

Uso de la viticultura de precisión como herramienta de gestión del riego en viñedo

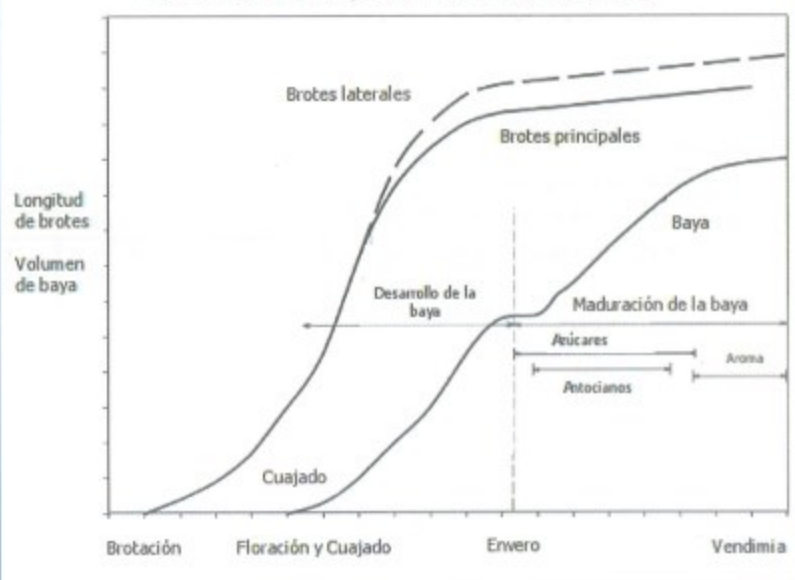
J. Blanco¹, J.M. Terrón¹, F.J. Pérez¹, D. Uriarte¹, L.A. Mancha¹, J.R. Marques da Silva², L.L. Silva².

¹ Centro de Investigación "La Orden - Valdequesera", Gobierno de Extremadura, Autovía A-5 p.k. 372, 06187, Guadajira (Badajoz). e-mail: josemaria.terron@juntaex-tremadura.net

² Universidade de Évora, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Escola de Ciências e Tecnologia, Apartado 94, 7002-554, Évora, Portugal.

“Todo es relativo”. Así comienza la respuesta de un internauta a las conclusiones de una tesis doctoral publicadas en la web, la cual alega que la calidad de los vinos producidos en las áreas vitícolas incluidas en dicho estudio, mejora con el viñedo en secano. El cultivo tradicional de la vid es llevado a cabo sin el aporte externo de agua (incluso ha llegado a estar prohibido), en el cual, a través de unas prácticas adecuadas, se obtienen unas producciones y calidades totalmente satisfactorias. Actualmente, la posibilidad de utilizar el riego como herramienta para mejorar el rendimiento del cultivo en varios aspectos, ha hecho que el viticultor se plantee seriamente el tipo de estrategia a seguir, pues el riego en la vid no es sinónimo de altas producciones y bajas calidades, siempre y cuando sea bien gestionado. La elección del manejo del agua en el cultivo de la vid, ya sea una estrategia de riego deficitario, un riego de apoyo o aprovechar únicamente el agua de lluvia, conlleva tener en cuenta numerosos factores agronómicos que van a afectar tanto a la producción como a la calidad de su fruto, la uva. Entre estos factores se encuentran, cómo no, los relacionados directamente con el agua y el uso de la misma por parte de la planta, tales como su cantidad en el suelo o la humedad atmosférica; aquellos relacionados con el medio en el que crecen, como pueden ser la estructura del terreno o la radiación solar; o los relacionados con el propio vegetal, tales como variedad, portainjerto, tipo de desarrollo

Figura 1. Curvas ideales de crecimiento vegetativo y productivo en *Vitis vinífera* L. Adaptación de McCarthy (2002).



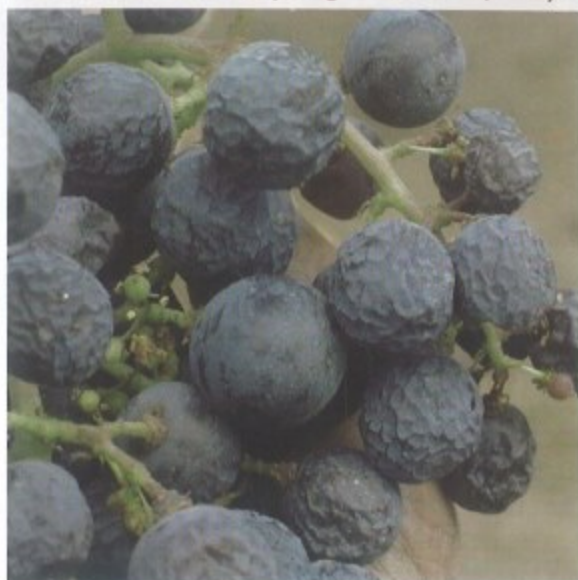
vegetativo, etc. No obstante, la vid, al igual que cualquier ser vivo, necesita agua para poder realizar sus funciones fisiológicas y si no la encuentra en el suelo, cualquiera que sea su procedencia, la planta muere. En el lado opuesto, una elevada cantidad de agua aportada al cultivo puede traducirse en un gran desarrollo de la parte vegetativa de la planta, pero no necesariamente una mayor producción y/o calidad que en una situación intermedia entre ambos límites. Afortunadamente, para el primero de los casos expuestos anteriormente, el desarrollo adventicio de las raíces de la vid suele extenderse lo necesario consiguiendo captar agua de las reservas existentes en el suelo y obtener la cantidad necesaria para, al menos, completar su ciclo anual. No obstante, el agricultor debe poner atención a las necesidades hídricas de la planta en función del tipo de estrategia elegida. Así, un uso eficiente del agua de riego aportada, habida cuenta la escasez de los recursos hídricos, permitiría al viticultor equilibrar el desarrollo vegetativo y la producción, logrando mejoras importantes en calidad, especialmente en variedades tintas. ▶▶▶

▶▶▶ EFECTOS DEL EXCESO Y DEL DÉFICIT HÍDRICO EN LA VID

Una planta entra en un estado de déficit hídrico cuando la cantidad disponible de agua en el suelo o la capacidad que tiene la misma para absorberla a través de las raíces, es inferior a la cantidad que expulsa a la atmósfera mediante la transpiración por las hojas. No obstante, las consecuencias del déficit hídrico en la planta van a ser muy variables en función del estado fenológico en que se encuentre y de la severidad del déficit inducido. Por ello, la decisión de cada viticultor de cuánto y cuándo ha de regar, si decide hacerlo, va a requerir un conocimiento previo de la respuesta de la vid a dichas situaciones.

En este sentido, se pueden establecer tres etapas generales del cultivo con una serie de aspectos a tener en cuenta en relación a los requerimientos de agua por parte de la vid (Figura 1). En una primera etapa de desarrollo, comprendida entre los estados fenológicos de brotación y tamaño guisante de la baya (tras la floración y el cuajado), la vid es muy sensible a la cantidad de agua en el suelo, tanto por su falta como por su exceso. En el primero de los casos se produce un desarrollo vegetativo irregular y un crecimiento de la cubierta vegetal más lento. Sin embargo, en este periodo, la falta de agua no es muy común, pues las lluvias invernales y primaverales unidas a una baja demanda evapotranspirativa, debido al pequeño porte de las cepas en ese momento, hace que la necesidad de riego sea normalmente escasa o nula. Un aspecto muy importante a tener en cuenta en este periodo es que un estrés producido a la planta durante la floración, ya sea hídrico o de cualquier otra índole, puede producir una reducción en el número de flores cuajadas, viéndose mermada la producción potencial que puede llegar a dar el cultivo (aunque existen técnicas vitícolas con este objetivo; Uriarte et al. (2010)). Por otro lado, el exceso de agua, más común en este periodo, puede producir también efectos negativos que quizás el viticultor tenga menos en cuenta debido a que se presentan a largo plazo. Un elevado contenido de agua en el suelo en las primeras fases de desarrollo vegetativo puede provocar un excesivo crecimiento del cultivo, lo que produce, a su vez, un exceso de consumo de agua en periodos posteriores para mantener en buen estado dicho desarrollo. Esto provoca que las reservas de agua en el suelo disminuyan rápidamente y puedan quedar al mínimo en el periodo anual de sequía, necesitando un remanente extra de agua mediante el riego que el agricultor deberá aportar.

Figura 2. Deshidratación prematura de las bayas debido a un estrés hídrico severo durante la maduración de la uva (Ortega-Farías et al., 2004).



Una segunda etapa de desarrollo del cultivo de la vid, comprendida entre los estados fenológicos de tamaño guisante y envero, se caracteriza por establecer en las bayas el número final de sus células y, por lo tanto, el tamaño potencial que van a tener las mismas, el cual va a estar íntimamente relacionado con el rendimiento de la cosecha de dicha campaña. Durante este periodo, en el cual se produce una desaceleración importante del crecimiento vegetativo, interesaría controlar éste último con una ligera disminución de disponibilidad hídrica para la planta (frente al total demandado), en el caso de que sea posible, pero sin que llegue a afectar de forma apreciable a la tasa fotosintética de la planta, es decir, a la capacidad de elaborar sustancias nutritivas, ya que este líquido es esencial para metabolizar el CO_2 en hidratos de carbono. Hay que tener en cuenta que la situación de un déficit hídrico severo en esta fase va a provocar una reducción importante en el tamaño final de la baya, el cual no va a poder ser compensado con un aporte suplementario durante el posterior periodo de maduración. La falta de restricción hídrica, cuando implica un exceso de disponibilidad de agua en el suelo para la planta, se traducirá en un crecimiento continuo de la misma, lo cual provocará, entre otros efectos, que la parte vegetativa de la vid compita directamente con el desarrollo de los racimos.

Durante la maduración de la uva, periodo comprendido entre el envero y la cosecha de la misma, el agua es, quizás, el factor más determinante. ▶▶▶

►►► Si sometemos la vid a un estrés hídrico severo, como puede ocurrir en las áreas vitícolas del sur de España si se cultivan en secano, existe la posibilidad de una reducción en el peso final de la baya así como una ralentización de su maduración, y un menor contenido en azúcares por baya si este déficit es extremo (Figura 2). En el lado contrario, un exceso de absorción de agua por parte de la vid puede producir un aumento de la concentración de ácidos, provocado fundamentalmente por el ácido málico, originando una bajada del pH de los mostos resultantes. Además se puede producir una reducción del contenido de antocianos debido al efecto de dilución. Todo esto se verá traducido en la percepción organoléptica del vino.

LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y EL RIEGO EN LA VID

La evolución de las prácticas agrícolas hacia el concepto de sostenibilidad ambiental y económica en el proceso productivo es un hecho necesario a aplicar, en mayor o menor medida, en la viticultura tradicional de hoy. La investigación, la innovación y el avance tecnológico nos permiten cuantificar y valorar la variabilidad natural que se pueda producir en un cultivo determinado, dándonos la posibilidad de sustituir las recomendaciones habituales de insumos por otras más adecuadas y de mayor precisión en base a las características intrínsecas de cada área de cultivo. En este sentido, el incremento de la calidad de la uva en un futuro cercano y, por consiguiente, de los vinos, estará basado en implantar sistemas eficaces de manejo del cultivo, entre los que se encuentran las estrategias de riego de precisión, cuyo objetivo principal es aplicar la cantidad de agua necesaria a cada cepa del viñedo, o grupo de ellas, en cada una de las etapas del ciclo vegetativo de la vid. Para alcanzar este objetivo se debe conocer con detalle qué sucede durante la campaña en el viñedo e intentar contestar a unas sencillas preguntas, tales como "qué" estrategia de producción se va a seguir, "cómo" se va a llevar a cabo dicha estrategia, "cuánto" se ha de regar para conseguirla y, por supuesto, "cuándo" han de hacerse los riegos.

En la vid, uno de los primeros síntomas de déficit hídrico es la reducción de la longitud de sus pámpanos, es decir, la reducción del desarrollo vegetativo de su parte aérea. Por este motivo, lograr entender el comportamiento de cada una de las cepas, o grupo de ellas, de un viñedo en función del riego aportado, ya sea por el agricultor o por la lluvia, daría lugar a una mayor eficiencia en el manejo de las dosis y de los sectores de riego en función de las necesidades hídricas

Figura 3. Tratamientos de riego y distribución en el diseño experimental en la parcela de ensayo.



Figura 4. Simulación de funcionamiento del sensor de vegetación OptRx ACS-430 (Ag Leader Technology).



de cada zona específica del cultivo. El estudio de la variabilidad espacial y temporal del vigor ve- ►►►

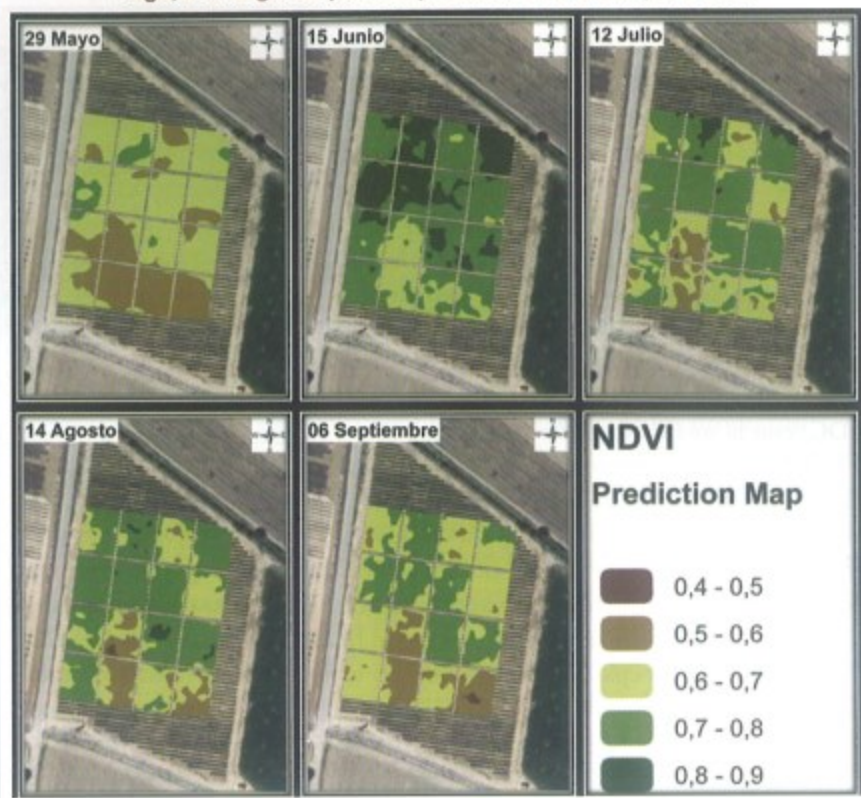
▶▶▶ getativo del viñedo es una de las aspectos importantes que pueden ser estudiados a través de la viticultura de precisión y, por tanto, el manejo del riego dentro de una plantación, acorde a las necesidades de las distintas zonas homogéneas que se dan dentro del cultivo.

DETERMINACIÓN DEL VIGOR VEGETATIVO: NDVI

Centrándonos en la gestión del riego y en el control de los efectos que la vid muestra en relación a este, existen ya diversas metodologías eficaces y muy útiles, pero que a veces resultan arduas y complicadas de llevar a cabo en una plantación de vid de gran extensión. No obstante, la viticultura de precisión puede dar solución en una gran cantidad de casos a estas limitaciones.

Uno de los índices más utilizados para la estimación del vigor vegetativo en la viticultura de precisión es el NDVI o índice de vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index). En diversos estudios se ha demostrado la correlación de este índice de vegetación con parámetros de vigor medidos en el terreno relacionados con el vigor de la viña (Johnson et al., 2003; Montero et al., 1999; Tardáguila and Diago, 2008), siendo el estrés hídrico una de las limitaciones en el crecimiento de las plantas. Por este motivo, se puede considerar el NDVI como un instrumento más para evaluar el posible estrés hídrico de la viña. Este índice de vegetación, que compara la respuesta espectral de la cubierta vegetal en dos longitudes de onda diferentes (Rojo visible e infrarrojo cercano) a partir de una fuente de luz incidente, natural o artificial, es un método bastante fiable para determinar zonas homogéneas de desarrollo vegetativo de la vid, las cuales estarán influenciadas por las diferentes características del lugar en que se encuentran. En otras palabras, se pueden identificar zonas con diferente desarrollo vegetativo que aparentemente deberían ser semejantes, en cuanto a riego y manejo del cultivo se refieren, pero sobre las que influyen otros parámetros, tales como cambios en las características físico-químicas del suelo.

Figura 5. Evolución del índice de vegetación NDVI en la parcela de ensayo de riego, a lo largo del periodo productivo de la campaña 2012.



En este ámbito, el Centro de Investigación Agraria "La Orden - Valdequesera", perteneciente al Gobierno de Extremadura, está llevando a cabo un estudio sobre el uso de la agricultura de precisión en la optimización del agua de riego en viñedo, particularmente en el cultivar Tempranillo. Uno de los objetivos de este estudio es la evaluación del comportamiento en el desarrollo vegetativo de la vid, en función de diferentes dosis de riego, a través de sensores multispectrales terrestres capaces de determinar el índice de vegetación NDVI sin las limitaciones que conlleva el uso de imágenes satelitales destinadas al mismo fin (Tiempo, precisión, resolución espectral y coste).

DISEÑO DE LA EXPERIENCIA

El ensayo fue llevado a cabo durante la campaña 2012 en una parcela de viñedo, situada en la Finca La Orden (Badajoz), de 1,8 hectáreas monovarietal Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) injertado sobre patrón Richter-110 (Figura 3). Este viñedo fue plantado en 2001 en espaldera y conducido mediante el sistema de poda cordón doble (Royat, con brotes verticales), con 60 centímetros de altura de tronco y doce yemas por planta (6 pulgares a dos yemas vistas). El sistema de espaldera, con dirección Este - Oeste, tiene una ▶▶▶

►►► separación de 2,50 metros entre líneas y de 1,20 metros entre cepas. El sistema de riego instalado estuvo formado por goteros autocompensantes de 4 l/h. cada 60 cm.

El diseño experimental se basó en cuatro tratamientos de riego completamente aleatorizados con cuatro bloques (repeticiones) cada uno. Cada parcela elemental estuvo formada por 216 cepas distribuidas en 12 líneas de 18 plantas cada una. Los tratamientos de riego fueron: 100% de la demanda evapotranspirativa del cultivo (ETc); un tratamiento en régimen de secano; y dos tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) con la misma dosis de riego, un 50% de la ETc antes de enero y de un 25% de la ETc después del mismo, pero con diferentes valor umbral de estrés hídrico para comenzar a regar (diferente grado de potencial hídrico de tallo). El 100% de la demanda evapotranspirativa del viñedo se calculó diariamente a través de un lisímetro de pesada con dos cepas de vid situado en el centro del ensayo.

La estimación del vigor vegetativo, a través de la determinación índice de vegetación NDVI, se realizó mediante el uso de un sensor multispectral (Figura 4) montado sobre un vehículo quad. Este sensor proporcionó directamente el índice NDVI calculado a partir de dos canales ópticos a longitudes de onda de 670 y 780 nanómetros para el rojo visible e infrarrojo cercano respectivamente. Toda la información ofrecida por el sensor fue recogida por un colector de datos tipo PDA, el cual adjuntaba la posición geográfica de cada uno de los puntos tomados con una precisión de 1,5 a 3 centímetros gracias a la tecnología RTK (Real Time Kinematic). Para obtener la reflectancia de la cubierta del viñedo en dichas longitudes de onda, se situó el sensor de vegetación a una altura de 90 cm. sobre el cenit de la misma, desplazándolo sobre cada una de las líneas de espaldera que forman el ensayo. Esta operación se realizó semanalmente desde el 29 de mayo hasta el 30 de septiembre, un mes después de la vendimia y momento en que finalizó la campaña de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 5 muestra los resultados de algunos de los mapas obtenidos mediante la interpolación (krigado ordinario) de los puntos muestrales tomados en los distintos días en que se determinó el índice de vegetación NDVI y, por tanto, del desarrollo del vigor

Tabla 1. Dosis de riego establecidas en el ensayo de viñedo en diferentes periodos de desarrollo del cultivo.

Tratamiento	Bloque	Riego (mm)		
		Pre - enero ^a	Post - enero ^b	Total
100% Etc	1	382,39	218,52	600,91
	2	394,21	236,43	630,63
	3	386,49	236,42	622,91
	4	386,33	233,39	619,72
75% - 25% Etc (A)	1	206,62	4,45	211,08
	2	209,51	4,48	213,99
	3	200,58	4,12	204,69
	4	205,43	4,32	209,75
75% - 25% Etc (B)	1	209,19	49,43	258,62
	2	230,70	71,00	301,69
	3	133,92	34,51	168,43
	4	212,11	46,61	258,72
Precipitación efectiva (mm) ^c		41,8	0	41,8

^a Desde 1 de junio a 29 de julio.

^b Desde 30 de julio a 3 de septiembre.

^c Pre - enero: 1 de enero a 29 de julio; Post - enero: 30 de julio a 3 de septiembre.

vegetativo durante la campaña 2012 en los distintos tratamientos de riego. En una primera observación, estos resultados indicaron que el vigor vegetativo del cultivo, cualquiera que fuera su tratamiento de riego, mantuvo un incremento hasta días antes del estado fenológico de enero, a partir del cual éste comienza a decrecer paulatinamente. Este descenso puede ser debido a la reducción de color verde debido a la traslocación de nutrientes hacia los racimos y a la maduración de las hojas.

En relación a las distintas dosis de riego (Tabla 1), se observa como la evolución del desarrollo vegetativo es diferente en función de ellas, cuyo valor de NDVI inicial es menor a medida que dicha dosis es restringida. Así, mientras que el viñedo con riego consiguió alcanzar un valor máximo de NDVI de 0,8 – 0,9 alrededor de mediados de junio, el tratamiento Secano situó su máximo en una décima de punto por debajo. Los tratamientos regados mediante RDC (Riego Deficitario Controlado) con una dosis intermedia entre ambos extremos obtuvieron, como es lógico, un desarrollo vegetativo comprendido entre éstos últimos, aunque el tratamiento A necesitó una menor cantidad de riego en post - enero debido esencialmente a la decisión de aplicarle un valor umbral de estrés hídrico más alto para comenzar a regar.

Por otro lado, se observa fácilmente en la Figura 5 que, dentro de cada uno de los tratamientos de riego, existen dos zonas diferenciadas de índice de vegetación NDVI; aquellos bloques situados en la mitad superior (Bloques 1 y 2) frente a los situados en la mitad inferior (Bloques 3 y 4). Los resultados mostraron que se produjeron diferencias en la evolución ►►►

►►► temporal del desarrollo vegetativo en cualquiera de los tratamientos de riego, siendo mayor en los bloques situados al norte. Este incremento del valor del índice de vegetación indica que deben existir otro u otros parámetros que puede provocar diferencias en el desarrollo de las cepas, aparte de la dosis de riego. Las hipótesis barajadas apuntan hacia un cambio en las propiedades físico-químicas del suelo, ya que un estudio de la conductividad eléctrica aparente (CE_a) sobre la misma área de estudio indicó dos zonas claramente diferenciadas que siguieron un patrón similar que el obtenido en el desarrollo vegetativo del cultivo (datos no mostrados).

Teniendo en cuenta que el aporte del 100% de la ETc del cultivo puede llegar a ser contraproducente, debido a que se pueden generar unas condiciones idóneas para un fuerte desarrollo de enfermedades criptogámicas (oídio, mildiu, etc), las estrategias de riego deficitario pueden ser beneficiosas frente a ambos extremos. Algunos estudios indican los efectos que se obtienen en relación al desarrollo vegetativo, a la producción y a la calidad de la baya aplicando este tipo de estrategias con diferentes dosis de riego. Así, la aplicación de un estrés ligero o moderado entre cuajado y envero puede producir un incremento en la calidad y una mejora en la eficiencia del agua, sin mermar de forma significativa la producción, pudiendo ayudar al control de la misma y, por supuesto, al excesivo desarrollo vegetativo (Dry et al., 2001); si se produce tras el envero, pueden ser incrementados algunos parámetros de calidad, como son antocianos y polifenoles, con un menor riesgo de reducción de la producción.

CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA

Bajo estas consideraciones, el uso de del índice de vegetación NDVI puede ser muy útil en el control del vigor vegetativo que un cultivo de viñedo puede desarrollar. Conocer cuál es el estado de dicho vigor, a través de sensores multispectrales equipados sobre vehículos terrestres, proporciona una mayor libertad en la obtención de información sobre el mismo que otros métodos más limitados (satélites artificiales, teledetección). Esta tecnología, unida a una buena estrategia de riego calculada en función de los diversos parámetros de la variedad de vid y del suelo, permitirá conocer zonas donde el cultivo se está comportando de forma diferente, las cuales llevarán, al finalizar la campaña, a resultados variables en cuanto a producción y calidad de la uva se refiere. El conocimiento de la evolución del índice de vegetación en toda la parcela

de cultivo puede ayudar al viticultor a tomar las decisiones oportunas, e incluso a optar por estrategias de producción diferentes según sus objetivos (uniformidad de producción en toda la parcela, zonas de menor producción y mejor calidad, etc.). Por último, es importante resaltar que esta tecnología está al alcance de cualquier agricultor, ya que tanto los sensores utilizados en este estudio, como el software necesario y los equipos informáticos, están a su disposición en el mercado a un coste asequible.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se ha desarrollado en el Centro de Investigación "La Orden - Valdequesera", de forma coordinada, a través de los proyectos:

- RITECA, Red de Investigación Transfronteriza de Extremadura, Centro y Alentejo, cofinanciado por el Gobierno de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España - Portugal (POCTEP) 2007 - 2013. Actividad 3.1.2. Uso de la agricultura de precisión en la optimización del agua y fertilización y fecha de recolección en viñedo.

- INIA RTA2009-00026-C02-02. Uso del modelo general de cultivo CROPSYST para facilitar recomendaciones en el uso de riego deficitario controlado en plantaciones comerciales en Extremadura. Financiado con Fondos FEDER.

- PRI - IB10049. Influencia del déficit hídrico y de la carga de cosecha sobre parámetros histológicos, enológicos y proteómicos en el desarrollo de la uva.

BIBLIOGRAFÍA

- Dry, P. R., Loveys, B. R., McCarthy, M. G., and Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin* 35, 129-139.
- Johnson, L. F., Roczen, D. E., Youkhana, S. K., Nemani, R. R., and Bosch, D. F. (2003). Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* 38, 33-44.
- McCarthy, M. G. (2002). Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. In "Deficit Irrigation Practices" (W. Reports, ed.), Vol. 22, pp. 79 - 87. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Montero, F. J., Mellá, J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A., and Lanjeri, S. (1999). Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management* 40, 363-375.
- Ortega-Farías, S., Acevedo, C., Moreno, Y., and Pardo, C. (2004). Deshidratación prematura de bayas en cv. Merlot: ¿Un desequilibrio hídrico del viñedo? In "Tópicos de actualización en viticultura y enología" (P. U. d. C. Centro de Extension, ed.).
- Tardaguila, J., and Diago, M. P. (2008). Viticultura de Precisión: Principios y Tecnologías Aplicadas en el Viñedo. In "VI World Wine Forum", Logroño, Spain.
- Uriarte, D., Mancha, L. A., Picón, J., Blanco, J., and Prieto, M. H. (2010). Early defoliation of tempranillo grapevines in semi-arid terroirs of Spain. In "Acta Horticulturae", Vol. In press, Lisbon. 