

Caracterización de los diámetros de gotas aplicadas por emisores de máquinas de riego tipo spray

La mejora de la calidad del riego y, en concreto, del riego por aspersión es un tema que resulta de gran importancia en la actualidad ya que una mejor eficiencia de riego se traduce en un ahorro de agua y energía, además de un mejor rendimiento de los cultivos

Autores: Salvador, R.¹, Montero, J.², Tarjuelo, J.M.², Moreno, M.A.², Burguete, J.¹, Playán, E.¹, Zapata, N.¹.

¹ Estación Experimental de Aula Dei, CSIC. Apdo. 202, 50080 Zaragoza, España. Email: rsalvador@eead.csic.es

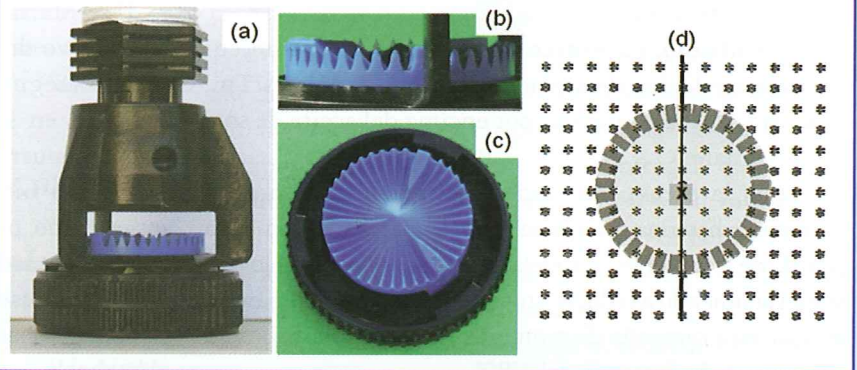
² Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad Castilla-La Mancha, Campus Universitario s/n, 02071 Albacete, España.

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La mejora de la calidad del riego y, en concreto, del riego por aspersión es un tema que resulta de gran importancia en la actualidad ya que una mejor eficiencia de riego se traduce en un ahorro de agua y energía, además de un mejor rendimiento de los cultivos. En el riego por aspersión el agua es aplicada sobre el terreno en forma de una lluvia más o menos intensa, en gotas de varios diámetros. El diámetro de las gotas que emite una boquilla en riego por aspersión depende del modelo del emisor, del diámetro de la boquilla y de la presión de trabajo. El tamaño de las gotas de agua que salen del emisor y posteriormente impactan sobre el suelo influye de diversas formas en la calidad del riego y también en la posterior producción del cultivo. Así, dentro del rango de gotas emitido, las gotas de diámetro mayor pueden crear problemas de encostramiento y escorrentía superficial ya que aplican gran cantidad de agua en poco tiempo además de poseer una elevada energía cinética. Las gotas más pequeñas, sin embargo, resultan más fácilmente arrastradas por el viento, generando problemas de baja uniformidad y eficiencia del riego sobre todo en zonas ventosas.

Las consecuencias que diversos factores tienen sobre la calidad del riego se estudian mediante evaluaciones de campo y también mediante trabajos

Figura 1. Emisor evaluado (a) y detalles del plato deflector en planta (c) y perfil (b). Por último se presenta un esquema de la distribución del agua aplicada por este tipo de emisores.



de simulación. En la actualidad, los modelos de simulación resultan imprescindibles en la investigación de los sistemas de riego, al igual que en otras muchas disciplinas. La simulación del riego permite explorar la respuesta de un determinado sistema en un gran número de escenarios, cuyo estudio en campo resultaría enormemente costoso. Los modelos de simulación del riego intentan predecir cómo aplicará el agua un determinado emisor en determinadas situaciones. Para ello se necesitan en primer lugar datos reales del comportamiento del emisor bajo determinadas circunstancias. Una vez elaborado el modelo hay que compararlo con situaciones reales ya estudiadas. Esto se denomina calibración del modelo. Los resultados del modelo se comparan después con datos reales y así se completa la validación del mismo. Sólo una vez bien calibrado y validado, el modelo podrá ser totalmente operativo y servir a los fines científicos y productivos para los que está diseñado.

En el campo de los sistemas de riego a presión, desde hace varias décadas se han ido desarrollando y mejorando modelos de simulación enfocados a los sistemas de riego estacionarios (Carrión et al., 2001; Montero et al., 2001 y Playán et al., 2006). Sin ▶▶▶

▶▶▶ embargo, en el campo de la simulación de los sistemas de riego móviles tales como máquinas laterales y pivotes, el desarrollo de los modelos de simulación está mucho menos evolucionado (James, 1982). Para poder progresar en el desarrollo de un modelo de simulación de riego de equipos pivote es necesaria en primer lugar la caracterización del agua aplicada por distintos modelos de emisor bajo distintas presiones, diámetros de boquilla, alturas del emisor y velocidades de viento, entre otras variables. En algunos trabajos se han realizado medidas de las gotas formadas en emisores con plato fijo plano (McCreery y Stoots, 1996) y en emisores con plato giratorio (DeBoer y Monnens, 2001 y King et al, 2010).

En este trabajo se realiza una primera aproximación a la distribución de las gotas emitidas por emisores de riego de pivots con plato deflector fijo acanalado. La caracterización de estas boquillas resulta muy problemática debido a su peculiar patrón de distribución de agua aplicada, cuya forma geométrica es similar a un anillo. Este anillo no es continuo, sino que está formado por el mismo número de chorros que acanaladuras presenta el plato deflector estudiado (Faci et al., 2001). Un esquema de esta distribución puede verse en la Figura 1(d), junto con una foto del emisor completo (Fig. 1(a)) y detalles del plato deflector instalado en este modelo (Fig. 1 (b y c)).

En la Figura 2 puede verse la distribución de la cantidad de agua aplicada en dos tipos de emisores de pivot. El primero es un emisor de plato rotatorio

Figura 2. Distribución de la pluviometría en la superficie del suelo con emisores de plato rotatorio y con emisores de plato fijo con acanaladuras.

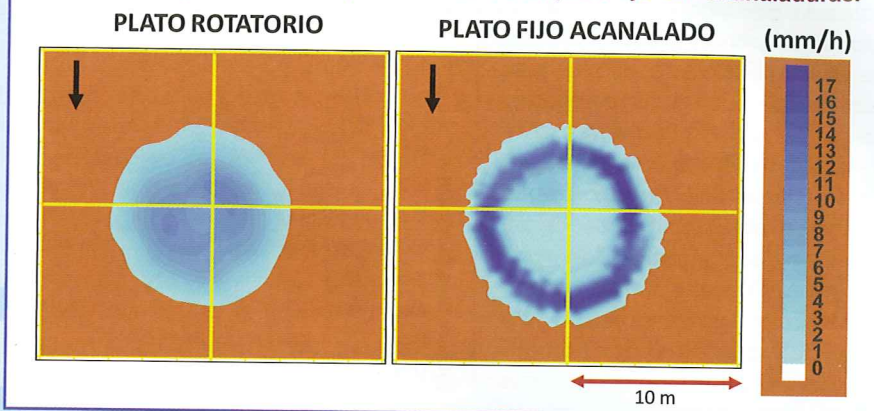


Tabla 1. Caudal descargado por los emisores tipo spray estudiados.

Diámetro boquilla (mm)	Caudal (L/h)
2,4	269,4
3,8	658,2
5,2	1227,6
6,7	2107,8
7,9	2899,2
8,7	3535,8

y el segundo está equipado con un plato fijo con acanaladuras. Puede verse cómo la distribución de la pluviometría en el emisor con plato giratorio es similar a la distribución de pluviometría que presentaría un aspersor, con una mayor cantidad de agua cerca del emisor y decreciendo conforme nos alejamos del mismo. Sin embargo, en el emisor con el plato deflector fijo y con acanaladuras la pluviometría se concentra en la zona circular antes descrita.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron para este estudio seis diámetros de boquilla del emisor de máquinas de riego modelo Nelson D3000. Este modelo presentaba un plato deflector fijo con 33 acanaladuras. Los diámetros de boquillas evaluados eran representativos de todas las zonas de una máquina pivot de tamaño medio, siendo de las siguientes medidas: 2,4 mm; 3,8 mm; 5,2 mm; 6,7 mm; 7,9 mm y 8,7 mm. La presión de funcionamiento de los emisores fue de 140 kPa (20 PSI) y se controlaba por medio de un regulador de presión. La diferencia de altura entre la toma de medidas y el plato deflector de la boquilla fue de 0,76 m.

Para la evaluación de los emisores seleccionados se procedió en primer ▶▶▶



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE





FERTILIZANTES LÍQUIDOS

Aplicación y distribución para fertirrigación, pivots, coberturas y goteos



ARIJA
FERTILIZANTES LÍQUIDOS

NPK Claros y Suspensiones / Soluciones nitrogenadas / Microelementos / Abonos orgánico-vegetales

C/ Pisuerga, 15-17 Poligonillo (Palencia)
Tfno. y fax: 979 72 50 40

►►► lugar a la caracterización radial de la cantidad de agua aplicada por uno de los chorros formados por el plato deflector de la boquilla. Para ello se emplearon pluviómetros colocados de forma radial y separados entre sí 0,5 m. Posteriormente, por medio de un disdrómetro óptico (Montero et al., 2003) se caracterizaron los diámetros de gota a distintas distancias del emisor. Estas distancias variaban en función del diámetro de boquilla estudiado debido a las grandes diferencias en la aplicación del agua existentes entre los distintos diámetros. Se analizaron las gotas en la zona central del anillo que forma la distribución (donde apenas se registraba caída de agua) y, posteriormente se medían las gotas en la zona central de la superficie en la que caía la mayor parte del chorro de agua.

Una vez realizada la toma de datos de diámetros con el disdrómetro, se analizaron y depuraron los datos iniciales (Burguete et al., 2007) y se estudiaron tanto las frecuencias de cada diámetro de gota en cada diámetro de boquilla como los volúmenes de agua que representaban. Posteriormente, se realizó un primer acercamiento a los factores que determinan estas distribuciones de frecuencias con el paquete estadístico SPSS. Estos datos resultarán muy interesantes de cara al futuro desarrollo de un modelo de simulación del riego en máquinas laterales y pivotes.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la realización de los ensayos se tomaron datos del caudal de agua aplicado por cada una de las boquillas evaluadas (Tabla 1). Puede verse que las diferencias entre distintos diámetros son muy elevadas, siendo el caudal de la boquilla mayor (8,7 mm) 13 veces superior al de la boquilla más pequeña. Estas diferencias son necesarias en una carta de equipos pivote, ya que tanto la torre más cer-

Figura 3. Pluviometría radial de uno de los chorros que forma el plato deflector acanalado. Cada una de las líneas representa a la distribución radial de un diámetro de boquilla.

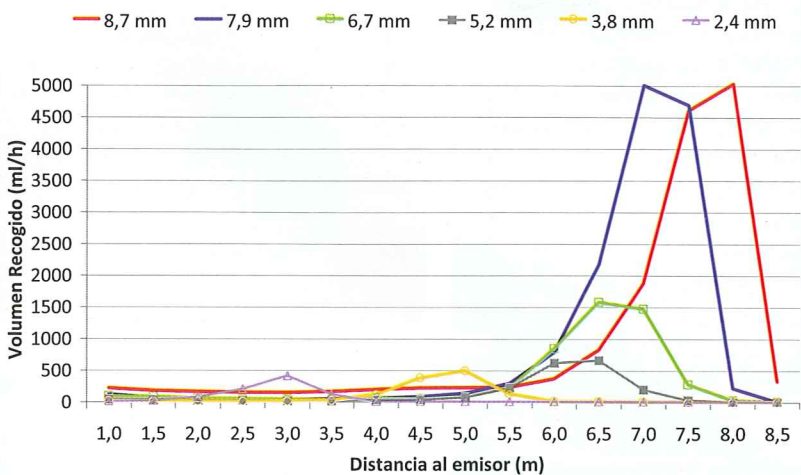
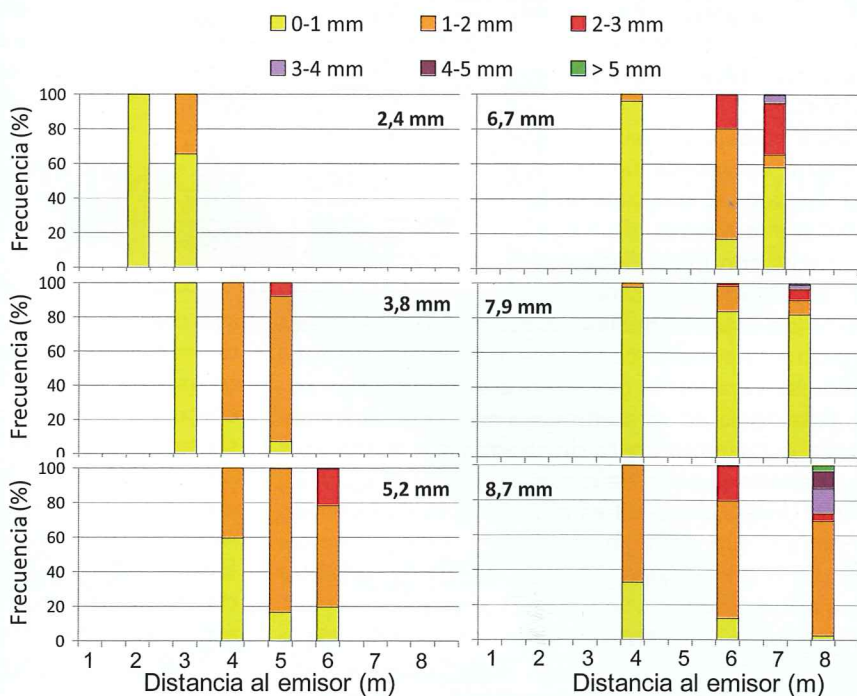


Figura 4. Frecuencia de las distintas clases de diámetros de gotas en las boquillas estudiadas y a las distancias en las que se tomaron medidas.



cana al centro del equipo como la más alejada del mismo han de aplicar la misma cantidad de agua por superficie mojada. Dado que la velocidad lineal de las torres más alejadas es mucho mayor que la de las torres cercanas al centro del equipo, el caudal aplicado por los emisores de dichas torres ha de ser proporcionalmente mayor.

Las grandes diferencias en caudal de agua aplicado se ven reflejadas asimismo en las distribuciones radiales de pluviometría. En estas distribuciones sólo se representa la pluviometría de uno de los 33 chorros que salen del plato deflector de la boqui- ►►►

►►► Ila. Estas curvas radiales no pueden ser extrapoladas a toda el área mojada debido a que entre los 33 chorros no mojan toda el área circular bajo la boquilla, tal y como se muestra en la Figura 1. Aún con estas limitaciones, en la Figura 3 se presenta un gráfico comparativo de las curvas radiales de los chorros formados por los seis diámetros de boquillas estudiadas. En el gráfico puede verse cómo al aumentar el diámetro de la boquilla aumenta la distancia del emisor a la que llega el agua aplicada y el pico de pluviometría se hace más acusado. El problema que pueden causar las boquillas de grandes diámetros es que la pluviometría sea mayor a la velocidad de infiltración del agua en el suelo y se ocasionen problemas de escorrentía superficial en las torres finales de los equipos pivote. Estos problemas suceden sobre todo en suelos con una capacidad de infiltración relativamente baja.

En los ensayos de caracterización de las boquillas estudiadas se analizaron los datos de un gran número de gotas, que abarcaron desde 868 gotas en la boquilla de 6,7 mm a 4 m de distancia del emisor hasta 12.937 gotas en la boquilla de 5,2 mm a 6 m de distancia. En la totalidad de los ensayos realizados se obtuvieron datos válidos de 95.351 gotas. En cada diámetro de boquilla y a cada distancia se medían las gotas producidas por tres chorros diferentes durante en un tiempo de 6 minutos.

En la figura 4 puede verse la distribución de frecuencias de los diámetros de gota medidos en cada diámetro de boquilla y a cada distancia del emisor. Puede comprobarse en la figura cómo los diámetros de las

gotas medidas con el disdrómetro aumentan tanto al aumentar el diámetro de la boquilla como al aumentar la distancia al emisor a la que se detectaban dichas gotas. Aún así, puede verse cómo las gotas pequeñas (menos de 2 mm) son mayoritarias en casi todas las distancias y diámetros de boquilla estudiados. De hecho, estas gotas suponen un 80 % o más de las gotas encontradas menos en la medida realizada en la boquilla de 6.7 mm a 7 m de distancia y en la medida de la boquilla de diámetro 8,7 mm a 8 m de distancia. Una elevada proporción de gotas pequeñas hace que la calidad de aplicación del agua de dicha boquilla sea más susceptible a la acción del viento. Así, elevadas velocidades de viento durante el riego harán que estas gotas de menos tamaño o bien se evaporen o bien sean desplazadas y aterricen en un lugar distinto del que le corresponde, aumentando las pérdidas por evaporación y arrastre y/o disminuyendo la uniformidad del riego. Además, entrando en las implicaciones de las medidas de gotas en la calibración de un modelo de simulación del riego, el encontrar gotas de pequeño tamaño a distancias alejadas del emisor como es el caso hace replantearse la adecuación del tipo de modelo utilizado. Generalmente, los modelos de simulación del riego por aspersión suponen que las gotas son lanzadas de forma individual desde la boquilla del emisor hasta el punto de aterrizaje. Así, en las zonas cercanas al emisor deberían localizarse las gotas más pequeñas y en las zonas más alejadas las gotas de mayor tamaño. La localización de gotas pequeñas en zonas alejadas del emisor ►►►

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTESEIASA
SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE INGENIEROS AGRICULTORESTel. 935 443 040
www.itc.es

Dosificación de fertilizantes en pivots, coberturas y goteos

- Mayor producción de los cultivos
- Mayor rendimiento de los abonos
- Ahorro en costes de explotación
- Control de la fertilización



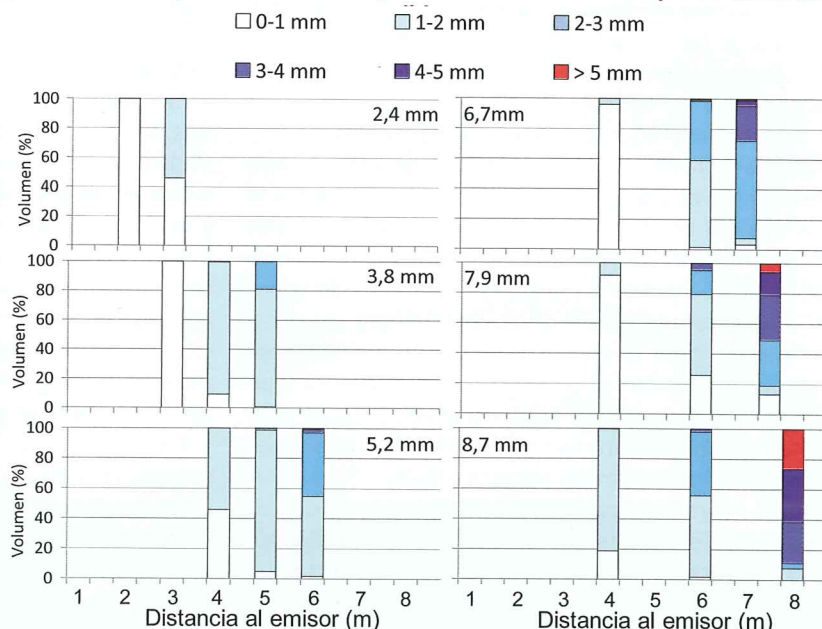
►►► (como es el caso) hace pensar en que la formación de dichas gotas no ha sido en la misma boquilla sino en un punto de la longitud del chorro emitido aún por determinar.

En la Figura 5 puede verse el volumen representado por las gotas medidas en cada uno de los diámetros de boquilla y en cada una de las distancias de medida. En este caso, aunque a distancias alejadas de los emisores puede detectarse la influencia de las gotas pequeñas, su representatividad es mucho menor. Aunque la importancia de las gotas menores de 2 mm sigue siendo elevada en las boquillas de 2,4 mm, 3,8 mm y 5,2 mm (sobre todo en las primeras distancias evaluadas), a partir de los 6 m éstas representan menos del 60%, como regla general. Por otra parte, en las boquillas más grandes y a distancias de más de 5 m del emisor, el volumen que representan las gotas de más de 3 mm es muy importante. Como ejemplo de estas diferencias en representatividad de frecuencia y de volumen aparecen las gotas de más de 5 mm a 7,80 m de la boquilla de 8,7 mm. En este caso, las gotas de mayor diámetro son únicamente el 3,41 % de las gotas medidas, aunque representan un 26,34% del volumen. Estos datos muestran la importancia de caracterizar con detalle las gotas de mayor tamaño de los emisores estudiados ya que su aportación en el porcentaje del volumen aplicado es muy importante.

4.- CONCLUSIONES

La caracterización de las gotas emitidas por distintos tipos de emisores de riego de equipos pivote resulta indispensable para poder calibrar y validar un modelo de simulación de riego para este tipo de equipos. En este caso, se han determinado los diámetros de gotas de seis boquillas de un emisor con plato deflector fijo y 33 acanaladuras. Los diámetros de las gotas medidas aumentaron conforme aumentaba el diámetro de la boquilla y la distancia al emisor evaluado. Las medidas efectuadas han detectado la presencia de gotas de pequeño tamaño a distancias alejadas del emisor, dato que no se corresponde con los resultados del actual modelo balístico. Los resultados obtenidos en este trabajo servirán de

Figura 5. Volumen representado por las distintas clases de diámetros de gotas en las boquillas estudiadas y a las distancias en las que se tomaron



apoyo a la elaboración de un modelo de simulación de riego de equipos pivote que contemple la formación de gotas a distintas distancias del chorro emitido.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Burguete, J., Playán, E., Montero, J., Zapata, N., 2007. Improving drop size and velocity estimates of an optical disdrometer: Implications for sprinkler irrigation simulation. *Trans Am Soc Agric. Biol Eng.* Vol. 50(6):2103-2116.
- Carrión, P., Tarjuelo, J.M., Montero, J., 2001. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation: I Description of the model. *Irrigation Sci.* 2001(20):73-84
- DeBoer, D.W., Monnens, M.J., 2001. Application pattern and drop size distribution data sets for a rotating-plate sprinkler. *Research Report, Brooking, S.D.: Department of Agricultural and Biosystems Engineering, South Dakota State University.*
- Faci, J.M., Salvador, E., Playán, E., Sourell, H., 2001. Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. *J. Irrig. Drain. Engin.* Vol 127(4): 224-233.
- James, L.G., 1982. Modeling the performance of center pivot irrigation systems operating on variable topography. *Transactions of the ASABE.* Vol. 25(1): 0143-1049.
- King, B.A., Winward, T.W., Bjorneberg, D.L., 2010. Laser precipitation monitor for measurement of drop size and velocity of moving spray-plate sprinklers. *Applied Engineering in Agriculture.* Vol. 26(2): 263-271.
- McCreery, G.E., Stoots, C.M., 1996. Drop formation mechanisms and size distributions for spray plate nozzles. *Int. J. Multiphase Flow.* Vol. 22 (3):431-452.
- Montero, J., Tarjuelo, J.M., Carrión, P., 2001. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation: II calibration and validation of the model. *Irrigation Sci* 2001(20):85-98.
- Montero, J., Tarjuelo, J.M., Carrión, P., 2003. Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropluviometer. *Irrigation Sci* 2003(22):47-56.
- Playán, E., Zapata, N., Faci, J.M., Tolosa, D., Lacueva, J.L., Pelegrin, J., Salvador, R., Sánchez, I., Lafita, A., 2006. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. *Agric. Water Manag.* Vol.84(1-2):89-100.