

Nuevas experiencias derivadas del uso de sensores remotos para el desarrollo de herramientas de ayuda a la toma de decisiones.

Torre, G.^{a1}, García, S.^{a2}, Álvarez, E.^{a3}, Fernández, J.^{a4}, López, C. A.^b, Campos, A. M.^{c1} y Arango, R. B.^{c2}

^a Grupo de Ingeniería Fluido Dinámica. Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, calle Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n, 33600, Mieres. E-mail: ^{a1} guadalupetorre1@gmail.com, ^{a2} silviagarnu@gmail.com, ^{a3} edualvarez@uniovi.es, ^{a4} jffrancos@uniovi.es

^b Grupo de Investigación de Sistemas Forestales Atlánticos (GIS-Forest). Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, calle Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n, 33600, Mieres. E-mail: lopezscarlos@uniovi.es

^c Seresco, calle Santa Susana, 14, 33008. E-mail: ^{c1} antonio.campos@seresco.es, ^{c2} rodolfo.debenito@seresco.es

Línea temática B | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El concepto de Viticultura de Precisión surge para la optimización de la producción de la viña y la calidad de la uva. La VP recurre al empleo de imágenes satélite de alta resolución junto con la incorporación de sensores y observaciones en campo permitiendo obtener una información espacio-temporal ininterrumpida y una zonificación intraparcelsaria para la gestión del viñedo. En este marco, se encuentra Cultiva Decisiones como herramienta informática para facilitar la toma de decisiones en el ámbito de la viticultura, orientada a la mejora tanto de la calidad de la uva como de su producción. Esta herramienta se basa en la obtención de datos en continuo e incluye técnicas de inteligencia artificial para modelar las necesidades hídricas y nutricionales del viñedo. Finalmente, ofrece una serie de recomendaciones de fertirrigación del viñedo, de manera que se ahorren insumos asociados al cultivo.

Palabras clave | agricultura de precisión; viticultura de precisión; imágenes multiespectrales; satélites; sensores; necesidades hídricas; necesidades nutricionales; SSD.

INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión (AP) se plantea como una mejora potencial para optimizar la práctica agrícola de manera que se reduzcan los recursos necesarios y los impactos negativos derivados de la misma (Blackmore et. al.,1995). La AP busca utilizar la variabilidad del manejo de sistemas agrícolas para optimizar los procesos, aplicando la cantidad requerida de insumos en el momento adecuado, viéndose reflejadas mejoras tanto en el aspecto técnico como en el ecológico y el económico (Leiva, 2003).

Dentro del campo de la AP, existe un interés creciente en la Viticultura de Precisión (VP) de cara al aumento de la calidad de la uva y a la posibilidad de zonificación de los viñedos para ser tratados de manera diferencial (Arnó et al., 2009, Schepers et al.,2014).

El empleo de imágenes multiespectrales satelitales de alta resolución (espacial, espectral y temporal) junto con la incorporación de sensores de campo han constituido un gran avance para la detección de la variabilidad intraparcelsaria. Además, permiten obtener información espacio-temporal ininterrumpida. En esta línea, Zarco-Tejada et al. (2013) utilizan las imágenes multiespectrales para estimar el contenido de carotenoides en hojas de viñedos y Gago et al. (2015) para determinar el estrés hídrico en plantas. Asimismo, la observación continua de las variables agroclimáticas supone una importante fuente de datos para obtener predicciones climatológicas.

En los últimos años han surgido algunas aplicaciones de gestión que utilizan datos recogidos por distintos sensores y Sistemas de Información Geográfica (SIG) y para su aplicación en la AP. Estas herramientas han sido introducidas en el sector vitivinícola en los últimos años mostrando unos resultados positivos.

Actualmente, estas soluciones pretenden dar un paso más en su utilidad pasando de ser herramientas limitadas a la gestión básica de la información a incluir algoritmos inteligentes de procesamiento de datos y trabajo con nuevas fuentes de información como las imágenes multispectrales.

Incluyendo estas líneas de innovación se presenta en este artículo se el diseño de la plataforma software Cultiva Decisiones, un sistema de soporte a las decisiones (SSD) desarrollada por SERESCO S.A..

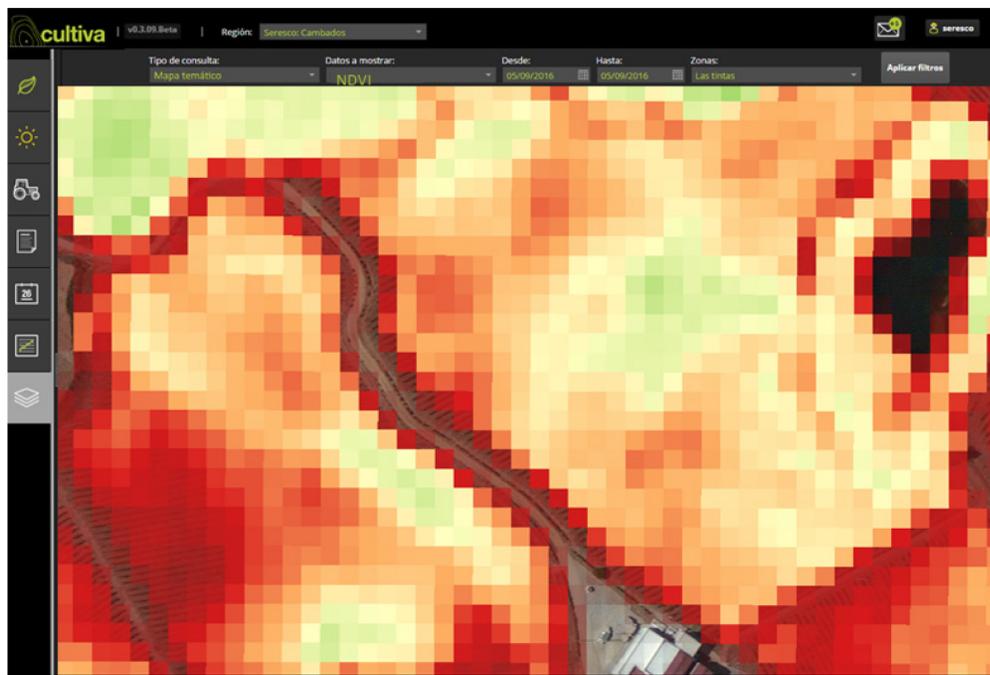


Figura 1 | Visualización índice NDVI mediante el uso de satélite en la aplicación Cultiva Decisiones

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CULTIVA DECISIONES

Cultiva Decisiones se basa en aspectos de la VP como el manejo diferenciado, la medición de la variación local y la geolocalización de la información. Además, pretende facilitar aspectos como la comunicación de las instrucciones a los técnicos y operarios o la organización del personal. En la Figura 2 se presentan las capas de las que se conforma la aplicación: Lectura de datos, Modelización, Diagnóstico y Recomendaciones.

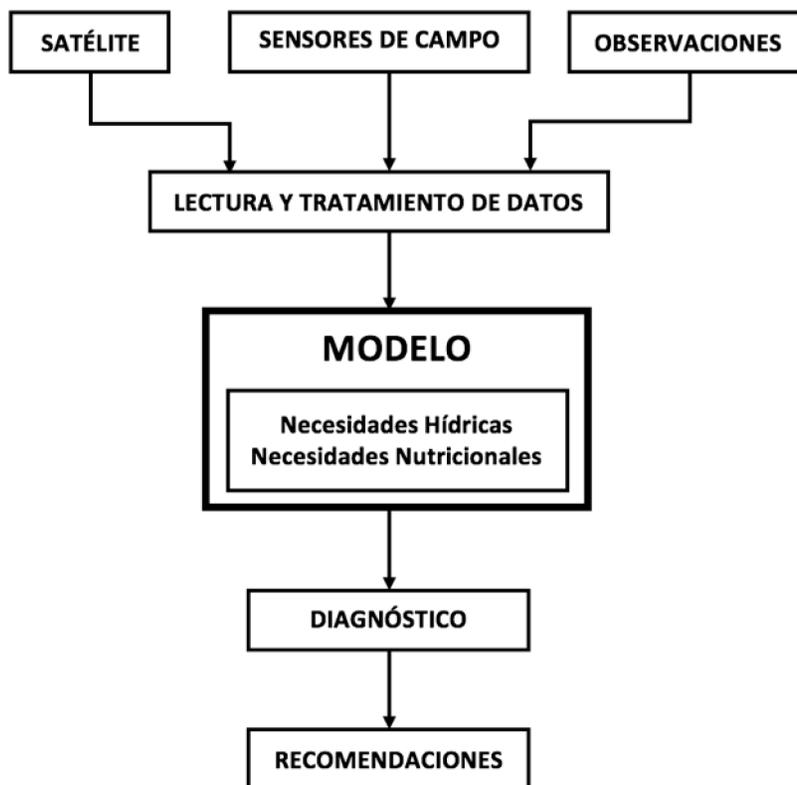


Figura 1 | Esquema del modelo de la aplicación

Lectura y tratamiento de Datos

La plataforma software es capaz de recopilar y almacenar automáticamente todo tipo de información procedente de diferentes fuentes de datos disponibles, públicas (satélites) o privadas (sensores de campo y observaciones introducidas por los operarios).

Imágenes multiespectrales

La recogida de imágenes multiespectrales se puede realizar mediante el uso de satélites y drones. Para la recogida de datos mediante satélite, se utiliza la constelación Sentinel-2 que proporciona datos radiométricos a través de 13 bandas: cuatro de las bandas espectrales de resolución espacial de 10 m, seis de 20 m y tres de 60 metros y que cuenta con una escala temporal de 5 días.

Los datos del satélite se descargan y se procesan los archivos GeoTIFF. A partir de ellos, se obtienen los valores de las bandas térmicas y los índices de vegetación correspondientes a los datos espaciales de la región de estudio. Posteriormente, se genera un *dataset* y se aplica un *Supervised Machine Learning* (SML) para el tratamiento de los datos (Arango et al., 2016).

Mediante la combinación de estas bandas espectrales se obtienen índices que indican el estado del cultivo: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indicador del contenido de clorofila (Kriegler et al. 1969) y EVI (Enhanced Vegetation Index) indicador de las variaciones del follaje (Liu and Huete, 1995). También proporciona índices de hidratación tales como: NDI7 (Normalized Difference Water Index 7) (Rubio et al., 2006); SIWSI (Shortwave Infrared Water Stress Index) (Fensholt and Sandholt 2003); SWIRR (Shortwave Infrared Ratio) (Trombetti et al. 2008); MSI. Moisture Stress Index (Hunt and Rock, 1989); MSI7 (Moisture Stress Index 7) (Trombetti et al. 2008); GVM. Global Vegetation Moisture Index (Ceccato et al. 2002).

Las imágenes recogidas mediante el uso de drones permiten obtener mayor resolución espacial. Sin embargo, debido al elevado coste que supone su utilización, se emplean como apoyo a las imágenes obtenidas por satélite.

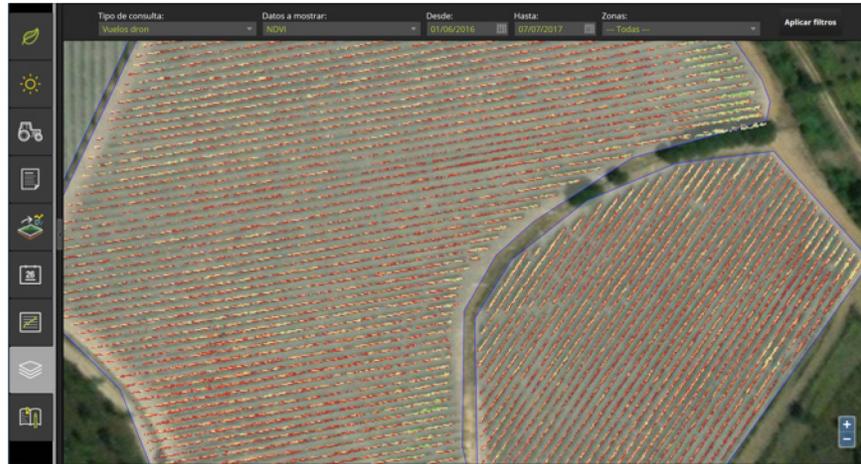


Figura 3 | Visualización índice NDVI mediante el uso de drones en la aplicación Cultiva Decisiones

Información obtenida en campo

Los sistemas de sensorización se encuentran colocados en el viñedo midiendo constantemente la variación de las diferentes variables que influyen en el desarrollo de la planta y el fruto. Registran la temperatura y humedad del follaje, la humectación foliar, la temperatura y humedad ambiente y del suelo, la pluviometría y la velocidad del viento. La aplicación también acumula datos agroclimáticos proporcionados por estaciones meteorológicas, obteniendo datos históricos y pudiendo realizar previsiones más precisas.

A estos dos sistemas anteriormente mencionados, se suman las observaciones realizadas por el viticultor y que la aplicación permite almacenar de una forma sencilla. Además, se dispone de un test que recoge información sobre el estado de la planta y que detecta posibles carencias nutricionales.

Al recoger toda esta información, permite realizar comparaciones por fechas, zonas y campañas o evoluciones temporales de indicadores tales como los parámetros de maduración de la uva, el análisis de nutrientes o la integral térmica y visualizarlos mediante gráficas de históricos.

La incorporación de soluciones de movilidad permite al viticultor consultar, en tiempo real, el estado de cada una de las variables y su evolución desde cualquier ubicación sin necesidad de desplazarse al viñedo.



Figura 4 | Visualización de datos históricos en la aplicación.

Modelización

La aplicación es capaz de modelar las necesidades hídricas y nutricionales del viñedo, basándose en datos teóricos y en la experiencia previa en el sector de la viticultura. Ofrece posteriormente dos *outputs*: uno de diagnóstico, que evalúa el estado del viñedo y otro de recomendaciones que ofrece un plan de fertirrigación.

A continuación se detalla la metodología para el cálculo de las necesidades hídricas y nutricionales.

Necesidades Hídricas

La aplicación tiene la capacidad de modelizar necesidades hídricas y necesidades nutricionales a partir de la lectura de los datos de entrada.

Las necesidades hídricas de la vid se basan en el desequilibrio producido entre el aporte hídrico, la capacidad de almacenaje del suelo y la evapotranspiración sufrida por la planta.

La vid es una planta que necesita un aporte pequeño de agua, sin embargo, la pluviometría se reparte de forma irregular a lo largo del ciclo vegetativo. Esto supone que puedan llegar a darse escenarios en los que la cantidad de agua disponible no contrarreste la evapotranspiración sufrida, alcanzando una situación de estrés hídrico que produce cambios significativos en el crecimiento vegetativo (Schultz y Matthews, 1993; Poni et al., 1993; Ussahatanonta et al., 1996).

La evapotranspiración (ET) se ve afectada por el clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo. Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

Para el cálculo de la ET se recurre a la ecuación de Penman-Monteith de la FAO:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (1)$$

donde ET_c es la evapotranspiración del cultivo, ET_0 es la evapotranspiración de referencia obtenida de variables climáticas y K_c es el coeficiente del cultivo que se obtiene a partir de la ecuación desarrollada por Calera et al. (2014):

$$K_c = 1.25 \text{ NDVI} + 0.1 \quad (2)$$

donde el índice NDVI se obtiene a partir de teledetección.

Una vez obtenida la ET, se calculan las necesidades hídricas en función de la precipitación efectiva y de la eficiencia de la instalación dependiente del tipo de sistema de riego instalado:

$$N_t = \frac{ET_c - P_e}{E_a} \quad (3)$$

donde N_t son las necesidades totales, ET_c es la evapotranspiración del cultivo, P_e es la precipitación efectiva y E_a la eficiencia de aplicación.

A partir de las necesidades hídricas totales y considerando la superficie de riego y el caudal de bombeo disponible de la instalación se calculan las dosis de riego y la frecuencia de su aplicación.

Necesidades nutricionales

El objetivo este módulo es determinar las necesidades de fertilización para compensar las extracciones de elementos minerales que las plantas absorben del suelo durante su desarrollo. De esta manera, se incrementa la fertilidad para aumentar la producción y la calidad de la cosechas actuales y futuras. Estas aportaciones se ajustan para cubrir sólo las necesidades mínimas del cultivo, ya que el abuso puede generar desequilibrios y alteraciones de difícil corrección.

Las necesidades varían con el ciclo fenológico de la planta. Se consideran tres macronutrientes principales: nitrógeno, potasio y fósforo. Las cantidades a aplicar se basan en la bibliografía científica y en reglas heurísticas basadas en la experiencia. Estos aportes consideran las posibles carencias por desequilibrios, las condiciones meteorológicas y la fertilidad del terreno.

Diagnóstico

El módulo de diagnóstico evalúa las salidas aportadas por el modelo. A partir de los datos obtenidos y del Sistema de Información Geográfica que lleva integrado proporciona imágenes sobre el estado del viñedo. Este estado se muestra por zonas coloreadas en un rango de verde (estado óptimo) a rojo (estado de deficiencia).

Con estos mapas el viticultor es capaz de evaluar visualmente y de una manera rápida el estado del viñedo.

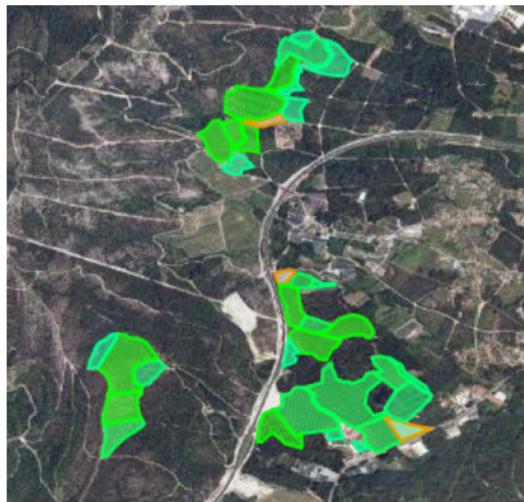


Figura 2 | Mapa del estado nutricional

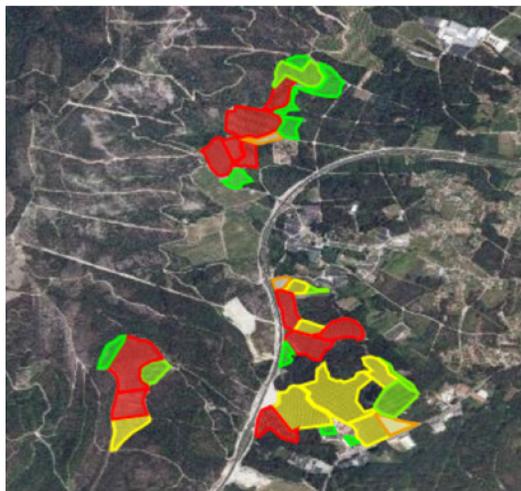


Figura 3 | Mapa del estado hídrico

Recomendaciones

Además de un primer nivel de diagnóstico, la aplicación es capaz de llegar a un segundo nivel proporcionando recomendaciones al viticultor.

Ofrece un plan de fertirrigación que se adapta al sistema de riego implantado, a los abonos que suele utilizar el viticultor y a las frecuencias de riego. Además, es capaz de ofrecer un plan con un diseño de abonado propio, en el que el viticultor puede crear las disoluciones a partir de compuestos simples. De esta manera, el plan se adapta totalmente a las necesidades nutricionales de cada zona.

Previsiones futuras

La previsión futura para la aplicación se basa principalmente en un enriquecimiento en la entrada de datos. Actualmente, existe maquinaria con cámaras espectrales *on board*, que permiten recoger imágenes a la vez que hacen labores en el viñedo. De esta manera, el uso de sensores se automatiza y se pueden realizar valoraciones visuales automatizadas y con una mayor precisión.

Otra vía de trabajo es la aplicación de técnicas de Machine Learning que permitan filtrar las variables que más importancia tienen en el viñedo, localizando los puntos más susceptibles.

CONCLUSIONES

La utilización de técnicas de medición como satélites, sensores y estaciones meteorológicas permiten obtener una fuente de datos suficientemente extensa y fiable. De esta manera, se almacenan y visualizan los datos históricos y se consigue modelizar el estado actual del viñedo y las previsiones a corto plazo del mismo.

La aplicación Cultiva Decisiones es capaz de realizar un diagnóstico a partir de este modelo, calculando las necesidades hídricas y nutricionales. También ofrece unas recomendaciones de fertirrigación, condicionadas a la instalación y a las preferencias del viticultor. Así se consigue gestionar el viñedo de manera más precisa, limitando el uso de agua, fertilizantes y combustible.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo esta enmarcado dentro del proyecto “Herramienta de Análisis de Datos y Soporte a la Decisión para el Cultivo Inteligente de la Vid” (HASDEVID) que cuenta con el apoyo de financiación del Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA) y de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en la convocatoria de subvenciones dirigidas a proyectos I+D (PID-DE-16-024).

REFERENCIAS

- Arango, R. B., Díaz, I., Campos, A., Canas, E. R., Combarro, E. F. 2016. Automatic arable land detection with supervised machine learning. *Earth Sci Inform* 9, 535–545.
- Arnó, A. J., Martínez-Casasnovas, J. A., M. Ribes-Dasi, M., Rosell, J. R. 2009. Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7(4), 779-790.
- Blackmore, B. S., Wheeler, P. N, Morris, J., Morris, R. M., Jones, R. J. A. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. *Proceedings Precision agriculture Conference*, Madison, WI, USA, 777-793.
- Calera, A., Campos, I., Garrido-Rubio, J., 2014. Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. *Jornadas Técnicas: Innovación en gestión de regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información*, Septiembre 23, San Fernando de Henares, España.
- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sens Environ* 82(2), 188–197.
- Fensholt, R., Sandholt, I. 2003. Derivation of a shortwave infrared water stress index from modis near and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sens Environ* 87(1), 111–121.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J. 2015. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural water management* 153, 9-19.
- Kriegler, F., Malila, W., Nalepka, R., Richardson, W. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. *Remote Sens Environ* 6, 1-97.
- Leiva, F. R. 2003. La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. *Memorias VIII Congreso de La Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento Y Producción de Cultivos*, Enero, 8.
- Liu, H., Huete, A. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *Transactions on Geoscience and remote sensing* 33, 457.
- Poni, S., Lakso, A., Turner, J., Melious, R. 1993. The effects of pre and postveraison water stress on growth and physiology of potted Pinot Noir vines at crop levels. *Vitis* 32, 207-214.
- Rubio, M., Riaño, D., Cheng, Y., Ustin, S. 2006. Estimation of canopy water content from modis using artificial neural networks trained with radiative transfer models. *6th EMS/6th ECAC*.
- Schepers, A.R., Shanahan, J.F., Liebig, M.A., Schepers, J.S., Johnson, S.H., Luchiari, A., 2004. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agron. J.* 96, 195–203.
- Schultz, H., Matthews, M. 1993. Growth, osmotic adjustment and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *CropsScience* 33, 287-294

- Trombetti, M., Riaño, D., Rubio, M., Cheng, Y., Ustin, S. 2008. Multi- temporal vegetation canopy water content retrieval and interpretation using artificial neural networks for the continental USA. *Remote Sens Environ* 112(1), 203–215.
- Ussahatanonta, S., Jackson, D., Rowe, R. 1996. Effects of nutrient and water stress on vegetative and reproductive growth in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2, 64-69.
- Zarco-Tejada, P. J., Guillén-Climent, M. L., Hernández-Clemente, R., Catalina, A., González, M. R., & Martín, P. 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and forest meteorology* 171, 281-294.