

# Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la recomendación del riego y la fertilización nitrogenada eficiente del viñedo de vinificación

J.M. RAMÍREZ-CUESTA<sup>1,2</sup>, F. VISCONTI<sup>2</sup>, I. BUESA<sup>3</sup>, J.M. MIRÁS-AVALOS<sup>4</sup>, J.M. ESCALONA<sup>3</sup>, L.G. SANTESTEBAN<sup>5</sup>, D.S. INTRIGLILO<sup>2</sup>

(1) Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A), Università degli Studi di Catania. Catania, Italia  
(2) Departamento de Ecología y Cambio Global, Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE), CSIC-UV-GVA, Moncada, Valencia.

(3) Instituto de Investigaciones Agroambientales y de Economía del Agua-Universidad de las Islas Baleares (INAGEA-UIB). Palma, Islas Baleares.

(4) UA-RAMA. Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente (Unidad asociada a EEAD-CSIC Suelos y Riegos), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza.

(5) Departamento de Agronomía, Biotecnología y Tecnología de Alimentos, Universidad Pública de Navarra (UPNA), Pamplona, Navarra.

## RESUMEN

Este artículo muestra las principales utilidades y potencialidades del sistema de apoyo a la toma de decisiones de riego y de abono nitrogenado WANUGRAPE4.0. Se describen los parámetros de entrada requeridos –localización, suelo, viñedo y manejo– así como los resultados proporcionados como salida por esta plataforma. De este modo, el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0 permite a los diferentes usuarios estimar el estado hídrico de las cepas en el viñedo de interés, ofreciendo adicionalmente recomendaciones estacionales de las dosis de: i) agua de riego en función de los objetivos agronómicos y enológicos deseados y ii) dosis de nitrógeno, que son necesarias para conseguir un determinado estado hídrico.

**Palabras clave:** Digitalización, estado hídrico, Rendimiento, Calidad de uva, Viticultura de precisión.

## ABSTRACT

**Decision support system for the recommendation of an efficient irrigation and nitrogen fertilization for winemaking vineyard.** This article shows the main utilities and potentialities of the WANUGRAPE4.0 decision support system. The required input parameters –location, soil and vineyard characteristics and its management– are described; as well as the results provided by this platform. In this way, WANUGRAPE4.0 decision support system allows different users to estimate vine water status in the location of interest, as well as offering seasonal irrigation water amount recommendations based on the desired agronomic and oenological objectives; and seasonal nitrogen recommendations, which are necessary to achieve a certain crop water status.

**Key words:** Digitalisation, Vine water status, Yield, Grape quality, Precision viticulture.

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS) son herramientas digitales que contribuyen a la transferencia del conocimiento científico en soluciones prácticas para los usuarios finales. Gracias al gran avance experimentado por las tecnologías digitales, los DSS permiten obtener, procesar e interconectar de manera automatizada información procedente de múltiples fuentes con el fin de ofrecer información útil para el proceso de toma de decisiones. Estos DSS están compuestos por tres elementos principales que incluyen los datos brutos, el modelo interno para interpretar los mismos, y la interfaz para su visualización por parte del usuario final.

La creciente disponibilidad de información y resultados de la investigación ha permitido que los DSS sean cada vez más precisos y fiables. Sin embargo, estos no toman las decisiones finales ni operan los sistemas, sino que su principal función es la de sugerir diferentes alternativas justificadas para ayudar al usuario final en su labor de decidir cómo intervenir, permitiendo considerar factores complejos que interactúan entre sí y que, de otro modo, podrían pasarse por alto. La mayoría de estos DSS son herramientas de *software* dinámicas con un nivel variable de complejidad que requieren que el usuario introduzca algunos datos sobre el agro-sistema, principalmente relacionados con la ubicación del

**Localización del viñedo**

Longitud (dec)  Latitud (dec)  Altitud (metros)

**Suelo**

Tipo de suelo  Calcáreo  No Calcáreo

Pedregosidad (%)

Arena (%)

Arcilla (%)

Limo (%)

Profundidad (metros)

Materia orgánica (%)

Albedo del suelo

**Viñedo**

Fecha de brotación

Distancia entre plantas (metros)

Distancia entre filas (metros)

Altura máxima del dosel (metros)

Anchura máxima del dosel (metros)

Proporción mínima de huecos (%)

Orientación del viñedo

**Manejo**

**Riego**

Goteo subterráneo  Goteo superficial  Aspersión o inundación

**Suelo**

Con acolchado orgánico  Sin acolchado orgánico

Entidades participantes en el desarrollo de este sistema de ayuda a la decisión:

**Figura 1.** Interfaz gráfica del sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0.

campo, los datos meteorológicos, las propiedades físico-químicas e hidráulicas del suelo, las características y el crecimiento del cultivo, y el diseño del sistema de riego.

La aplicación práctica de los DSS abarca múltiples propósitos y sectores, como, por ejemplo, la logística, el marketing, el comercio o, incluso, el diagnóstico médico. Específicamente, existen numerosos sistemas de apoyo a la toma de decisiones disponibles para la agricultura (por

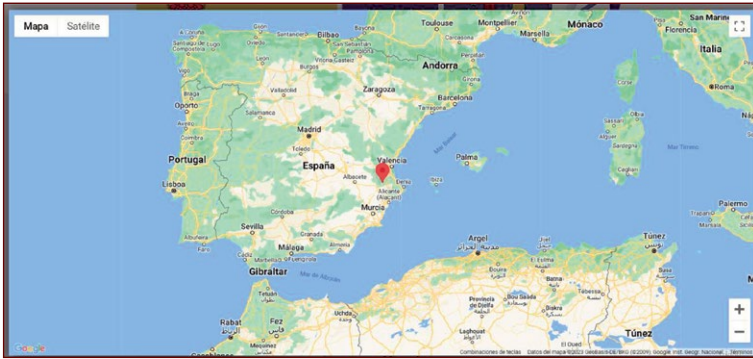
ejemplo, VILLALOBOS y col., 2020; GALLARDO y col., 2020) destinados, principalmente, a ayudar a los usuarios finales a optimizar el uso de insumos en la agricultura, proporcionando orientaciones sobre las prácticas de gestión agrícola. No obstante, hasta la fecha, no existen en el mercado DSS enfocados al sector vitivinícola que integren el manejo del agua y de la fertilización nitrogenada orientadas a la consecución de objetivos productivos y enológicos concretos.



**Localización del viñedo**

Longitud (dec)	-0.7518822343749	Latitud (dec)	38.9548110784926	Altitud (metros)	485	
----------------	------------------	---------------	------------------	------------------	-----	---

**Figura 2.** Entradas requeridas en el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0. relativas a la localización del viñedo de interés.



**Figura 3.** Selección manual de la ubicación del viñedo de interés utilizando el visor cartográfico.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue generar un DSS para el riego y la fertilización nitrogenada de la vid para vinificación, diseñado con los objetivos específicos de (i) estimar el estado hídrico de las cepas para las características del viñedo definido por el usuario; y (ii) recomendar la dosis estacional de agua de riego, así como de nitrógeno, que son necesarias para conseguirlo (en caso de querer mejorar dicho estado hídrico).

## Material y métodos

El sistema de decisión para el riego estacional y la fertilización nitrogenada WANUGRAPE4.0 está basado en i) un modelo matemático que simula el estado hídrico del cultivo, y ii) los resultados de un metanálisis de los efectos de la dosis de nitrógeno sobre la producción y calidad de uva para vinificación (véase MIRÁS-AVALOS y col., 2024 págs. 12-21 y VISCONTI y col., 2024 págs. 62-68 en este mismo número). A este sistema se puede acceder gratuitamente a través de la dirección web <https://aguaycultivos.csic.es/fertiriego/>, donde el usuario encuentra una interfaz gráfica con la que puede interactuar y que se estructura en 4 apartados que incluyen *inputs* relativos a (i) la localización del viñedo, (ii) las propiedades del suelo, (iii) las características del viñedo; y (iv) el manejo del riego y el suelo (Figura 1). A continuación, se describe cada uno de estos apartados.

## Localización del viñedo

En este apartado, el usuario dispone de dos alternativas para localizar el viñedo de interés. Por un lado, el usuario puede introducir las coordenadas de la latitud y la longitud (en grados), así como la altitud (en metros), directamente en las casillas habilitadas a tal efecto (Figura 2). La segunda de las alternativas consiste en la selección de la ubicación del viñedo directamente sobre el mapa disponible para tal propósito (Figura 3). De este modo, los valores de latitud, longitud y altitud se rellenan automáticamente.

## Suelo

En este apartado, el usuario puede introducir los valores de varias propiedades del suelo del viñedo que permiten la realización de las simulaciones por el modelo, incluyendo la presencia de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), los porcentajes de elementos gruesos, arena, limo, arcilla y materia orgánica, así como la profundidad efectiva y el albedo (Figura 4). Con respecto al  $\text{CaCO}_3$ , el modelo de simulación del estado hídrico del viñedo diferencia entre suelos calizos (aquellos de  $\text{pH} > 7,2$  que dan efervescencia con  $\text{HCl}$  10%) y no calizos. La presencia de  $\text{CaCO}_3$  puede ser indicada directamente por el usuario o derivarse de la ubicación del viñedo en función del valor de  $\text{CaCO}_3$  extraído de la European Soil Database (European Soil

Data Centre (ESDAC), <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>, European Commission, Joint Research Centre; PANAGOS y col., 2012; 2022). De igual modo, una vez el usuario introduce la ubicación del viñedo de interés, se autocompletan los datos porcentaje de arena, limo y arcilla con los valores referidos por la ESDAC para dicha ubicación. En cualquier caso, el usuario puede modificar estos datos para adecuarlos a la información que posea sobre su suelo, por ejemplo, la obtenida mediante análisis de muestras del mismo. En su funcionamiento actual, el usuario deberá incorporar información relativa al porcentaje de elementos gruesos, esto es pedregosidad, y de materia orgánica. No obstante, en un futuro próximo está previsto que se incorporen los valores referidos por ESDAC para estas dos propiedades, si bien el usuario siempre podrá modificarlos si dispone de información de más detalle. Finalmente, se deben completar los valores de la profundidad efectiva del suelo (generalmente con valores inferiores a 2 m) y del albedo del mismo (oscilando en la mayoría de los suelos entre 0,15 y 0,30).

## Viñedo

Las entradas relacionadas con las características específicas del viñedo, se introducen en el apartado “Viñedo” (Figura 5). Aquí se incluye información relativa al marco de plantación, esto es, distancia entre plantas y entre filas, en metros; y orientación de las filas de cepas, así como información relativa a aspectos morfológicos de las viñas como altura y anchura máxima del dosel vegetal y porcentaje mínimo de huecos en la espaldera vertical; y, finalmente, información relativa a aspectos fenológicos, concretamente la fecha de brotación.

## Manejo

Este apartado permite tener en cuenta posibles técnicas de manejo relacionadas con el sistema de riego del viñedo (riego por aspersión, o riego por goteo, tanto superficial como subterráneo) y con el suelo (como la utilización o no de acolchado orgánico que reduciría la evaporación de agua desde el suelo) (Figura 6). Dicha información es utilizada para estimar la fracción de agua de riego perdida por evaporación se-

### Suelo

Tipo de suelo ⓘ	<input checked="" type="radio"/> Calcáreo <input type="radio"/> No Calcáreo
Pedregosidad (%) ⓘ	0
Arena (%) ⓘ	51
Arcilla (%) ⓘ	27
Limo (%) ⓘ	22
Profundidad (metros)	2.0
Materia orgánica (%)	0.63
Albedo del suelo ⓘ	0.18

**Figura 4.** Entradas requeridas en el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0. relativas a las propiedades del suelo del viñedo de interés.

### Viñedo

Fecha de brotación	01/04/2022
Distancia entre plantas (metros)	2.45
Distancia entre filas (metros)	2.45
Altura máxima del dosel (metros)	0.9
Anchura máxima del dosel (metros)	0.4
Proporción mínima de huecos (%) ⓘ	10
Orientación del viñedo	N - S

**Figura 5.** Entradas requeridas en el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0. relativas a las características del viñedo de interés.

### Manejo

Riego	Suelo
<input type="radio"/> Goteo subterráneo	<input type="radio"/> Con acolchado orgánico
<input checked="" type="radio"/> Goteo superficial	<input checked="" type="radio"/> Sin acolchado orgánico
<input type="radio"/> Aspersión o inundación	

**Figura 6.** Entradas requeridas en el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0. relativas a las técnicas de manejo relacionadas con el sistema de riego y con el suelo del viñedo de interés.

gún lo indicado en el Cuadro 1 y que así el modelo pueda simular el estado hídrico del viñedo en condiciones de regadío.

Condiciones de secano	Condiciones de regadío
En condiciones de secano el potencial hídrico promedio a lo largo de la temporada es <b>-0.77 MPa</b> .	Con un riego a lo largo de la temporada de <b>221.28 mm</b> el potencial hídrico promedio es <b>-0.5 MPa</b> .
En estas condiciones de secano la viña está sometida a <b>estrés hídrico moderado</b> .	En estas condiciones de secano la viña está sometida a <b>estrés hídrico leve</b> .
El rendimiento y la calidad están equilibrados.	El rendimiento es adecuado.
Si el objetivo es el rendimiento se recomienda regar.	Si el objetivo es el rendimiento se podría lograr regando más.
Si el objetivo es la calidad se recomienda seguir sin riego.	Si el objetivo es la calidad se recomienda no regar más.
En estas condiciones de secano se recomienda asegurar a la viña un <b>suministro estacional de nitrógeno de 30 kg/ha</b> .	En estas condiciones de regadío se recomienda asegurar a la viña un <b>suministro estacional de nitrógeno de 35 kg/ha</b> .

**Figura 7.** Principales salidas ofrecidas por el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0. relativas a la caracterización del viñedo bajo condiciones de secano, así como la recomendación estacional de riego requerida para mantener un determinado potencial hídrico de tallo objetivo promedio.

## Resultados

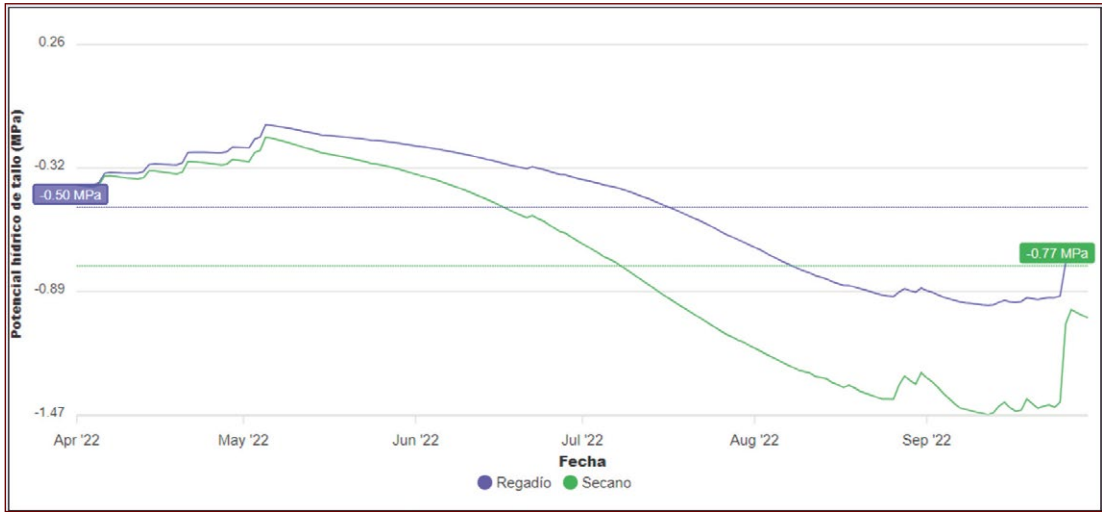
Los resultados proporcionados por el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0, incluyen la simulación del estado hídrico del viñedo a lo largo de la campaña, en primer lugar, en condiciones de secano (Figura 7). En particular, se simula el potencial hídrico de tallo al mediodía para cada día a lo largo de la campaña, así como su valor promedio. Esta información se presenta mediante un visor gráfico (Figura 8) y se acompaña de la correspondiente evaluación del estrés hídrico estimado, el rendimiento y la calidad esperable en tales condiciones de secano, así como una recomendación de la estrategia de riego y nutrición nitrogenada a seguir en función de cuáles sean los objetivos de producción y calidad de uva para vinificación que se planteen. Desde el punto de vista del riego se dan recomendaciones genéricas de regar más o menos y, desde el punto de vista nutricional, se proporcionan recomendaciones específicas de dosis de nitrógeno a aportar a nivel estacional (véase VISCONTI y col., 2024 en este mismo número).

De acuerdo con el potencial hídrico promedio a lo largo de la campaña y la recomendación de regar más o menos, se puede seleccionar un potencial hídrico promedio más alto (menos negativo) para conocer qué dosis de riego y nitrógeno

**Cuadro 1.** Estimación de la fracción de agua de riego perdida por evaporación en función del manejo del riego y el suelo considerada en el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0.

Manejo del riego	Manejo del suelo	Fracción de agua de riego perdida por evaporación (%)
Goteo subterráneo	Con acolchado orgánico	0
Goteo superficial	Con acolchado orgánico	10
Aspersión o inundación	Con acolchado orgánico	20
Goteo subterráneo	Sin acolchado orgánico	0
Goteo superficial	Sin acolchado orgánico	20
Aspersión o inundación	Sin acolchado orgánico	40

serían necesarias para alcanzar este objetivo. De este modo, el sistema realiza una nueva simulación y ofrece como resultado los valores de dosis de riego y fertilización nitrogenada para el mismo viñedo bajo las nuevas condiciones de regadío (Figura 7), así como la evolución temporal del potencial hídrico de tallo a lo largo de la campaña mediante una curva adicional en el visor gráfico de la aplicación (Figura 8).



**Figura 8.** Principales salidas ofrecidas por el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0. relativas a la evolución temporal del potencial hídrico de tallo al mediodía y su promedio para toda la temporada de cultivo.

## Consideraciones finales

El sistema de apoyo a la toma de decisiones para el riego estacional y la fertilización nitrogenada WANUGRAPE4.0 constituye una herramienta que permite transferir el conocimiento científico sobre fertirrigación de la vid a productores y empresas relacionadas, ayudando al sector vitivinícola a adaptarse a los cambios ambientales a medio plazo. En este sentido, una gestión más eficiente del agua reducirá la presión sobre los recursos hídricos, los cuales también se ven afectados por los fertilizantes utilizados en la agricultura. Por tanto, la optimización de la gestión del nitrógeno, al reducir la lixiviación de nutrientes, tendrá un impacto positivo en la calidad de los recursos hídricos y el medio ambiente. De este modo, el sistema de apoyo a la toma de decisiones WANUGRAPE4.0 favorece un manejo del cultivo más sostenible, contribuyendo en última instancia a aumentar la eficiencia en el uso del agua y la eficiencia en el uso del nitrógeno de la vid para vinificación. Como punto de mejora futuro, sería de interés completar la herramienta con modelos que permitan considerar los cambios que la presencia de una cubierta vegetal genera sobre la disponibilidad de agua y de nitrógeno. ●

## Agradecimientos

Esta publicación forma parte del proyecto de I+D PDC2021-121210-C21 y PDC2021-121210-C22 financiado por MICIN/AEI 10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next GenerationEU/PTR.

## Bibliografía

- GALLARDO, M.; ELIA, A.; THOMPSON, R.B. (2020). Decision support systems and models for aiding irrigation and nutrient management of vegetable crops. *Agric. Water Manage.* 240, 106209. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106209>
- MIRÁS-AVALOS, J.M., BUESA, I., INTRIGLIOLO, D.S., ... (2024). Calibración y validación de un modelo matemático de estimación del estado hídrico del viñedo. *Enoviticultura*, 84, 12-21.
- PANAGOS P.; VAN LIEDEKERKE M.; JONES A.; MONTANARELLA L. (2012). European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29 (2), Pág. 329-338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003.
- PANAGOS, P.; VAN LIEDEKERKE, M.; BORRELLI, P.; KÖNINGER, J.; BALLABIO, C.; ORGIAZZI, A.; LUGATO, E.; LIAKOS, L.; HERVAS, J.; JONES, A.; MONTANARELLA, L. (2022). European Soil Data Centre 2.0: Soil data and knowledge in support of the EU policies. *European Journal of Soil Science*, 73(6), e13315. DOI: 10.1111/ejss.13315.
- VILLALOBOS, F. J.; DELGADO, A.; LÓPEZ-BERNAL, Á.; QUEMADA, M. (2020). FertiliCalc: A decision support system for fertilizer management. *International Journal of Plant Production*, 14, Pág. 299-308. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00085-1>.
- VISCONTI, F., INTRIGLIOLO, D.S., MIRÁS-AVALOS, J.M. (2024). Necesidades de fertilización nitrogenada de la vid: estudio global a través de un metanálisis. *Enoviticultura* 84, 62-68.