

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO, EL ÍNDICE DE VIGOR DEL CULTIVO Y EL RENDIMIENTO EN UN VIÑEDO DE LA D.O. COSTERS DEL SEGRE (LLEIDA)

J. A. Martínez-Casasnovas (*), M. Concepción Ramos (*) y D. Vallés (*).

(*) *Departamento Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida.
Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida j.martinez@macs.udl.es*

RESUMEN

Se analiza la relación entre las propiedades del suelo, el vigor del cultivo (NDVI) y el rendimiento de la viña en una parcela de viña Syrha en la D.O. Costers del Segre (Lleida). El objetivo es estudiar la oportunidad del uso de datos de suelos en proyectos de viticultura de precisión, así como determinar las propiedades que más contribuyen a la explicación de la variabilidad intraparcilaria del cultivo. El análisis se ha realizado en 35 puntos de muestreo, donde se determinaron propiedades como la textura, el contenido de materia orgánica, carbonatos, conductividad eléctrica, pH, capacidad de retención de agua disponible y contenido volumétrico de humedad a diferentes profundidades mediante sonda TDR. Los datos de NDVI fueron obtenidos a partir de imágenes Quickbird-2 (años 2004, 2005 y 2006); y los datos de vendimia mediante un monitor Canlink 3000 FarmScan para los mismos años. Los resultados muestran que las variables de suelos más correlacionadas con el NDVI y el rendimiento del cultivo son la textura del horizonte superficial y el contenido volumétrico de humedad, explicando una varianza del 72,0 - 85,5%. La variabilidad intraparcilaria del vigor y del rendimiento del cultivo ha servido para reorientar el sistema riego de la parcela.

ABSTRACT

In this work we analyze the relationship between soil properties, the vigour of the crop (NDVI) and the yield in a plot of Syrha located in D.O. Costers del Segre (Lleida). The objective is to study the opportunity of the use of soil data in precision viticulture projects and to identify the variables that most influence the intrafield crop variability. The analysis has been carried out in 35 sample points in which properties such as texture, organic matter content, calcium carbonate content, electric conductivity, pH, available water holding capacity and the volumetric soil moisture content at different depths by means of TDR instrument were determined. NDVI data was calculated from Quickbird-2 images (years 2004, 2005 and 2006); and yield data was acquired by a Canlink 3000 FarmScan yield monitor installed in a harvesting machine for the same years. The results show that the soil variables most correlated with the NDVI and the yield are the texture of the top layer and the volumetric soil moisture content, which explain a variance of 72,0 – 85,5%. The intrafield vigour and yield variability has served in the present case study to redesign the irrigation system of the plot.

Palabras clave: viticultura de precisión, NDVI, humedad del suelo, textura del suelo.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad intraparcilaria de los cultivos, y en particular de la viña, es un fenómeno conocido por los agricultores (Bramley y Hamilton 2004). Recientemente, el desarrollo de tecnologías de la información geográfica, como los sistemas de información geográfica, teledetección, GPS, estimadores de conductividad eléctrica de los suelos y monitores de cosecha (entre otros), permiten la obtención de información detallada del desarrollo y rendimiento de la viña, así como de la variabilidad del suelo dentro de las parcelas (Proffitt y Malcom 2005, Tisseyre *et al.* 2007).

En los últimos años, la investigación en viticultura de precisión se ha centrado

principalmente en la relación entre la variación del rendimiento y la calidad de la uva con la finalidad de la zonificación de la variabilidad intraparcilaria para intentar la homogeneidad de la parcela o para la vendimia selectiva (Bramley y Lamb 2003, Proffitt y Pearse 2004, Tisseyre *et al.* 2008). Otras experiencias se han dirigido a determinar la intensidad de poda o la predicción del rendimiento del cultivo (Martínez-Casasnovas y Bordes 2005, Proffitt y Malcom 2005). Sin embargo, el análisis de las causas de la variabilidad intraparcilaria del rendimiento y calidad no es un tema de estudio más reciente y se basa en la búsqueda de las relaciones suelo-planta (Bramley y Lamb 2003).

En este sentido, la disponibilidad de sensores para la medición de la conductividad

eléctrica aparente, como los sensores que miden la resistividad eléctrica del suelo o los sensores de inducción electromagnética (Tisseyre *et al.* 2007) están siendo utilizados para la cartografía de la variabilidad de los suelos. El principal problema es que la medida integra varias propiedades del suelo, como por ejemplo el contenido de humedad, el contenido de arcilla, la densidad aparente o la capacidad de intercambio catiónico, entre otros (Tisseyre *et al.* 2007).

En la línea de analizar la relación entre las propiedades de los suelos y el desarrollo y rendimiento de la viña, el presente trabajo muestra un caso de estudio en que se determinan las propiedades del suelo más relacionadas con la variabilidad observada en el cultivo, con el fin de llevar a cabo un manejo diferencial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza en la Denominación de Origen Costers del Segre, Lleida, España. El clima es continental Mediterráneo, con una precipitación total anual entre 300-400 mm. La parcela de viña objeto de estudio es de variedad Syraha, plantada según un patrón de 3x2 m con un sistema de formación en T. Tiene una superficie de 4,5 ha y es regada mediante riego localizado bajo un programa de secado parcial de las raíces. La parcela está dividida en varios sectores regulares (cuadrados) de riego, que cubren aproximadamente 1 ha cada uno. En esta parcela, el rendimiento presenta un coeficiente de variación de 32,2%.

Análisis de la variabilidad espacial del vigor, rendimiento y propiedades de los suelos

El vigor del cultivo de la viña en la parcela de estudio se determinó a partir de tres imágenes de satélite Quickbird-2 adquiridas en los años 2004, 2005 y 2006 en el periodo ± 2 semanas desde el comienzo del envero, momento considerado como óptimo en las aplicaciones de viticultura de precisión (Lamb *et al.* 2004). Las imágenes fueron corregidas radiométricamente aplicando el modelo COST propuesto por Chávez (1996). Los valores fueron convertidos a radiancia y reflectancia según el protocolo de Digital Globe (Krause 2003). La imagen fue proyectada al Datum Europeo 1950, sistema UTM 31n y corregida geométricamente según puntos de control tomados de un ortofotomapa de 0,5 m de resolución y un modelo digital de elevaciones de 5 m producido a partir de datos topográficos del Institut Cartogràfic de

Catalunya. A partir de aquí se calculó el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) (Rouse *et al.* 1973).

El rendimiento de la viña, para los mismos años de estudio, se determinó a través de un monitor de cosecha Canlink 3000 Farmscan (Bentley, WA, Australia) instalado en una máquina vendimiadora. A partir de los datos del monitor, los mapas de cosecha se obtuvieron según el protocolo de Bramley y Williams (2001), creando un mapa raster (resolución 3 m) mediante krigeado por bloques (10x10 m).

Los suelos fueron muestreados en su horizonte superficial según una malla regular de 10 filas por 20 cepas (30 x 40 m), lo que representa una densidad de 8 muestras ha⁻¹. Se determinaron el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, el contenido de carbonatos, la capacidad de retención de agua disponible y la textura. También se determinó el contenido volumétrico de humedad cada 20 cm (hasta 80 cm) mediante un equipo TDR (Time Domain Reflectometer). Esta medición se llevó a cabo de forma mensual entre noviembre de 2006 y diciembre de 2007. Los puntos de muestreo fueron georreferenciados mediante un GPS Geoploter XH con precisión submétrica.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo para los 35 puntos en los que se había muestreado las propiedades de los suelos, capturando los valores de NDVI y rendimiento medio para los tres años mediante superposición espacial en ArcGIS 9.1. Los análisis estadísticos llevados a cabo fueron: correlación simple entre variables y regresión múltiple, considerando el NDVI y el rendimiento como variables dependientes.

RESULTADOS

Variabilidad espacial del vigor, rendimiento y propiedades de los suelos

La Figura 1 muestra la variabilidad espacial de los valores medios para los tres años considerados del NDVI y rendimiento. El valor medio del NDVI en la parcela es de $0,29 \pm 0,06$, con un coeficiente de variación del 20.7% (rango 16,6 – 25,8%); mientras que el valor medio del rendimiento en el bloque estudiado es de $11,0 \pm 2,7$ Mg ha⁻¹, con un coeficiente de variación del 24.9% (rango 24.0 – 35.4%). Estos valores muestran la existencia de una importante heterogeneidad dentro de la parcela

tanto del NDVI como del rendimiento, así como que esta variabilidad persiste a lo largo de los años, tal como han encontrado otros investigadores en otras áreas de estudio (p.e. Bramley y Hamilton 2004).

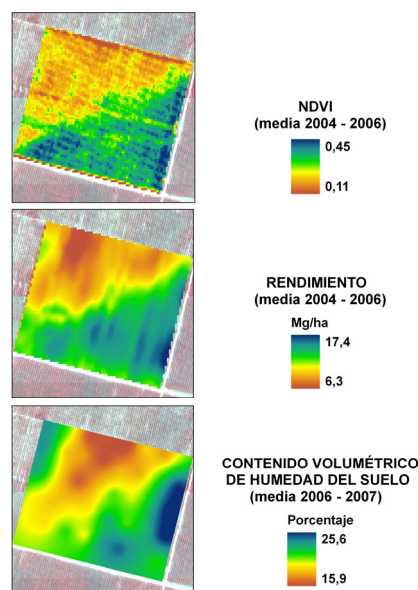


Figura 1.- Arriba y centro: NDVI medio y rendimiento medio de los años 2004, 2005 y 2006 de la parcela de estudio. Abajo: Media del contenido volumétrico de humedad del suelo entre noviembre 2006 y diciembre 2007 en la parcela de estudio.

Relaciones entre variables

El resultado del análisis de regresión entre las variables de NDVI, rendimiento y propiedades de los suelos muestra una alta correlación entre el NDVI y el rendimiento ($R^2 = 0.81$, $p < 0.01$) y entre NDVI o rendimiento con el contenido volumétrico de humedad del perfil del suelo ($R^2 = 0.68$, $p < 0.01$; $R^2 = 0.70$, $p < 0.01$). Similares relaciones, en particular entre el NDVI y el rendimiento, han sido encontradas por otros autores en estudios de viticultura de precisión (Bramley y Lamb 2003, Proffitt *et al.* 2006, Acevedo-Opazo *et al.* 2008).

Respecto a las correlaciones con las otras propiedades de los suelos descritas, los resultados son peores, si bien en algunos casos la relación es significativa, como en el caso de la relación con el rendimiento: contenido de arena ($R^2 = 0.12$, $p < 0.05$), contenido de carbonatos ($R^2 = 0.14$, $p < 0.05$) y conductividad eléctrica ($R^2 = 0.14$, $p < 0.05$). Sin

embargo, ninguna relación significativa fue encontrada entre el NDVI y los componentes texturales del horizonte superficial, tal como se podría esperar dada la tendencia a la relación inversa entre el rendimiento y el contenido de arena ($R = -0.34$, $p < 0.04$). Tampoco la capacidad de retención de agua disponible en el horizonte superficial mostró correlación ni con el NDVI ni con el rendimiento, como han encontrado otros investigadores (Bramley y Hamilton 2004, Proffitt y Malcom 2005). No obstante, en nuestro caso esta propiedad sólo se midió para el horizonte superficial y no en todo el perfil del suelo. Estas relaciones también se ponen de manifiesto en el análisis de regresión múltiple teniendo en cuenta el NDVI o el rendimiento como variables dependientes. Así, el NDVI en el momento del invierno y el contenido de arena del horizonte superficial explican en 85,6% de la variabilidad de la cosecha en la parcela (Rendimiento = $7,18 - 0,20 \text{ \% Arena} + 33,0 \text{ NDVI}$, ($p < 0,01$)).

A su vez, el desarrollo del cultivo estimado a través del NDVI guarda relación con la textura del suelo y el contenido volumétrico de humedad (CVHS) en el perfil: $\text{NDVI} = -0,26 + 0,03 \text{ CVHS}$ ($R^2 = 60,9\%$, $p < 0,01$) (Figura 1). Esta relación mejora si la textura del suelo es considerada en el análisis, explicando el 72,1% de la variación de la variable: $\text{NDVI} = -0,36 + 0,005 \text{ Arena} + 0,026 \text{ CVHS}$ ($R^2 = 72,1\%$, $p < 0,01$).

Los resultados encontrados confirman la relación entre el desarrollo del cultivo (medido a través del NDVI) y del rendimiento con la textura y con el contenido volumétrico de humedad. Esto puede ser útil en la modificación o rediseño del sistema de riego del cultivo con el fin de acondicionarlo a la variabilidad de estas propiedades del suelo, y de esta forma tratar de manejar el cultivo para obtener un producto más homogéneo en bodega, tal como han propuesto otros autores sobre la conveniencia del manejo diferencial del cultivo en función de la variación del contenido de humedad del suelo (Proffitt y Malcom 2005, Acevedo-Opazo *et al.* 2008).

CONCLUSIONES

El presente trabajo confirma la relación entre el contenido volumétrico de humedad del perfil del suelo con el desarrollo vegetativo de la viña y con su rendimiento. Esta relación puede ser de utilidad en las parcelas con posibilidad de riego con el fin de poder disminuir la variabilidad intraparcial del cultivo para obtener cosechas más homogéneas. En particular, la relación de esta

propiedad del suelo con el NDVI es de gran interés, ya que la adquisición de imágenes a lo largo del desarrollo del cultivo puede servir para la gestión del riego con esta finalidad.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S. y Ojeda, H. 2008. The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. *Precision Agriculture* 9: 285–302.

Bramley, R.G.V. y Williams, S.K. 2001. A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercially available grape yield monitors. *Cooperative Research Centre for Viticulture*. Available at: http://www.clw.csiro.au/staff/BramleyR/documents/CRCVYield_Mapping_Protocol.pdf. Accessed 21 November 2008.

Bramley, R.G.V. y Lamb, D. 2003. Making sense of vineyard variability in Australia. In: Ortega, R. and Esser, A. (eds.) *Precision viticulture. Proceedings of an international symposium held as part of the IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología*. Centro de Agricultura de Precisión, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, pp. 35-54.

Bramley, R.G.V. Hamilton, R.P. 2004. Understanding variability in winegrape production systems. 1. *Vineyard variation in yield over several vintages*. *Australian Journal Grape & Wine Res.* 10: 32-45.

Chavez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55: 339–348.

Krause, K. 2003. *Radiance conversion of Quickbird data – Technical note*. DigitalGlobe Inc., Longmont, Colorado, USA.

Lamb, D.W., Weedon, M.M y Bramley, R.G.V. 2004. Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal Grape & Wine Res.* 10: 46–54.

Martínez-Casasnovas, J.A. y Bordes, X. 2005. Viticultura de precisión: Predicción de cosecha a partir de variables del cultivo e índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 24: 67-71.

Proffitt, A.P.B. y Pearse, B. 2004. Adding value to the wine business precisely: using precision viticulture technology in Margaret River. *Aust. NZ Grapegrower Winemaker* 491: 40-44.

Proffitt, A.P.B. y Malcom, A. 2005. Zonal vineyard management through airborne remote sensing. *Aust. NZ Grapegrower & Winemaker* 502: 22-27.

Proffitt, A.P.B., Bramley, R.G.V., Lamb, D. y Winter, E. 2006. *Precision viticulture – A new era in vineyard management and wine production*. Winetitles Pty Ltd., Ashford, Australia.

Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Schell, J. A. y Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 1, U.S. Government Printing Office, Washington DC, pp. 309–317.

Tisseyre, B., Ojeda, H. y Taylor, J. 2007. New technologies and methodologies for site-specific viticulture. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 41: 63-76.

Tisseyre, B., Mazzoni, C. y Fonta, H., 2008. Within-field temporal stability of some parameters in viticulture: Potential toward a site specific management. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 42: 27-39.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación AGL2005-00091/AGR del Ministerio de Ciencia e Innovación. Los autores agradecen también a la empresa Codorníu, S.A. las facilidades para llevar a cabo el estudio en parcelas de su propiedad y los datos aportados.