

E-04-2023

Comunicación científico-técnica

## Diseño, dimensionado y validación de un sistema de riego por goteo de precisión en cultivos leñosos

Del Castillo, A.<sup>1</sup>, Arias, R.<sup>1</sup>, Sevilla, A.<sup>1</sup>, Morcillo, M.<sup>1</sup>, Ortega, J.F.<sup>1</sup>

- 1 Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España. [amaro.castillo@uclm.es](mailto:amaro.castillo@uclm.es), [rocio.arias@uclm.es](mailto:rocio.arias@uclm.es), [agustin.sevilla@uclm.es](mailto:agustin.sevilla@uclm.es), [manuel.morcillo@uclm.es](mailto:manuel.morcillo@uclm.es), [jose.ortega@uclm.es](mailto:jose.ortega@uclm.es)

**Resumen:** La disponibilidad de recursos hídricos para la agricultura es cada vez más restringida, por lo que al mismo tiempo cobra cada vez mayor importancia el llamado “riego de precisión”, cuyo objetivo es aplicar la dosis necesaria de riego al cultivo en el momento adecuado, siendo tendencia desde hace años los estudios sobre aplicaciones de riego deficitario. Si bien el riego de precisión se basa en las nuevas tecnologías disponibles para la monitorización y gestión, el diseño clásico del sistema de riego implica la aplicación uniforme de agua en todo el sistema, sin tener en cuenta la variabilidad existente en la parcela. Además, el diseño hidráulico de sistemas riego procede a una simplificación de la forma y topografía de la subunidad real a una subunidad con forma y topografía totalmente regular. En esta comunicación se presenta el resultado del diseño hidráulico y su posterior validación de un sistema de riego de precisión en una parcela comercial de vid (*Vitis vinífera* L.) en espaldera, teniendo en cuenta la variabilidad del cultivo. Dicha variabilidad se determinó mediante vuelos con vehículo aéreo no tripulado (VANT) y posterior zonificación en función del vigor del cultivo. De esta manera, se zonificó un sector de riego con 3 zonas de diferente vigor: alto, medio y bajo. El diseño hidráulico del sector tuvo en cuenta dicha zonificación, aplicando diferente dosis de agua según la zona. Para el diseño del sistema de riego se recurrió a herramientas informáticas especializadas, las cuales permiten un diseño totalmente irregular en forma y topografía, y que permiten además evaluar el funcionamiento del sistema a nivel de gotero. Tras el montaje del nuevo sistema de riego se procedió a su evaluación y posterior calibración, tomando datos de presión y caudal en la nueva instalación. Los resultados obtenidos confirmaron la aplicación diferenciada de agua en función del diseño propuesto. La utilización de herramientas específicas para diseño hidráulico de sistemas de riego irregulares en forma y topografía permiten un riego adaptado a la variabilidad la parcela. Este estudio se enmarca dentro del proyecto Preciriego (sistema experto para el diseño y control de un sistema de riego a presión, personalizado y de precisión), continuando los estudios de diseño de sistemas de riego de precisión en cultivos herbáceos.

**Palabras clave:** Riego de precisión, riego localizado, vehículo aéreo no tripulado (VANT), preciriego.

# Design, sizing and validation of a precision drip irrigation system in woody crops

Del Castillo, A.<sup>1</sup>, Arias, R.<sup>1</sup>, Sevilla, A.<sup>1</sup>, Morcillo, M.<sup>1</sup>, Ortega, J.F.<sup>1</sup>

1 Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España. [amaro.castillo@uclm.es](mailto:amaro.castillo@uclm.es), [rocio.arias@uclm.es](mailto:rocio.arias@uclm.es), [agustin.sevilla@uclm.es](mailto:agustin.sevilla@uclm.es), [manuel.morcillo@uclm.es](mailto:manuel.morcillo@uclm.es), [jose.ortega@uclm.es](mailto:jose.ortega@uclm.es)

**Abstract:** The availability of water resources for agriculture is increasingly restricted, so at the same time the so-called “precision irrigation” is becoming increasingly important, the objective of which is to apply the necessary dose of irrigation to the crop at the right time, being studies on deficit irrigation applications have been trending for years. Although precision irrigation is based on the new technologies available for monitoring and management, the classic design of the irrigation system involves the uniform application of water throughout the system, without taking into account the variability existing in the plot. Furthermore, the hydraulic design of irrigation systems proceeds to simplify the shape and topography of the real subunit to a subunit with a completely regular shape and topography. This communication presents the result of the hydraulic design and its subsequent validation of a precision irrigation system in a commercial plot of trellised grapevines (*Vitis vinifera* L.), taking into account the variability of the crop. This variability was determined through flights with an unmanned aerial vehicle (UAV) and subsequent zoning based on the vigor of the crop. In this way, an irrigation sector was zoned with 3 zones of different vigor: high, medium and low. The hydraulic design of the sector took this zoning into account, applying different doses of water depending on the area. To design the irrigation system, specialized computer tools were used, which allow a completely irregular design in shape and topography, and which also allow evaluating the operation of the system at the dripper level. After the assembly of the new irrigation system, it was evaluated and subsequently calibrated, taking pressure and flow data in the new installation. The results obtained confirmed the differentiated application of water depending on the proposed design. The use of specific tools for hydraulic design of irrigation systems that are irregular in shape and topography allow irrigation adapted to the variability of the plot. This study is part of the Preciriego project (expert system for the design and control of a pressure, personalized and precision irrigation system), continuing the design studies of precision irrigation systems in herbaceous crops.

**Keywords:** Precision irrigation, localized irrigation, unmanned aerial vehicle (UAV), preciriego.

## 1. Introducción

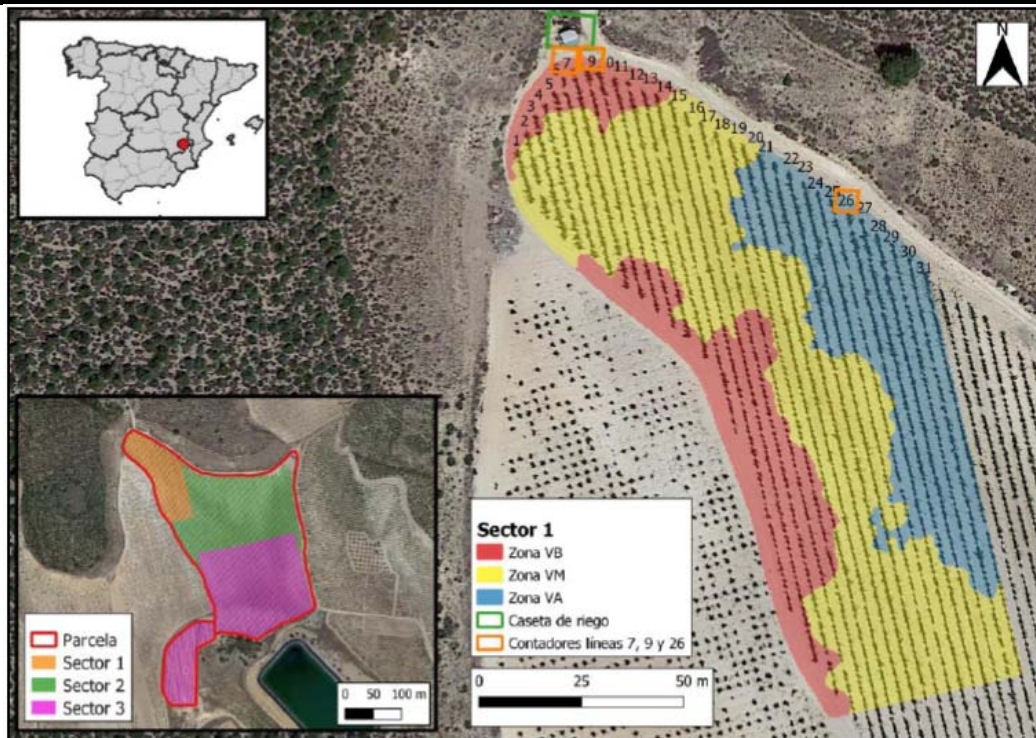
El riego de precisión utiliza las tecnologías disponibles para realizar una programación óptima del riego, estableciendo el momento, la frecuencia y el tiempo de riego adecuados según las características del cultivo, la configuración de la red de riego, el clima y suelo de la finca, dando de esta forma el agua que necesita la planta en el momento adecuado [1]. Numerosos estudios y proyectos están involucrados en la determinación precisa de la dosis, y momento de aplicación de riego [2]. Si bien el riego de precisión se aplica cada vez en mayor grado, los trabajos realizados se dirigen a la monitorización y gestión, no al diseño del sistema de riego, que es totalmente homogéneo para una misma subunidad. Es decir, la infraestructura de aplicación no tiene en cuenta la variabilidad y por lo tanto la dosis es la misma en toda la superficie cubierta por una subunidad de riego. En este contexto, se constituye el proyecto de colaboración público-privada "PRECIRIEGO" (RTC-2017-6365-2. Sistema experto para el diseño y control de un sistema de riego a presión, personalizado y de precisión), en el cual empresas dedicadas al diseño y fabricación de productos para sistemas de riego y Organismos Investigadores Públicos se unen para ofrecer respuesta a una necesidad: el desarrollo de riegos de precisión adaptados a cada parcela, en función de la variabilidad del cultivo, aportando diferentes dosis de agua en cada zona, para obtener el máximo rendimiento productivo. El objetivo de este trabajo es el diseño de un sistema de riego de precisión adaptado la variabilidad de una parcela, con dosis de agua diferenciada y con un manejo simultáneo del riego, en el que no sea necesario aplicar tiempos ni frecuencias distintas a cada zona.

## 2. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en una parcela comercial de viña (*Vitis vinífera* L.) en espaldera, ubicada en el término municipal de Fuente-Álamo, en la provincia de Albacete. Sus coordenadas UTM son X: 632800, Y:4287900 (EPSG 25830), su altitud media sobre el nivel del mar es de 820 m y ocupa una superficie de 7.5 ha. La variedad presente es Monastrell, injertada sobre 110R, y plantada en 2007. El marco de plantación es de 3 x 1.5 m, siendo la orientación de las filas de cultivo norte-sur (Figura 1).

Según el Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA) [3], la zona se clasifica según Papadakis como clima Mediterráneo Templado, siendo la temperatura media anual de 14 °C, la pluviometría media anual de 350 mm y la ETP media anual de 750 mm (Thorntwaite).

Esta parcela forma parte de la SAT "Las Colleras de Fuente-Álamo N° 003", constituida en 2008 y abarca una superficie de 1300 ha. Está dedicada en su totalidad a cultivos leñosos, siendo mayoritario el cultivo de la vid. La dotación de agua está restringida a 1000 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> y año, debido al bajo potencial hídrico del acuífero del que se abastece [4], y que pertenece a la Demarcación de la Cuenca Hidrográfica del Segura.



**Figura 1.** Parcela de viña ubicada en Fuente-Álamo (Albacete). Detalle mapa de zonificación del sector 1. (Fuente: González et. al., 2021. [5])

El abastecimiento de agua a la parcela se realiza mediante una estación de bombeo cercana, gracias a un hidrante propiedad de la SAT que posee una válvula-contador de 4 pulgadas, marca Bermad®, equipada con pilotos reguladores de presión y caudal, y con un tarado de 25 mca y  $75 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ .

La parcela posee un sistema de riego localizado por goteo, con 3 sectores de riego, si bien el presente estudio se limitó únicamente al sector nº 1, de 0.9 ha y 31 filas de viña. El sistema de riego en este sector está formado por tuberías terciarias enterradas de PE con un diámetro nominal de 50 mm, mientras que las tuberías portagoteros tienen un diámetro de 16 mm, poseen goteros de tipo integrado autocompensante, con un caudal nominal de  $4 \text{ lh}^{-1}$  a 10 mca, y están separados entre sí a 1.0 m. La tubería terciaria se alimenta por el punto intermedio, mientras que los ramales, uno por cada fila de viña, se conectan por el extremo y se encuentran colgados de la estructura metálica del emparrado.

Para evaluar la variabilidad presente en la parcela se recurrió a mapas de zonificación obtenidos a partir de ortofotos de alta resolución (5 cm) realizadas por una cámara multispectral Micasense instalada en un dron. A partir de dichas fotos se separó la vegetación del suelo mediante el software MS-GEO-LAIC Multiespectral [6], desarrollado por el grupo Precisión Agroforestal y Cartográfica (PAFYC) de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Posteriormente se calculó el Grado de Cobertura Vegetal (GCV) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) sobre dicha vegetación, y tras realizar un análisis cluster k-means se obtuvo una zonificación basada en el vigor del cultivo: vigor alto (VA), vigor medio (VM) y vigor bajo (VB) (Figura 1).

El sistema de riego a diseñar debía respetar los mismos tiempos y duración de riego entre las distintas zonas de vigor, por lo que se diseñó un sistema cuyos laterales de riego cambiaran la



distancia entre emisores según la zona, manteniendo el mismo tipo de goteros para todos ellos. Se evaluaron diferentes opciones de separación entre emisores, con el objetivo obtener la misma proporción de pluviosidad que el GCV entre las distintas zonas de vigor diferenciado, Para ello se evaluaron las diferentes combinaciones de caudales y separaciones comerciales ofrecidos por el fabricante del gotero [Tabla 1]:

**Tabla 1.** Pluviosidades del gotero en función de su caudal, separación entre goteros y una separación entre líneas de cultivo de 3 m

Distancia entre goteros (m)	Caudal nominal (lh <sup>-1</sup> )					
	1	1.6	2	2.3	3	3.5
0.20	1.667	2.667	3.333	3.833	5.000	5.833
0.25	1.333	2.133	2.667	3.067	4.000	4.667
0.30	1.111	1.778	2.222	2.556	3.333	3.889
0.33	1.010	1.616	2.020	2.323	3.030	3.535
0.40	0.833	1.333	1.667	1.917	2.500	2.917
0.50	0.667	1.067	1.333	1.533	2.000	2.333
0.60	0.556	0.889	1.111	1.278	1.667	1.944
0.75	0.444	0.711	0.889	1.022	1.333	1.556
1.00	0.333	0.533	0.667	0.767	1.000	1.167
1.25	0.267	0.427	0.533	0.613	0.800	0.933
1.50	0.222	0.356	0.444	0.511	0.667	0.778

La tubería lateral portagoteros fue provista por una de las empresas participantes del proyecto, con un diámetro nominal de 16 mm, y con emisores integrados del tipo autocompensante. La tubería terciaria no fue objeto de modificación, limitando el nuevo diseño al cambio de los ramales portagoteros presentes en la parcela.

Tras obtener el diseño del sector a estudiar, se evaluó su funcionamiento mediante el programa PRESUD-irregular, desarrollado por la sección PAFYC-UCLM [7]. PRESUD-irregular trabaja con las librerías de cálculo de EPANET [8] y es capaz de evaluar el funcionamiento de una subunidad de riego a nivel de gotero independientemente de su forma y topografía, obteniendo los caudales y presiones en todos los puntos de la red de riego. Para obtener las cotas en cada punto de la instalación, se suministró al programa el Modelo Digital del Terreno que provee el Instituto Geográfico Nacional, con un paso de malla de 2 m. PRESUD-irregular calcula los parámetros indicativos de calidad comúnmente empleados en el diseño de subunidades de riego: Coeficiente de Uniformidad (%), Coeficiente de Variación de Caudales (%) y Uniformidad de Emisión (%), parámetro este último no aplicable en nuestro caso de estudio, ya que tenemos un número variable de emisores por planta.

Para simular el comportamiento hidráulico del sector se introdujo en el programa PRESUD-irregular un abanico de presiones en cabecera, desde la presión nominal del hidrante (25 mca) descendiendo en intervalos de 1 mca, hasta encontrar presiones en el sistema riego inferiores a la presión de compensación del gotero (5 mca). De esta manera, al verter todos los goteros el mismo caudal los parámetros indicativos de calidad del riego siempre serán máximos y, por lo tanto, la calidad del riego será la mejor.

Una vez diseñado el sistema de riego de precisión, una de las empresas participantes en el proyecto procedió a la instalación del nuevo sistema, mientras que otra de las empresas instaló en la caseta del agricultor un sistema de mando y telecontrol para la total automatización de la instalación. Además, se procedió a la instalación de un contador de agua de agua al inicio del sector y tres contadores de línea al inicio de 3 ramales, todos ellos con emisores de pulsos y conectados al sistema de telecontrol. En estos mismos ramales se procedió a instalar sondas de humedad del tipo capacitivo, con el objetivo de monitorizar cada una de las zonas de riego diferenciadas. Se instalaron también transmisores de presión al inicio del sector, conectados igualmente al sistema de telecontrol del riego.

Con el objetivo de calibrar y validar el sistema de riego de precisión, se procedió a tomar medidas de presión a lo largo de los ramales del sector. Para ello se emplearon transmisores de presión de la marca Wika®, modelo A-10®, con un rango de medida de 0 a 6 bar, conectados a registradores de datos diseñados y construidos por la sección PAFYC-UCLM, con una frecuencia de registro de un dato por segundo. Como puntos fijos de medida se establecieron la cabecera del sector y los puntos de presión máxima y mínima resultado de la simulación en el programa PRESUD-irregular. El resto de puntos de medida de presión se tomaron de manera itinerante durante los eventos de riego, registrando datos de presión durante un tiempo mínimo de 5 minutos.

Adicionalmente, en cada punto de medida de presión se tomaron medidas del volumen emitido por los dos goteros más cercanos, tanto aguas arriba como abajo del punto medido, con dos medidas por gotero. Se registró el volumen vertido por los goteros durante 2 minutos, empleando para ello probetas de 250 ml con una resolución de 2 ml.

Se tomaron medidas de presión en 19 puntos, mientras que se evaluaron 48 goteros. No se pudieron realizar medidas precisas de caudal en la cabecera del sector, pues las tuberías no tenían la longitud mínima necesaria para garantizar medidas fiables.

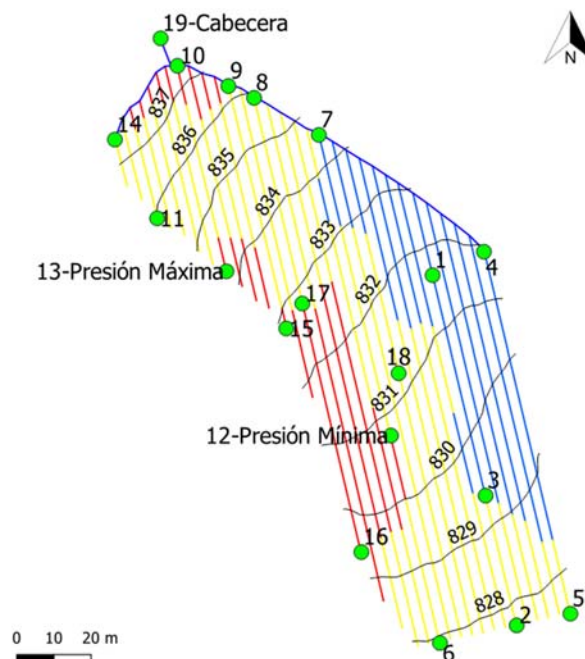


Figura 2. Ramales diferenciados, puntos de control evaluados y curvas de nivel del sector 1

Para calibrar el sistema de riego de precisión se empleó un script programado en Matlab®, utilizando el método de optimización del simplex, siendo la función objetivo minimizar el error cuadrático medio (RMSE, en mca) de las medidas realizadas respecto a las simuladas en PRESUD-irregular, cambiando las rugosidades de las tuberías terciarias y ramales portagoteros. Las rugosidades de partida introducidas en PRESUD-irregular para la simulación del nuevo sistema de riego de precisión fueron de 0.025 para la tubería portagoteros y de 0.25 para la tubería terciaria, ya que ésta última tiene mayor rugosidad por estar en uso durante varios años.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Diseño del sistema de riego de precisión y simulación hidráulica

En función de las relaciones de GCV entre las distintas zonas de vigor -0.892, 1 y 1.164 para las zonas VB, VM y VA, respectivamente-, se determinó que la mejor solución técnico-económica teniendo en cuenta el coste de la tubería en función del nº de goteros, era la utilización del gotero con caudal nominal de 3.5 lh<sup>-1</sup>, con una separación de 1.25 m para la zona VB, 1.00 m para la zona VM y 0.75 m para la zona de VA [tabla 3].

**Tabla 3.** Relación de pluviosidades del gotero en función de su caudal, separación entre goteros y una separación entre líneas de cultivo de 3 m.

		Relaciones de pluviosidad objetivo					Relaciones de pluviosidad respecto a la zona VM					
		VB	VM	VA			VB	VM	VA			
		0.892	1	1.164								
		Separación goteros óptima (m)			Pluviosidad (lm <sup>2</sup> y hora)			Relaciones de pluviosidad respecto a la zona VM				
Gotero (lh <sup>-1</sup> )		VB	VM	VA	VB	VM	VA	VB	VM	VA	nº emisores	Q total (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
1		0.30	0.25	0.20	1.111	1.333	1.667	0.833	1	1.250	12141	12.1
1.6		0.50	0.40	0.33	1.067	1.333	1.616	0.800	1	1.212	7478	12
2		0.60	0.50	0.40	1.111	1.333	1.667	0.833	1	1.250	6077	12.2
2.3		0.75	0.60	0.50	1.022	1.278	1.533	0.800	1	1.200	4976	11.4
3		1.00	0.75	0.60	1.000	1.333	1.667	0.750	1	1.250	4000	12
3.5		1.00	0.75	0.60	1.167	1.556	1.944	0.750	1	1.250	4000	14
3.5		1.25	1.00	0.75	0.933	1.167	1.556	0.800	1	1.333	3094	10.8

Una vez determinados los ramales portagoteros, se introdujo el diseño del nuevo sistema de riego de precisión en PRESUD-irregular para simular su comportamiento hidráulico. La simulación se detuvo al alcanzar en algún gotero presiones por debajo de la de compensación, determinando que por encima de 9 mca en cabecera todos los goteros vierten el mismo caudal, y por lo tanto la calidad del riego es máxima [tabla 4].

**Tabla 4.** Resultados de la simulación hidráulica en PRESUD-irregular.

P. Cab. (mca)	P. máx. (mca)	P. mín. (mca)	P. med. (mca)	Dif. Pres. (%)	Q. máx. gotero (lh <sup>-1</sup> )	Q. mín. gotero (lh <sup>-1</sup> )	Dif. Q. (%)	Q. med. (lh <sup>-1</sup> )	Q. Total (lh <sup>-1</sup> )	CU (%)	CV <sub>q</sub> (%)
9	11.32	5.47	7.66	76.33	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0

P. Cab. (mca)	P. máx. (mca)	P. mín. (mca)	P. med. (mca)	Dif. Pres. (%)	Q. máx. gotero (lh <sup>-1</sup> )	Q. mín. gotero (lh <sup>-1</sup> )	Dif. Q. (%)	Q. med. (lh <sup>-1</sup> )	Q. Total (lh <sup>-1</sup> )	CU (%)	CV <sub>q</sub> (%)
10	12.32	6.47	8.66	67.52	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
11	13.32	7.47	9.66	60.53	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
12	14.32	8.47	10.66	54.86	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
13	15.32	9.47	11.66	50.15	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
14	16.32	10.47	12.66	46.19	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
15	17.32	11.47	13.66	42.81	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
16	18.32	12.47	14.66	39.89	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
17	19.32	13.47	15.66	37.35	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
18	20.32	14.47	16.66	35.11	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
19	21.32	15.47	17.66	33.12	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
20	22.32	16.47	18.66	31.34	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
21	23.32	17.47	19.66	29.75	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
22	24.32	18.47	20.66	28.31	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
23	25.32	19.47	21.66	27.00	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
24	26.32	20.47	22.66	25.81	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0
25	27.32	21.47	23.66	24.72	3.5	3.5	0	3.5	10864	100	0

### 3.2 Medidas de caudal en el sistema de riego de precisión

Las medidas de caudal tomadas en campo reportaron un Coeficiente de Variación de Caudales (CV<sub>q</sub>) del 4.83%, siendo el Coeficiente de uniformidad del 96.48%, lo cual corresponde obteniendo a una calificación de “Excelente” según [9]. Los goteros evaluados estuvieron trabajando en un abanico de presiones desde 0.83 a 2.40 bar, con un caudal mínimo y máximo de 3.12 y 4.02 lh<sup>-1</sup>, respectivamente [Figura 3].

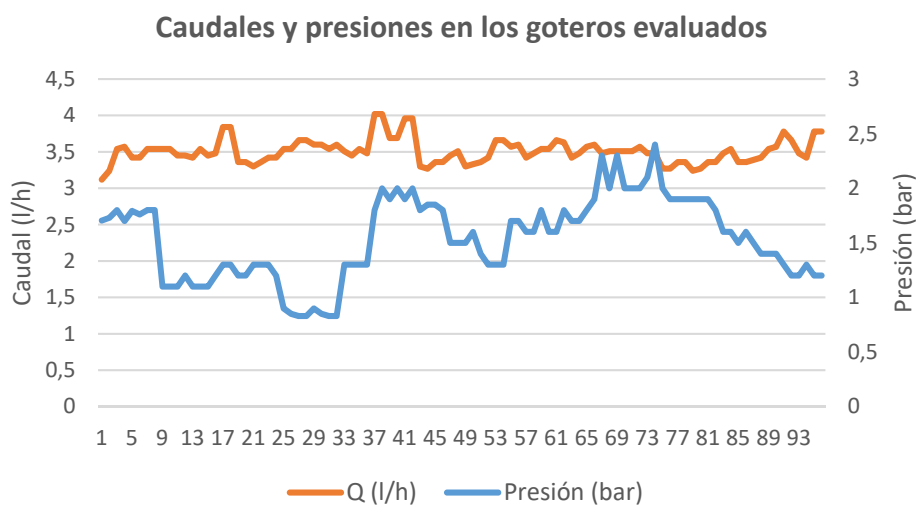


Figura 3. Caudales y presiones en los goteros evaluados.



### 3.3 Calibración hidráulica del sistema de precisión

Respecto a la calibración hidráulica, ya que el número de datos medidos de presión en cada punto no fue el mismo para todos ellos, se optó por realizar dos calibraciones, una con todos los datos medidos por los registradores de datos, otra empleando el mismo número de datos para cada punto medido, y una tercera adicional empleada para la validación de la red del nuevo sistema, en la que prescindieron del 40% de puntos empleados en la segunda calibración. Los resultados muestran pequeñas diferencias entre las 3 calibraciones, siendo la primera la que obtuvo mejor RMSE y error medio. Las rugosidades obtenidas para las tuberías terciarias y portagoteros son similares en las 3 calibraciones [Tabla 5].

**Tabla 5.** Resultado de la calibración realizada en Matlab mediante optimización por el método del simplex

Calibración	Rugosidad Secundaria	Rugosidad Lateral portagoteros	RMSE (mca)	Error medio (%)
1	0.3093	0.1597	0.6869	3.13
2	0.3165	0.1606	0.7340	3.16
3	0.3275	0.1784	0.7839	3.37

En la figura 4 se muestran los errores obtenidos en los puntos de control, respecto a las diferencias de presión. Una calibración con una diferencia media de presiones de  $\pm 1.5$  mca y un máximo de  $\pm 5.0$  mca puede considerarse como buena [10]. Otros autores consideran que una red de distribución hidráulica puede calibrarse con diferencias medias desde 3.5 hasta 7.0 mca [11]. Teniendo en cuenta que para las 3 calibraciones la diferencia media es de 0.11 mca y la máxima es de 0.53 mca, podemos concluir que la calibración hidráulica en las 3 calibraciones es buena.

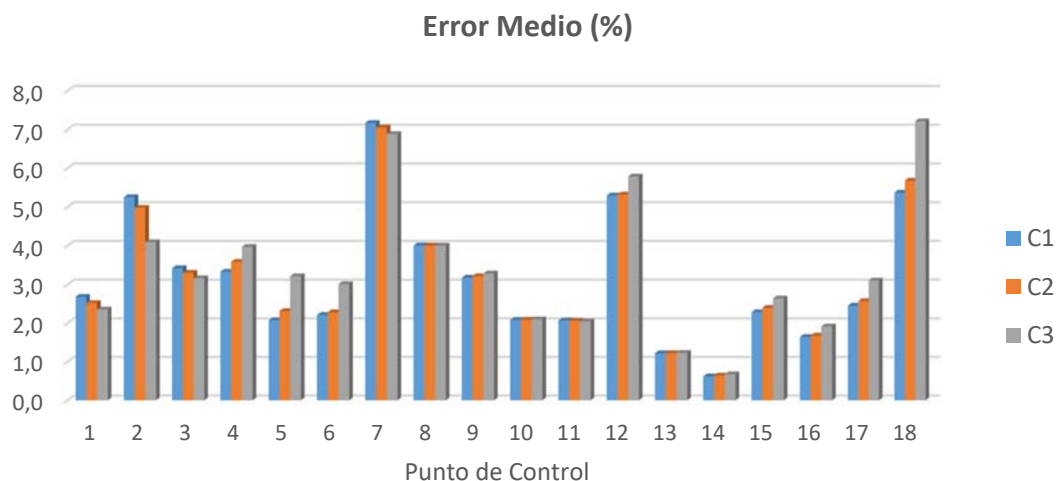


Figura 4. Caudales y presiones en los goteros evaluados.

Con las nuevas rugosidades obtenidas en la calibración 3 se comprueba en el programa PRESUD-irregular que se necesitan 10.3 mca en cabecera para lograr que todos los goteros

autocompensen, resultado lógico ya que las rugosidades calculadas son mayores que las supuestas inicialmente. Se comprueba también que la distribución de presiones cambia ligeramente desde la inicialmente simulada, el punto de presión mínima se ha desplazado 20 m aproximadamente en el mismo ramal, mientras que el punto de presión máxima no varía respecto al inicial.

#### 4. Conclusiones

Se ha diseñado y validado en campo un sistema de riego de precisión por goteo con dosis diferenciada en función de la variabilidad de la parcela obtenida mediante mapas temáticos. Gracias al uso de herramientas de diseño y de calibración de redes, se ha demostrado que se pueden diseñar sistemas de riego con forma, topografía y dosis totalmente irregulares, a diferencia del dimensionamiento clásico de subunidades de riego. A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la metodología y aplicaciones informáticas desarrolladas tienen utilidad potencial para la agricultura de precisión.

El desarrollo de este sistema de riego innovador, muestra que la colaboración público-privada es una vía adecuada para el desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan mejorar el uso del agua y la energía en el regadío.

#### 5. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos de investigación PID2020-115998RB-C22 financiado por MCIN/AEI y Cli-mAlert (SO3/P4/F0862). Se agradece la participación de las empresas involucradas y la ayuda prestada por el personal técnico de la sección PAFYC-UCLM y del CEBAS-CSIC.

#### Referencias

1. Martín, M. (2015). La importancia del riego de precisión en la agricultura de regadío. <https://www.iagua.es>
2. Pardo, J.J., Domínguez, A., Lélis, B.C., Montoya, F., Tarjuelo, J.M., Martínez-Romero, A. (2022). Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on quality, profitability and sustainability of barley in water scarce areas. *Agricultural Water Management*. 266. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107573>
3. Ministerio de Agricultura, P. y A. (MAPA). (2021). Sistema de información geográfica de datos agrarios. <https://sig.mapama.gob.es/siga/>
4. Rodríguez Estrella, T. (2007). Las aguas subterráneas entre las poblaciones de Ontur y Fuente-Álamo (Albacete). Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel".
5. González-Gómez, L., Intrigliolo, D.S., Ortega, J.F., Ballesteros, R., Ramirez-Cuesta, J.M., del Castillo, A., López-García, P., García, F.J., Munuera, M.T., Moreno, M.A. (2021). Preciriego: Un proyecto de colaboración público-privada para adaptar la irrigación de precisión al riego por goteo de los cultivos leñosos. XXXVIII Congreso Nacional de Riegos. Cartagena. DOI:10.31428/10317/10102
6. Córcoles, J.I.; Ortega, J.F.; Hernández, D.; Moreno, M.A. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. *Biosyst. Eng.* (2013), 115, 31–42, doi:10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2013.02.002.
7. Moreno, M.A., Del Castillo, A., Montero, J., Tarjuelo, J.M., Ballesteros, R. (2016). Optimisation of the design of pressurized irrigation systems for irregular shaped plots. *Biosyst. Eng.* 151. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105434>
8. Rossman, L.A., (2000). EPANET 2: users manual. Cincinnati US Environ. Prot. Agency Natl. Risk Manag. Res. Lab. 38, 200.
9. Monge, M.A. (2018). Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid. Editorial Agrícola Española.
10. Walski, T. (1983). Technique for calibrating network models. *Journal of water resources planning and management*. 109 (4). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1983\)109:4\(360\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1983)109:4(360))
11. Cesario, A.L., Davis, J.O. (1984). Calibrating water supply models. *J. Amn. Water Works Assoc.* 76, 66–69