



# Necesidades de fertilización nitrogenada de la vid: estudio global a través de un metanálisis

F. VISCONTI<sup>1</sup>, D.S. INTRIGLIOLO<sup>1</sup>, J.M. MIRÁS-AVALOS<sup>2</sup>

(1) Centro de Investigaciones sobre Desertificación—CIDE (CSIC, UVEG, GVA), Moncada, Valencia.

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

## RESUMEN

Para asegurar un adecuado aporte de nitrógeno que satisfaga simultáneamente los objetivos de producción y calidad vitivinícola, así como de sostenibilidad ambiental, se realizan numerosos ensayos de fertilización nitrogenada a lo largo del mundo. Sin embargo, hasta ahora no se había realizado ningún trabajo de análisis conjunto de estos ensayos que permitiera extraer resultados globalmente representativos sin efectos de confusión por diferencias de clima, suelo, material vegetal, manejo, etc. En consecuencia, se llevó a cabo un metanálisis sobre los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad de uva para vinificación, cuyos aspectos principales se presentan en este trabajo. Se encontró que para maximizar la producción se necesitan entre 30 y 40 kgN/ha, mientras que para promover la calidad se requieren entre 20 y 25 kgN/ha. Estos valores permitieron establecer recomendaciones de abonado nitrogenado de la vid como función lineal del potencial hídrico de tallo al mediodía. Estas recomendaciones se han integrado en el Sistema de Apoyo a la Decisión WANUGRAPE4.0.

**Palabras clave:** Nutrición vegetal, Estado hídrico, Producción, Calidad de la uva.

## ABSTRACT

**Grapevine nitrogen fertilization: global study through a meta-analysis.** To ensure an adequate supply of nitrogen that simultaneously satisfies the objectives of wine production and quality, as well as environmental sustainability, numerous nitrogen fertilization trials are carried out throughout the world. However, until now, no joint analysis of these trials has been conducted, which would produce globally representative results without confounding effects due to differences in climate, soil, plant material, management, etc. Consequently, a global meta-analysis was carried out on the effects of nitrogen fertilization on the production and quality of wine grapes, the main aspects of which are presented in this work. It was found that, to maximize production, between 30 and 40 kgN/ha are needed, while, when aiming at promoting quality, between 20 and 25 kgN/ha are required. These values allowed us to establish recommendations for nitrogen fertilization of the vine as a linear function of the midday stem water potential. These recommendations have been integrated into the Decision Support System WANUGRAPE4.0.

**Key words:** Plant nutrition, Water status, Production, Grape quality.

El nitrógeno representa un 1,5% de la materia seca de la vid, y constituye un 30% del peso total de los nutrientes exportados cada año con los racimos, hojas y sarmientos (GARCÍA-ESCUDERO, 2010). El nitrógeno forma parte de macromoléculas biológicas como ácidos nucleicos y proteínas, así como de numerosos metabolitos más pequeños, pero de gran relevancia, incluyendo la clorofila. Por lo tanto, el nitrógeno juega un papel esencial en el metabolismo vegetal y, en consecuencia, asegurar una adecuada nutrición nitrogenada de la vid reviste notable importancia.

Disponer de nitrógeno en cantidad suficiente favorece la brotación y la floración de la vid, además incrementa el cuajado de las bayas, así como su crecimiento y, como consecuencia de todo ello, aumenta el rendimiento. Las viñas ajustan la absorción de nitrógeno a su potencial de desarrollo y parecen seguir la ley de los incrementos de rendimiento decrecientes, o ley de Mitscherlich (Figura 1), tal y como sugiere lo observado en varias investigaciones (SPAYD *et al.*, 1993; KELLER *et al.*, 1995). Conocer los beneficios que el nitrógeno aporta a la vid puede inducir a aplicarlo en exceso, lo que tiene consecuencias indeseables sobre la calidad de la uva y el medio ambiente.

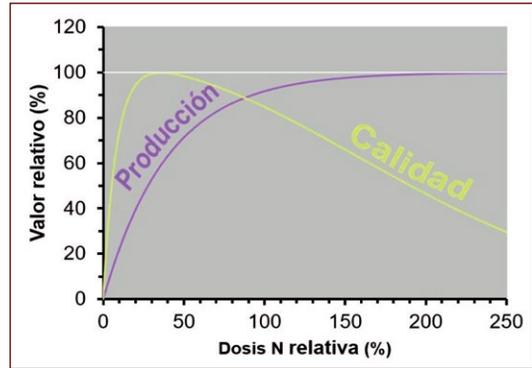
Aplicar excesivo nitrógeno a la vid aumenta su producción, pero también su vigor, lo cual se manifiesta en un crecimiento prolongado y desmesurado del dosel respecto de otros órganos. Este exceso de vigor afecta a la calidad de la uva a través de: i) el aumento de la competición de hojas y sarmientos con las bayas por los fotosintatos, ii) el incremento de la biomasa de hojas respecto de raíces, iii) la pérdida de huesos en el dosel y, por lo tanto, el aumento del sombreado de las hojas sobre los racimos y la disminución de la ventilación, y iv) el incremento excesivo de la concentración de nitrógeno en las uvas.

Concretamente, la competición creciente de hojas y tallos por los fotosintatos ralentiza la acumulación de azúcares en las bayas y, por lo tanto, retrasa la maduración tecnológica. El incremen-

to de la biomasa de hojas respecto a raíces incrementa la transpiración respecto de la absorción de agua del suelo causando estrés hídrico y carencia de potasio en la vid con consecuencias negativas sobre los sólidos solubles totales y la acidez del mosto. El cambio del microclima en la zona donde se encuentran los racimos hacia condiciones de menor iluminación y ventilación retrasa la maduración fenólica. Además, estas condiciones favorecen la condensación y el mantenimiento de la humedad sobre los racimos, propiciando el desarrollo del hongo *Botrytis cinerea* causante de la podredumbre del racimo (LATORRE y RIOJA, 2002). La concentración excesiva de nitrógeno en las uvas favorece la acumulación en el mosto de proteínas y aminoácidos que evolucionan para generar compuestos indeseables. De acuerdo con estos impactos del nitrógeno sobre la calidad de la uva, esperaríamos una respuesta de sus parámetros diferente a la ley de Mitscherlich, y más bien caracterizada por una curva convexa (Figura 1).

Aplicar excesivo nitrógeno a la vid también aumenta las pérdidas de este nutriente hacia el medio ambiente, comprometiendo la sostenibilidad ambiental de los viñedos. Estas pérdidas se dan en forma de: i) nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) que se lixivia del suelo hacia las aguas freáticas y superficiales, ii) amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que se produce por neutralización del amonio y que se emite a la atmósfera, y iii) óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) que se produce por desnitrificación y se emite también a la atmósfera. El  $\text{NO}_3^-$  lixiviado hacia las aguas provoca su eutrofización. El  $\text{NH}_3$  emitido a la atmósfera se deposita, por vía seca o húmeda, en ecosistemas terrestres y acuáticos cercanos al viñedo y causa su eutrofización y, tras nitrificarse, también su acidificación. El  $\text{N}_2\text{O}$  es un gas de efecto invernadero con un forzamiento radiativo global 300 veces superior al del  $\text{CO}_2$ .

El incremento en la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), definida como peso de cosecha producido por unidad fertilizante, es necesaria para incrementar la sostenibilidad agraria. En viticultura, las necesidades de nitrógeno se estiman en 30 kgN/ha para 6 t/ha de producción, y en hasta 90 kgN/ha para 25 t/ha de producción (HIDALGO e HIDALGO, 2019), siendo una recomendación estándar 50 kgN/ha para 12 t/ha (LÖHNERTZ, 1988). No obstante, la producción y calidad de uva dependen del



**Figura 1.** Ley de los incrementos de rendimiento decrecientes o ley de Mitscherlich que se utilizó como hipótesis de partida para interpretar la evolución de los parámetros de producción de la vid en función de la dosis de nitrógeno, junto con una curva alternativa convexa que podría describir cómo evolucionan las características de calidad de la uva para vinificación.

estado hídrico de la vid (véase URIARTE *et al.* 2024 en este mismo número, págs. 54–60) y, además, el estado hídrico de la vid depende de la nutrición nitrogenada y viceversa (KELLER, 2005). Por lo tanto, se da una interdependencia entre EUN y eficiencia en el uso del agua (EUA), definida como peso de cosecha producido por unidad de agua. En consecuencia, el nitrógeno debería dosificarse en función de dicho estado hídrico y, específicamente, en función de la producción y calidad de uva que se establezcan como objetivo, las cuales dependen del estado hídrico como se ha indicado.

Las recomendaciones de aportación de nitrógeno a la vid arrojan una EUN de 0,24 t/kgN, la cual podría mejorarse si se caracterizan mejor los efectos del nitrógeno sobre la producción y calidad de uva. Con este objetivo, se han llevado a cabo numerosos ensayos de fertilización nitrogenada en las últimas décadas. Sin embargo, hasta ahora no se había realizado un metanálisis de los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción de la vid y la calidad de la uva. Mediante un análisis de este tipo se puede extraer la información esencial del conjunto de muchos ensayos superando los efectos de confusión debidos a las diferencias de clima, suelo, material vegetal, manejo, etc., de tal modo que los resultados sean ampliamente representativos. Por tanto,

los objetivos de este trabajo fueron i) encontrar cómo la dosis de nitrógeno determina la producción y calidad de uva para vinificación, de tal modo que se pudiese ii) definir una pauta de fertilización nitrogenada para que el Sistema de Apoyo a la Decisión WANUGRAPE4.0 pueda dar recomendaciones de fertilización nitrogenada una vez conocido el estado de estrés hídrico promedio a lo largo de la temporada de cultivo, en función de los objetivos de producción y calidad establecidos para el viñedo. A continuación, se presentan los aspectos esenciales de este metanálisis, cuyo desarrollo completo puede encontrarse en *Visconti et al. (2023)*, así como la interpretación posterior que se ha realizado de sus resultados para utilizarlos dentro del Sistema de Apoyo a la Decisión WANUGRAPE4.0.

## Materiales y métodos

El primer paso de este metanálisis consistió en seleccionar características significativas de la vid que pudieran verse afectadas por la nutrición nitrogenada. Se escogieron seis parámetros de producción y ocho atributos de calidad de la uva. Los parámetros de producción de vid fueron rendimiento de uva, peso de poda, número de racimos, peso de racimos, número de bayas y peso de bayas, mientras que las características de calidad fueron sólidos solubles totales (SST), acidez total (AT), pH, concentración de ácido málico, concentración de ácido tartárico, concentración de antocianinas, índice de polifenoles totales y nitrógeno asimilable por levaduras (NAL).

Se buscaron los términos "grapevine nitrogen fertiliation" en los índices de resúmenes Clarivate Web of Science™ y Elsevier Scopus®, obteniéndose 283 resultados. Esta selección se redujo mediante eliminación de artículos duplicados, artículos no relacionados con vid para vinificación sino para uva de mesa, artículos que consideraban otras acepciones del término "fertilización", artículos que no reportaban ninguna de las variables objetivo y artículos de revisión. Finalmente, se recopilaron 122 artículos, de los que se pudo obtener el texto completo de 117.

En cada uno de los artículos se separaron diferentes ensayos de fertilización nitrogenada en función de todos los factores que se habían uti-

lizado en los diseños experimentales y que pueden afectar a la producción y calidad de uva además del propio nitrógeno. Estos factores fueron el régimen de riego, las características del suelo, la variedad de vid, el portainjerto y la añada, entre otros. Como resultado, se extrajo la información de 374 ensayos de fertilización nitrogenada y, dentro de cada uno, para facilitar las comparaciones entre ensayos, se calculó un valor normalizado como el porcentaje de variación entre el resultado obtenido en un tratamiento de un ensayo concreto y el valor máximo de esa variable en ese ensayo.

Se trató de ajustar los datos normalizados de parámetros de producción y características de calidad a una curva de Mitscherlich, en caso de no conseguirlo, a una curva logística y, si ninguna de las dos curvas funcionaba, se calculó el valor de nitrógeno para el máximo del parámetro o característica. Además, se decidió que en caso de que el ajuste directo a los diagramas de dispersión no fuese posible, estos serían reemplazados por las superficies de densidad de puntos correspondientes, las cuales pueden ser evaluadas mediante suavizado de Kernel.

## Resultados

Los trabajos encontrados en la bibliografía se habían realizado mayoritariamente en Europa con Francia (15%), España (14%) e Italia (12%) como principales países. A continuación, se encontraron las investigaciones realizadas en América con Brasil (18%) destacada. La colección de trabajos obtenida fue representativa de la vitivinicultura mundial, donde Francia (15%), España (14%) e Italia (18%) lideran la producción de vino, y Brasil ocupa el tercer lugar entre los productores americanos (FAO, 2023). La densidad de plantación de los viñedos estuvo entre 1.250 y 10.000 cepas/ha con un promedio de  $3.800 \pm 400$  cepas/ha. La edad de las vides osciló entre 1 y 32 años con un promedio de  $11 \pm 2$  años. El número de portainjertos utilizados fue de 25, con Selección Oppenheim 4 (23%) y Paulsen 1103 (16%) a la cabeza, mientras que la proporción de estudios con viñas no injertadas también fue notable (9%). El número de variedades de vid utilizadas fue 36, en su mayoría tintas (63%), y con 'Cabernet Sauvignon' (23%) y 'Syrah' (11%) a la cabeza. En estos traba-

jos, el objetivo fue, principalmente, probar diferentes dosis de nitrógeno (69%), luego diferentes tipos de fertilizantes de nitrógeno mineral (10%) y finalmente diferentes dosis de nitrógeno orgánico (9%). Entre los trabajos que caracterizaron el ensayo de diferentes dosis de nitrógeno mineral, destacaron las aplicaciones vía suelo (64%) y fertirrigación (26%) y, en consecuencia, fueron las utilizadas para el metanálisis.

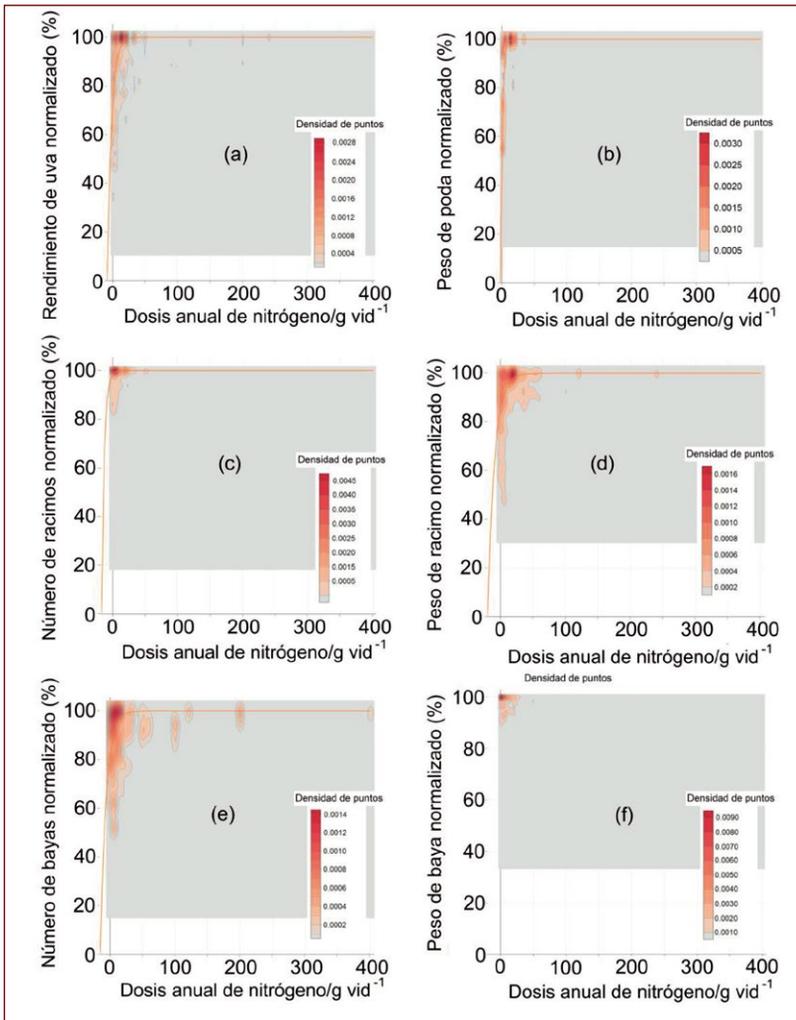
Se encontró que cinco de los seis parámetros productivos de la vid, además del nitrógeno asimilable por la levadura, se adaptaron a la ley de Mitscherlich, mientras que el resto no lo hicieron. Las variables que no se ajustaron a la ley de Mitscherlich siguieron, o bien una curva logística, o bien ninguna curva conocida. Entre las que siguieron una curva logística estaban la concentración de antocianos y el índice de polifenoles totales, y entre las que no se ajustaron a ninguna curva conocida estuvo el peso de bayas, los sólidos solubles totales (SST), la acidez total (AT), pH y las concentraciones de ácido tartárico (ATc) y ácido málico (AM) (*Figuras 2 y 3*).

Con base en las curvas de Mitscherlich ajustadas, para alcanzar un rendimiento de uva del 95% en las condiciones vitícolas promedio descritas anteriormente, se requieren entre 30 y 40 kgN/ha, lo que lleva a valores de eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) que oscilan entre 0,27 y 0,36 t/kgN. A pesar de que no se pudo ajustar ninguna curva a los SST y AT normalizados frente a la tasa anual de nitrógeno se pudo estimar una tasa entre 20 y 25 kgN/ha para maximizar la calidad tecnológica y al mismo tiempo mantener la calidad fenólica en su mejor nivel en las uvas tintas, lo que lleva a valores de EUN entre 0,41 y 0,47 t/kgN.

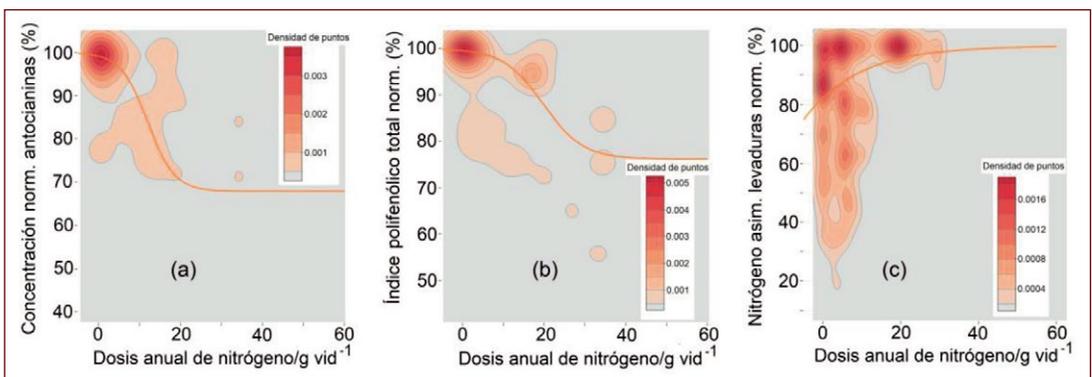
En base a los resultados de este metanálisis, se establecieron las recomendaciones de fertilización nitrogenada del Sistema de Apoyo a la Decisión WANUGRAPE4.0. En dicho sistema se toman como referencia los valores de potencial hídrico de tallo al mediodía ( $\Psi_t$ ) documentados en BAEZA Y GARCÍA GUTIÉRREZ (2007) para evaluar el estado hídrico de la vid, mientras que el promedio de  $\Psi_t$  se estima mediante un modelo matemático que tiene en cuenta clima, suelo y manejo del dosel (véase MIRÁS-AVALOS *et al.*, 2024 en este mismo número, págs. 12–21).

De acuerdo con los resultados del metanálisis realizado, la vid requeriría entre 20 y 40 kgN/ha según los objetivos de rendimiento y calidad que se planteen para el viñedo. Entre los valores más bajos de este rango está 25 kgN/ha, que sería adecuado para apoyar la maximización de la calidad de la uva que el estrés hídrico fuerte promueve (*Cuadro 1*). A modo de ejemplo, si se disminuyese la aportación de nitrógeno por debajo de 25 kgN/ha cuando la vid sufre un estrés hídrico fuerte, se producirían mayores pérdidas de rendimiento y calidad y, en consecuencia, se obtendría una menor EUA. Por el contrario, si se aumentase la aportación por encima de 25 kgN/ha bajo estas condiciones de estrés hídrico fuerte, se favorecería, por un lado, un mayor vigor y transpiración de la vid, lo que aumentaría su nivel de estrés hídrico, conllevando una pérdida de rendimiento y calidad y, por tanto, una menor EUA. Por otro lado, aumentarían las pérdidas de nitrógeno hacia el medio ambiente ya que la vid no sería capaz de absorber este nutriente en las mencionadas condiciones, disminuyendo la EUN y generando, en consecuencia, una menor sostenibilidad ambiental y económica del viñedo.

Los valores más altos del rango de fertilización nitrogenada encontrados en el metanálisis, entre 30 y 40 kgN/ha, serían adecuados para apoyar la maximización del rendimiento que la disminución del estrés hídrico promueve, al menos hasta el nivel leve (véase URIARTE *et al.*, 2024 en este mismo número, págs. 54–60). Si se disminuyese la aportación de nitrógeno por debajo de 30–40 kgN/ha cuando la vid presenta estrés hídrico entre moderado y nulo se producirían pérdidas de rendimiento y, en consecuencia, se obtendría menor EUA. Por el contrario, si se aumentase la aportación de nitrógeno por encima de 30–40 kgN/ha cuando la vid presenta estrés hídrico entre moderado y nulo se favorecería, por un lado, mayor vigor y transpiración de la vid, lo cual aumentaría el estrés hídrico con cierta pérdida de producción y, por lo tanto, se obtendría menor EUA y, también se favorecería, la maduración tecnológica y fenólica. Por otro lado, en estas condiciones, también se producirían mayores pérdidas de nitrógeno hacia el medio ambiente, con disminución de la EUN y, por lo tanto, disminuiría la sostenibilidad ambiental y económica del viñedo.



**Figura 2.** Adaptación de los datos normalizados de densidad de puntos de las características de producción de la vid a la ley de los incrementos de rendimiento decrecientes, o de Mitscherlich, para a) rendimiento de uva, b) peso de poda, c) número de racimos, d) peso de racimos, e) número de bayas y f) peso de bayas, para la cual no se pudo ajustar la curva.



**Figura 3.** Adaptación de los datos normalizados de densidad de puntos de algunas características de calidad de uva para vinificación a una curva logística: a) concentración de antocianinas en uva, b) índice de polifenoles totales y c) nitrógeno asimilable por las levaduras.

**Cuadro 1.** Potencial hídrico de tallo al mediodía ( $\Psi_t$ ), evaluación del estrés hídrico de la viña según BAEZA y GARCÍA GUTIÉRREZ (2007), propuesta de evaluación de rendimiento y calidad de uva para vinificación que resultaría, y recomendación de abonado nitrogenado para apoyar la obtención de tal rendimiento y calidad de uva de acuerdo con los resultados obtenidos en el metanálisis presentado en este trabajo

Potencial hídrico de tallo al mediodía promedio (MPa)	Evaluación del estrés hídrico	Evaluación del rendimiento y la calidad de uva para vinificación	Dosis de Nitrógeno recomendada (kg/ha)
$\Psi_t \leq -1,200$	Severo	El rendimiento y la calidad pueden mejorarse.	20
$-1,200 < \Psi_t \leq -0,936$	Fuerte	El rendimiento puede mejorarse. La calidad se aproxima al potencial.	25
$-0,936 < \Psi_t \leq -0,674$	Moderado	El rendimiento y la calidad están compensados entre sí.	30
$-0,674 < \Psi_t \leq -0,411$	Leve	El rendimiento se aproxima al potencial.	35
$-0,411 < \Psi_t$	Nulo	En la práctica el rendimiento suele alejarse del potencial.	40

En consecuencia, se puede recomendar una fertilización nitrogenada estacional del viñedo caracterizada por aportar una cantidad linealmente creciente de este nutriente en función del  $\Psi_t$  promedio previsto a lo largo de la campaña, específicamente,

$$\text{kgN/ha} = 45 + 19 \Psi_t \quad (1)$$

con el potencial en MPa. Los valores recomendados de dosis de nitrógeno para cada intervalo de estrés hídrico se especifican en el Cuadro 1.

## Conclusiones

Este trabajo ha permitido establecer una pauta de recomendación de la fertilización nitrogenada estacional del viñedo. De acuerdo con esta pauta, el nitrógeno requerido por la vid es una función lineal del potencial hídrico de tallo al mediodía previsto en promedio para la campaña debido a que se considera que el estado de estrés hídrico vinculado a este potencial promedio es el factor que, en primer lugar, condiciona la producción y calidad de uva que pueden alcanzarse. Esta pauta de recomendación del abonado nitrogenado de la vid se ha implementado en el Sistema de Apoyo a la Decisión WANU-GRAPE4.0. La aplicación de las recomendaciones de fertilización nitrogenada, junto con las de riego, ofrecidas por este sistema permitiría alcanzar los objetivos de producción y calidad de uva para vinificación según los condicionantes edafoclimáticos y de manejo de cada viñedo. Como consecuencia, se podría aumentar la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), pero también la eficiencia en el uso del agua (EUA) en los viñedos, y se avanzaría hacia una viticultura más resiliente y sostenible frente a los desafíos que enfrenta en la actualidad. ●

## Agradecimientos

El presente trabajo forma parte de los proyectos de I+D+i con referencia 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., GARCÍA GUTIÉRREZ, J.L. (2007). Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid. Editorial Agrícola Española, Madrid.
- FAO (2023). FAOSTAT: Datos sobre alimentación y agricultura. Roma. URL: <https://www.fao.org/faostat/es/#home>. Acceso 01/07/2023.
- GARCÍA ESCUDERO, E. (2010). Abonado del viñedo. En: Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid.
- HIDALGO, L.; HIDALGO, J. (2019). Tratado de Viticultura Vol. I 5ª Ed. Ediciones MundiPrensa, Madrid.
- KELLER, M. (2005). From the ASEV soil environment and vine mineral nutrition symposium: deficit irrigation and vine mineral nutrition. *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 56, no. 3, pp. 267-283.
- KELLER, M., HESS, B. H., SCHWAGER, H. (1995). Carbon and nitrogen partitioning in *Vitis vinifera* L.: responses to nitrogen supply and limiting irradiance. *Vitis*, 34 (1), pp. 19-26.
- LATORRE, B.A., RIOJA, M. (2002). Efecto de la temperatura y de la humedad relativa sobre la germinación de conidias de *Botrytis cinerea*. *Ciencia e Investigación Agraria*, 29, 67-72.
- LÖHNERTZ, O. (1988). Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis vinifera* (cv. Riesling), Forschungsanst. Geisenheim, Geisenheim, Alemania.
- 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.
- SPAYD, S.E., WAMPLE, R.L., STEVENS, R. G., EVANS R. G., KAWAKAMI, A.K. (1993). Nitrogen fertilization of White Riesling in Washington. Effects on petiole nutrient concentration, yield, and yield components and vegetative growth. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44 (4), pp. 378-386.
- URIARTE, D., MIRÁS-AVALOS, J.M., BUESA, I., CANCELA, J.J., CHACÓN, J.L., ESCALONA, J.M., INTRIGLIOLO, D.S., LAMPREAVE, M., MONTORO, A., RIVACOBA, L., VISCONTI, F., YUSTE, J., SANTESTEBAN, L.G., MIRANDA, C. (2024). Efectos de la aplicación del riego en la vid. Análisis de resultados de ensayos realizados en España. *Enoviticultura*, 84, 54-60.
- VISCONTI, F., INTRIGLIOLO, D.S., MIRÁS-AVALOS, J.M. (2023). Effects of the Annual Nitrogen Fertilization Rate on Vine Performance and Grape Quality for Winemaking: Insights from a Meta-Analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2023, 7989254.