

# Efectos de la aplicación del riego en la vid. Metanálisis de resultados de ensayos realizados en España

**D. URIARTE<sup>1</sup>, J.M. MIRÁS-AVALOS<sup>2</sup>, I. BUESA<sup>3</sup>, J.J. CANCELA<sup>4</sup>, J.L. CHACÓN<sup>5</sup>, J.M. ESCALONA<sup>3</sup>, D.S. INTRIGLILO<sup>6</sup>, M. LAMPREAVE<sup>7</sup>, A. MONTORO<sup>8</sup>, L. RIVACOBRA<sup>9</sup>, F. VISCONTI<sup>6</sup>, J. YUSTE<sup>10</sup>, L.G. SANTESTEBAN<sup>11</sup>, C. MIRANDA<sup>11</sup>**

(1) Centro de investigaciones científicas y tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) “Finca La Orden–Valdesequera”, Guadajira (Badajoz).

(2) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza.

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

(4) Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Santiago de Compostela. RG–1716 Proyectos y planificación, Lugo.

(5) Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal de Castilla–La Mancha (IRIAF), Tomelloso (Ciudad Real).

(6) Centro De Investigación Sobre Desertificación–CIDE (CSIC–UV–GVA), Moncada, (Valencia).

(7) Departamento de Bioquímica y Biotecnología. Grupo de viticultura. Universitat Rovira I Virgili (URV), Tarragona.

(8) Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP). Servicio de Asesoramiento de Riego. Albacete.

(9) Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV), Finca La Grajera, Logroño.

(10) Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), Valladolid.

(11) Universidad Pública de Navarra (UPNA), Pamplona.

## RESUMEN

El progresivo incremento de la superficie de viñedo en regadío en España responde a la necesidad de minimizar los efectos adversos del estrés hídrico sobre la calidad y el rendimiento de la uva. Los patrones variables de precipitaciones y el aumento de las temperaturas que actualmente se registran en los viñedos de clima mediterráneo están incrementando la demanda de recursos hídricos para el regadío. Resulta por tanto necesario promover el desarrollo de estrategias de optimización y uso eficiente del agua para reducir el riesgo de sobreexplotación de los recursos hídricos. El presente estudio analiza los efectos de la gestión del estado hídrico del viñedo sobre el rendimiento y la composición de la uva mediante un metanálisis que integra la información obtenida en numerosos experimentos realizados en diferentes viñedos a lo largo de la geografía nacional.

**Palabras clave:** Viticultura, Estado hídrico, Parámetros productivos, Composición de la uva.

## ABSTRACT

**Effects of irrigation on grapevine. Meta-analysis of previous results of experimental trials carried out in Spain.** The progressive increase in the surface devoted to irrigated vineyards in Spain responds to the need to minimize the adverse effects of water stress on grape quality and yield. The variability in rainfall patterns and the increase in temperatures currently being recorded in Mediterranean climate vineyards are increasing the demand of water resources for agriculture. It is therefore necessary to promote the development of strategies for the optimization and efficient use of water to reduce the risk of overexploitation of these resources. This study analyses the effects of water status management on vine performance and grape composition by means of a mega-analysis that integrates the information from numerous experiments carried out in different vineyards throughout Spain.

**Key words:** Viticulture, Vineyard water status, Yield parameters, Grape composition.

El aumento de las temperaturas y la creciente escasez de agua plantean uno de los mayores retos para la agricultura actual, incluida la viticultura.

En los países productores de vino en clima mediterráneo la aplicación del riego se ha convertido en una solución para paliar los efectos limitantes del estrés hídrico sobre la producción y la calidad de la uva (FLEXAS *et al.*, 2010). La superficie de viñedo en España alcanza las 955.000 hectáreas de las cuales, algo más del 41,1% es de regadío (OEMV 2023). Dentro de los cultivos de regadío, el viñedo puede considerarse como de alta eficiencia en el uso del agua, ya que en un 96,7% de la superficie regada se utiliza riego localizado por goteo, además de emplearse en la mayoría de los casos dotaciones de riego inferiores a las necesidades hídricas del cultivo. A pesar de ello, el aumento de la demanda evapotranspirativa de la atmósfera ( $ET_0$ ) y la disminución de las precipitaciones y el aumento de su variabilidad están aumentando la duración e intensidad del estrés hídrico en la vid. En estas circunstancias resulta muy importante la adopción de estrate-



gias de riego que maximicen el aprovechamiento de las dotaciones hídricas disponibles. Esta tarea no es sencilla, ya que la respuesta de la vid a la disponibilidad de agua y la eficiencia en su uso pueden ser muy variables en función de factores genéticos, ambientales, edáficos y de manejo, así como de sus interacciones (MEDRANO *et al.*, 2015). En este contexto, resulta necesario continuar con el desarrollo de estrategias que permitan un uso más racional del agua y garanticen la sostenibilidad ambiental de la viticultura.

Valorando el conocimiento previamente adquirido por equipos de investigación de toda España en el marco de programas financiados con fondos públicos nacionales, surgió la colaboración mediante dos iniciativas consecutivas de redes temáticas de excelencia (RedVitis y RedVitis 2.0) y el proyecto actual WANUGRAPE4.0. Gracias a esta iniciativa colaborativa, se realizó una recopilación e interpretación conjunta de los datos brutos de múltiples experimentos realizados en gran parte de la geografía nacional, que abarcan un amplio rango de condiciones edafoclimáticas y de cultivo, y en el estudio de los efectos de diferentes niveles de estrés hídrico sobre el comportamiento de variedades blancas y tintas de vid.

El objetivo final era utilizar esta base de datos para evaluar la influencia del manejo del estado hídrico del viñedo, mediante la disminución del nivel de estrés hídrico durante el ciclo de cultivo, sobre el desarrollo vegetativo, el rendimiento

y la composición de la uva empleando un enfoque meta-analítico que aunara la experiencia de múltiples investigadores de las relaciones hídricas de la vid a nivel nacional para la obtención de resultados robustos sobre los que diseñar estrategias de gestión hídrica más eficiente.

## Material y métodos

Se recopiló información de 42 ensayos realizados entre los años 1996 y 2020, en los que se analizaron al menos dos regímenes hídricos diferentes hasta un total de 1.382 parcelas elementales (repeticiones). Los ensayos se ubicaban en las regiones de Castilla la Mancha, Castilla y León, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Galicia, Islas Baleares, La Rioja y Navarra. La duración de los ensayos fue de entre 2 y 6 años, aunque la gran mayoría (>80%) se desarrollaron a lo largo de 3 o 4 años. El 59% de los datos recopilados integraban las variedades de uva tinta 'Bobal', 'Brancellao', 'Cabernet Sauvignon', 'Garnacha', 'Graciano', 'Mazuelo', 'Merlot', 'Monastrell', 'Sousón' y 'Tempranillo', mientras que el 41% restante corresponde a las variedades de uva blanca 'Airen', 'Albariño', 'Cigüente', 'Godello', 'Macabeo', 'Moscatel', 'Tempranillo Blanco', 'Treixadura' y 'Verdejo'.

Se adoptó como indicador del estado hídrico de la cepa el potencial hídrico de tallo (SANTESTEBAN *et al.*, 2019). Los valores de potencial hídrico del tallo a lo largo de la temporada de cada una de las repeticiones dentro de cada experimento



se categorizaron en cinco niveles de estrés hídrico según la definición de BAEZA (2017): Sin estrés ( $> -0,41$  MPa), leve ( $-0,41$  a  $-0,67$  MPa), moderado ( $-0,67$  a  $-0,94$  MPa), alto ( $-0,94$  a  $-1,2$  MPa) y severo ( $< -1,2$  MPa). Se definió como observación al conjunto de repeticiones clasificadas con un mismo nivel de estrés hídrico dentro de cada ensayo y año de estudio. Posteriormente, para cada observación, se calculó la media y la desviación estándar de los valores de las repeticiones incluidas en ella para cuatro variables: el rendimiento, peso de la madera de poda, contenido en sólidos solubles (SST) y acidez titulable.

Se evaluó el efecto de incrementar el estrés hídrico de la vid en un nivel (pasar de un estrés alto a uno severo, por ejemplo), por medio de un enfoque estadístico avanzado conocido como metanálisis. Este enfoque permite obtener información robusta a partir de un conjunto de estudios heterogéneos, como es el caso del conjunto de experimentos utilizados para este estudio, ya que abarcan un amplio abanico de situaciones (edafoclimáticas, variedades, sistemas de conducción y manejo, etc.). En el metanálisis, los efectos se miden como coeficientes de respuesta ( $CR$ ), a partir del logaritmo de la proporción de cambio de las características objeto de estudio. Los coeficientes de respuesta se calculan en primer lugar para cada ensayo y año, y luego se obtiene el efecto general esperable ( $CR_{gen}$ ) a partir de la media ponderada de todos ellos. En ese cálculo, el factor de ponderación ( $\omega$ ) depende de la variabilidad de

las observaciones y del número de parcelas elementales incluidas dentro de cada observación. Así pues, los coeficientes de respuesta ( $CR$ ) al aumento del estrés en un nivel dentro de cada ensayo y año se calcularon según la Ec. 1 como:

$$CR = \ln \left( \frac{X_{sup}}{X_{inf}} \right)$$

donde  $X_{inf}$  y  $X_{sup}$  son, respectivamente, los valores medios de la variable de respuesta para un nivel de estrés y el inmediatamente superior (de moderado a alto, por ejemplo). A su vez, el factor de ponderación  $\omega$  para cada coeficiente de respuesta se calculó según la Ec. 2:

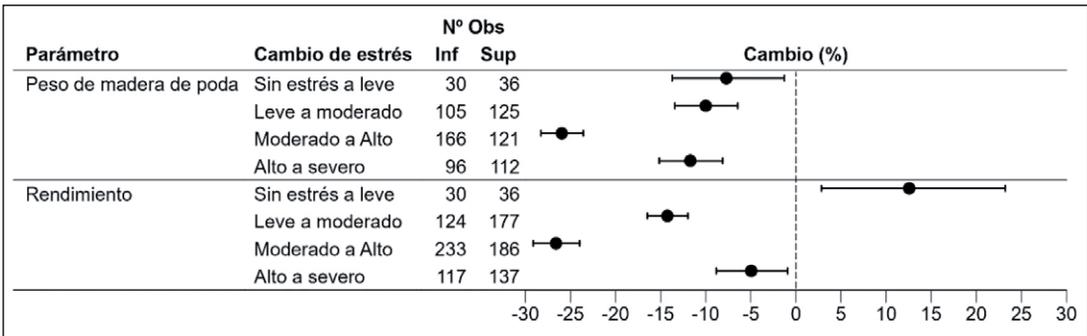
$$\omega = \frac{1}{\frac{s_{inf}^2}{n_{inf} \times X_{inf}^2} + \frac{s_{sup}^2}{n_{sup} \times X_{sup}^2}}$$

donde  $s$  es la desviación típica y  $n$  el número de parcelas elementales incluidas en la observación. Por último, el efecto general esperable se calculó con la Ec. 3:

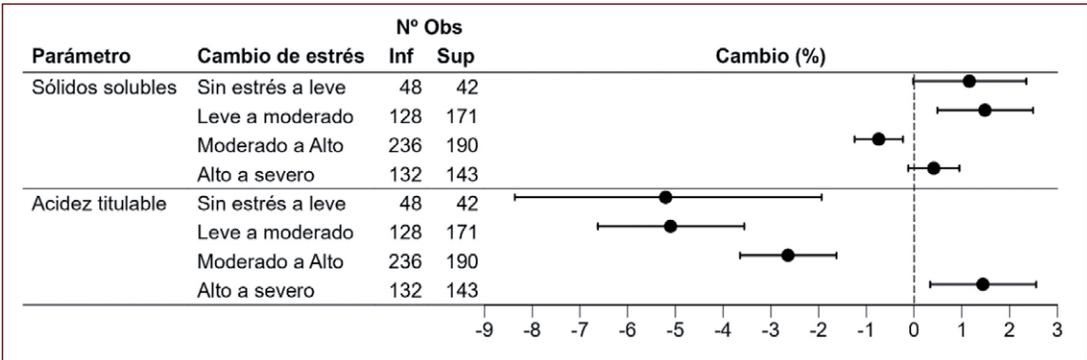
$$CR_{gen} = \frac{\sum_{i=1}^j \omega_i \times CR_i}{\sum_{i=1}^j \omega_i}$$

donde  $j$  es el número de coeficientes de respuesta obtenido para el conjunto de ensayos y años, y  $\omega_i$  y  $CR_i$  son, respectivamente, los coeficientes de ponderación y respuesta del ensayo  $i$ .

Como se ha indicado, los coeficientes de respuesta están calculados en base logarítmica,



**Figura 1.** Diagrama *Forest-plot* para los efectos del aumento del nivel de estrés hídrico sobre el peso de la madera de poda y el rendimiento del viñedo. Las barras horizontales representan el valor medio de la proporción de cambio (C%) y el intervalo de confianza (IC) del 95%. Los efectos son significativos ( $p < 0,05$ ) cuando las barras no cruzan la línea discontinua vertical de la relación de respuesta cero.



**Figura 2.** Diagrama *Forest-plot* de los efectos del aumento del nivel de estrés hídrico sobre el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable de las bayas. Las barras horizontales representan el valor medio de la proporción de cambio (C%) y el intervalo de confianza (IC) del 95%. Los efectos son significativos ( $p < 0,05$ ) cuando las barras no cruzan la línea discontinua vertical de la relación de respuesta cero.

por lo que, para facilitar la comprensión de los resultados de este metanálisis, se han transformado a proporciones de cambio (C%) por medio de la Ec. 4:

$$C\% = (e^{CR} - 1) \times 100$$

Los resultados se graficaron mediante el software R (R CORE TEAM, 2022) en el entorno RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020), utilizando el paquete *forestplotter* 1.0.0 (DAYIMU, 2022).

Los resultados se representaron gráficamente por medio de los llamados diagramas de efectos o *Forest-plot* (Figuras 1 y 2). En ellos, en el eje horizontal se ha representado el efecto esperable de los aumentos de estrés hídrico

a partir de la proporción de cambio general C% y a sus correspondientes intervalos de confianza al 95%. En el eje vertical se representan cada uno de los cuatro incrementos de estado hídrico evaluados (de sin estrés a leve, de leve a moderado, de moderado a alto, y de alto a severo). Se incluye también la línea vertical discontinua para la falta de respuesta ante el incremento de estrés (efecto nulo). Para la interpretación de las Figuras, los valores a la derecha de la línea de efecto nulo indican que el estrés hídrico tiene un efecto potenciador sobre la variable, mientras que los situados a la izquierda indican un efecto depresor. Por último, solo cuando el intervalo de confianza no

crusa la línea de efecto nulo, el efecto del aumento del estrés se puede considerar significativo al 95% de confianza ( $p < 0,05$ ).

## Resultados y discusión

La base de datos del estudio comprendió un amplio número de observaciones de todas las situaciones de estrés contempladas (*Figuras 1 y 2*). Para cada incremento de estrés hídrico se dispuso de un número similar de observaciones correspondientes a cada nivel comparado. Las observaciones en las cuatro variables estudiadas se distribuyeron de forma similar según su nivel de estrés a partir del nivel moderado, mientras que las situaciones menos estresadas (de Sin estrés a leve) estuvieron menos representadas.

### Crecimiento vegetativo y producción

El crecimiento vegetativo de las cepas (*Figura 1*), evaluado a partir del peso de la madera de poda, se vio significativamente perjudicado para cualquier incremento de estrés. De media, en la mayoría de las situaciones se podría esperar una reducción similar en el peso de la madera de poda, que estaría en el entorno del 8–12%. No obstante, el efecto fue mucho más acusado (–26%) cuando se pasó de un estrés moderado a uno alto.

El rendimiento también se vio fuertemente afectado por los cambios en el estado hídrico de las cepas (*Figura 1*). Así, se observó un incremento del +12% en la cosecha cuando se pasaba de no tener estrés a un nivel leve, lo que indica que una disponibilidad hídrica excesiva puede causar reducciones de cosecha. Entre las razones que podrían explicar este comportamiento se podrían considerar una mayor incidencia de enfermedades fúngicas, que son más propensas a aparecer en situaciones de alta disponibilidad de agua y mayor frondosidad de las cepas, así como por una menor y peor diferenciación floral de los racimos. Esta sería también consecuencia del mayor crecimiento vegetativo en las cepas con alta disponibilidad hídrica, dado que llegaría menos cantidad de luz a los racimos al tener que atravesar una masa foliar más espesa.

Para los incrementos de estrés más elevados, sin embargo, el efecto sobre la cosecha de incrementar el estrés hídrico fue siempre perjudicial,

aunque la intensidad del efecto fue diferente en todos los casos. La reducción media esperable de la cosecha era de un –14,5% en el paso de estrés leve a moderado, especialmente alta (–26%) en el de moderado a alto, y más moderada (–5%) en el paso al nivel severo. Este descenso gradual de la cosecha conforme las condiciones de estrés son más severas podría explicarse por varias razones, entre las que se encuentran una reducción de la fertilidad de las yemas causada por una menor disponibilidad de reservas, que conllevaría una reducción del número de racimos, así como un menor peso de estos. Tanto la fertilidad de las yemas como el peso de las bayas están fuertemente influidos por la disponibilidad hídrica (MIRÁS–AVALOS e INTRIGLIOLO, 2017; SANTESTEBAN *et al.*, 2011), y la división celular y el crecimiento de las bayas se ven perjudicadas incluso bajo niveles de estrés hídrico relativamente suaves (COOMBE, 1992; OLLAT *et al.*, 2002)).

En conjunto, estos resultados proporcionan informaciones de gran utilidad para la toma de decisiones de riego. Así, mantener un estrés hídrico leve resultaría beneficioso para la productividad del viñedo. En el caso de que se mantenga un estrés moderado durante el ciclo, se podrían esperar reducciones de cosecha moderadas (–14%) por lo que, en situaciones de limitación de recursos hídricos, podrían justificarse esas restricciones de riego. No obstante, cuando el estrés pasa de moderado a alto, la reducción de cosecha sería importante (–26%), y considerada globalmente desde un nivel leve podría suponer reducciones superiores al 40%, probablemente comprometiendo la rentabilidad del viñedo. En estos casos, las mermas productivas podrían justificar el riego con el objetivo de evitar situaciones de estrés muy elevado. Cuando el estrés pasa de alto a severo, la cosecha, ya muy afectada, apenas experimenta reducciones adicionales, por lo que pasarían a primer plano los aspectos relacionados con la calidad de la uva o la propia supervivencia del viñedo.

### Composición del mosto

El efecto del aumento del estrés hídrico fue significativo para casi todos los intervalos considerados (*Figura 2*). En lo que se refiere al contenido en sólidos solubles del mosto (SST), el aumento

del nivel de estrés supuso en general un incremento de entre el +0,4% y +1,5%, lo que supone incrementos de hasta +0,5 °Brix, excepto cuando se pasó de estrés moderado a alto (-0,74%), lo que supone en esas condiciones un descenso de entre -0,1 y -0,3 °Brix. Este comportamiento mostraría que, cuando las cepas tienen alta disponibilidad hídrica, en las bayas se producen fenómenos de dilución y que el aumento en fotosíntesis producido se ve contrarrestado por un aumento proporcionalmente superior en la cosecha, que puede estar acompañado también de un retraso en la maduración. El descenso observado en el paso de estrés moderado a alto se explicaría por la fuerte reducción en el crecimiento vegetativo (Figura 1) y, además, en la actividad fotosintética. Cuando se pasa a un estrés severo, sin embargo, no se observa una variación significativa en el contenido en SST.

En el caso de la acidez titulable, la intensidad del efecto del aumento progresivo del estrés hídrico del viñedo resulta ligeramente diferente del resto de parámetros, de manera que los incrementos de estrés hasta niveles moderados tienen un marcado efecto depresor sobre ella (-5%), que se modera en el paso de estrés moderado a alto (-2,5%). Sin embargo, cuando el estrés hídrico en la cepa cambia de alto a severo el efecto se invierte (+1,5%), lo que podría justificarse por una cierta pasificación de las bayas. El efecto perjudicial del aumento del estrés hídrico sobre la acidez titulable es bien conocido, y se asocia principalmente con un adelanto de la maduración y una mayor degradación del ácido málico. Así pues, en lo que se refiere a la toma de decisiones sobre el riego del viñedo, aunque reducir el estrés podría contribuir a conseguir bayas con mayor acidez, habría que evaluar su grado de eficacia conjuntamente con la variación en SST, y en función de la disponibilidad de agua para riego.

## Conclusiones

Los resultados de este metanálisis muestran el impacto global de la gestión del estado hídrico de la vid sobre la respuesta agronómica del viñedo. El paso de niveles de estrés moderado a alto genera los efectos negativos más intensos sobre la ma-

dera de poda y el rendimiento. La concentración de sólidos solubles en el mosto sigue un patrón de incremento constante al aumentar el nivel de estrés hídrico, salvo para los niveles de estrés más elevados, donde la intensidad del efecto se hace menor, mientras que la acidez titulable disminuye con mayor intensidad en las situaciones de estrés leve y moderado y disminuye en los cambios de situaciones de estrés alto a severo. •

## Agradecimientos

Este estudio fue apoyado por los Proyectos PDC2021-121210-C21 y PDC2021-121210-C22 financiados por MICIN/AEI 10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next Generation EU/ PRTR.

## Bibliografía

- BAEZA, P. (Coord). 2017. Guía de campo de viticultura. Editorial Agrícola. Madrid.
- COOMBE, B. G. 1992. Research on the development and ripening of the grape berry. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43(1), 101-110.
- DAYIMU, A., 2022. Forestplotter v1.0.0. Create flexible forest plot. R-package. URL <https://cran.r-project.org/package=forestplotter>.
- MEDRANO, H., TOMÁS, M., MARTORELL, S., ESCALONA, J.M., POU, A., FUENTES, S., FLEXAS, J., BOTA, J. 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. *A review. Agron. Sustain. Develop.* 35(2): 499-517.
- MIRÁS-AVALOS, J. M., INTRIGLILO, D. S. 2017. Grape Composition under Abiotic Constraints: Water Stress and Salinity. *Frontiers in Plant Science*, 8, 851. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00851>
- R CORE TEAM, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- RSTUDIO TEAM, 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- OLLAT, N., DIAKOU-VERDIN, P., CARDE, J. P., BARRIEU, F., GAU-DILLERE, J. P., MOING, A., 2002. Grape berry development: A review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 36(3), 109-131.
- SANTESTEBAN, L. G., MIRANDA, C., MARÍN, D., SESMA, B., INTRIGLILO, D. S., MIRÁS-AVALOS, J. M., ESCALONA, J. M., MONTORO, A., DE HERRALDE, F., BAEZA, P., ROMERO, P., YUSTE, J., URIARTE, D., MARTÍNEZ-GASCUEÑA, J., CANCELA, J. J., PINILLOS, V., LOIDI, M., URRESTARAZU, J., ROYO, J. B. (2019). Discrimination ability of leaf and stem water potential at different times of the day through a Meta-Analysis in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Agricultural Water Management*, 221, 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.020>
- SANTESTEBAN, L. G., MIRANDA, C., ROYO, J. B. 2011. Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo. *Agricultural Water Management*, 98(7), 1171-1179.