

Manejo integral del viñedo para hacer frente al cambio climático

Uso eficiente del riego y otras prácticas agronómicas

Diego S. Intrigliolo, Felipe Sanz, Antonio Yeves

Alejandro Martínez e Ignacio Buesa

Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Unidad del IVIA asociada al CSIC
«Riego en la Agricultura Mediterránea»

Resumen/Abstract

Los efectos del calentamiento global y la escasez de recursos hídricos en la viticultura mediterránea requieren de técnicas para su adaptación. Entre ellas cabe destacar el uso del riego deficitario, el manejo y cobertura del suelo, la orientación de las filas de espalderas o la modificación de la arquitectura del dosel vegetal como prácticas para mejorar la eficiencia en el uso del agua. El estado hídrico de las cepas es un aspecto crítico en su productividad y en calidad de la uva. Por ello, el conocimiento de la sensibilidad varietal al estrés hídrico y de las prácticas agronómicas que puedan reducir su susceptibilidad son esenciales para incrementar la resiliencia del viñedo ante el cambio climático. Otro aspecto crítico para la sostenibilidad de la vitivinicultura mediterránea es la mitigación de los efectos negativos del calentamiento global sobre la composición de la uva y por tanto, de los vinos. Con ese objetivo, prácticas de deshojado o poda tardías, o el forzado de yemas, se proponen como técnicas de adaptación potencialmente efectivas.

.....

The effects of global warming and water scarcity on Mediterranean viticulture require of techniques for its adaptation. These include the use of deficit irrigation, soil management and mulching, the orientation of vineyard trellises or the modification of canopy architecture, aiming to improve water-use efficiency. Vine water status is a critical aspect in yield and grape quality. Therefore, the knowledge

about water stress sensitivity of cultivars and on the agronomic practices that can reduce their susceptibility to drought are essential for enhancing vineyard resilience to cope with climate change. Another critical aspect for Mediterranean viticulture sustainability is the mitigation of the negative effects of global warming on grape composition, and consequently, on wine. With this aim, practices such as late leaf removal, late pruning or forcing bud growth are proposed as potentially effective adaptation techniques.

1. Introducción

El cultivo de la vid para la elaboración de vinos depende en gran medida de la calidad del producto final a producir, lo que condiciona de forma importante las prácticas agronómicas de campo a llevar a cabo. Eso quiere decir que, en función de la calidad del vino a obtener, el viticultor debe adaptar las prácticas agronómicas a realizar. Dichas prácticas agronómicas dependerán también del material genético (porta-injerto y variedad) que se emplee y del *terroir* del viñedo, es decir de la interacción de las condiciones edáficas, orográficas, ecológicas y climáticas dentro del agrosistema vitícola. Es por ello que el cambio climático afectará a la viticultura (Schultz y Jones, 2010).

En los climas semiáridos del Mediterráneo, la aplicación del riego es una de las herramientas que más puede influir sobre la producción y composición final de la uva, además de condicionar gran parte del resto de técnicas de cultivo que se empleen. De ahí la importancia que se le ha prestado a los temas relacionados con el riego en este capítulo. Sin embargo, debe tenerse presente que la respuesta de la vid al riego depende del resto de prácticas agronómicas que, finalmente, condicionarán los resultados a obtener para una determinada práctica de riego. Además, la posibilidad de aplicación del riego en la vid ha convertido un cultivo tradicionalmente de secano, y con pocos insumos, en un agro-ecosistema distinto en el que pueden llevarse a cabo otras prácticas agronómicas complementarias al riego que permitan aprovechar las virtudes de poder controlar el estado hídrico de las cepas mediante el riego.

2. Manejo del riego

En la vid para la producción de vinos, la aplicación del riego estuvo prohibida hasta el año 1996, debido en particular a la creencia empírica de que el aporte adicional de riego puede ser perjudicial para la calidad del vino. Una vez levantada la prohibición sobre el riego en la vid, durante la última década del siglo pasado, y en particular a principios del siglo XXI, se multiplicaron los ensayos realizados para determinar los efectos del riego en el cultivo de la vid para la producción de vino.

Dado que, en particular, en ambientes semiáridos el agua disponible es un determinante crucial de la calidad de la uva y de la productividad del viñedo (Williams y Matthews, 1990), el riego en la vid debe adaptarse a los objetivos enológicos de cada productor y al tipo de vino al que va destinada la uva producida. En este sentido, no puede ser lo mismo manejar el riego en un viñedo que va a ir destinado a la producción de vino de alta gama que un vino más corriente y con menor valor comercial.

Si bien en cualquier cultivo frutal el riego suele emplearse para cubrir el total de las necesidades hídricas potenciales del mismo para evitar que las plantas padezcan de un déficit hídrico y, por lo tanto, se vea mermada su capacidad productiva, en la vid el riego debe manejarse teniendo en cuenta los efectos del mismo no solamente sobre la producción sino también sobre la calidad de la uva y del vino resultante (Ferrer y Soriano, 2007). Todo ello complica enormemente la toma de decisiones sobre riego, dado que la respuesta al mismo puede variar en función de la variedad a estudiar y el nivel de producción general del viñedo, entre otros factores (García-Escudero *et al.*, 1991).

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las necesidades hídricas de la vid no son las mismas a lo largo del ciclo vegetativo, ni tampoco lo es el efecto del riego o no riego dependiendo del momento fenológico (Girona *et al.*, 2009). Por ello, habrá que cubrir los objetivos fisiológicos de cada etapa de forma distinta, pudiéndose distinguir 4 etapas (Tabla 1).

Por otra parte, dado que el riego en la viña se ha implantado recientemente en este cultivo, predomina la utilización del riego a presión mediante goteo (Figura 1), lo cual permite un mejor control en la aplicación del riego y su uniformidad (eficiencia en el uso del agua). Este sistema de riego facilita poder llevar a cabo una programación del mismo de acuerdo a criterios técnicos.

Tabla 1. Resumen general de los efectos del riego en los distintos periodos fenológicos de la vid

Brotación-Cuajado

Periodo en el cual se produce la mayor parte del crecimiento vegetativo. Es de gran importancia porque durante esta fase la planta es muy sensible a la escasez de agua y ante un nivel de estrés hídrico moderado puede que no desarrolle toda la superficie vegetativa necesaria para conseguir fruta de calidad óptima. También es cierto que no suele ser necesario la aplicación de riego durante este periodo gracias al agua almacenada en el suelo por las lluvias del invierno y a la baja demanda evaporativa de la atmósfera.



Cuajado-Envero

Periodo crítico en el cual se produce una rápida división celular de las bayas tras el cuajado, lo que conformará el tamaño potencial del grano. Una adecuada dosis de agua en este periodo es fundamental para conseguir un equilibrio entre rendimiento y calidad, ya que un exceso de agua produciría granos de mayor volumen, lo que inducirá incrementos del rendimiento, pero sin embargo habitualmente conllevará una disminución de los compuestos fenólicos y aromáticos necesarios para la elaboración de vinos de elevada calidad.



Envero-Vendimia

Si en la etapa anterior se configuraba en gran medida el rendimiento, podría decirse que durante esta etapa se desarrollará la síntesis de compuestos de la uva (el contenido en sólidos solubles, el pH, la acidez, los polifenoles, etc.). Para conseguir la mejor calidad habrá que adecuar estos parámetros cualitativos a la producción. Un elevado aporte de agua favorecerá la acumulación de potasio, con el consiguiente efecto del aumento de pH en los vinos, así como la dilución de compuestos fenólicos, especialmente de los antocianos y flavonoles.



Vendimia-Caída de hoja

Aunque muchos agricultores dejan «olvidadas» a las cepas después de vendimia, esta última etapa es de vital importancia, ya que la planta continua su actividad fotosintética, acumulando las reservas en la parte leñosa que serán las utilizadas al año siguiente durante la brotación de las yemas y los primeros estadios del desarrollo vegetativo. Una dosis adecuada de agua después de vendimia ayudará a las cepas a no sufrir una senescencia prematura y por tanto, lograr un mejor almacenamiento de dichas reservas.



Figura 1. Imagen de unas cepas de la variedad tempranillo regadas por goteo



Para una adecuada programación del riego, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) propone un método de estima de las necesidades basado en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Allen *et al.*, 1998). Este parámetro incluye la demanda evaporativa o evaporación de referencia (ET_0) y un factor ligado al cultivo, denominado coeficiente de cultivo (k_c).

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad [1]$$

Una vez determinados los requerimientos hídricos del cultivo, para el cálculo de las necesidades de riego hay que descontar el agua aportada por la lluvia. No obstante, la cantidad de lluvia que es efectivamente aprovechada por un cultivo es un valor muy difícil de parametrizar pues depende de muchos factores. De manera sencilla se puede estimar la precipitación efectiva (Pe) teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura del cultivo, y así calcular las necesidades de riego netas (NRN).

$$NRC = ET_c - Pe \quad [2]$$

Mediante los programadores de riego es posible su automatización y, por lo tanto, llevar a cabo una programación acorde a los objetivos enológicos del viñedo y las características del suelo de la parcela.

Todo lo relativo a la toma de decisiones sobre la cantidad de agua a aplicar se detallará a continuación. En general, con el riego localizado los aportes de riego tienen que ser de corta duración y de alta frecuencia. Aplicaciones de duración excesiva, por ejemplo, superiores a 4 horas continuadas al día, pueden provocar pérdidas de agua por debajo de la zona radicular de la vid. Los aportes deben ajustarse a la textura del suelo. Por ejemplo, en aquellos terrenos de textura arenosa con goteros de 4 L/h, no serían recomendable riegos de más de dos horas. Por el contrario, en suelos más pesados, el tiempo de riego ha de ser mayor para permitir una adecuada infiltración del agua de riego. A tal fin, existen emisores de diferentes caudales para adecuar el volumen de bulbo húmedo a generar mediante el riego por goteo.

Los terrenos arcillosos y profundos son capaces de retener una gran cantidad de agua (de hasta 180 mm por cada metro de profundidad); sin embargo, en los terrenos más arenosos la capacidad de retención de agua puede llegar a ser de solo 50 mm por cada metro de profundidad en los casos más extremos. Todo ello habrá que tenerse en cuenta de cara a los aportes hídricos a realizar, que deberán modularse en función de las características del suelo de cada parcela y la pluviometría de cada campaña (dosis, caudal, frecuencia y duración).

El cálculo de las necesidades hídricas de la vid en escenarios de cambio climático no es abordado específicamente, pues aunque las predicciones indican variaciones debidas al calentamiento global (*Moratiel et al., 2010*), en el método propuesto por la FAO queda contemplado mediante los términos de evapotranspiración de referencia (ET_0) y de precipitación efectiva (Pe).

3. Recomendaciones prácticas para el riego en Tempranillo

Tempranillo es una variedad de uva autóctona española. Es la variedad tinta más cultivada en el territorio nacional. Es bastante vigorosa en condiciones de ausencia de estrés hídrico. Se caracteriza por tener un porte erguido, lo que le confiere sensibilidad al viento. El racimo es de tamaño mediano-grande, compacto y de pedúnculo corto-medio. La baya es pequeña y circular, con un hollejo de elevado grosor y de color negro-azul. Su pulpa es blanda y muy jugosa, y no tiene pigmentación o es muy débil. La fertilidad de sus yemas es muy alta y da una producción alta. Es por ello que es habitual podarla

a pulgares de dos yemas vistas. Es sensible al estrés hídrico severo y el riego moderado durante los procesos de maduración de la uva beneficia la composición de sus mostos. No obstante, el portainjerto empleado en su cultivo le puede conferir cierta tolerancia al estrés hídrico, así como su capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo. Es sensible a enfermedades fúngicas como el oídio y a la excoriosis.

Sus mostos se caracterizan por tener baja acidez en comparación al resto de las variedades más cultivadas en España a igualdad de grado alcohólico probable. Produce unos vinos de color rojo rubí de media capa.

El riego en la variedad Tempranillo influye positivamente sobre su productividad. En un ensayo de riego realizado durante seis campañas por Yeves *et al.* (2011) en Requena (Valencia, España), se observó que el rendimiento se incrementa de manera casi lineal en respuesta a volúmenes de riego de hasta 1.000 m³/ha. Esto es debido, principalmente, al incremento del peso medio de la baya. El efecto más habitual del riego sobre la composición de los mostos en Tempranillo es incrementar la concentración de ácido málico, sin que los efectos sobre la acidez titulable sean tan concluyentes. El riego deficitario aplicado en la época de postenvero atenúa el estrés hídrico de las cepas en comparación al secano, lo que propicia el incremento de la acumulación de azúcares en la baya. No obstante, el efecto del riego sobre el pH de los mostos también es incrementarlo. Las restricciones de riego durante el periodo preenvero fomentan la concentración de compuestos fenólicos y de antocianos en la uva, y por consiguiente, la intensidad colorante de los vinos resultantes. Si bien, cuando se habla de dosis de riego en vid se ha de prestar especial atención a la precipitación acumulada en el suelo, así como el efecto de la carga de cosecha.

Por tanto, la decisión de una estrategia de riego es función del objetivo productivo pretendido y de las singularidades de un viñedo concreto. En este capítulo se proponen dos opciones de manejo del riego en Tempranillo. Ambas consisten en el aprovechamiento del agua de lluvia acumulada en el perfil de suelo durante el otoño-invierno, así como de las lluvias estivales, y se limitan a cubrir parcialmente las necesidades hídricas del viñedo durante los meses de verano.

Con el objetivo productivo de obtener una uva Tempranillo para vinificación de características enológicas óptimas se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, sirva como ejemplo la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 1.200 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 2). Esta estrategia de riego busca maximizar la relación

hollejo-pulpa, así como un desarrollo vegetativo y estado fisiológico que posibilite alcanzar la completa madurez fenólica del hollejo y tánica en la pepita con el objetivo de obtener buenos rendimientos y poder destinar la uva para la elaboración de vinos de guarda.

Tabla 2. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Tempranillo situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la calidad

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,00	0,0	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,00	0,0	45,3	32,4	0,0	0,0
Junio	156,4	0,00	0,0	22,7	5,6	0,0	0,0
Julio	175,2	0,20	35,0	10,3	2,5	32,5	325,3
Agosto	159,0	0,40	63,6	18,9	4,7	58,9	588,8
Septiembre	102,2	0,40	40,9	49,3	12,3	28,5	285,4
Octubre	63,4	0,30	19,0	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,00	0,0	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.112,0	0,11	158,5	406,6	241,9	120,0	1.200,0

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

Con el objetivo de maximizar la producción de uva Tempranillo para vinificación, se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, para un viñedo de la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 2.565 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 3). Hay que destacar que estas recomendaciones de riego (en muchas regiones) no son aplicables en una determinada denominación de origen o que las concesiones de uso del agua expedidas por el organismo de cuenca no permite la aplicación de dichos volúmenes de riego en vid.

Tabla 3. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Tempranillo situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la producción

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,15	15,6	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,25	34,5	45,3	32,4	2,0	21,0
Junio	156,4	0,35	54,9	22,7	5,6	49,0	494,0
Julio	175,2	0,55	96,3	10,3	2,5	93,7	937,4
Agosto	159,0	0,55	87,4	18,9	4,7	82,6	826,4
Septiembre	102,2	0,40	40,9	49,3	12,3	28,6	285,9
Octubre	63,4	0,25	15,7	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,15	5,4	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.112,0	0,22	350,6	406,6	241,9	256,0	2.565,0

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

4. Recomendaciones prácticas para el riego en Bobal

La Bobal es una variedad de uva tinta autóctona de la comarca de Utiel-Requena, Valencia, España. Es la segunda variedad tinta más cultivada en España tras la de Tempranillo, con 60.301 ha en 2016. Es especialmente importante en la Comunidad Valenciana, donde ocupa el 75 % de la superficie total de viñedo incluida en la denominación de origen Utiel-Requena. Puesto que hay vestigios de su presencia en la zona desde hace más de dos mil años, se considera que está muy bien adaptada a las condiciones edafoclimáticas de la región.

Como se puede apreciar en la Figura 2, la Bobal es una variedad vigorosa si se satisface su demanda evapotranspirativa potencial (ET_p). No obstante, ello afecta negativamente a su potencial enológico. Se caracteriza por tener un porte semierguído, con hojas grandes de cinco lóbulos de color verde claro con vellosidad alta en su envés. Cerca de su senescencia (agostamiento) cambian su pigmentación tornándose de un característico rojizo-violáceas.

El racimo es de tamaño grande, compacto y de pedúnculo corto. La baya es mediana-grande y redonda, con un hollejo de grosor medio, resistente y muy oscuro. Su pulpa es blanda y sin pigmentación. La fertilidad de sus yemas es alta y da una producción media-alta. Por tanto, se adapta bien a podas cortas. Es muy resistente a la sequía, ya que madura bien en condiciones de estrés hídrico elevado. Cabe destacar que el patrón sobre el que esté injertada modula ligeramente su tolerancia al estrés hídrico así como su capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo. Su ciclo fenológico se considera tardío o medio. Esto propicia que la maduración coincida con las condiciones climatológicas adecuadas para desarrollar enfermedades fúngicas como el oídio y a la botritis.

Figura 2. Imagen de una cepa vigorosa de la variedad Bobal



Sus mostos se caracterizan por tener la acidez más elevada que la mayor parte de las variedades españolas a igualdad de grado alcohólico probable. Produce unos vinos de color cereza oscuro con tonos violáceos muy estables en el tiempo. Su perfil aromático se caracteriza por tener notas a frutos rojos, regaliz, pimienta, tabaco y ligeros tonos herbáceos. Actualmente se están obteniendo buenos resultados en la elaboración de vinos añejados dado su elevado contenido en taninos, como también en la elaboración de rosados frescos y afrutados.

El aporte del riego influye muy positivamente sobre la productividad de la variedad Bobal. En un ensayo de riego realizado por Intrigliolo *et al.* (2014) localizado en Requena se observó que el rendimiento se incrementa de manera casi lineal en respuesta a volúmenes de riego de hasta 150 mm (1.500 m³/ha). Esto se debió, principalmente, al gran incremento del peso de la baya que favorece el estado del viñedo de estrés ligero. El efecto más habitual del riego sobre la composición de los mostos en Bobal es incrementar la acidez total, debido a incrementos en la concentración de ácido málico. Por el contrario, los efectos sobre el pH no son tan concluyentes (Salón *et al.*, 2005). No obstante, el contenido en sólidos solubles totales, la concentración de compuestos fenólicos y de antocianos, así como la intensidad colorante de los vinos resultantes, tiende a disminuir con los volúmenes de riego aportados.

La decisión de una estrategia de riego depende del objetivo productivo pretendido. Por ello, en este capítulo se proponen dos opciones de manejo del riego en Bobal. Ambas consisten en el aprovechamiento del agua de lluvia acumulada en el perfil de suelo durante el otoño-invierno, y se limitan a cubrir parcialmente las necesidades hídricas del viñedo durante los meses de verano.

Con el objetivo productivo de obtener una uva Bobal para vinificación de características enológicas óptimas se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, para el ejemplo de la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 724 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 4). Esta estrategia de riego busca maximizar la relación hollejo-pulpa, así como un desarrollo vegetativo y estado fisiológico que posibilite alcanzar la completa madurez fenólica y elaborar vinos de guarda.

Tabla 4. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Bobal situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la calidad

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,00	0,0	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,00	0,0	45,3	32,4	0,0	0,0
Junio	155,7	0,00	0,0	22,7	5,6	0,0	0,0
Julio	175,2	0,15	26,3	10,3	2,5	23,8	238,8
Agosto	159,0	0,25	39,8	18,9	4,7	35,1	351,8
Septiembre	102,2	0,25	25,6	49,3	12,3	13,3	133,7
Octubre	63,4	0,20	12,7	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,00	0,0	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.111,7	0,07	104,5	406,6	241,9	72,2	724,3

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

Con el objetivo de maximizar la producción de uva Bobal para vinificación de rosados o vinos de no de guarda, se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, para la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 2.304 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 5). Si bien en muchas regiones las concesiones de uso del agua expedidas por el organismo competente no permite la aplicación de dichos volúmenes de riego en vid.

Tabla 5. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Bobal situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la producción

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,15	15,6	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,25	34,5	45,3	32,4	2,1	21,1
Junio	155,7	0,35	54,6	22,7	5,6	49,0	490,2
Julio	175,2	0,55	96,3	10,3	2,5	93,7	937,8
Agosto	159,0	0,55	87,4	18,9	4,7	82,6	826,9
Septiembre	102,2	0,40	40,9	49,3	12,3	28,6	286,0
Octubre	63,4	0,25	15,7	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,15	5,4	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.112,0	0,22	350,3	406,6	241,9	256,1	2.304,6

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

5. Técnicas de cultivo para adaptación al cambio climático

En las regiones de clima mediterráneo se practica y desarrolla la viticultura desde hace milenios, adaptándola a las condiciones concretas de cada territorio (*terroir*). La primera adaptación al medio es la utilización de material vegetal local y, la segunda, el empleo de técnicas culturales adecuadas a las condiciones hídricas, edáficas y climáticas. De las dos variedades tintas que se presentan en este capítulo, es la variedad Bobal la que tiene un mayor potencial de adaptación al cambio climático. Esto es debido a que es de ciclo largo y, por tanto, madura en periodos más frescos. Además, presenta los mayores valores de acidez a igualdad de grado alcohólico probable que otras variedades tradicionales. Por el contrario, la variedad Tempranillo, por su precocidad y los elevados niveles de pH de sus mostos, parece la más susceptible al calentamiento global.

De hecho, los incrementos térmicos y modificaciones en el patrón de precipitaciones ya son una realidad en las regiones de clima mediterráneo. Estos cambios climáticos, en climas ya de por sí cálidos y semiáridos, están propiciando que la maduración tecnológica de la uva (azúcares y ácidos orgánicos) ocurra más rápidamente que la síntesis de compuestos fenólicos (flavonoles y compuestos aromáticos), y esto provoca un desequilibrio en los vinos. Las temperaturas elevadas favorecen la rápida concentración de sólidos solubles totales y el catabolismo de los ácidos orgánicos, y ello viene provocando adelantos en la fecha de vendimia en las regiones mediterráneas. Todo ello redundará en vinos tintos de elevado contenido alcohólico, menor color y aroma, y mayor astringencia y amargor (Mira de Orduña, 2010).

Con el objetivo de preservar la tipicidad de las actuales zonas vitivinícolas se plantean técnicas culturales para la adaptación del viñedo al calentamiento global. Las estrategias propuestas van encaminadas a: 1) mitigar los efectos del estrés hídrico de las cepas y mejorar la fertilidad del suelo; 2) equilibrar el ratio desarrollo vegetativo-producción y maximizar la productividad del viñedo manteniendo altos estándares de calidad del mosto y 3) retrasar el ciclo fenológico de la vid para así desplazar los procesos de maduración hacia periodos menos calurosos y reacoplar la maduración tecnológica a la fenólica. En este sentido, el presente capítulo propone las técnicas de acolchado del suelo, deshojado tardío, poda tardía, modificación de la altura de la espaldera, orientación de las filas del viñedo y el forzado de yemas.

Además, todas estas técnicas de adaptación al cambio climático encajan perfectamente en un manejo sostenible del viñedo, e incluso pueden resultar interesantes como técnicas agrícolas para su mitigación. Desgraciadamente, el sector agroalimentario –y concretamente la producción de alimentos–, es uno de los sectores económicos que más emisiones de efecto invernadero emite, y estas van en aumento.

No obstante, la agricultura actúa como fuente y, también, como sumidero de carbono. Técnicas que incrementen la materia orgánica del suelo, como puede ser el uso de acolchados vegetales, supone una interesante estrategia para el secuestro de carbono. Además, esta técnica protege la erosión hídrica y eólica del suelo, así como de la excesiva radiación solar para la microbiota del suelo, lo que podría mejorar la fertilidad y la estructura del suelo. En cualquier caso, el conocimiento en profundidad del agrosistema vitícola y sus interacciones con el medio es la base para el diseño de modelos productivos no solo resilientes ante episodios climáticos extremos, sino con capacidad de

mitigarlo. Sirva como ejemplo la inmensa capacidad de secuestro de carbono que la extensión nacional actual de viñedo (951.201 ha) permitiría, con un incremento del 1 % del contenido de materia orgánica suelo.

5.1. Manejo del suelo y su acolchado

Las técnicas de manejo del suelo son prácticas culturales que tienen por objetivo mejorar las condiciones de cultivo. No obstante, esta definición que parece obvia no siempre se logra, a pesar del empeño que se invierte en dichas operaciones. Estas pueden ser de muy diversa índole, desde el tradicional laboreo en zonas de pluviometrías bajas y estacionales, hasta el no laboreo o la escarda química. El empleo de cubiertas vegetales permanentes o temporales es una práctica de manejo de suelos habitual en viticultura que también puede servir como abono verde. Si bien en regiones semiáridas su empleo ha de coincidir con el periodo de latencia de la vid, requieren de un manejo adecuado para no mermar en exceso las reservas de agua del suelo y así provocar una mayor reducción del vigor del viñedo.

Otras posibles técnicas de manejo del suelo son el acolchado mediante materiales vegetales o plásticos. Estas técnicas van principalmente encaminadas a reducir la evaporación del agua del suelo, más que a mejorar la infiltración del agua de lluvia como las cubiertas de gramíneas. Estudios recientes realizados en la Finca «Las Tiesas», Albacete, en la variedad Tempranillo, cuantificaron que el acolchado orgánico a base de triturado de sarmientos de poda redujo la ET_c de la vid algo más de un 17 %, mientras que un acolchado plástico lo hizo en un 25 % (López-Urrea *et al.*, 2016).

Ser capaces de reducir la evaporación del agua de lluvia, así como mejorar la capacidad de almacenamiento de la misma en el suelo, en un contexto de cambio climático, resulta trascendental para la sostenibilidad del viñedo tal y como lo conocemos. Porque, de hecho, la disponibilidad de agua es el factor más limitante de la productividad del viñedo en condiciones mediterráneas (Jackson y Lombard, 1993). Por ello, si se van cumpliendo las predicciones climáticas para la cuenca mediterránea del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), cabe esperar que la producción del viñedo se reduzca debido a los incrementos en la demanda evapotranspirativa, a la reducción en las precipitaciones estivales y a la degradación de suelos.

Por todo ello, el acolchado, o *mulching*, a base de sarmientos de poda triturados parece una técnica interesante para la adaptación del viñedo al siglo XXI (Figura 3). Porque, además, el no aprovechamiento de los restos de poda supone una emisión neta de carbono a la atmósfera si su destino es ser quemado.

Figura 3. Imagen de un viñedo con *mulching* a base de restos de poda de la vid



En ensayos actualmente en curso con la variedad Bobal en la región de Requena se han observado mejoras significativas del estado hídrico del viñedo mediante el uso de *mulching*, e incrementando en la composición polifenólica de la uva. Estos resultados, unidos al ahorro en la eliminación de la flora auxiliar, permiten aconsejar su uso. No obstante, al tratarse de materia orgánica no descompuesta de elevada relación carbono/nitrógeno, los microorganismos del suelo requerirán parte del nitrógeno presente en él para llevar a cabo el proceso de mineralización de los restos de poda. Por ello, es recomendable también completar los requerimientos de nitrógeno del viñedo teniendo en cuenta este aspecto. Una alternativa para la aplicación de los restos de poda de la vid y, a la vez, compensar el incremento en las necesidades de nitrógeno, podría ser su compostaje en pilas abiertas con estiércol previo a su aplicación. Si bien esto reduciría el volumen a aplicar y, por tanto, la capacidad de acolchar

superficie de viñedo. En esta línea se han obtenido muy buenos resultados mediante el compostaje de sarmientos con gallinaza (Matei *et al.*, 2014).

No se recomienda su aplicación en suelos con tendencia a encharcarse y con mal drenaje, pues el *mulching* en forma de paja, el más tradicional, podría provocar asfixia radicular y fomentar el desarrollo de enfermedades fúngicas.

5.2. Deshojado tardío

La técnica de deshojado tiene como objetivo provocar un retraso en la acumulación de azúcares en la uva buscando incrementar la madurez fenólica sin provocar mermas productivas importantes. La técnica se fundamenta en que una reducción del área foliar de la cepa realizada 10 días antes del 50 % de envero, es decir, cuando inicia la fase III de acumulación de azúcares en la baya (10 °Bx aprox.), ralentiza su acumulación y, por tanto, al retrasarse la fecha de vendimia, se propicia que las temperaturas durante la maduración de la uva sean más suaves, lo que permitirá una mayor síntesis de compuestos polifenólicos.

El deshojado ha de realizarse en las hojas superiores al segundo entrenudo tras el último racimo, dejando los ápices intactos (Figura 4). De esta forma, se eliminan las hojas fotosintéticamente más activas y no se inhibe el crecimiento apical. Es una técnica que puede realizarse en cualquier tipo de arquitectura del dosel vegetal, pero que en espaldera vertical es fácilmente mecanizable. Este tipo de deshojado ha dado buenos resultados en Italia con las variedades Sangiovese y Aglianico, donde sin provocar diferencias en el rendimiento del viñedo se redujo el contenido alcohólico del vino manteniendo la concentración de compuestos fenólicos (Poni *et al.*, 2013; Caccavello *et al.*, 2017). Un resultado muy interesante, dado que el mercado demanda, cada vez más, vinos de baja graduación alcohólica pero bien estructurados.

En un ensayo llevado a cabo en Requena con las variedades Bobal y Tempranillo, se estudiaron durante las campañas de 2014 y 2015 los efectos sobre la productividad de las cepas y la composición de la uva de un manejo de la vegetación en espaldera vertical habitual y del deshojado tardío. El deshojado tardío consistió en eliminar manualmente el 30 % del área foliar total en el estado fenológico 79 en la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1995), es decir, cuando todas las bayas de un racimo se tocan. Las hojas eliminadas fueron tanto del sarmiento principal como de los brotes secundarios. La reducción del área foliar conllevó mejoras en el estado hídrico de las cepas, pero esto no produjo

mejoras productivas. La reducción del 30 % del área foliar en estas variedades tintas españolas, a diferencia de lo observado por otros autores en variedades extranjeras, redujo la producción en casi un 10-20 % y, además, repercutió negativamente en la composición fenólica de la uva. Además, en la variedad Bobal, por ser más tardía que la Tempranillo, no se llegaron a alcanzar los niveles de sólidos solubles totales óptimos para su vendimia antes de que la climatología supusiera un impedimento para la maduración.

Figura 4. Cepas de la variedad Tempranillo bajo la técnica de deshojado tardío



En resumen, la técnica de deshojado tardío puede ser una alternativa para retrasar el ciclo fenológico de la vid y, por tanto, para desplazar los procesos de maduración hacia periodos de temperaturas menos cálidas. Sin embargo, esto por sí solo no reequilibrará la madurez de los mostos si el ratio área foliar/producción es demasiado bajo en condiciones de estrés hídrico moderado. Por tanto, si se decide probar su eficacia en las condiciones semiáridas de clima mediterráneo, se recomienda ajustar el porcentaje de hojas a eliminar en función del estrés hídrico del viñedo.

5.3. Poda tardía

Esta técnica se ha demostrado eficaz en paliar el desequilibrio que se está observando entre la madurez tecnológica y la fenólica en zonas vitícolas de clima mediterráneo a causa del incremento en las temperaturas estivales. Esto se consigue retrasando el ciclo fenológico de la vid y, por tanto, desplazando los procesos de maduración hacia periodos menos calurosos.

La poda tardía consiste en realizar la poda tradicionalmente invernal en primavera. De esta forma, 1) se puede equilibrar la madurez tecnológica y fenólica de la uva y 2) se minimiza el riesgo de daños por heladas primaverales. La poda tardía planteada aquí ha de realizarse en sistemas de poda cortas; puesto que en sistemas de poda tipo Guyot, los retrasos fenológicos provocados serían menos interesantes y el riesgo de sufrir heladas tardías se minimiza con ese tipo de poda debido a su brotación más escalonada. La poda tardía se realiza cuando las yemas que permanecerán en el pulgar alcanzan el estado fenológico de yema de algodón, correspondiente con el 03 de la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1995). Esto corresponderá con el inicio de la expansión de las hojas de las yemas apicales de los sarmientos (12-14 BBCH) (Figura 5).

Figura 5. Detalle del momento de poda tardía



El retraso fenológico que provoca esta técnica en la brotación de las cepas es de aproximadamente 20 días respecto a realizar la poda en invierno. El retraso inicial en número de días se va atenuando a medida que se incrementan la acumulación de grados día (Figura 6). Los retrasos en la fecha de vendimia, si bien dependerán de las diferencias climáticas entre la primera y segunda vendimia, se estiman de una semana como mínimo a igualdad de contenido de azúcares. Este desfase entre vendimias compensa los adelantos en la fecha de recolección que se han observado en los últimos años (García de Cortázar-Atauri *et al.*, 2017). En vendimia son esperables reducciones de la producción de un 10-15 % respecto de la poda invernal. Esto es debido al efecto de la técnica sobre el tamaño del racimo, influido por el menor peso de la baya de las cepas podadas tardíamente. La composición de la uva, sin embargo, tenderá a mejorarse por incrementos significativos en la acidez total pero, principalmente, por los incrementos en la síntesis y concentración de antocianos y polifenoles (para más información pueden consultar el artículo de Buesa *et al.*, 2017). No obstante, si bien esta técnica se viene aplicando con el objetivo de evitar daños por helada, en la actualidad aún está en fase de evaluación para determinar el potencial enológico que las diferencias de composición en la uva otorgarán a sus vinos. Además, también es necesario investigar los posibles efectos acumulativos que la repetición de esta técnica, año tras año, pueda provocar sobre la fertilidad de las yemas y el vigor de las cepas.

Figura 6. Estados fenológicos de botones florales separados en una cepa poda en invierno (izda.) y de racimos visibles en una cepa poda tardíamente (dcha.).



Hay que destacar que la rentabilidad económica de esta técnica depende, en última instancia, del objetivo productivo del viticultor. Es decir, del tipo de vino y nicho de mercado al que se quiera dirigir, puesto que las ligeras mermas productivas que la técnica de poda tardía suele provocar han de verse compensadas por el precio de la uva. Independientemente, la respuesta fisiológica de las variedades Tempranillo y Bobal a la técnica de poda tardía fue estudiada en la región vitícola de Utiel-Requena con resultados positivos en términos de composición. Por tanto, se puede concluir que es una técnica con potencial para la adaptación de la vitivinicultura mediterránea a escenarios futuros, previsiblemente más cálidos y secos que los actuales. No obstante, la continuación del experimento en futuras campañas es imprescindible para confirmar su eficacia.

5.4. Altura de la espaldera

En la vid, el sistema de formación empleado y la arquitectura del dosel vegetal determinan la cantidad de luz interceptada por unidad de área foliar y por los frutos. Esto afecta al consumo de agua y, por lo tanto, al estado hídrico de las cepas, así como a los procesos de maduración de la uva. Bajo un régimen de riego no limitante, parece lógico asumir que una mayor altura de la espaldera puede incrementar la capacidad de las cepas para producir fotoasimilados, lo que podría aumentar la cosecha final.

Sin embargo, como habitualmente ocurre en la viticultura para vinificación, el riego deficitario y una mayor elevación de la espaldera pueden inducir un mayor estrés hídrico al viñedo. Existen estudios sobre el ratio de área foliar/producción óptimo para maximizar la producción y asegurar la correcta maduración de la uva (Kliewer y Dokoozlian, 2005), aunque estos a su vez dependen del estado hídrico del viñedo. Adicionalmente, en el contexto de cambio climático, donde la demanda evapotranspirativa predicha aumenta y el régimen pluviométrico cambia, es probable que los niveles de estrés del viñedo se incrementen.

Pretendiendo desentrañar estas cuestiones, se estudió la respuesta agronómica y la calidad final de la uva que provoca una mayor altura de la vegetación en condiciones de riego deficitario en la variedad Tempranillo cultivada en la zona de Utiel-Requena. Las alturas de vegetación estudiadas fueron «Normal», o no elevada (representativa de los viñedos de la zona), y «Alta», o elevada, consistiendo en aproximadamente 1,0 y 1,4 m de altura vertical,

respectivamente. Los niveles de carga de racimos fueron similares en ambas alturas de espaldera para las dos campañas. Los resultados del estudio mostraron que el incremento de la altura de vegetación supuso un aumento del 28 % del área foliar y, por consiguiente, un aumento del estrés hídrico (potencial hídrico de tallo de 0,3 a 0,1 MPa más negativo). Como consecuencia, las cepas con altura de vegetación elevada redujeron la producción en un 10 %. Esta reducción de rendimiento se debió al menor peso del racimo originado por el menor peso de la baya. No obstante, en la composición de sus mostos incrementó la concentración de sólidos solubles totales y la de antocianos, aunque disminuyó la acidez total y de la concentración de ácido málico y tartárico. El contenido en polifenoles totales y taninos no se vio alterado.

A la luz de estos resultados, en condiciones de riego deficitario y poda cordón Royat bilateral, solo se recomienda la vegetación elevada para la producción de vinos de alta gama, donde la pérdida de rendimiento podría ser compensada por una cierta mejora de calidad de la uva. No obstante, la reducción de la acidez ha de tenerse en cuenta, pues puede conllevar una pérdida importante del potencial enológico de la uva.

La espaldera alta también podría suponer una alternativa de manejo de vegetación para adoptarse en viñedos con problemas habituales de sanidad de la uva (botritis, mildiu, oídio, etc.), pues reduce la compacidad del dosel vegetal y, por tanto, mejora la aireación y propicia una mayor exposición a la luz de los racimos.

5.5. Orientación de las filas del viñedo

Desde el punto de vista de la conservación del suelo, la orientación de las filas de los viñedos debería ser la contraria a la dirección de máxima pendiente del terreno. No obstante, el criterio que suele emplearse es buscar la orientación que minimiza los cambios de dirección del tractor. Sin embargo, en aquellos casos de terrenos relativamente planos y amplias extensiones podrían emplearse indiferentemente orientaciones de las filas norte-sur o este-oeste.

En ensayos realizados con la variedad Bobal en condiciones controladas de maceta se ha comprobado que la orientación de las filas este-oeste puede reducir el consumo de agua en un 12 % sin efectos negativos sobre la calidad de la uva.

Por lo tanto, en aquellos casos en los que pueda resultar indiferente la orientación de las filas de espaldera, se podría llevar a cabo una plantación en dirección este-oeste buscando minimizar la intercepción de radiación solar y así mitigar los efectos de la escasez de agua y falta de precipitaciones. Además, esta orientación puede mejorar la resistencia física de la espaldera a los vientos predominantes en la comarca de Utiel-Requena (Levante o Poniente) y ayudar a retrasar la maduración de la uva.

5.6. Forzado de yemas

La técnica consiste en realizar una poda en verde severa tras la floración, estado fenológico 79 en la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1995) (Figura 7), momento en el que las yemas del año siguiente ya se han diferenciado. De esta manera se fuerza la brotación de las yemas formadas esa misma campaña y se retrasa todo el ciclo fenológico. Esto propicia que la maduración ocurra en condiciones significativamente más frescas y acople mejor la madurez tecnológica y la fenólica de las uvas, mejorando notablemente la calidad del vino.

Figura 7. Ciclo del forzado de la vid



Los resultados de un ensayo actualmente en marcha con la variedad Tempranillo han demostrado que, mediante un forzado de yemas, es posible incrementar notablemente el color y la carga polifenólica de la uva, incrementando la acidez y disminuyendo el pH, todo ello en comparación a los de uvas con un manejo convencional y para niveles de sólidos solubles totales similares. Sin embargo, la producción final de las cepas se reduce muy considerablemente y, además, el forzado tiene efectos acumulativos sobre la fertilidad de las cepas incluso un año después de su realización. Por lo tanto, dicha técnica de cultivo solo puede recomendarse para la producción de uva destinada a vinos de gran calidad y alto valor comercial.

6. Conclusiones

Las técnicas de manejo integral del viñedo propuestas suponen una alternativa para la adaptación de la vitivinicultura mediterránea al cambio climático. En un contexto de escasez de recursos hídricos e incrementos en la evapotranspiración del cultivo, prácticas agronómicas como el riego deficitario, la modificación de la orientación de las filas de espaldera o su altitud pueden mejorar la eficiencia en el uso de agua y la sostenibilidad de la vitivinicultura mediterránea. Además, prácticas de manejo del suelo y su acolchado pueden incrementar la resiliencia del sistema vitícola y resultar efectivas en la mitigación del cambio climático. Para hacer frente a los efectos negativos del calentamiento global en la calidad de la uva y el vino, técnicas agronómicas como el deshojado tardío, la poda tardía o el forzado de yemas han mostrado su potencial de mitigación. No obstante, la implementación de estas técnicas depende de la viabilidad económica de su puesta en práctica, lo que está supeditado en gran medida al margen de beneficio potencial de los vinos resultantes.

Agradecimientos

Los conocimientos transferidos mediante la redacción de este capítulo son el resultado de investigaciones actualmente financiadas por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, a través del proyecto FEDER «NITROGRAPE» con código AGL2017-83738-C3-3-R y cofinanciados por el contrato de investigación suscrito entre Cajamar Caja Rural y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas «Uso eficiente del agua en escenarios de cambio climático».

Referencias bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998): «Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56»; *Rome* 300(9). FAO; pp. D05109.
- BUESA, I.; PÉREZ, D.; YEYES, A.; SANZ, F.; CHIRIVELLA, C. e INTRIGLIOLO, D. S. (2017): *Efectos agronómicos y enológicos de la poda tardía en Bobal y Tempranillo*. Grandes cultivos.com.
- CACCAVELLO, G.; GIACCONE, M.; SCOGNAMIGLIO, P.; FORLANI, M. y BASILE, B. (2017): «Influence of intensity of post-veraison defoliation or shoot trimming on vine physiology, yield components, berry and wine composition in Aglianico grapevines»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 23(2); pp. 226-239.
- FERERES, E. y SORIANO, M. A. (2007): «Deficit irrigation for reducing agricultural water use»; *Journal of Experimental Botany* 58(2); pp. 147-159.
- GARCÍA ESCUDERO, E.; SANTAMARÍA, P.; LÓPEZ, R. y PALACIOS, I. (1991): «Aplicación de dosis moderadas de agua en el proceso de maduración del cv. Tempranillo en Rioja»; *Vitivinicultura* 2(1); pp. 30-34.
- GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; DUCHÊNE, É.; DESTRAÇ, A.; BARBEAU, G.; DE RESSÉGUIER, L.; LACOMBE, T.; PARKER, A. K.; SAURIN, N. y VAN LEEUWEN, C. (2017): «Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions in the context of climate change»; *OENO One* 51(2); pp. 115-126.
- GIRONA, J.; MARSAL, J.; MATA, M.; DEL CAMPO, J. y BASILE, B. (2009): «Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* (15); pp. 268-77.
- INTRIGLIOLO, D. S.; PUERTO, H.; ÁLVAREZ, I.; GARCÍA-ESPARZA, M. J.; CHIRIVELLA, C.; LIZAMA, V. y RUIZ-CANALES, A. (2014): «Efectos del riego sobre la producción y la calidad de la uva y del vino en la variedad Bobal en Utiel-Requena»; *Enoviticultura* (31); pp. 92-100.
- IPCC (2014): «Climate Change 2014: Synthesis Report»; en Pachauri, R. K. y Meyer, L. A., eds.: *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team*. Suiza, Génova, IPCC; pp. 151.

- JACKSON, D. I. y LOMBARD, P. B. (1993): «Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-A review»; *Am. J. Enol. Vitic.* 44; pp. 409-30.
- KLIEWER, W. M. y DOKOOZLIAN, N. K. (2005): «Leaf Area/Crop Weight Ratios of Grapevines: Influence on Fruit Composition and Wine Quality»; *American Journal of Enology and Viticulture* 56(2); pp. 170-181.
- LÓPEZ-URREA, R.; MONTORO, A.; MARTÍNEZ, L.; MAÑAS, F.; SÁNCHEZ, J. M. e INTRIGLIOLO, D. S. (2016): «¿Es posible mejorar la eficiencia en el uso del agua de un viñedo mediante un acolchado orgánico del suelo?»; *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*. Sevilla.
- LORENZ, D. H.; EICHORN, K. W.; BLEIHOLDER, H.; KLOSE, R.; MEIER, U. y WEBER, E. (1995): «Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)-Codes and descriptions according to the extended BBCH scale†»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1(2); pp. 100-103.
- MATEI, P. M.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; MARTÍN-VILLULLAS, M.; DIEZ-GUTIÉRREZ, M. y GARCÍA-GONZÁLEZ, M. (2014): «Eficiencia del compostaje de sarmientos de vid mediante pilas abiertas como metodode higienización»; *IV Jornadas de la Red Española de Compostaje. De Residuo a Recurso: Estrategias de gestión tratamiento y valorización en el Horizonte 2020*; pp. 156-160.
- MORATIEL, R.; DURÁN, J. y SNYDER, R. L. (2010): «Responses of reference evapotranspiration to changes in atmospheric humidity and air temperature in Spain»; *Climate Research* 44(1); pp. 27-40.
- MIRA DE ORDUÑA, R. (2010): «Climate change associated effects on grape and wine quality and production»; *Food Research International* 43(7); pp. 1844-1855.
- PONI, S.; GATTI, M.; BERNIZZONI, F.; CIVARDI, S.; BOBEICA, N.; MAGNANINI, E. y PALLIOTTI, A. (2013): «Late leaf removal aimed at delaying ripening in cv. Sangiovese: physiological assessment and vine performance»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19(3); pp. 378-387.
- SALÓN, J. L.; CHIRIVELLA, C. y CASTEL, J. R. (2005): «Response of cv. Bobal to timing of deficit irrigation in Requena, Spain: water relations, yield, and wine quality»; *American Journal of Enology and Viticulture* 56(1); pp. 1-8.
- SCHULTZ, H. R. y JONES, G. V. (2010): «Climate induced historic and future changes in viticulture»; *Journal of Wine Research* 21(2-3); pp. 137-145.

- YEVES, A.; PÉREZ, D.; RISCO, D.; INTRIGLIOLO, D. S. y CASTEL, J. R. (2011): «Obtención de una pauta de riego optima en la variedad Tempranillo en Utiel-Requena»; *Vida Rural* (325); pp. 42-46
- WILLIAMS, L. E. y MATTHEWS, M. A. (1990): «Grapevine»; en STEWART, B. A. y NIELSEN, D. R., eds.: *Irrigation of agricultural crops. Agronomy monograph* (30). EEUU, Madison, American Society of Agronomy; pp. 1019-1055.

