

PD-01-2023

Comunicación científico-técnica

## Evaluación agronómica del riego por goteo de precisión basado en índices de vigor vegetativo en la vid para vinificación

### Agronomic responses of grapevines for wine production to a precision drip irrigation based on vegetation indexes

D.S. Intrigliolo<sup>1\*</sup>, L. González-Gómez<sup>2</sup>, J.F. Ortega<sup>3</sup>, R. Ballesteros<sup>3</sup>, J.M. Ramirez-Cuesta<sup>1,4</sup>, A. del Castillo<sup>3</sup>, A. Sevilla<sup>3</sup>, M.T. Munuera<sup>5</sup>, M.A. Moreno<sup>3</sup>

1 Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE) (CSIC-UV-GVA). Moncada (Valencia). Ctra. Moncada-Nàquera Km 4.5, 46113, Moncada, Valencia, España.

2 Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Campus Universitario Espinardo, 30100, Murcia (España).

3 Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España;

4 Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A), Università degli Studi di Catania, Catania, Italia,

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

\*D.S. Intrigliolo: diego.intrigliolo@csic.es

#### Resumen:

Últimamente se han realizado avances para determinar la dosis de riego a aplicar en el viñedo en función de los objetivos productivos y enológicos. El reto que aborda este trabajo es tener en cuenta la variabilidad espacial en las parcelas para ajustar el riego a las posibles diferencias existentes. Para ello, la metodología utilizada integra técnicas de teledetección de rango cercano utilizando drones y modelos hidráulicos de precisión para llevar a cabo una zonificación de un viñedo comercial de la variedad Monastrell situado en la DO Jumilla para definir tres zonas con distintos índices de vigor vegetativo. Posteriormente, durante tres campañas consecutivas, se ha aplicado un riego diferencial para cada zona de modo que, manteniendo la dosis promedio establecida de unos 1000 m<sup>3</sup>/ha, la misma ha sido aplicada de forma diferencial en función del vigor de las cepas, aplicando más agua a la zona con una mayor vigorosidad. 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, el volumen de agua aplicado por 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



# XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



---

menor desarrollo vegetativo donde se ha considerado que la productividad de las cepas podía estar limitada por otros factores al margen del riego. Además, las distintas zonas previamente delimitadas, han proporcionado calidad de uva diferenciada. Mediante el procedimiento descrito, se puede por lo tanto adaptar el riego en parcela en función de la variabilidad existente modulando así la respuesta del viñedo.

**Palabras clave:** NDVI, Riego deficitario, *Vitis vinífera*, zonificación



# XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



---

## Abstract:

Lately, progress has been made to determine the irrigation dose to apply in the vineyard based on the productive and oenological objectives. The challenge that this work addresses is to take into account the spatial variability in the plots to adjust irrigation to possible existing differences. To this end, the methodology used integrates close-range remote sensing techniques using drones and precision hydraulic models to carry out zoning of a commercial vineyard of the Monastrell variety located in the DO Jumilla to define three zones with different vegetative vigor indices. Subsequently, during three consecutive campaigns, differential irrigation has been applied to each area so that, maintaining the established average dose of about 1000 m<sup>3</sup>/ha, it has been applied differentially depending on the vigor of the vines, applying more water to the area with greater vigor. To achieve this, the agronomic design of irrigation 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 area, the volume of water applied by the installation was different. This precision irrigation strategy has been validated in the field, demonstrating that the areas with greater vegetative vigor have made better use of the greater amount of irrigation used, having a greater production compared to other areas with less vegetative development where it has been considered that the vine productivity could be limited by factors other than irrigation. Furthermore, the different areas previously delimited have provided differentiated grape quality. Using the described procedure, irrigation on the plot can therefore be adapted depending on the existing variability, thus modulating the response of the vineyard.

## Keywords:

NDVI, Deficit irrigation, *Vitis vinífera*, zoning

## 1. Introducción

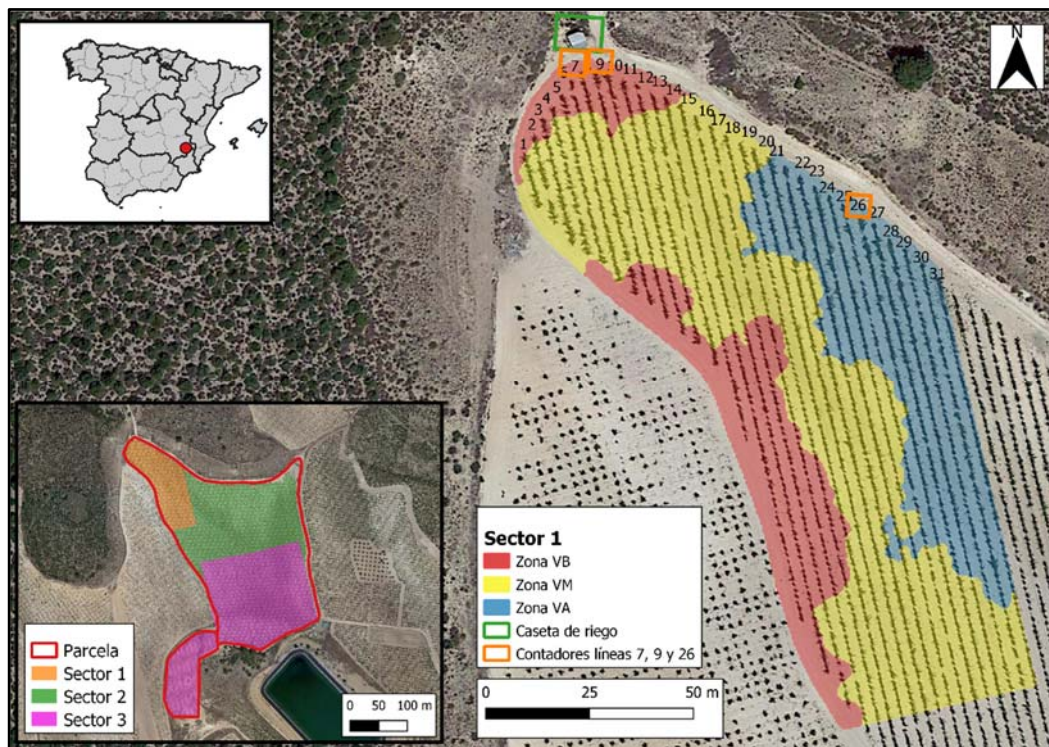
En la actualidad el uso eficiente de los recursos hídricos es un importante reto al que deben enfrentarse agricultores y gestores agrarios, con especial relevancia en zonas semiáridas que presentan una marcada limitación y escasez en la disponibilidad de agua como sucede en el sureste español. Así pues, 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 las campañas 2020 a 2023 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 ( $38^{\circ} 43' 47''$  N,  $1^{\circ} 28' 18''$  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 las 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  $14.9^{\circ}\text{C}$  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 ( $38^{\circ} 43' 47''$  N,  $1^{\circ} 28' 18''$  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<sup>-1</sup>, 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. 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<sub>c</sub>), considerando por un lado la demanda evaporativa de la atmósfera por medio de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y por otro lado, el cultivo analizado y su estadio fenológico a través del coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>). La ET<sub>o</sub> 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<sub>c</sub> deben de ajustarse a la localización y a las condiciones climáticas del área analizada. Por ello, se han empleado valores históricos de K<sub>c</sub> en la parcela ya ajustados a las condiciones locales y del cultivo [11].

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 ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) 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. En las distintas vendimias se realizaron 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. 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). Las diferencias entre las 3 zonas del sector 1 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 Tabla 2 muestra los valores promedio del estado hídrico del viñedo a partir de las mediciones quincenales del  $\Psi_{\text{tallo}}$  desde mediados de junio hasta finales de septiembre. En los tres años de estudio, la zona de vigor alto, a pesar de recibir un volumen mayor de agua de riego, presentan los potenciales hídricos más negativos.

**Tabla 1.** Datos promedios del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) en las distintas zonas identificadas. En el año 2022 no se pudieron llevar a cabo las determinaciones. Letras distintas indican diferencias significativas a  $P < 0.05$  entre zonas de distinto vigor

Zona	$\Psi_{\text{tallo}}$ 2020 (MPa)	$\Psi_{\text{tallo}}$ 2021 (MPa)	$\Psi_{\text{tallo}}$ 2023 (MPa)
Vigor bajo	-0.67b	-0.81ab	-0.95b
Vigor medio	-0.68b	-0.76b	-0.98b
Vigor alto	-0.77a	-0.89a	-1.09a

#### 3.3. Análisis muestreos de vendimia

La Tabla 2 muestra los datos de producción promedio por cepa. En los tres años de estudio la zona con vigor alto presenta una mayor producción que las otras dos zonas identificadas. Por lo tanto, puede considerarse como acertada la estrategia de suministrar más agua a la zona con mayor potencial productivo.

**Tabla 2.** Datos promedios de producción por cepa. Letras distintas indican diferencias significativas a  $P < 0.05$  entre zonas de distinto vigor

Zona	Producción	Producción	Producción	Producción
	(kg cepa <sup>-1</sup> ) 2020	(kg ha <sup>-1</sup> ) 2021	(kg ha <sup>-1</sup> ) 2022	(kg ha <sup>-1</sup> ) 2023
Vigor bajo	3.31b	5.89b	4.82b	3.13b
Vigor medio	3.33b	4.91b	5.83ab	3.25b
Vigor alto	5.78a	7.10a	6.0a	4.17a

## 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 Preciriego (RTC-2017-6365-2). 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.