

La uniformidad del riego en coberturas fijas de aspersión con aspersores provistos de boquillas de plástico

Talel Stambouli¹, Nery Zapata², Enrique Playán² y José M. Faci³

¹Université de Carthage, Ecole Supérieure d'Agriculture, Mograne 1121, Túnez

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

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

LA UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DEL RIEGO EN LAS COBERTURAS FIJAS DE ASPERSIÓN

El reparto de agua en una cobertura fija de aspersión es el resultado de la superposición de las distribuciones de los aspersores al marco de instalación. Por tanto la uniformidad del reparto de agua depende fundamentalmente del marco de aspersión y del patrón de distribución de agua de los aspersores utilizados. Además, la uniformidad del riego depende también de las condiciones técnicas y meteorológicas durante el riego (Tarjuelo, 2005). Factores como el diámetro de boquillas, presión de trabajo, características técnicas del aspersor, altura de los aspersores y especialmente el viento durante el riego, determinan la uniformidad y eficiencia del riego por aspersión. Por estas razones la uniformidad y eficiencia del riego hay que determinarla

Fotografía 1 (izq). Aspersor de impacto con el cuerpo de latón y boquillas de plástico insertadas en el cuerpo del aspersor con una unión tipo bayoneta. Fotografía 2 (dcha). Detalle de la boquilla de plástico tipo bayoneta insertada en el cuerpo del aspersor.



- * Los resultados del presente trabajo muestran que la elección del modelo de aspersor a utilizar en las coberturas fijas es difícil ya que hay muchos factores que afectan a la uniformidad y eficiencia del riego y además muchos de estos factores están fuera del control del regante
- * Las diferencias observadas entre el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) en las coberturas con aspersores con boquillas de plástico o latón, no justifican la elección de cualquiera de los dos; otros factores técnicos y económicos que deben ser tomados en cuenta

en la propia parcela durante un riego representativo. Como alternativa se pueden usar modelos de simulación que tengan en cuenta las modificaciones de la distribución del aspersor por el viento y por otros factores ►►►

ambientales y de funcionamiento. Estos modelos permiten la determinación de la idoneidad del riego bajo un amplio rango de condiciones ambientales con un esfuerzo experimental mínimo (Playán y col., 2006). Hay que destacar que estos modelos de simulación requieren el conocimiento de la curva radial del aspersor.

La idoneidad del riego por aspersión depende de factores de diseño y de funcionamiento. Los factores de diseño más importantes son el modelo de aspersor, el uso de una o dos boquillas en el aspersor, el uso de vaina prolongadora del chorro, el tipo y diámetro de las boquillas y el marco de aspersión elegido. Los factores de funcionamiento incluyen la presión de funcionamiento, la duración del riego y las condiciones meteorológicas durante el riego sobre todo el viento (Playán y col., 2006).

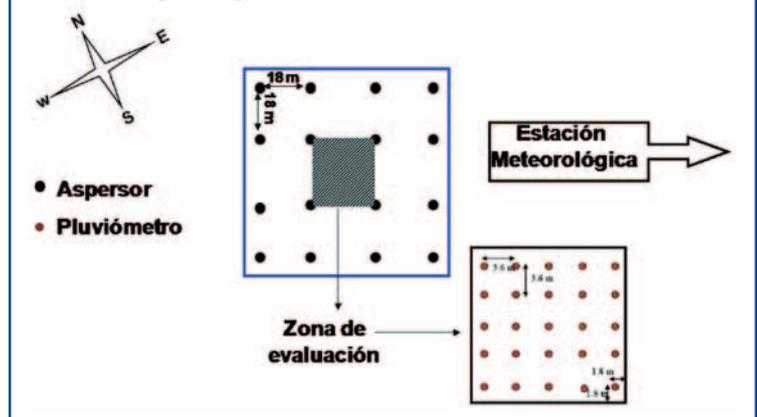
Los parámetros más utilizados para definir la uniformidad y eficiencia en el riego por aspersión son el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) por el viento.

El viento es el meteoro que más afecta a los valores de CUC y PEA. Faci y Bercero (1991) encontraron que para distintas coberturas fijas de aspersión en el Valle del Ebro el valor de CUC disminuía cuando la velocidad del viento era mayor de 2 m/s (7.2 km/h). Playán y col. (2006) encontraron que la velocidad del viento afectaba en menor medida el CUC en los pivots que en las coberturas fijas de aspersión.

LAS COBERTURAS FIJAS CON ASPERSORES CON BOQUILLAS DE PLÁSTICO

Generalmente en las coberturas fijas en el valle del Ebro se utilizan aspersores metálicos de impacto con el cuerpo de latón y las boquillas también de latón roscadas en el cuerpo del aspersor. En la actualidad las casas comerciales de aspersores desarrollan aspersores con el cuerpo de latón o de plástico y las boquillas de plástico con un enlace tipo bayoneta que se insertan y se sacan del cuerpo del aspersor a mano y muy fácil-

Figura 1. Esquema de la cobertura fija de aspersión a un marco rectangular de 18 m por 18 m y cuadrícula de pluviómetros instalados a un marco de 3,6 m x 3,6 m en el marco central de la cobertura.



Fotografía 3. Vista de la cobertura de aspersión en la finca del CITA en Montañana, Zaragoza. Los pasillos de palets facilitan el acceso a la cuadrícula de pluviómetros instalados en el marco central de aspersores para su lectura después de cada riego.



mente con un giro de un cuarto de vuelta (Fotografías 1 y 2). Estas boquillas de plástico llevan grabadas en el interior unas líneas paralelas al flujo de agua que hacen la misma función que la vaina prolongadora. El uso de aspersores con cuerpo de latón o de plástico y boquillas de plástico es en la actualidad una opción muy ventajosa para las coberturas fijas del Valle del Ebro.

Para conocer mejor las posibles ventajas de las coberturas de aspersión con estos aspersores con boquillas de plástico es necesario evaluar los parámetros de uniformidad y eficiencia del riego en condiciones de campo.

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

En este trabajo se presentan los resultados de 50 evaluaciones del riego efectuadas en los años >>>

2010 y 2011 en una cobertura fija de aspersión provista de 16 aspersores modelo RC 130-BY (Riegos Costa, Lérida, España) a marco rectangular de 18 m x 18 m (Figura 1, Fotografía 3). El aspersor RC 130-BY tiene el cuerpo de latón y 2 salidas donde se insertan las 2 boquillas de plástico tipo bayoneta. La cobertura experimental está instalada en una parcela de la finca experimental del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), situada en el barrio de Montañana, Zaragoza. Las evaluaciones se realizaron a tres rangos

de presión de trabajo (200 kPa, 300 kPa y 400 kPa) y con tres tamaños de la boquilla principal de plástico (diámetro interior de 4 mm, 4,5 mm y 5 mm) y un solo tamaño de boquilla auxiliar (2,5 mm) que se mantuvo en todas las evaluaciones. En todas las evaluaciones se tuvieron en cuenta las recomendaciones de Merriam y Keller (1978) y las normas ISO de evaluación de sistemas de aspersión.

En cada una de las evaluaciones se midió el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (PEA).

La presión de funcionamiento se midió a intervalos de 5 minutos con un transductor de presión instalado en un tubo porta-aspersor de la instalación a 20 cm del aspersor (Fotografía 4). Los valores de CUC y PEA se

Fotografía 4 (izq). Transductor de presión instalado en un tubo porta-aspersor para la medida de la presión de funcionamiento a lo largo de las evaluaciones de riego. Fotografía 5 (dcha). Pluviómetro de plástico con una abertura de 160 mm utilizado en las evaluaciones de la cobertura fija experimental.



Tabla 1. Resumen de las 50 evaluaciones efectuadas en la cobertura experimental de aspersión a marco rectangular de 18 m x 18 m con el aspersor RC130-BY. Los resultados de las evaluaciones se agruparon de acuerdo a los diámetros de boquilla (D+d) y rangos de presión de funcionamiento. Para cada grupo se presenta el número de evaluaciones (N) y los valores máximo y mínimo de la presión (p, kPa), tiempo de riego (TR, h), el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC, %), pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (PEA, %), velocidad del viento (U, m s⁻¹), temperatura del aire (T, °C) y humedad relativa del aire (HR, %).

D+d (mm)	N	p (kPa)		TR (h)		CUC (%)		PEA (%)		U (m s ⁻¹)		T (°C)		HR (%)	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
4+2,5	5	208	190	2,1	2,0	85	65	28	11	5,9	1,5	24,9	21,3	57	44
	5	328	305	2,6	2,0	90	61	26	8	5,8	1,4	26,5	7,8	80	42
	4	379	366	2,3	2,0	91	66	36	10	7,6	1,0	30,1	21,0	6	37
4,5+2,5	6	206	188	2,1	1,6	82	70	21	0	4,0	0,5	30,0	18,8	66	41
	7	344	285	2,8	1,8	93	51	15	2	5,8	1,0	26,0	21,0	60	50
	4	392	365	3,3	1,6	91	79	23	0	4,1	0,6	29,0	24,5	72	43
5+2,5	8	222	191	2,6	1,9	84	72	22	0	5,0	0,2	26,0	9,0	75	45
	5	326	291	3,0	2,1	91	75	19	1	5,0	1,4	26,3	12,0	74	43
	6	367	363	2,6	2,0	79	66	28	0	7,1	0,4	24,4	11,4	69	39

midieron a partir de las alturas de agua recogidas en una cuadrícula de 25 pluviómetros instalada a un marco de 3.6 m x 3.6 m situada entre los cuatro aspersores del centro de la cobertura experimental de aspersión (Figura 1). Cada pluviómetro representa un área de 13 m². Para facilitar el tránsito dentro de la parcela y la medición de los pluviómetros se instalaron unos palets de plástico en los pasillos entre los pluviómetros (Fotografía 3). 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, con divisiones de 1 mm de precipitación y con una capacidad máxima de medida de 45 mm (Fotografía 5). Las alturas de agua recogidas en la red de pluviómetros se midieron inmediatamente tras >>>

cada evento de riego.

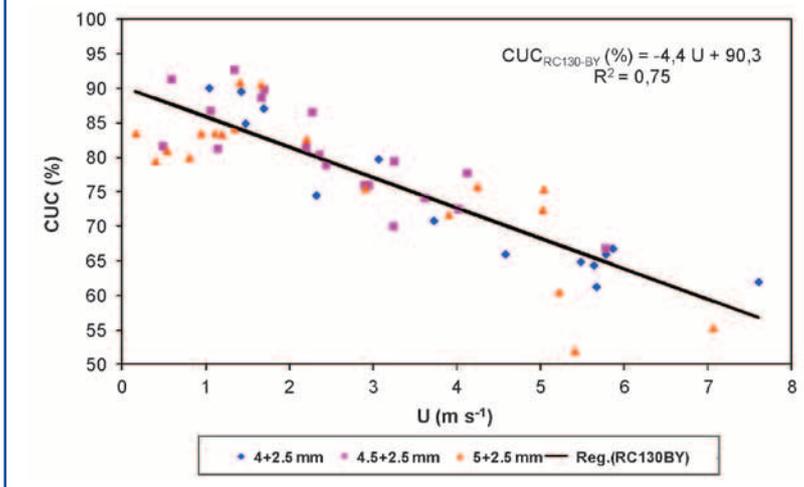
La descarga del aspersor (Q) se determinó a partir de la lectura del contador existente en el cabezal de riego de la instalación. Los valores de la velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa del aire se registraron a intervalos de 5 minutos.

Las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (PEA) se estimaron como el porcentaje de la altura emitida por los aspersores (ID) que no fue recogida en los pluviómetros.

Los parámetros CUC y PEA de una cobertura igual a la de la parcela experimental (marco rectangular a 18 m x 18 m) equipada con mismo aspersor pero con boquillas de latón (modelo RC 130-L) se simularon para las mismas condiciones de funcionamiento y meteorológicas que las existentes en las evaluaciones experimentales utilizando el programa de simulación Ador-aspersión (Playán y col., 2006). Estos valores simulados de CUC y PEA con el aspersor

RC 130-L se compararon con los de las evaluaciones experimentales con el aspersor RC 130-BY. Ambos modelos de aspersor solo difieren en el tipo de boquillas (modelo RC130-L con boquillas de latón y ▶▶▶

Figura 2. Relación entre el coeficiente de uniformidad de Christiansen en la cobertura de aspersión a marco rectangular de 18 m x 18 m con el aspersor RC 130-BY (CUCRC 130-BY) y la velocidad del viento (U) durante las evaluaciones del riego. Los puntos de la figura corresponden a las 50 evaluaciones efectuadas con los tres diámetros de la boquilla principal (4+2,5 mm, 4,5+2,5 mm y 5+2,5 mm). La línea representa la regresión lineal de los datos experimentales.



VEN A CONOCER EL NUEVO SISTEMA DE BOMBEO SOLAR DIRECTO CON PRESIÓN Y CAUDAL CONSTANTE

EL RIEGO DEL FUTURO

LIMPIO, EFICIENTE, INTELIGENTE, CÓMODO Y MUY ECONÓMICO

INSTALACIÓN

- ▶ Superficie regada: 19 ha cultivos de verano y 51 ha de primavera
- ▶ Instalaciones: 3 pivotes (56 ha) y 3 coberturas (14 ha)
- ▶ Profundidad del agua: 90 m
- ▶ Capacidad de bombeo: 150.000 l/hora
- ▶ Potencia fotovoltaica instalada: 121.600 Wp
- ▶ Potencia de los dos grupos motor-bomba: 90 cv y 60 cv
- ▶ Capacidad del depósito: 750 m3 (5 horas de autonomía)
- ▶ Presión de trabajo: 4.0 Bar en coberturas, 0.6 Bar en pivotes

VIABILIDAD

- ▶ Coste de la inversión: 152.000 €
- ▶ Coste del agua con energía solar: 3,1 céntimos de €/m³ (frente a 16,9 con gasóleo, 80% de ahorro)
- ▶ Coste de regar la remolacha: 171 €/ha
- ▶ Plazo de recuperación de la inversión: 4 a 5 años
- ▶ Aprovechamiento fotovoltaico para riego: 63 %
- ▶ Emisiones de CO₂: cero emisiones (frente a 110 t de CO₂ cuando se usaba gasóleo)

¡APUNTATE A CONOCER EL RIEGO SOLAR!

Entra en nuestra web www.aimcra.es
o en el teléfono 983 204 777 y apúntate a las visitas guiadas en la instalación de Tordesillas.

HAN COLABORADO

el RC 130-BY con boquillas de plástico). 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, por el CSIC y Universidad de Cartago.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COBERTURA FIJA EXPERIMENTAL

La presión de trabajo en las 50 evaluaciones de la cobertura experimental de aspersión varió entre 188 y 392 kPa (Tabla 1). La duración media de las evaluaciones de la cobertura fue de 2,2 h ($\pm 0,3$ h) y varió desde un mínimo de 1,6 h a un máximo de 3,3 h. La velocidad del viento en las diferentes evaluaciones varió entre 0,2 y 7,6 m/s. La temperatura media durante las evaluaciones del riego fue de 21,7 °C, con valores que variaron desde 7,8 °C hasta 30,1 °C.

Los valores de CUC y PEA obtenidos en las evaluaciones de la cobertura experimental tuvieron un amplio rango de variación. El CUC de las evaluaciones individuales varió del 51% al 93% y PEA varió de 0% a 36%, dependiendo principalmente de las condiciones meteorológicas y de funcionamiento (Tabla 1).

La Figura 2 presenta la relación entre el CUC (%) y la velocidad del viento (U, m/s) para el aspersor RC130-BY. Esta regresión lineal muestra que existe una relación negativa entre el CUC y la velocidad del viento (U) con un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0,75.

Con objeto de comparar la relación entre las PEA y la velocidad del viento (U), la Figura 3 presenta el análisis de regresión lineal entre ambas variables. El coeficiente de determinación (R^2) para la regresión lineal en la cobertura con el aspersor RC 130-BY fue de 0,82.

En este trabajo al igual que en numerosos estudios de riego por aspersión, se ha visto que el viento es el principal factor ambiental que afecta al rendimiento de riego por aspersión (Tarjuelo, 2005; Sánchez y col., 2011). Los resultados muestran claramente que el CUC disminuye cuando aumenta la velocidad del viento

Figura 3. Relación entre las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) en la cobertura de aspersión a marco rectangular de 18 m x 18 m con el aspersor RC 130-BY (PEARC 130-BY) y la velocidad del viento (U) durante las evaluaciones del riego. Los puntos de la figura corresponden a las 50 evaluaciones efectuadas con los tres diámetros de la boquilla principal (4+2,5 mm, 4,5+2,5 mm y 5+2,5 mm). La línea representa la regresión lineal de los datos experimentales.

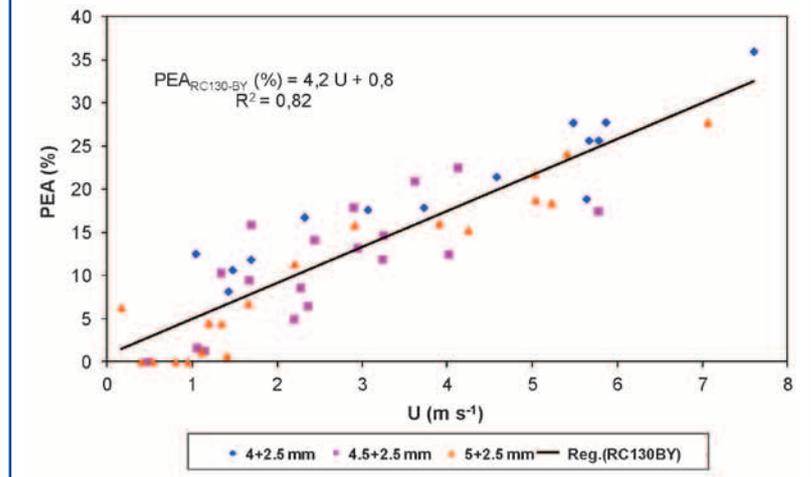
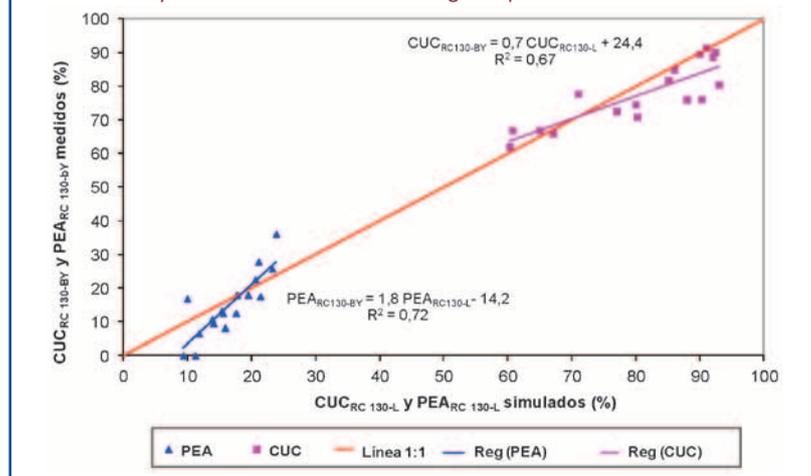


Figura 4. Ecuaciones de regresión de los valores del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y pérdidas de evaporación y arrastre por el viento (PEA) medidos en la cobertura con el aspersor RC 130-BY y simulados con el aspersor RC 130-L para la misma cobertura y bajo las mismas condiciones meteorológicas y de funcionamiento. La línea gris representa la línea 1:1.



(Figura 2) y las PEA aumentan con la velocidad del viento (Figura 3).

Comparación de los valores de CUC y PEA medidos en la cobertura experimental con el aspersor RC130-BY y simulados con el aspersor RC130-L bajo las mismas condiciones meteorológicas y de funcionamiento

Para hacer una comparación detallada y fiable de los dos modelos de aspersor estudiados (RC 130-BY y RC 130-L) es necesario que las evaluaciones se efectúen en las mismas condiciones meteorológicas y de funcionamiento. Como no se realizaron simultánea- ▶▶▶

mente evaluaciones de coberturas de aspersión provistas con ambos tipos de aspersor, fue necesario simular los valores de CUC y de PEA de una cobertura igual a la experimental pero provista con el aspersor RC 130-L y bajo las condiciones meteorológicas y de funcionamiento iguales a las existentes en las evaluaciones de la cobertura experimental con el aspersor RC 130-BY. En dichas simulaciones se introdujeron los mismos valores de las variables operacionales y meteorológicas (marco de aspersión, diámetros de boquillas, tiempo de riego, presión de funcionamiento, velocidad del viento, dirección media del viento, temperatura del aire y humedad relativa del aire) observadas en las distintas evaluaciones de la cobertura con el aspersor RC 130-BY.

La comparación se estableció para los diámetros de boquillas 4,0 + 2,5 mm y 4,5 + 2,5 mm para el aspersor RC130-BY y 4,0 + 2,4 mm y 4,4 + 2,4 mm para el aspersor RC130-L. La Tabla 1 presenta los resultados experimentales de ID, PEA y CUC de la cobertura con el aspersor RC130-BY y simulados con el aspersor RC130-L en las mismas condiciones experimentales. No se encontraron diferencias significativas entre las descargas de agua de ambos modelos de aspersores (datos no mostrados).

La Figura 4 presenta la comparación de valores medidos y simulados de CUC y PEA en las coberturas equipadas con ambos modelos de aspersor bajo las condiciones experimentales. La comparación mostró que el CUC es relativamente similar en las coberturas con los dos modelos de aspersores. Esta relación mostró valores ligeramente más altos de CUC para el aspersor RC130-BY que para el RC130-L en el rango bajo de valores de CUC < 70% y valores más bajos de CUC en el rango de CUC > 70%. Estos resultados se pueden explicar por el distinto comportamiento de ambos aspersores frente al viento.

La comparación de los valores medidos y simulados de PEA de las coberturas equipadas con ambos modelos de aspersor bajo las condiciones experimentales mostró que una regresión lineal se ajustaba a los datos. La ecuación de regresión se separó claramente de la línea 1:1. Para valores de PEA < 21% la PEA de la cobertura con el aspersor RC130-BY fue menor que para el aspersor RC130-L y para PEA > 21% ocurrió lo contrario. Los menores valores de PEA para el aspersor RC130-BY en comparación con los valores de PEA simulados para el aspersor RC130-L se debieron principalmente a que la ecuación de predicción utilizada en el modelo de simulación Ador-aspersión posiblemente sobrevalora las PEA.

A título ilustrativo la Figura 5 presenta una comparación de los patrones de distribución del reparto de agua medido en tres evaluaciones de la cobertura fija de aspersión con distintos niveles de velocidad del viento para el aspersor RC130-BY con los patrones de distribución del reparto de agua simulados para el aspersor RC130-L. En condiciones de viento bajo ($U = 1,6 \text{ m s}^{-1}$) (Figuras 5a y b) se observa una alta uniformidad del riego con unos valores de CUC de 89% y 92% para RC130-L y RC130-BY, respectivamente. En condiciones de viento moderado ($U = 2,9 \text{ m s}^{-1}$) (Figuras 5c y d) se observó un menor valor del CUC medido en la cobertura experimental con el asper-

Tabla 2. Valores medidos con el aspersor RC 130-BY y simulados con el aspersor RC 130-L en cobertura de aspersión a marco rectangular de 18 m x 18 m de las láminas de riego aplicadas (ID), pérdidas de evaporación y arrastre por el viento (PEA) y coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) en las mismas condiciones experimentales del tiempo de riego (TR), presión de trabajo (p), velocidad (U) y dirección del viento (DU), temperatura (T) y humedad relativa del aire (HR). Los datos están agrupados para los diámetros de boquilla (D+d) utilizados.

D+d (mm)	TR (h)	p (kPa)	U (m s ⁻¹)	DU*	T (°C)	HR (%)	Medidos con RC130-BY			Simulados con RC130-L		
							ID (mm)	PEA (%)	CUC (%)	ID (mm)	PEA (%)	CUC (%)
4+2,5	2,1	190	3,7	NW	21,3	54	7,6	17,9	71	7,7	17,7	80
	2,1	202	1,5	E	21,8	57	8,1	10,7	85	8,0	13,8	86
	2,0	202	5,9	NW	23,3	52	7,5	27,8	67	7,4	21,1	61
	2,0	305	5,8	NW	26,5	42	9,3	25,7	66	9,1	23,2	67
	2,0	310	1,4	E	25,5	47	9,2	8,2	90	9,0	15,8	90
	2,6	316	2,3	W	7,8	81	12,6	16,8	75	12,1	9,9	80
	2,0	367	1,0	SW	30,9	37	10,1	12,5	90	10,1	17,6	92
	2,3	379	7,6	NW	18,5	51	11,7	36,0	62	11,6	23,8	60
4,5+2,5	1,6	188	4,0	NNW	18,8	66	6,9	12,5	73	6,8	15,5	87
	1,7	194	0,5	NE	21,7	63	7,7	0,0	82	7,6	11,2	85
	2,1	205	2,9	WSW	29,9	41	9,4	17,9	76	8,9	19,4	90
	2,7	292	1,7	SSE	24,8	58	14,9	9,5	89	14,5	14,0	92
	2,0	302	5,8	NW	21,1	50	11,1	17,5	67	10,6	21,4	65
	2,4	305	2,9	WSW	24,9	60	13,4	13,2	76	12,8	15,3	88
	3,3	365	4,1	NW	28,9	43	19,8	22,5	78	19,3	20,6	71
	1,6	385	0,6	NW	22,3	72	9,9	0,0	91	9,6	9,3	91
2,4	392	2,4	S	24,5	72	15,2	6,5	80	14,8	11,8	93	

* Dirección dominante del viento

sor RC130-BY (76%) que el CUC simulado para la cobertura con el aspersor RC130-L (88%). En condiciones de viento fuerte ($U = 5,8 \text{ m s}^{-1}$) (Figuras 5e y f) se observó un valor de CUC bajo (65-67%) y similar con ambos aspersores. La uniformidad de riego disminuyó con la velocidad del viento (U).

Los resultados del trabajo muestran que las diferencias encontradas en CUC y PEA entre las coberturas con aspersores con boquillas de plástico (RC 130-BY) y con boquillas de latón (RC 130-L) no han sido determinantes para decantarse por uno de estos tipos de aspersor. Los factores meteorológicos durante el riego, sobre todo la velocidad del viento, tienen un efecto mucho más importante que el tipo de boquillas del aspersor. La selección del aspersor en una cobertura fija es compleja ya que hay muchos factores que influyen en la idoneidad del riego y muchos de ellos fuera del control del regante. El empleo de modelos empíricos como el utilizado en este trabajo (Ador-aspersión) es muy útil para la toma de decisiones ya que permite la simulación del comportamiento de riego por aspersión en muy distintas condiciones meteorológicas y de funcionamiento.

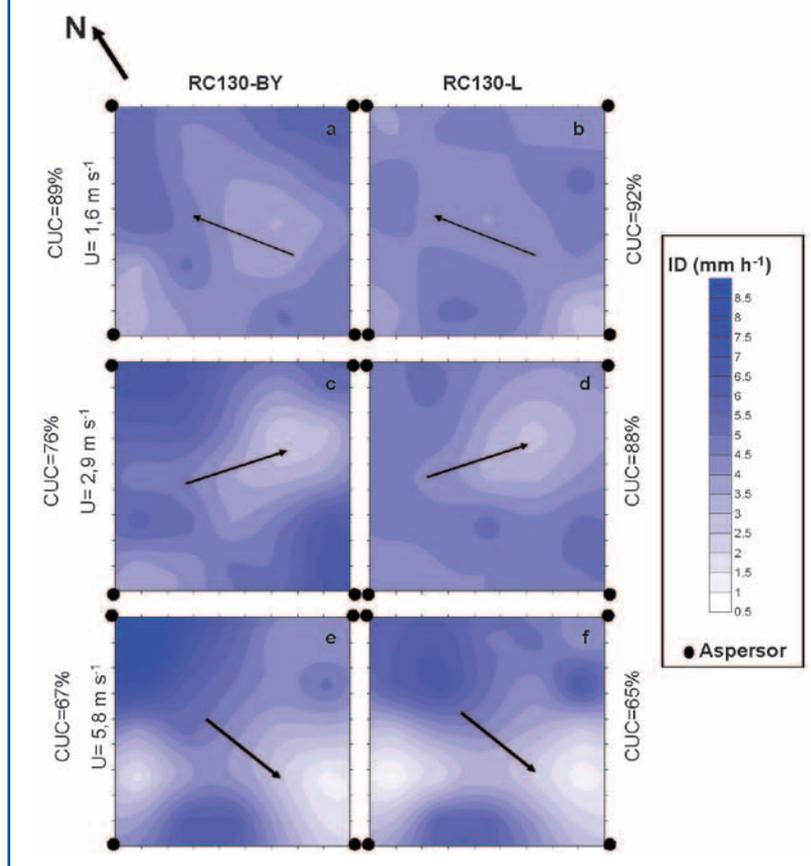
CONCLUSIONES

La introducción de los nuevos aspersores con boquillas de plástico en las coberturas fijas de aspersión ofrece ventajas a los regantes debidas a su facilidad de instalación y desmontaje para limpieza así como la inclusión de estrías en su interior para conseguir un mayor alcance, pero es necesario efectuar un análisis más detallado de las coberturas equipadas con este tipo de aspersores incluyendo evaluaciones de la uniformidad y eficiencia del riego.

El CUC de una cobertura fija de aspersión se puede simular para distintas condiciones de viento y de presión de funcionamiento mediante el uso de modelos de simulación de aspersión pero para obtener resultados fiables, el modelo debe incluir la calibración y validación de este material y en particular la caracterización de la distribución radial de agua del aspersor.

Los resultados obtenidos en la cobertura experimental de aspersión con el aspersor con boquillas de

Figura 5. Mapas de isóneas de la distribución de agua (ID, mm h⁻¹) obtenidos en el marco central de la cobertura experimental con el aspersor RC130-BY y simulados para una cobertura equipada con el aspersor RC130-L con diámetros de boquilla de 4,5 y 2,5 mm a una presión de trabajo de 300 kPa y tres valores de la velocidad del viento (U). En la columna de la izquierda se presentan los valores de la velocidad del viento (U) y del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) con el aspersor RC130-BY y en la columna de la derecha los CUC simulados con el aspersor RC130-L. Las flechas indican la dirección del viento predominante durante cada evento de riego.



plástico muestran una relación lineal entre el CUC y U . Estos resultados confirman los de otros trabajos en los que también se encontró una relación lineal y negativa entre el CUC y U .

Se obtuvo una relación lineal entre las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento (PEA) y la velocidad del viento (U).

La comparación de los valores del CUC y PEA medidos con el aspersor RC 130-BY y simulados con el RC 130-L en las mismas condiciones operacionales y meteorológicas, mostró resultados relativamente similares en las coberturas con ambos modelos de aspersor. Sin embargo, la regresión lineal de los datos medidos y simulados de CUC no era coincidente con la línea 1:1, mostrando un comportamiento diferente de ambos tipos de aspersor cuando diferían las condiciones ▶▶▶

meteorológicas. En condiciones de viento bajo, el CUC de los dos aspersores fue similar y alto (valor medio de CUC del 89%). Sin embargo, en condiciones de viento medio ($1,5 \text{ m s}^{-1} \leq U \leq 4,0 \text{ m s}^{-1}$) el CUC de la cobertura con el aspersor RC130-BY se vio más afectado (valor medio del 78%) que con el aspersor RC130-L (valor medio del 87%) y en condiciones de viento fuerte ($U \geq 4 \text{ m s}^{-1}$), el RC130-BY tuvo valores algo mayores del CUC.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que la elección del modelo de aspersor a utilizar en las coberturas fijas es difícil ya que hay muchos factores que afectan a la uniformidad y eficiencia del riego y además muchos de estos factores están fuera del control del regante. Sin embargo, las diferencias observadas entre el CUC y PEA en las coberturas con aspersores con boquillas de plástico o latón, no justifican por sí solas la elección de uno de estos modelos de aspersor. Hay otros factores técnicos y económicos que deben ser tomados en cuenta. Los modelos empíricos como Ador-aspersión son herramientas de gran utilidad para la toma de decisiones, ya que permiten la simulación del comportamiento del riego por aspersión en diferentes condiciones meteorológicas y de funcionamiento.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de campo de la Unidad de Suelos y Riegos del CITA Miguel Izquierdo, Jesús 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

- Christiansen J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Ag. Expt. Sta. Bulletin 670. University of California. Berkeley.
- Faci J.M., Bercero A. (1991). Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales 6 (2).
- 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.
- 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. Agricultural Water Management 84 (1-2): 89-100.
- Tarjuelo, J.M., 2005. El riego por aspersión y su tecnología. Mundi-press, Madrid, España.



2072041



PROMOCIÓN DE INVERSORES
DE TRABAJOS AGRÍCOLAS, S.L.

PITA, S.L.

HORSCH
Innovación y agrobiz

HOLMER
Efecto basado en la experiencia

ROPA
Superior class

MEMÜLLER
...es regar así!

ERO



**VENDIMIADORA ERO
GRAPELINER**

NUEVO!!!

**DESPUNTADORA
ERO ELITE**



NUEVO!!!



**SEBRADORA
HORSCH
PRONTO DC**

**HOLMER
TERRA DOS**



**ROPA
E-MAUS**

WM 6000

NUEVA ADQUISICIÓN DE ROPA:



MAQUINARIA USADA:

SIEMBRA DIRECTA: Horsch, Semeato
SIEMBRA TRADICIONAL: Horsch, Torre, Amazone, Solano

Plaza de España, 7 - 47494 Rubí de Bracamonte (Valladolid)
Tif: 983 82 42 40 / Fax: 983 82 49 00
E-Mail: pitasl@pitasl.com - Web: www.pitasl.com