

A-15-2021

Comunicación científico-técnica

Preciriego: Un proyecto de colaboración público-privada para adaptar la irrigación de precisión al riego por goteo de los cultivos leñosos.

González-Gómez, L.¹, Intrigliolo, D.S.^{1,2}, Ortega, J.F.³, Ballesteros, R.³, Ramirez-Cuesta, J.M.², del Castillo, A.³, López-García, P.³, García, F.J.⁴, Munuera, M.T.⁵, Moreno, M.A.³

¹ Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España);

lgonzalez@cebas.csic.es

² Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Investigación sobre Desertificación (CSIC-UV-GVA), Valencia (España);

diego.intrigliolo@csic.es

³ Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España; jose.ortega@uclm.es, rocio.ballesteros@uclm.es,

amaro.castillo@uclm.es, patricia.lopez@uclm.es, miguelangel.moreno@uclm.es

⁴ Nutricontrol, Cartagena (Murcia), España; fgarcia@nutricontrol.com

⁵ Sistema Azud, Alcantarilla (Murcia), España; tmunuera@azud.com

Resumen: En las últimas décadas se han realizado grandes avances para ajustar la dosis de riego a aplicar las necesidades hídricas promedio de una parcela, tendiendo hacia un riego de precisión. El siguiente reto que aborda el proyecto Preciriego es tener en cuenta la variabilidad en las parcelas para ajustar el riego a las posibles diferencias existentes. Mientras en cultivos herbáceos más extensivos y bajo riego por aspersion con Pivots este desafío ha sido ya abordado, se han realizado menos trabajos en cultivos leñosos y riego por goteo. En esta comunicación se integran técnicas de teledetección de rango cercano utilizando drones y modelos hidráulicos de precisión para llevar a cabo una zonificación de un viñedo comercial para definir tres zonas con distintos índices de vigor vegetativo. Posteriormente, se ha aplicado un riego diferencial para cada zona de modo que, manteniendo la dosis promedio establecida de unos 1000 m³/ha, la misma ha sido aplicada de forma diferencial en función del vigor de las cepas. Para ello se ha variado el diseño agronómico del riego, utilizando distintas distancias entre goteros en función de la zonificación realizada. De este modo, sin tener que sectorizar ni aplicar tiempos o frecuencias de riego distintas para cada zona, la pluviosidad de la instalación fue distinta. Dicha estrategia de riego de precisión ha sido validada en campo, demostrando que las zonas de mayor vigor vegetativo han aprovechado mejor la mayor dotación de riego empleada teniendo una mayor producción frente a otras zonas con menor desarrollo vegetativo donde se ha considerado que la productividad de las cepas podía estar limitada por otros factores al margen del riego. Otra de las ventajas del sistema de riego de precisión radica en la automatización de la programación llevada a cabo desarrollada mediante nuevos programadores con posibilidad de tele-lectura y fácil instalación en parcela. La puesta en práctica de los sistemas de riego de precisión sigue adelante en el proyecto Preciriego con otros ensayos en marcha en cultivos leñosos y hortalizas al aire libre.

Palabras clave: eficiencia en el uso del agua, drones, evapotranspiración, vid, zonificación.

A-15-2021

Scientific-technical communication

Preciriego: A public-private collaboration project to adapt precision irrigation to drip irrigation of woody crops.

González-Gómez, L.¹, Intrigliolo, D.S.^{1,2}, Ortega, J.F.³, Ballesteros, R.³, Ramirez-Cuesta, J.M.², del Castillo, A.³, López-García, P.³, García, F.J.⁴, Munuera, M.T.⁵, Moreno, M.A.³

¹ Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España);

lgonzalez@cebas.csic.es

² Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Investigación sobre Desertificación (CSIC-UV-GVA), Valencia (España);

diego.intrigliolo@csic.es

³ Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España; jose.ortega@uclm.es, rocio.ballesteros@uclm.es, amaro.castillo@uclm.es, patricia.lopez@uclm.es, Miguelangel.moreno@uclm.es

⁴ Nutricontrol, Cartagena (Murcia), España; fjgarcia@nutricontrol.com

⁵ Sistema Azud, Alcantarilla (Murcia), España; tmunuera@azud.com

Abstract: Recently important advances have been made to adjust the irrigation dose to apply the average plot water needs tending towards precision irrigation. The next challenge that the Preciriego project addresses is to take into account the variability in the plots to adjust the irrigation to the possible existing differences. While in more extensive herbaceous crops and under sprinkler irrigation with Pivots this challenge has already been addressed, less work has been done with woody crops under drip irrigation. In this communication, close-range remote sensing techniques are integrated using drones and precision hydraulic models to carry out a zoning of a commercial vineyard to define three zones with different vegetative vigour indexes. Subsequently, a differential irrigation has been applied for each zone so that, maintaining the established average dose of about 1000 m³ / ha, water was applied differentially depending on the vine vigour. For this, the agronomic irrigation design has been varied, using different distances between drippers depending on the zoning carried out. In this way, without having to sectorize or apply different irrigation times or frequencies for each zone, the watering application for each zone was different. This precision irrigation strategy has been validated in the field, showing that the areas with the highest vegetative vigour have made better use of the greater irrigation application, having a higher production compared to other areas with less vegetative development. In the low vigour areas, it has been considered that the vine productivity could be limited by factors other than irrigation. Another advantage of the precision irrigation system lies in the automation of the programming carried out by means of new programmers with the possibility of remote-reading and easy installation on the plot. The implementation of precision irrigation systems continues in the Preciriego project with other trials underway in woody and horticultural crops.

Keywords: water use efficiency, drones, evapotranspiration, grapevine, zoning.

1. Introducción

En la actualidad el uso eficiente de los recursos hídricos es un importante reto al que deben enfrentarse agricultores y gestores agrarios, con especial relevancia en zonas semiáridas que presentan una marcada limitación y escasez en la disponibilidad de agua como sucede en el sureste español. Así pues, las estrategias de riego de precisión toman un papel determinante en el manejo agronómico de las parcelas agrícolas. La agricultura de precisión requiere la tecnología necesaria para la distribución de los insumos así como el conocimiento de la distribución espacial de los requisitos de los cultivos [1].

La creación de mapas capaces de capturar la variabilidad intra e inter-parcelaria permite distribuir los riegos en base a las características intrínsecas de las propias parcelas, influenciadas por las propiedades de su suelo, la climatología y el manejo agronómico realizado sobre ellas. Existen numerosas técnicas que han abordado la creación de estos mapas como aquellas basadas en la conductividad eléctrica del suelo, las que emplean modelos de crecimiento de cultivos o modelos hidráulicos de precisión, el empleo de cosechadoras con monitores de rendimiento, o por ejemplo aquellas que utilizan datos obtenidos desde sensores remotos como satélites o drones entre otros. En este último contexto, la teledetección ha demostrado su potencial y efectividad para llevar a cabo la monitorización espacio-temporal de la vegetación [2] a través de una amplia multitud de índices de vegetación (IVs) derivados de las imágenes obtenidas desde dichos sensores remotos. Los IVs son sensibles a los cambios ocurridos en la vegetación en términos de desarrollo fisiológico, puesto que pueden reflejar las adversidades sufridas por el cultivo que afectan a su crecimiento y desarrollo, al reducir la densidad clorofílica o su biomasa, lo que provocará una disminución del IV [3,4]. Este hecho ha favorecido su uso como indicadores de diversos parámetros biofísicos como son la fracción de cobertura vegetal, el índice de área foliar, la fracción de la radiación fotosintéticamente absorbida, el coeficiente de cultivo, la altura de la planta, el contenido en clorofila, o el contenido en agua entre otros [5–7]. De ellos, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) [8] es el IV más popular y más ampliamente usado desde comienzo de los años 70 hasta hoy en día, siendo capaz de describir de manera adecuada el vigor vegetativo de las cubiertas vegetales.

La automatización de la programación en los sistemas de riego de precisión permite llevar a cabo un manejo más preciso y controlado que garantice el aporte adecuado de las necesidades hídricas específicas de los cultivos. En este sentido, cada vez es más demandado el empleo de sistemas de control inteligente y remoto que no solo permita tomar lecturas de sensores, integrar programaciones sencillas de riego y actuar sobre los emisores, sino que además sea capaz de interpretar los datos e integrar esta información en los modelos de ayuda a la toma de decisiones definidos para regular en tiempo real sobre el riego que realmente se debe aplicar.

El presente trabajo tiene por objetivo la evaluación en términos de producción, de una zonificación de precisión a través de un ensayo de riego diferencial por goteo realizada en base a la variabilidad del vigor vegetal presente en una parcela de viña en espaldera, enmarcada dentro del proyecto Preciriego (sistema experto para el diseño y control de un sistema de riego a presión, personalizado y de precisión)

2. Materiales y métodos

El trabajo desarrollado se llevó a cabo durante la campaña 2020 sobre una parcela comercial de viña en espaldera y riego por goteo, de la variedad Monastrell (*Vitis vinífera* L.), ubicada en el término municipal de Fuente-Álamo, provincia de Albacete (38° 43' 47" N, 1° 28' 18" O). La parcela fue plantada en el año 2007 utilizando el portainjerto 110 R. Las cepas presentan un marco de plantación de 3 m entre calles y 1.5 m entre cepas, con una orientación de la filas norte-sur. Tiene una superficie de 7.3 ha y se divide en 3 sectores hidráulicos, aunque el ensayo se llevó a cabo sobre el sector 1 (Figura 1) de 0.9 ha

y 31 líneas o filas de viña. Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la climatología en el área de estudio es del tipo Bsk (estepario frío). La temperatura media anual es de 14.9 °C y la precipitación promedio anual es de 294 mm. El suelo de la parcela es franco arenoso, con un pH alto de 8.86 y ligeramente alcalino.

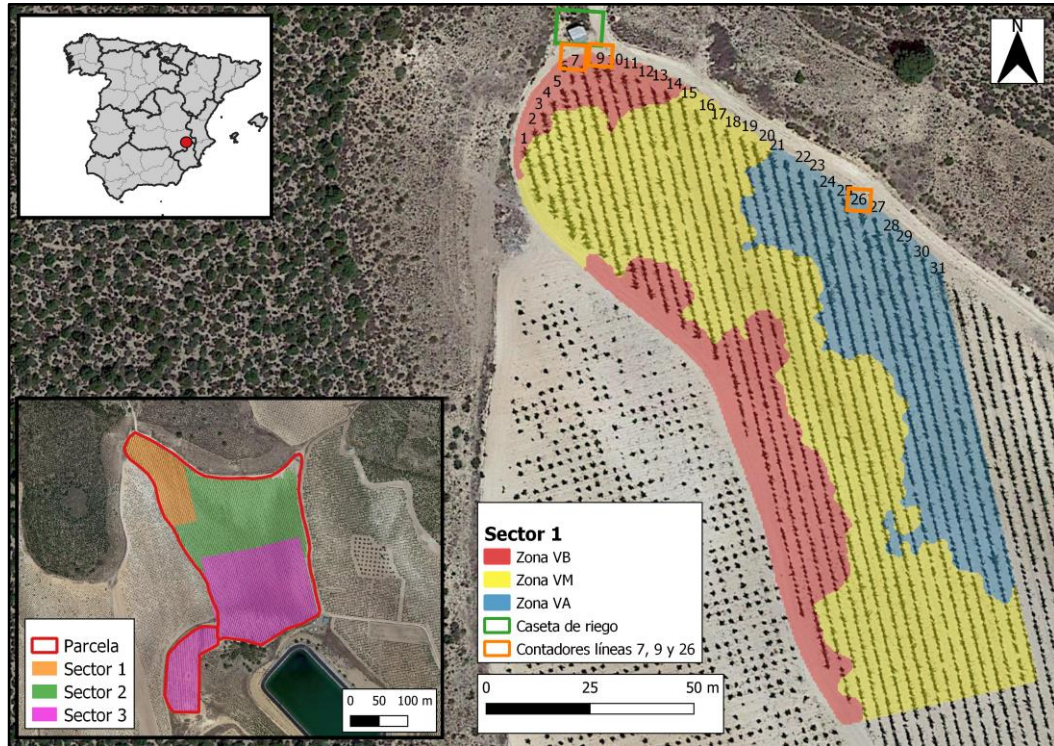


Figura 1. Parcela de viña ubicada en Fuente-Álamo (38° 43' 47" N, 1° 28' 18" O, Albacete). Detalle mapa de zonificación del sector 1.

La variabilidad presente en el sector 1 de la parcela objeto de estudio, se obtuvo a partir de un mapa de zonificación realizado mediante una imagen de muy alta resolución espacial (5 cm) adquirida con una cámara multispectral Micasense instalada sobre un dron y tomada el día 19 de junio del 2019. Se segmentó la vegetación separándola así del suelo, y eliminando con ello el alto efecto que los suelos ejercen en cultivos leñosos como la vid. Para ello, se utilizó la versión modificada del programa LAIC (Leaf Area Index Calculation) [9], llamado “MS-GEO-LAIC Multispectral”, desarrollado por el grupo Precisión Agroforestal y Cartográfica (PAFyC) de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). A partir de la diferencia normalizada de las bandas del rojo y del infrarrojo cercano se calculó el NDVI sobre la vegetación y se realizó un análisis cluster k-means. Posteriormente se aplicó un filtro de sal y pimienta, agrupando píxeles y eliminando pequeñas islas, obteniendo finalmente una zonificación en 3 clases de vigor alto (VA), medio (VM) y bajo (VB) (Figura 1).

Para poder llevar a cabo el riego diferencial, manteniendo de manera homogénea los mismos tiempos y momentos de riego entre las zonas definidas en el sector 1 de la parcela (Figura 1), en cada una de ellas se instalaron goteros autocompensantes del mismo caudal, de 3.5 l ha⁻¹, pero con distinta separación entre ellos. Por ello, los goteros se dispusieron a 1.25 m en la zona VB, a 1 m en la zona VM, y a 0.75 m en la zona VA. La programación del riego estuvo limitada por la dotación hídrica máxima en la parcela, siendo esta de aproximadamente 1000 m³ ha⁻¹. La programación de los riegos se inició la semana del 21 de julio y terminó la semana del 22 de septiembre. Los riegos semanales se programaron

en base a las necesidades hídricas estimadas durante la semana previa. Siguiendo la metodología de FAO 56 [10], para el cálculo del riego se estimaron las necesidades hídricas semanales en base a la evapotranspiración del cultivo (ET_c), considerando por un lado la demanda evaporativa de la atmósfera por medio de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y por otro lado, el cultivo analizado y su estadio fenológico a través del coeficiente de cultivo (K_c) (Ecuación 1). La ET_o se obtuvo diariamente desde la estación meteorológica de la Red SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío) más cercana a la parcela objeto de estudio, estando ubicada en la población de Ontur (Albacete). Siguiendo las recomendaciones de FAO 56, los valores de K_c deben de ajustarse a la localización y a las condiciones climáticas del área analizada. Por ello, se han empleado valores históricos de K_c en la parcela ya ajustados a las condiciones locales y del cultivo [11].

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Las necesidades de riego netas (NRN) se obtienen restando a la ET_c la precipitación efectiva (P_e), calculada asumiendo que el 70% de la lluvia registrada sobre la parcela es aprovechada por el cultivo (Ecuación 2).

$$NRN = ET_c - P_e \quad (2)$$

En base a las NRN y considerando la eficiencia de la instalación de riego y la fracción de lavado se obtuvieron las necesidades de riego brutas (NRB). En nuestro caso, se multiplicaron las NRN por un coeficiente de corrección de 1.05 (Ecuación 3).

$$NRB = NRN \times 1.05 \quad (3)$$

Para calcular la duración de los riegos semanales, las NRB se dividen entre la pluviosidad del sistema. Dicha pluviosidad es estimada multiplicando el número de goteros por su caudal, y dividiéndolo entre la superficie total, obteniendo así una pluviosidad de 1.22 mm h^{-1} .

Para poder contabilizar el agua real aplicada se instaló un contador general en la caseta de riego y otros 3 contadores al comienzo de las líneas número 7, 9 y 26, pertenecientes a las zonas VB, VM y VA, respectivamente (Figura 1). Además, en cada una de las 3 zonas se instalaron sondas de humedad y temperatura con sensores a diferentes profundidades (5, 15, 30, 45 y 60 cm), para poder observar principalmente en el caso de las sondas de humedad el comportamiento relativo en el tiempo de la humedad en suelo. A través de la instalación del equipo "NTC Datalogger" la aplicación del riego se automatizó, así como la visualización y descarga de datos de las sondas y los contadores.

Desde mediados de junio y hasta finales de septiembre, y en intervalos aproximados de 15 días, se llevaron a cabo, en 8 fechas diferentes, medidas de potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) utilizando cámaras de presión Scholander (Model 600, PMS Instrument Company, Albany, OR, USA) con el objetivo de analizar el estado hídrico de las cepas. Se seleccionaron 20 cepas representativas de la zona VB, 14 de la zona VM y otras 14 de la zona VA. Las hojas elegidas de cada cepa fueron envueltas en bolsas de plástico cubiertas de aluminio al menos 1 h antes de llevar a cabo las medidas, las cuales fueron realizadas entre las 12:00-14:00 h del mediodía solar.

Dos días antes de la vendimia del agricultor, el 23 de septiembre, se realizó un muestreo de vendimia y de bayas, para poder obtener datos de producción y de madurez fenológica y tecnológica en las 3 zonas analizadas del sector 1. También se muestrearon diversas cepas de los sectores 2 y 3, comparando así los datos obtenidos con los del sector 1 objeto del ensayo. En los muestreos de producción se recogieron los racimos de 130 cepas, de las cuales, 80 pertenecían al sector 1 (25 zona VB, 30 zona VM, y 25 zona VA), 25 al sector 2 y otras 25 al sector 3. En cuanto a los muestreos de madurez fenológica y tecnológica, se recogieron de manera aleatoria 3000 bayas en diferentes cepas de los 3 sectores de la parcela. En concreto se realizaron 3 repeticiones de aproximadamente 200 bayas en cada una de las 3 zonas del sector 1, y otras 3 repeticiones de aproximadamente 200 bayas tanto en el sector 2 como en el sector 3.

Las diferencias entre las 3 zonas del sector 1, así como las diferencias entre estas 3 zonas y los otros 2 sectores de riego (el 2 y el 3), han sido analizadas a través de un análisis de varianza (ANOVA), realizado mediante el programa Statistix 9 (Analytical Software, Tallahassee, USA). Las diferencias significativas encontradas se han analizado por medio del test HSD (Honest Significant Difference) de Tukey ($\alpha=0.05$).

3. Resultados y discusión

3.1. Zonificación de la parcela y diseño hidráulico

El mapa de variabilidad y zonificación del sector 1 de la parcela analizada que atiende al desarrollo vegetativo diferenciado por medio del análisis del NDVI ha permitido distinguir 3 zonas: la zona de menor vigor vegetativo, VB, la zona de vigor intermedio, VM, y la zona de mayor vigor, VA (Figura 1). En base a ello, en el diseño hidráulico del sector 1 los goteros se dispusieron a 1.25 m en la zona VB, a 1 m en la zona VM, y a 0.75 m en la zona VA. Así pues, la estrategia consistió en aplicar mayor cantidad de agua a la zona más vigorosa al tener los goteros instalados a una menor distancia entre ellos, y por el contrario aplicar menor cantidad de agua, con una mayor separación entre goteros, a la zona menos vigorosa y por tanto a priori con menores necesidades hídricas.

3.2. Análisis estado hídrico

La Figura 2 muestra el seguimiento del estado hídrico del viñedo a través de las mediciones quincenales del Ψ_{tallo} desde mediados de junio hasta finales de septiembre. La gráfica muestra como el estado hídrico del viñedo disminuyó a lo largo de la campaña en las 3 zonas del sector 1, pero situándose en valores de débil a moderado déficit hídrico [12]. En concreto, los valores de Ψ_{tallo} de la zona VB oscilaron entre los -0.36 MPa hasta los -0.81 MPa días antes de la vendimia. Con valores y una evolución temporal muy similar, el Ψ_{tallo} de la zona VM osciló entre los -0.39 MPa hasta los -0.81 MPa. La zona VA fue la que registró los menores valores de Ψ_{tallo} , los cuales fueron desde -0.43 MPa hasta -1.01 MPa. Así pues, la zona con mayor vigor vegetativo fue la que presentó los menores valores de Ψ_{tallo} . Esta zona VA presentó diferencias significativas con respecto a las otras dos desde mediados de julio hasta el final de la campaña de riego, con la salvedad de la penúltima medida tomada.

Complementario al análisis del estado hídrico de las plantas por medio de medidas puntuales de Ψ_{tallo} , también se llevó a cabo el análisis continuo de la evolución temporal de las sondas de humedad capacitativas desde julio hasta el final de la campaña de riego (Figura 3). La sonda ubicada en la zona VB presentó un problema en su instalación que interfirió en las medidas realizadas y por ello sus datos fueron descartados. La evolución temporal de la humedad mostró movimiento de agua en suelo principalmente hasta los 15 primeros cm en la zona VM y hasta los 30 cm en la zona VA. A mayor profundidad, aunque si muestra movimiento, no se observa percolación de agua hacia capas más profundas que indiquen un riego excesivo y/o mal distribuido en el tiempo (Figura 3).

Los volúmenes de agua registrados por los contadores instalados en cada una de las 3 zonas del sector 1 al comienzo de las líneas 7, 9 y 26, así como el del contador general instalado en la caseta de riego (Figura 1), se muestran en la Figura 4 comparados frente a los volúmenes programados durante la campaña. En los contadores de línea, se muestra que tras los 4 primeros riegos y con excepción de algún riego puntual, las dosis teóricas se ajustaron con bastante precisión a las reales. En el conjunto de toda la campaña de riego, la diferencia entre el riego teórico y el registrado a través de los contadores fue de un 6.2 %, 7.1 % y un 9.6 %, en las líneas 7 (zona VB), 9 (zona VM) y 26 (zona VA), respectivamente. El contador general no mostró el caudal real registrado hasta el día 25 de agosto, coincidiendo con el

riego número 20. Para el periodo de tiempo disponible, la diferencia entre el riego teórico y el registrado a través del contador general fue de un 2%.

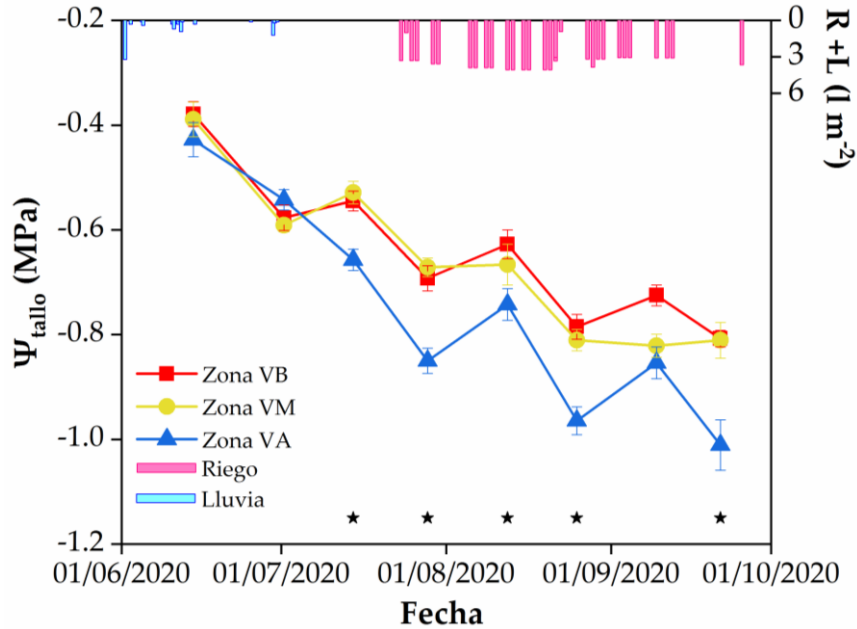


Figura 2. Potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallos}), en MPa, en las 3 zonas del sector 1. VB: vigor bajo. VM: vigor medio. VA: vigor alto. R + L: riego teórico + lluvia. Las barras representan el error estándar para las medidas. Los asteriscos muestran las diferencias significativas entre zonas ($p < 0.05$) a través del Test HSD de Tukey.

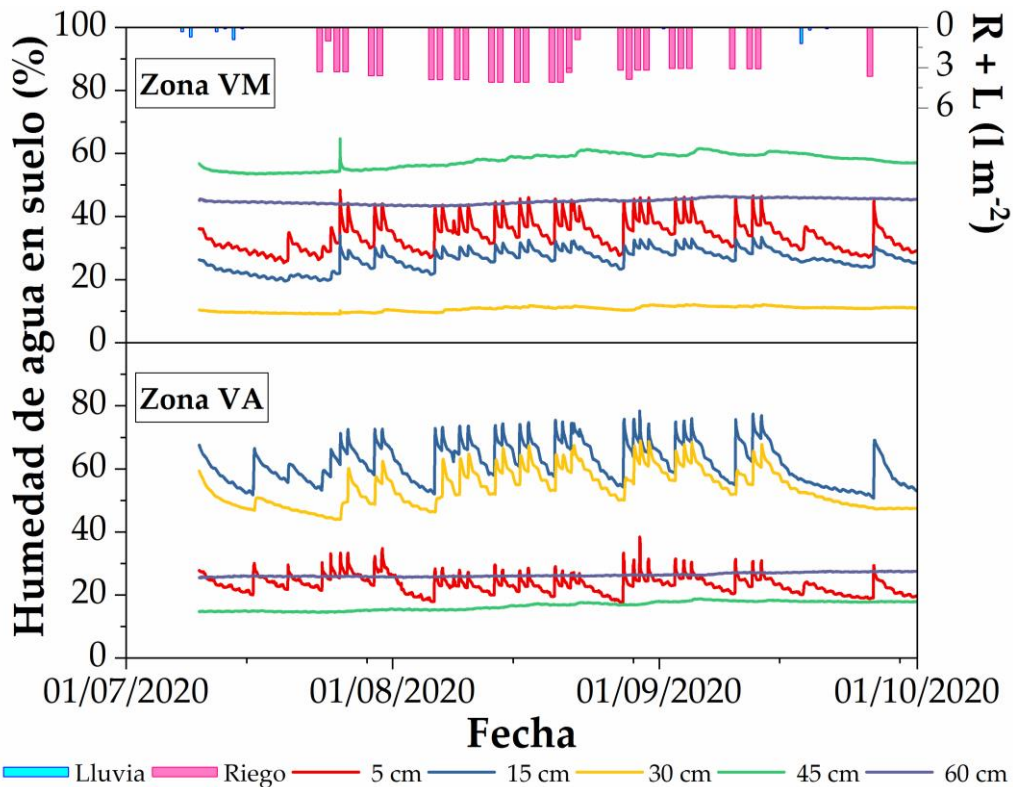


Figura 3. Humedad de agua en suelo a través de las sondas de humedad instaladas en la zona VM (vigor medio) y en la zona VA (vigor alto) a diferentes profundidades (0-5, 15, 30, 45 y 60 cm). R + L: riego teórico + lluvia.

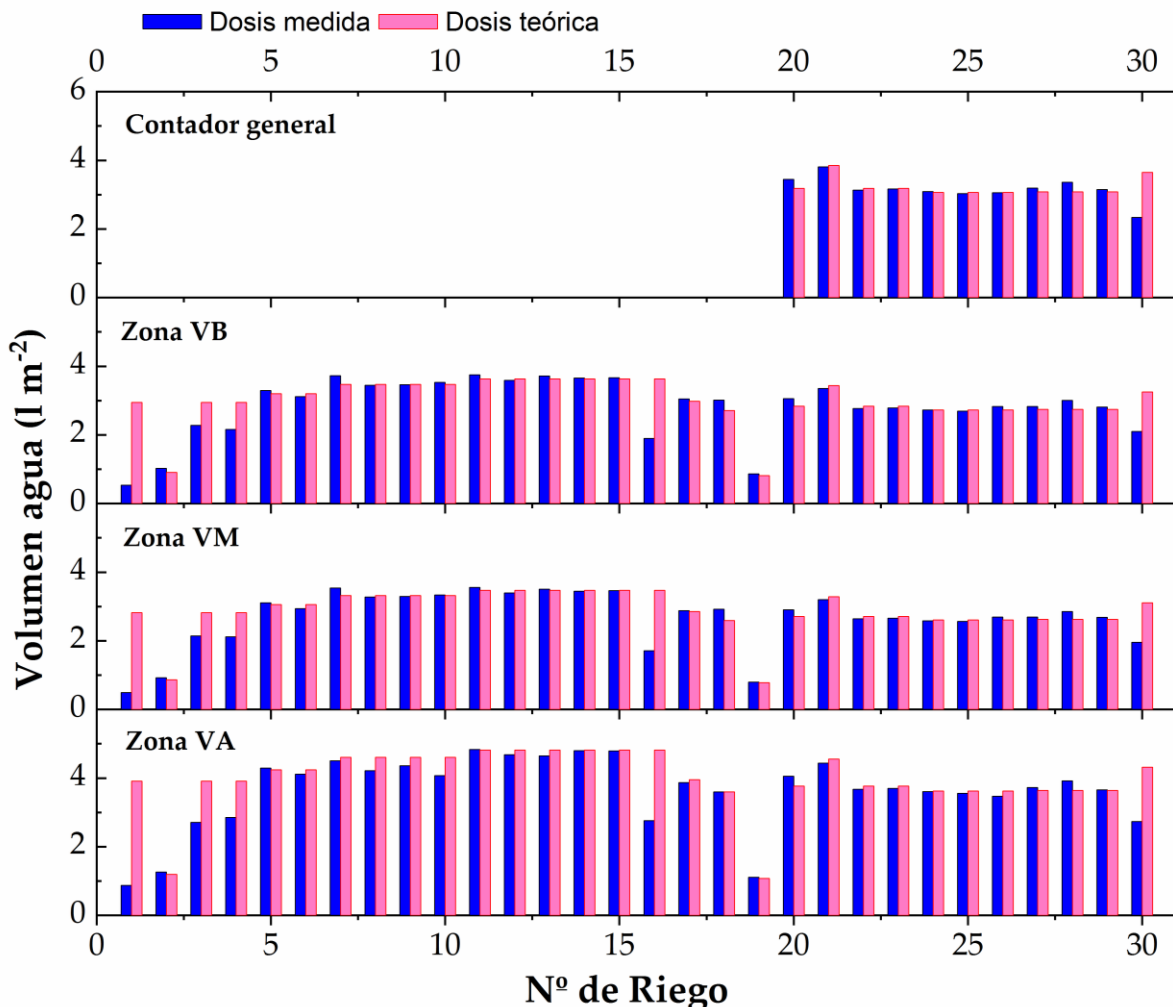


Figura 4. Volumen de agua medido mediante contadores frente a volumen de agua teórico programado. VM: vigor medio. VA: vigor alto.

3.3. Análisis muestreos de vendimia

La Tabla 1 muestra los datos de producción promedia por cepa y por hectárea obtenidos entre los muestreos llevados a cabo dos días antes de la vendimia, así como el peso promedio de las bayas. Aparecen diferencias significativas entre las zonas del sector 1, donde la zona VA presenta una mayor producción ($5.78 \text{ kg cepa}^{-1}$, 12836 kg ha^{-1}) que las zonas VB y VM, ambas dos con resultados muy similares entre ellas ($3.31\text{-}3.33 \text{ kg cepa}^{-1}$, $7351\text{-}7399 \text{ kg ha}^{-1}$). Por lo tanto, la zona más vigorosa en base al mapa de variabilidad del sector 1 analizado obtuvo una mayor producción final como se podía esperar. Esto es así a pesar del menor estado hídrico registrado en esta zona (Figura 2). La comparación de la producción de las zonas del sector 1 con respecto a los sectores 2 y 3 muestra diferencias significativas entre las zonas VB y VM del sector 1 con respecto a los sectores 2 y 3. Sin embargo, el promedio de todo el sector 1 ($4.14 \text{ kg cepa}^{-1}$, 9195 kg ha^{-1}) no presentó diferencias significativas con respecto a los sectores 2 y 3. Por lo tanto, puede considerarse como acertada la estrategia de suministrar más agua a la zona con mayor potencial productivo. En cuanto al peso de las bayas no se observan diferencias significativas en ningún caso.

Tabla 1. Datos promedios de producción por cepa y por hectárea, y de peso de bayas. VB: vigor bajo. VM: vigor medio. VA: vigor alto. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre las zonas del sector 1. Las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre las 3 zonas del sector 1 y los sectores de riego 2 y 3.

Sector	Zona	Producción (kg cepa ⁻¹)	Producción (kg ha ⁻¹)	Peso de la baya (g)
1	VB	3.31 b; B	7351 b; B	1.83 a; A
1	VM	3.33 b; B	7399 b; B	1.67 a; A
1	VA	5.78 a; A	12836 a; A	1.85 a; A
2		4.98 A	11070 A	1.75 A
3		4.50 AB	9990 AB	1.76 A

3.4. Análisis madurez fenólica y tecnológica

En cuanto a la composición de la uva no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas en la madurez tecnológica de la uva (Tabla 2) entre las distintas zonas y sectores de la parcela. Sin embargo, sí se pudo observar como las bayas de la zona VB (menos vigorosa) tenían un índice de polifenoles totales mayor que el resto de zonas y de los otros 2 sectores.

Tabla 2. Datos madurez fenólica y tecnológica. VB: vigor bajo. VM: vigor medio. VA: vigor alto. IPT: Índice de Polifenoles Totales. SST: Sólidos Solubles Totales. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre las zonas del sector 1. Las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre las 3 zonas del sector 1 y los sectores de riego 2 y 3.

Sector	Zona	Antocianos (mg g ⁻¹)	IPT (mg g ⁻¹)	Promedio SST (°BRIX)	Promedio pH	Promedio Ac. Total (g l ⁻¹) tartárico (pH=8.2)
1	VB	2.658 a; A	1.284 a; A	23.30 a; A	3.47 a; A	5.96 a; A
1	VM	2.745 a; A	1.141 b; B	22.73 a; A	3.52 a; A	5.84 a; A
1	VA	2.602 a; A	1.040 b; B	21.67 a; A	3.50 a; A	6.01 a; A
2		2.490 A	1.103; B	22.40 A	3.52 A	5.79 A
3		2.610 A	1.042; B	21.48 A	3.52 A	6.07 A

4. Conclusiones

Se ha validado en campo un sistema de riego de precisión, demostrando que las zonas de mayor vigor vegetativo han aprovechado mejor la mayor dotación de riego empleada teniendo una mayor producción frente a otras zonas con menor desarrollo vegetativo donde se ha considerado que la productividad de las cepas podía estar limitada por otros factores al margen del riego. Otra de las ventajas del sistema de riego de precisión desarrollado radica en la automatización de la programación llevada a cabo desarrollada mediante nuevos programadores con posibilidad de tele-lectura y fácil instalación en parcela. La puesta en práctica de los sistemas de riego de precisión sigue adelante en el proyecto Preciriego con otros ensayos en marcha en cultivos leñosos y hortícolas al aire libre.

5. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos de investigación Precieriego (RTC-2017-6365-2) y ClimAlert (SO3/P4//F0862). Se agradece la ayuda de campo prestada por el personal técnico y en particular por el Ing. Técnico Diego Guerra Alcázar (CEBAS-CSIC).

Referencias

1. Campos, I.; González-Gómez, L.; Villodre, J.; Calera, M.; Campoy, J.; Jiménez, N.; Plaza, C.; Sánchez-Prieto, S.; Calera, A. Mapping within-field variability in wheat yield and biomass using remote sensing vegetation indices. *Precis. Agric.* 2019, 20, 214–236, doi:10.1007/s11119-018-9596-z.
2. Khaliq, A.; Comba, L.; Biglia, A.; Aimonino, D.R.; Chiaberge, M.; Gay, P. Comparison of satellite and UAV-based multispectral imagery for vineyard variability assessment. *Remote Sens.* 2019, 11, doi:10.3390/rs11040436.
3. Tucker, C.J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation; 1979; Vol. 8;
4. Tucker, C.J.; Holben, B.N.; Elgin, J.H.; McMURTREY III, J.E. Remote Sensing of Total Dry-Matter Accumulation in Winter Wheat; 1981; Vol. 11;
5. Alganci, U.; Ozdogan, M.; Sertel, E.; Ormeci, C. Estimating maize and cotton yield in southeastern Turkey with integrated use of satellite images, meteorological data and digital photographs. *F. Crop. Res.* 2014, 157, 8–19, doi:10.1016/j.fcr.2013.12.006.
6. Bausch, W.C.; Neale, C.M.U. Crop Coefficients Derived from Reflected Canopy Radiation: A Concept. *Trans. ASAE* 1987, 30, 0703–0709, doi:10.13031/2013.30463.
7. Pinter, P.J.; Hatfield, J.L.; Schepers, J.S.; Barnes, E.M.; Moran, M.S.; Daughtry, C.S.T.; Upchurch, D.R. Remote Sensing for Crop Management; 2003;
8. Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. 1973.
9. 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.
10. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrig. Drain. Pap. No. 56*, FAO 1998, 300, doi:10.1016/j.eja.2010.12.001.
11. Martínez Moreno, A. Efectos del riego deficitario con aguas salinas en la producción y composición de la uva y la calidad del vino (PhD Thesis), Universidad de Murcia, 2020.
12. Leeuwen, C. van; Trégoat, O.; Choné, X.; Bois, B.; Pernet, D.; Gaudillère, J.-P. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *OENO One* 2009, 43, 121–134, doi:10.20870/OENO-ONE.2009.43.3.798.