	1544	22.4	47	0.48	1.2	SW/SSW <sup>+</sup>	50
	400	2.0	1678	24.3	48	0.16	0.9	NW	22
	173	1.9	1312	13.5	52	0.29	0.8	WNW	75
4,5+2,5	175	2.0	1298	6.7	89	0.13	0.3	SE	50
	188	2.0	1411	24.3	45	0.24	0.6	N	20
	183	2.1	1390	26.8	52	0.29	1.0	W	19
	198	1.9	1448	19.3	48	0.14	0.9	NNE	29
	290	2.0	1598	10.2	80	0.33	0.3	WNW	75
	293	2.0	1595	5.9	78	0.28	0.4	N	75
	290	2.0	1677	27.4	48	0.13	0.8	NE/NNE <sup>+</sup>	24
	369	2.0	1847	6.5	74	0.41	0.9	NO	25
370	2.0	1850	14.1	51	0.16	0.6	SE	25	
372	2.1	1924	23.3	53	0.47	1.3	NW/WNW <sup>+</sup>	60	
5+2,5	214	2.0	1930	4.2	100	0.19	0.6	NW	33
	292	2.1	2064	7.1	99	0.17	1.0	SSO	33
	385	2.1	2372	11.3	75	0.30	1.5	N	77

<sup>+</sup> Se dieron dos direcciones dominantes del viento

formada por cuatro radios de pluviómetros perpendiculares entre si y orientados según los cuatro puntos cardinales (Figura 1). En cada radio los pluviómetros se instalaron a equidistancias de 0,5 m desde 0,3 m del aspersor hasta 16,3 m (Figura 1). Se instalaron 4 pluviómetros adicionales a 0,15 m del aspersor para determinar con mayor precisión la pluviometría recogida en la zona adyacente al aspersor.

Los soportes de los pluviómetros se clavaron en el suelo de forma que la base de los mismos quedó a ras de la superficie del suelo y la boca superior a 40 cm sobre el suelo. En cada radio se instalaron 34 pluviómetros. Los pluviómetros utilizados eran de plástico transparente, tronco-cónicos, con una altura total de 40 cm, con un diámetro en su parte ▶▶▶

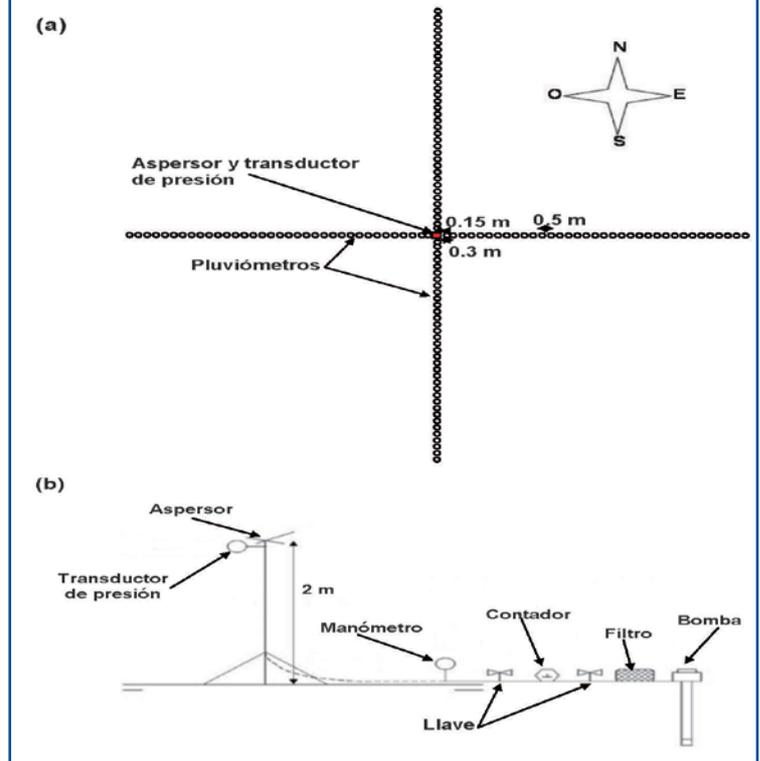
►►► superior de 16 cm y con divisiones de 1 mm de precipitación. La capacidad máxima de medida de precipitación de los pluviómetros era de 45 mm. Los pluviómetros se leyeron inmediatamente tras el riego.

Se utilizaron 3 tamaños de la boquilla principal (diámetro interior de 4,0 mm, 4,5 mm y 5,0 mm). En todas las evaluaciones del aspersor individual se utilizó una boquilla auxiliar de plástico de 2,5 mm de diámetro interior. Se realizaron evaluaciones a tres rangos de presión de trabajo del aspersor de 200 kPa, 300 kPa y 400 kPa (2, 3 y 4 bar, respectivamente). Las evaluaciones se realizaron cuando el viento al comienzo de las mismas era inferior a 1 m/s. La duración de cada evaluación fue de 2 horas. En total se efectuaron 26 evaluaciones del aspersor individual.

La presión de funcionamiento se controló con llaves de paso y un manómetro en el cabezal de control del ensayo (Figura 1). La presión de funcionamiento en el aspersor se midió a intervalos de 5 minutos con un transductor de presión instalado en el tubo porta-aspersor a 20 cm del aspersor. La descarga del aspersor (Q, L/s) se midió con un contador volumétrico instalado en el cabezal de control del ensayo como la diferencia entre la lectura final e inicial en cada evaluación. El contador volumétrico tenía una precisión de 0,1 L. La velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa del aire durante las evaluaciones se midió cada 5 minutos con una estación meteorológica automatizada instalada en las inmediaciones de la parcela experimental (Foto 3). Una vez acabado cada evento de riego se midió la altura de agua recogida en los 4 radios de pluviómetros. En cada evaluación se determinó la precipitación media (mm/h) y la desviación estándar (DE, mm/h) a lo largo del radio mojado (en las 34 posiciones de medida) y la desviación estándar media (media de las 34 desviaciones).

Para cada combinación de diámetro de boquilla principal y presión de funcionamiento, se seleccionaron aquellas evaluaciones que tuvieron los menores valores de la desviación estándar (DE) para caracterizar la curva radial del aspersor.

**Figura 1. Líneas de pluviómetros en los cuatro radios en las direcciones de los cuatro puntos cardinales alrededor de un aspersor aislado para determinar la distribución de agua del aspersor (a) y esquema del cabezal de riego para el suministro de agua al aspersor y regulación de la presión (b).**



#### 4.- RESULTADOS DEL ENSAYO EFECTUADO PARA DETERMINAR LA CURVA RADIAL DE ASPERSORES CON BOQUILLAS DE PLÁSTICO

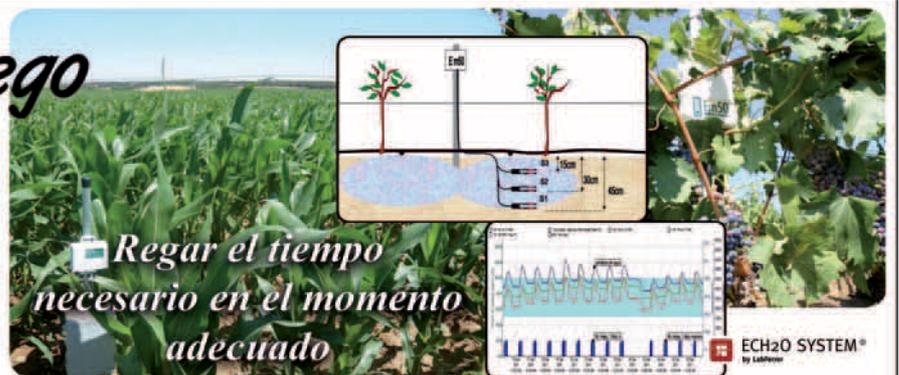
La Tabla 1 presenta un resumen de los resultados de las 26 evaluaciones del aspersor analizado para las distintas combinaciones de presión de funcionamiento y diámetro de la boquilla principal. La duración de las evaluaciones del aspersor individual varió de 1,9 horas a 3,5 horas, con una duración media de 2,1 horas. La mayor parte de las evaluaciones se efectuaron con el viento en calma pero en algunos casos la velocidad del viento aumentó durante la evaluación afectando a la distribución del agua y aumentando la desviación estándar entre los radios de pluviómetros. ►►►



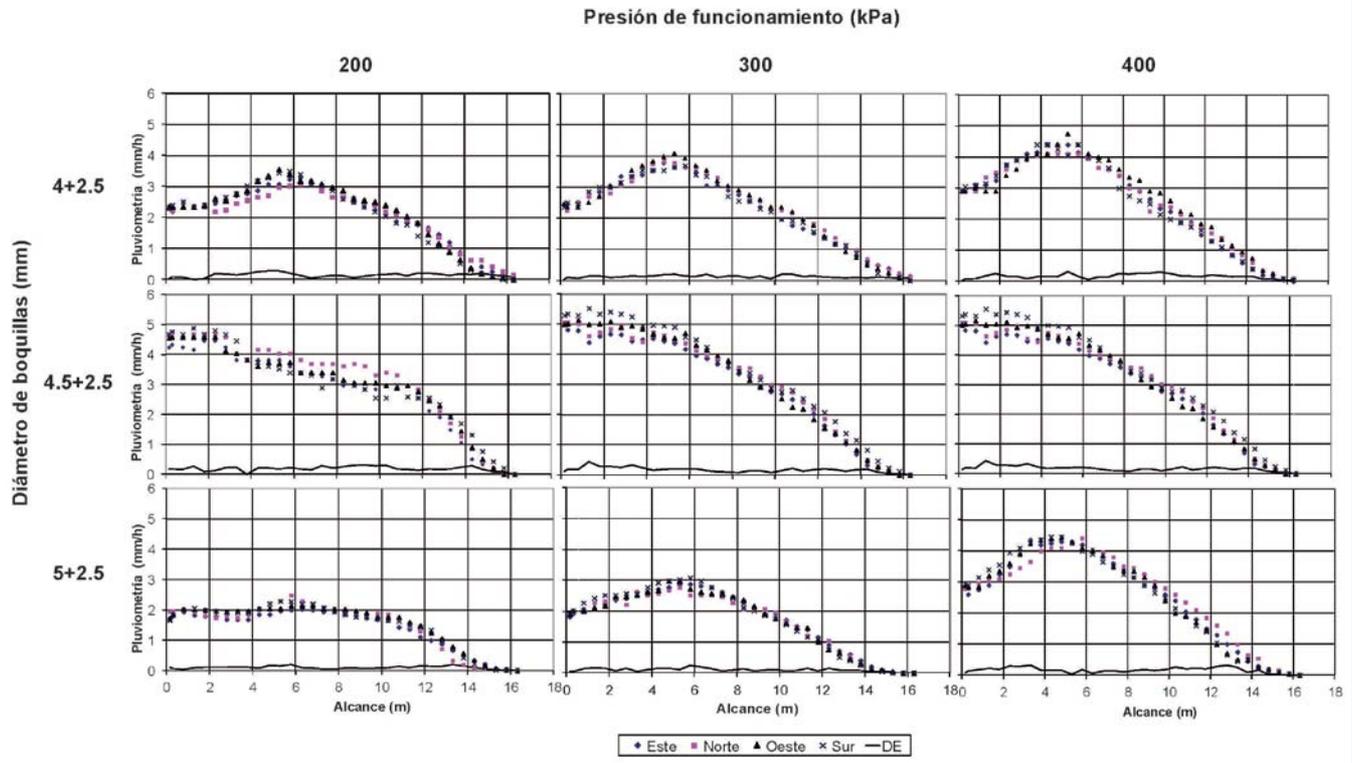
**Efi-Riego**  
Consultoría agrícola

Monitorizando el contenido de agua del suelo mediante sensores, asesoramos al regante para hacer un uso más eficiente del riego

[www.efi-riego.com](http://www.efi-riego.com)  
Tel. 616 75 62 95



**Figura 2. Valores de la pluviometría (P, mm/h) recogida en los cuatro radios de pluviómetros en las direcciones Norte, Sur, Este y Oeste a lo largo del radio mojado del aspersor RC 130-BY en las 9 evaluaciones seleccionadas con menores valores de la desviación estándar (DE) de la pluviometría. Los puntos corresponden a la pluviometría medida en los pluviómetros. Las curvas corresponden a los valores de la DE (mm/h) de la pluviometría medida e lo largo de los cuatro radios.**



Los resultados mostraron que en estos ensayos al aire libre es prácticamente imposible conseguir hacer las evaluaciones en condiciones de calma completa. Siempre hay algo de viento aunque éste sea imperceptible. El valor medio de la velocidad del viento durante las evaluaciones fue de 0,8 m/s (2,9 km/h), con un rango situado entre 0,3 y 1,5 m/s.

La distribución de agua de cada evaluación se calculó como el valor medio de la pluviometría (mm/h) recogida en las mismas posiciones de los cuatro radios de pluviómetros asumiendo que la distribución del agua aplicada es similar en los cuatro radios con el viento en calma. Sin embargo en algunas de las evaluaciones hubo diferencias importantes entre las alturas recogidas en los cuatro radios de pluviómetros. Estas diferencias se detectan fácilmente por los mayores valores de la DE.

A título ilustrativo en la Figura 2 se presentan los valores de la pluviometría recogida en los cuatro radios de pluviómetros y la curva de la desviación estándar (DE) a lo largo del radio mojado en las 9 evaluaciones que tuvieron unas condiciones más adecuadas para ser representativas de la curva radial del aspersor (menor velocidad del viento y menor desviación estándar de la pluviometría). De estas nueve evaluaciones elegidas para las nueve combinaciones estudiadas de diámetro de boquilla principal y presión

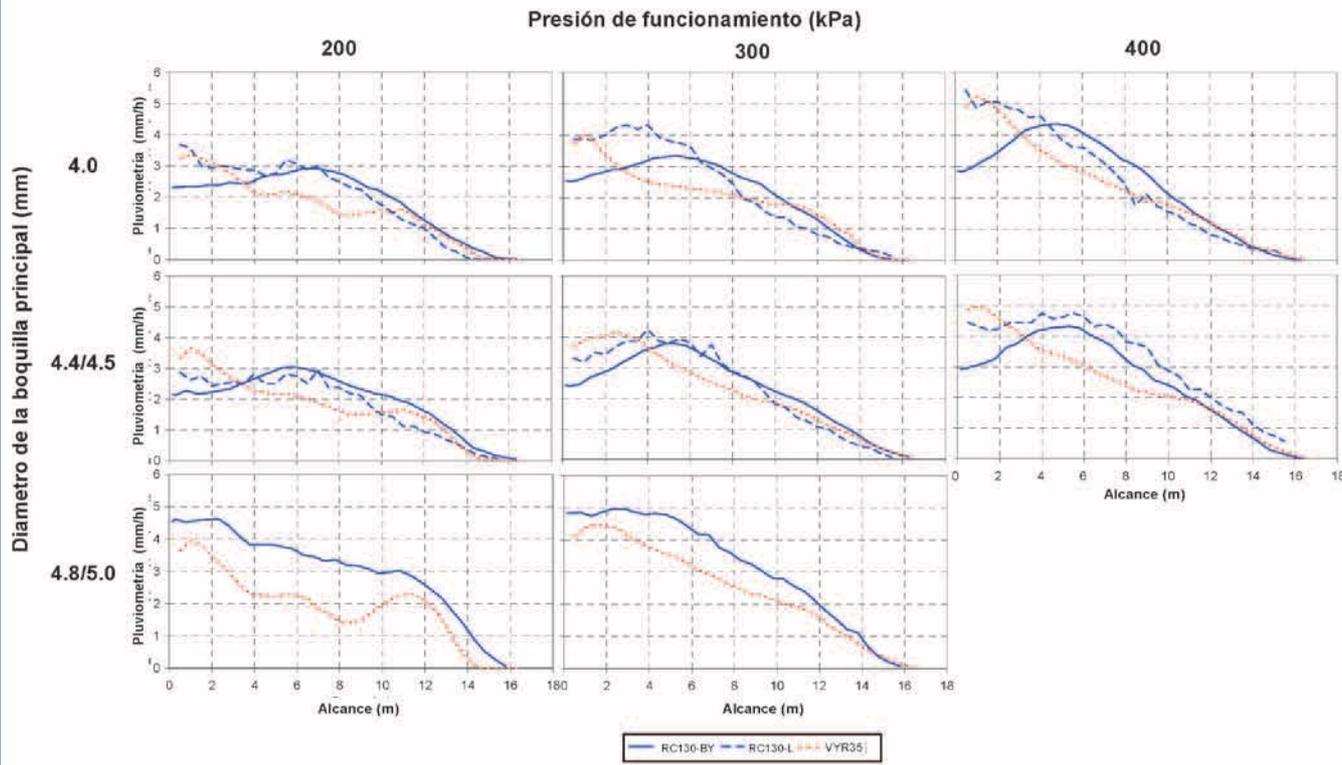
de funcionamiento, la obtenida para los diámetros 5+2,5 mm y presión de 400 kPa no fue apta para representar la curva radial ya que la velocidad del viento fue de 1,5 m/s y hubo una alta frecuencia de viento dominante (77%) (Figura 2).

En la Tabla 1 se presenta el valor medio de la DE de las 34 posiciones de los pluviómetros para cada evaluación. Este valor resume la igualdad o desigualdad de la distribución del agua en los cuatro radios de pluviómetros en cada evaluación. El valor medio de la desviación estándar para todas las evaluaciones fue de 0,3 mm/h y tuvo una variación de 0,1 a 0,8 mm/h.

La velocidad del viento no fue la única variable que afectó a la distribución del agua del aspersor. Los resultados también mostraron que la dirección del viento fue una variable que afectaba a la distribución del agua en los cuatro radios de pluviómetros. Sánchez y col. (2011) encontraron que con una dirección dominante del viento incluso de muy baja velocidad producía una distorsión de la distribución del agua. Por ello para una buena selección de la curva radial es necesario evaluar la dirección dominante del viento además de su velocidad. En la Tabla 1 se presentan los valores de la frecuencia de la dirección dominante del viento durante las evaluaciones.

De acuerdo a los criterios comentados para la

**Figura 3. Distribución de la pluviometría a lo largo del radio mojado (curva radial) del aspersor con boquillas de plástico modelo RC130-BY (Riegos Costa, Lérida, España) con boquillas (4+2,5 mm, 4,5+2,5 mm y 5+2,5 mm) y tres presiones de funcionamiento (200 kPa, 300 kPa y 400 kPa). Falta la curva radial para la combinación de 5+2,5 mm de diámetro y 400 kPa. Para comparación se han incluido las curvas de los aspersores con boquillas de latón modelos RC130-L y VYR-35 con boquillas 4+2,4 mm, 4,4+2,4 mm y 4,8+2,4 mm y mismas presiones de funcionamiento.**



►►► selección de la curva radial (velocidad del viento, dirección dominante del viento y desviación estándar de las alturas recogidas en los cuatro radios de pluviómetros), se seleccionaron 8 evaluaciones que fueron representativas para la obtención de la curva radial del aspersor estudiado para distintas condiciones de presión de funcionamiento y diámetro de boquilla principal. En estas 8 evaluaciones la frecuencia de la dirección del viento fue inferior al 33 % durante la duración del ensayo, la distribución del agua por el aspersor no fue desplazada por el viento y la pluviometría recogida fue prácticamente la misma en los cuatro radios. El valor medio de la desviación estándar de las alturas recogidas en las 34 posiciones de los pluviómetros tuvo un rango comprendido entre 0,1 mm/h y 0,2 mm/h.

Finalmente las 8 curvas radiales obtenidas para las combinaciones de tres diámetros de boquilla (4,0+2,5 mm, 4,5+2,5 mm y 5,0+2,5 mm) y tres presiones de funcionamiento (200, 300 y 400 kPa) se presentan en la Figura 3. La evaluación realizada para la combinación de diámetros de boquilla de 5,0+2,5 mm y presión de funcionamiento de 400 kPa no cumplió los requisitos necesarios para ser utilizada como una curva radial representativa debido a que la velocidad del viento durante esa

evaluación fue de 1,5 m/s con una dirección dominante del Norte (Tabla 1).

## 5.- COMPARACIÓN DE LAS CURVAS RADIALES DE LOS ASPERSORES CON BOQUILLAS DE PLÁSTICO Y DE LATÓN

Las curvas radiales seleccionadas del modelo de aspersor estudiado equipado con boquillas de bayoneta (modelo RC 130-BY) se compararon con las curvas radiales del mismo modelo de aspersor pero con boquillas de latón (modelo RC 130-L) y el aspersor VYR-35 (VYRSA, Burgos, España) equipado con boquillas de latón, evaluados por el Grupo de Riego Agronomía y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. Todos los modelos de aspersor analizados se utilizan ampliamente en las coberturas de riego por aspersión en el Valle del Ebro. Las comparaciones de las curvas radiales se hicieron para condiciones similares de diámetro de boquillas y presión de funcionamiento.

La Figura 3 muestra las curvas radiales de los tres modelos. Hay que destacar que hay pequeñas diferencias en los diámetros de las boquillas y en la presión de funcionamiento entre los distintos modelos de aspersor. El diámetro de la boquilla principal en el aspersor RC 130-BY era de 4 mm, 4,5 mm y 5,0 mm mientras que los correspondientes ►►►



▶▶▶ diámetros de las boquillas de latón eran de 4 mm, 4,4 mm y 4,8 mm en los aspersores RC 130-L y VYR-35. En todos los casos se utilizó una boquilla auxiliar que tenía un diámetro de 2,5 mm en el aspersor experimental RC130-BY y de 2,4 mm en la boquilla de latón en los aspersores RC130-L y VYR-35. Los aspersores RC 130-L y VYR-35 incluyeron una vaina prolongadora en la boquilla principal. Las presiones de funcionamiento no fueron exactamente las mismas para los distintos modelos de aspersor pero las diferencias fueron muy pequeñas.

Las curvas radiales mostraron importantes diferencias entre los modelos de aspersor (Figura 3). Estas diferencias en la curva radial se deben fundamentalmente al modelo de aspersor (diferencias entre las curvas rojas y azules de la Figura 3) y a las boquillas (diferencia entre las curvas azules continuas y las azules punteadas de la Figura 3). Tal como se muestra en la Figura 3, el aspersor equipado con boquillas de plástico aplicó menos agua en la franja comprendida entre 2,5 m y 6,0 m del aspersor que los otros dos modelos de aspersor equipados con boquillas de latón, excepto en los dos casos de la boquilla mayor (Figuras 3g y 3h). Estas diferencias pueden ser debidas a que los diámetros de la boquilla principal difieren en mayor medida (5,0 mm en el RC130-BY y 4,8 mm en el VYR-35).

El análisis estadístico de muestras pareadas efectuado para determinar si las curvas radiales del aspersor equipado con boquillas de plástico o de latón eran iguales o diferentes mostró que las curvas radiales sólo fueron similares estadísticamente en dos casos; con la boquilla principal de diámetro de 4,5 mm y 4,4 mm, respectivamente a las presiones de funcionamiento de 200 kPa y 300 kPa. En las otras combinaciones de presión y diámetro de boquilla las curvas radiales de ambos fueron diferentes. La forma de la curva radial depende principalmente del modelo de aspersor, es decir de su diseño interno, del tipo de boquilla, del ángulo de descarga y del brazo que rompe el chorro y hace girar el aspersor.

En la literatura se muestran tres formas típicas de la curva radial del aspersor de impacto: la triangular, la rectangular y la de tipo donut o rosquilla. La forma triangular corresponde, en general a un aspersor con dos boquillas, la forma rectangular a una boquilla sin vaina prolongadora y la forma de rosquilla a una baja presión de funcionamiento del aspersor (Tárjuelo, 2005). Las curvas radiales obtenidas en el presente trabajo no se corresponden exactamente con ninguno de estas tres formas típicas de la curva radial, sino que más bien son combinaciones de ellas.

## 6.- CONCLUSIONES

La información sobre las características técnicas de los aspersores de impacto suministrada en los catálogos de las casas comerciales es, a veces, insuficiente para el diseño óptimo del riego por aspersión. La información de la curva radial del as-

persor para distintos valores de diámetros de boquilla y presión de funcionamiento representaría una importante ayuda para el diseño óptimo de las instalaciones de riego por aspersión.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que la caracterización de la curva radial del aspersor de impacto con boquillas de plástico, en las evaluaciones del aspersor aislado al aire libre, requiere tomar precauciones específicas debido a que bajas velocidades del viento alteran la distribución del agua. Se recomienda que las evaluaciones para obtener la curva radial se efectúen con velocidad del viento menor de 0,6 m/s (2,2 km/h) y en ausencia de una dirección dominante del viento (Sánchez y col, 2011). La desviación estándar media, de los valores de la pluviometría recogida en los cuatro radios de pluviómetros instalados alrededor del aspersor, debe ser inferior a 0,2 mm/h para que la evaluación sea adecuada para definir la curva radial del aspersor. Si no se cumplen estas condiciones, los datos experimentales no servirán para determinar una curva radial fiable. Muchas de las evaluaciones del aspersor individual efectuadas en el presente trabajo no sirvieron para definir la curva radial del aspersor porque la velocidad del viento superó valores de 1,0 m/s (en 5 evaluaciones) y la frecuencia de los vientos dominantes superó valores del 33% (en 13 evaluaciones). De las 26 evaluaciones efectuadas, bajo las 9 combinaciones de presión de funcionamiento (200, 300 y 400 kPa) y diámetro de boquilla principal (4 mm, 4,5 mm y 5 mm) estudiados en el presente trabajo, sólo 8 fueron adecuadas para la determinación de la curva radial del aspersor estudiado.

La curva radial del mismo aspersor equipado con boquillas de plástico o con boquillas de latón fue diferente en la mayoría de las combinaciones de presión y tamaño de boquillas analizadas. Solamente en dos combinaciones de presión y diámetro de boquilla las curvas fueron similares, con diámetro de 4,5 mm en plástico y 4,4 mm en latón y presiones de 200 y 300 kPa. La principal diferencia entre las curvas radiales se da en la zona cercana al aspersor.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal de campo del CITA Miguel Izquierdo, Jesus Gaudó, Juan Manuel Acín y Ricardo Santolaria. Al MCINN por la financiación de los proyectos de investigación AGL2007-66716-C03-01/02 y AGL2010-21681-C03-01/03. Al Programa FPI-MICINN por la concesión de una beca doctoral a Talel Stambouli.

## REFERENCIAS

- Merriam J. L. y Keller J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Utah State University, Logan, Utah. 271 pp.
- Sánchez I., Faci J. M., Zapata N. (2011). The effects of pressure, nozzle diameter and meteorological conditions on the performance of agricultural impact sprinklers. *Agricultural Water Management* 102(1): 13-24.
- Tárjuelo, J.M., 2005. El riego por aspersión y su tecnología. MundiPressa, Madrid, España.



# GASPARDO

## DESDE HACE 50 AÑOS te ayudamos a trabajar tu tierra



El Grupo Maschio Gaspardo SpA es una multinacional líder en la producción de implementos agrícolas que van desde la preparación del terreno, la siembra, el mantenimiento de las áreas verdes, siega del heno y la fertilización protección del cultivo.

El Grupo ofrece una amplia gama de rotocultores, gradas rotativas, trituradoras, sembradoras de precisión, sembradoras para cereales, sembradoras para siembra directa, sembradoras combinadas, máquinas pasivas para el laboreo, segadoras, atomizadores, pulverizadores y arados.

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